



GRADO EN INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

Diseño e implementación de metodología Seis Sigma para la mejora del proceso de producción de agua osmotizada en Celestica Valencia

Presentado por:

Gonzalo Sierra Rodríguez

Dirigido por:

Isabel Mundi Sancho

CURSO ACADÉMICO 2023-2024

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todos los profesionales, familia y amigos que me han ayudado a realizar este trabajo tan importante tanto profesional como personal. Que pone fin a un largo camino de 4 años como estudiante de la Universidad Europea de Valencia. Mencionar a Fernando Coma por ser tan cercano, acogerme en su departamento y guiarme a lo largo de mi periodo en prácticas, experiencia que recordaré toda la vida.

ÍNDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Antecedentes.....	8
1.2 Justificación	8
1.3 Objetivos.....	9
2. ENTORNO EMPRESARIAL	10
2.1 Historia y principales hitos de la empresa	10
2.2 Misión, Visión y Valores.....	12
2.3 Organigrama general	13
2.4 Datos de la planta “Celestica Valencia”	13
3. MARCO TEÓRICO	15
3.1 ¿Cómo se fabrica una PCB en celestica?.....	15
3.2 Proceso de osmosis	16
3.3 Metodología: Lean Seis Sigma.....	22
3.3.1 Metodología Lean.....	22
3.3.2 Seis Sigma	25
3.3.3 Lean Seis Sigma	29
4. DISEÑO METODOLOGÍA SEIS SIGMA.....	30
4.1 Definir.....	30
4.2 Medir	30
4.3 Analizar	31
4.4 Mejorar	31
4.5 Controlar.....	31
5. RESULTADOS APLICACIÓN SEIS SIGMA.....	32
5.1 Definir.....	32

5.1.1	Project Charter	32
5.1.2	Datos de apoyo para el proyecto.....	33
5.1.3	Resumen proyecto Seis Sigma	34
5.1.4	Plan de proyecto	35
5.2	MEDIR	36
5.2.1	Análisis preliminar de la red de agua (Pobla de Vallbona).....	36
5.2.2	Diagrama de flujo	37
5.2.3	Equipos que alimentar	42
5.2.4	Estimar los efectos de consumo	44
5.3	ANALIZAR	45
5.3.1	Diagrama Ishikawa.....	45
5.3.2	Diagrama de Pareto	47
5.4	MEJORAR	49
5.4.1	Elección de la mejora	54
5.4.2	Plan de acción.....	54
5.4.3	Retorno de la inversión (ROI)	55
5.5	CONTROLAR	57
6.	CONCLUSIONES	58
7.	FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	59
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFÁFICAS	60
	ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	61
	INDICE DE TABLAS.....	62
	ANEXOS	63

RESUMEN

La metodología Seis Sigma tiene como objetivo perfeccionar los procesos empresariales al reducir la variabilidad y eliminar defectos en los procesos. Su meta final es lograr un nivel de 3.4 defectos por millón de oportunidades.

Este proyecto final de grado propone la aplicación de la metodología Seis Sigma en el proceso de producción de agua osmotizada en la planta de Celestica. Para ello, se diseñará una metodología basada en el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar), con el objetivo de mejorar la eficiencia y calidad del proceso al instalar una planta de ósmosis paralela a la actual.

El proceso comenzará con una clara definición de objetivos y metas específicas para la mejora del proceso de producción de agua osmotizada. Posteriormente, se llevará a cabo una medición exhaustiva y análisis de los datos existentes, identificando áreas críticas de mejora y oportunidades para reducir la variabilidad y defectos en el proceso.

A través de la fase de mejora, se implementarán mejoras significativas en la operación y mantenimiento de la planta de ósmosis. Además, se establecerán controles efectivos para mantener los estándares de calidad y asegurar la sostenibilidad de las mejoras a lo largo del tiempo.

El proyecto concluirá con la fase de control, donde se implementarán sistemas de monitoreo continuo y se capacitará al personal en nuevas prácticas y procedimientos. Los resultados estimados demostrarán una notable reducción en los defectos del proceso y una mejora significativa en la eficiencia operativa, alineándose con los estándares de calidad requeridos por Celestica en su proceso de producción de tarjetas electrónicas.

Palabras clave: Seis Sigma, proyecto, calidad, ósmosis, mejora continua, Celestica.

ABSTRACT

The Six Sigma methodology aims to improve business processes by reducing variability and eliminating defects in processes. Its ultimate goal is to achieve a level of 3.4 defects per million opportunities.

This final degree project proposes the application of the Six Sigma methodology in the production process of osmotized water at the Celestica plant. For this purpose, a methodology based on the DMAIC approach (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) was designed, with the aim of enhancing the efficiency and quality of the process by installing a parallel osmosis plant to the current one.

The process began with a clear definition of objectives and specific goals for improving the production process of osmotized water. Subsequently, a thorough measurement and analysis of existing data were carried out, identifying critical areas for improvement and opportunities to reduce variability and defects in the process.

Through the improvement phase, significant enhancements were implemented in the operation and maintenance of the osmosis plant, optimizing resource utilization and reducing cycle times. Additionally, effective controls were established to maintain quality standards and ensure the sustainability of improvements over time.

The project concluded with the control phase, where continuous monitoring systems were implemented, and personnel were trained in new practices and procedures. The estimated results demonstrate a notable reduction in process defects and a significant improvement in operational efficiency, aligning with the quality standards required by Celestica in its production process of electronic cards.

Keywords: Six Sigma, project, quality, osmosis, continuous improvement, Celestica.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El objetivo principal de las empresas es maximizar beneficios con la utilización de los mínimos recursos. Al fin y al cabo, el poder evitar ineficiencias, desperdicios y reducir costes es una parte fundamental para lograr ese objetivo. Pero cada vez, las empresas buscan lograr este objetivo alineándolo con la sostenibilidad.

En la industria electrónica el paso de lavado de tarjetas de circuitos impresos (A partir de ahora, PCB), es primordial a la hora de conseguir PCBs de buena calidad y que minimicen los defectos. Existen varios procesos que pueden satisfacer esa necesidad, pero hay uno en especial que está alineado con la sostenibilidad al no tener que emplear elementos químicos para purificar el agua, y es la generación de agua osmotizada. Sin embargo, la producción de este servicio puede verse afectada por diversos factores, lo que puede conducir a la producción de agua de calidad inferior o no producir suficiente agua para abastecer las necesidades de una fábrica.

La metodología Seis Sigma ha sido utilizada por las mejores empresas para la mejora continua de la calidad de los procesos y puede ser una herramienta eficaz para mejorar la producción y a su vez mejorar la calidad de las PCBs para así reducir la variabilidad en el proceso de producción.

1.2 Justificación

Durante mi periodo en prácticas en Celestica Valencia S.A.U, surgió la oportunidad de desarrollar un proyecto de mejora para la producción de agua osmotizada en la fábrica.

Desde hace unos años, Celestica ha experimentado un gran crecimiento en cuanto a producción y maquinaria. Debido a este aumento, la producción de agua osmotizada, necesaria para llevar a cabo el proceso productivo, no es suficiente, lo que supone un coste importante puesto que hay que abastecerse de forma externa de la cantidad faltante.

En este contexto, es necesario mejorar y aumentar la producción de agua osmotizada para llevar a cabo el proceso productivo de PCBs evitando el abastecimiento externo y con el objetivo de minimizar los costes y optimizar al máximo los recursos utilizados.

Además, la alineación del proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como Agua Limpia y Saneamiento (ODS 6), Producción y Consumo Responsables (ODS

12), al promover prácticas de uso eficiente de recursos, e Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9), muestra su contribución a objetivos de sostenibilidad más amplios.

1.3 Objetivos

El objetivo propuesto con este trabajo de fin de grado es aplicar la metodología Lean Seis Sigma al proceso de generación de agua osmotizada, para reducir costes y desperdicios. Trata de buscar la mejor solución para la generación propia de agua osmotizada.

2. ENTORNO EMPRESARIAL

2.1 Historia y principales hitos de la empresa

Celestica Valencia S.A.U es una planta de diseño y fabricación de productos electrónicos que forma parte de la multinacional canadiense Celestica Inc, fundada en 1994 como subsidiaria de IBM y con más de 40 plantas en todo el mundo (Ilustración 1)



Ilustración 1: Ubicaciones Celestica.

Fuente: Web Celestica.

Celestica Valencia es el Centro de Excelencia en Europa para los sectores aeroespacial, defensa y salud, entregando valor a los principales actores del segmento desde el año 2001. Dispone de una gran capacidad técnica y una larga experiencia en los campos de fabricación y diseño.

La planta está especializada en alta complejidad (más de 1.000 productos diferentes) con decenas de miles de componentes distintos para los sectores mencionados anteriormente. Como se muestra en la ilustración 2.

Está centrada en el desarrollo tecnológico y la innovación para acelerar el tiempo de comercialización.



Ilustración 2: PCB

Fuente: Web Celestica.

La planta cuenta con cuatro líneas de montaje y fabricación automatizadas, y diversas celdas semiautomáticas y manuales para la fabricación de boxes y otros equipos (Ilustración 3).

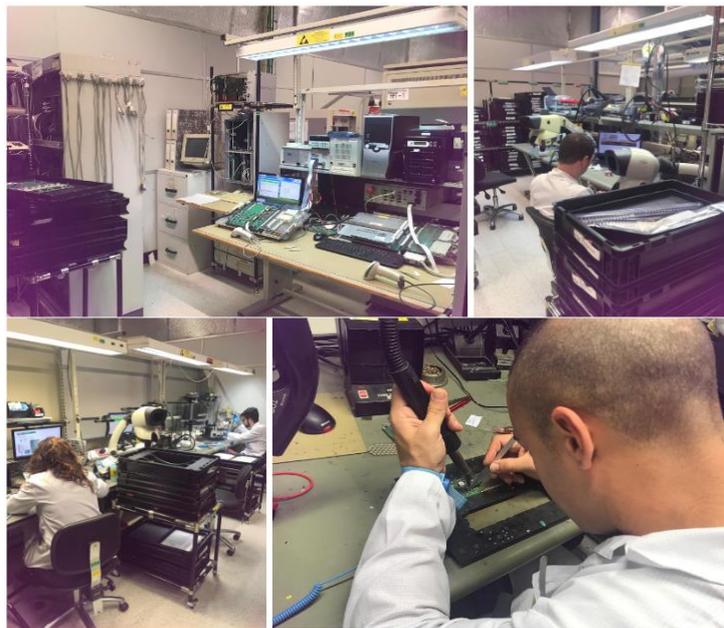


Ilustración 3: Celdas Celestica.

Fuente: Web Celestica

En el año 2022 se incorporó a la fábrica una línea completamente automatizada, como se puede ver en la ilustración 4, para el montaje de piezas de automoción, lo que trajo consigo un considerable crecimiento para Celestica Valencia.



Ilustración 4: Línea SEG

Fuente: Elaboración propia

La fábrica, además de la planta de producción, dispone de un departamento de diseño y un laboratorio avanzado con diferentes capacidades adaptadas a las necesidades de la fabricación (metrología, medioambiental, química y de materiales, eléctrica y mecánica).

2.2 Misión, Visión y Valores

MISIÓN

Celestica capacita a las mejores marcas del mundo. Construimos relaciones de confianza y resolvemos desafíos tecnológicos complejos para ayudar a nuestros clientes a alcanzar mayor valor, potencial y resultados.

VISIÓN

Imaginar, desarrollar y entregar un mejor futuro junto a nuestros clientes.

VALORES

- Trabajo en equipo: nos entendemos, trabajamos juntos y aprendemos los unos de los otros para lograr un futuro mejor.
- Ingenio: establecemos el estándar de creatividad, innovación y resultados.
- Confianza: buscamos soluciones y respaldamos con orgullo nuestro trabajo.
- Cuidado: somos socios confiables movidos por la responsabilidad, la integridad y el respeto.

2.3 Organigrama general

En la ilustración 5 se muestra un organigrama general de Celestica Valencia.

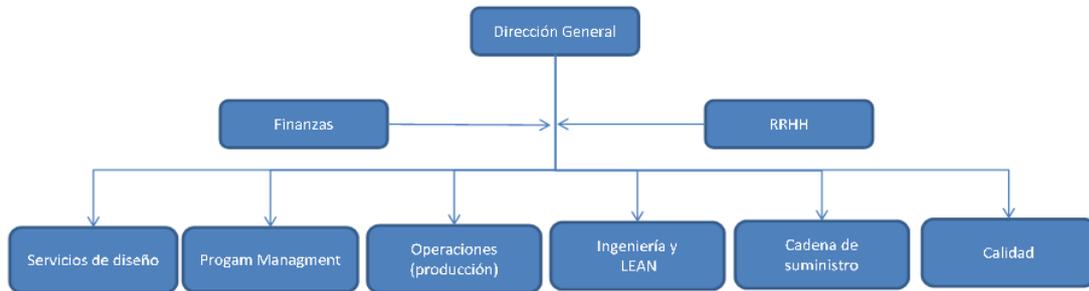


Ilustración 5: Organigrama general.

Fuente: Elaboración propia

2.4 Datos de la planta “Celestica Valencia”

Celestica Valencia S.A.U se encuentra en Carretera Valencia-Ademuz km 17,6. 46185, La Pobla de Vallbona, València, España. (Ilustración 6)



Ilustración 6: Celestica Valencia

Fuente: Web Celestica

- La fábrica data de 1978, sucursal de IBM y con una superficie de unos 250.000 m². En el año 2004 pasó a pertenecer a Celestica Inc y, actualmente, utilizamos 50.000m² para nuestras operaciones, con 12.000m² edificadas.

- Somos alrededor de 600 empleados en Valencia, habiendo crecido en torno a 150 personas en los últimos 12 meses. Este número varía dependiendo del momento y las necesidades, teniendo una horquilla de entre 500 y 600 empleados.
- Actualmente se dispone una planta de generación de agua osmotizada, que genera 10 l/min en funcionamiento. Esta proporciona un aumento de calidad a la hora de lavar las PCBs, además de ser un proceso mucho más sostenible y que no genera residuos contaminantes para el medio ambiente.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ¿Cómo se fabrica una PCB en celestica?

Como ya se ha descrito, Celestica es una empresa dedicada a la fabricación y diseño de productos electrónicos. A continuación, se muestra paso a paso cómo fabrican sus productos en las instalaciones de Celestica Valencia (ilustración 7).

Como todo proceso industrial, las PCBs llegan vía paquetería por camión a los almacenes de Celestica. Una vez aquí, se almacenan para su posterior cadena de montaje.

1. El proceso comienza con la preparación de componentes. Todas las PCBs tienen su propio flujo, cada flujo es distinto y depende de los requisitos del cliente.
2. Posteriormente se realiza el etiquetado. El flujo está compuesto por una serie de operaciones, y cada operación tiene un número asociado, por ejemplo: operación nº10 -> preparación de componentes.
3. Seguidamente se inicia el proceso de soldadura con tecnología de montaje superficial (en adelante SMT), en el que se instalan diferentes componentes.
4. Una vez finalizada la soldadura SMT, se realiza un control de calidad mediante un sistema de inspección óptica automatizada (conocido en Celestica como AOI), sirve para verificar tanto la falta de componentes, como la polaridad y la calidad de la soldadura de forma rápida y automática. Además, se realiza otra inspección automática de rayos X (conocido en Celestica como AXI).
5. Una vez se verifica la calidad, se procede a soldar en OLA/SELECTIVA, un proceso de soldadura automática con nitrógeno que instala componentes más grandes.
6. Para asegurar la máxima calidad en el proceso, se lleva a cabo un proceso de lavado con agua osmotizada, con una calidad de agua de 1 μ S/cm, para eliminar cualquier tipo de impureza que haya podido adquirir la PCB en el proceso de soldadura.
7. EL siguiente paso es la soldadura manual, en el que diversos operarios instalan manualmente componentes especificados por el cliente.
8. De nuevo, se lleva a cabo el proceso de lavado.
9. Posteriormente, se aplica el adhesivo de forma manual.
10. Se realiza una prueba ICT, en el que se miden todos los componentes de un grupo, en este caso de la PCB, al mismo tiempo se detectan componentes defectuosos,

qué en caso necesario se cambian. Asimismo, se realiza una prueba de sonda voladora (FPT), que consiste en un sistema automatizado con una pequeña cantidad de sondas que “vuelan” alrededor de la parte superior e inferior de un PCB simultáneamente para hacer contacto con los puntos de prueba.

11. Una vez pasados los tests, se mueven a los puestos de conformado del revestimiento (Coating en Celestica), para después incorporar el cableado y el montaje mecánico.
12. Se lleva a cabo una prueba funcional del producto, que cuando se da el aprobado se envía a la inspección visual final de tarjetas de circuitos impresos, es decir de las PCBs.
13. Finalmente se empaquetan y se envían al destino requerido por el cliente.



Ilustración 7: Proceso de fabricación PCB.

Fuente: Celestica Valencia.

3.2 Proceso de osmosis

Para entender todo esto, es necesario saber qué es el proceso de ósmosis, el cual es un proceso físico por el que un solvente (en nuestro caso agua) se mueve a través de una membrana semipermeable hacia una solución con mayor concentración de solutos, con el objetivo de igualar las concentraciones de ambos lados (ilustración 8). La membrana

semipermeable permite el paso del solvente (agua) pero no de las moléculas de soluto (sales, minerales, etc.)

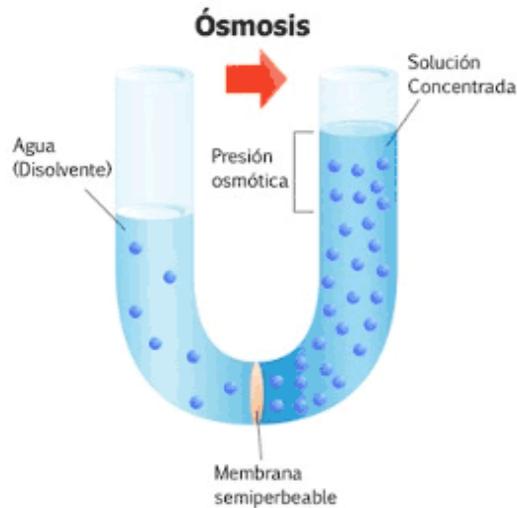


Ilustración 8: Proceso de osmosis

Fuente: Carbotecnia (2024)

Dentro de los procesos de ósmosis encontramos el de Ósmosis inversa (en adelante, OI).

Que requiere de una presión externa para forzar el agua a través de la membrana semipermeable. La presión necesaria depende de la concentración de soluto del agua de entrada y del tipo de membrana utilizada. Cuanto mayor sea la concentración de soluto, mayor será la presión requerida.

En la OI, se aplica presión al agua salada para forzarla a pasar a través de la membrana semipermeable. La membrana permite el paso del agua pura, mientras que retiene las moléculas de soluto. El agua purificada se obtiene en el lado permeado de la membrana, mientras que el agua con alta concentración de soluto se rechaza en el lado del concentrado (ilustración 9)

- Pretratamiento: El agua de entrada se pretrata para eliminar partículas y cloro que pueden dañar la membrana.
- Bombeo: El agua pretratada se bombea a la presión necesaria para superar la presión osmótica.

- Membrana: El agua presurizada pasa a través de la membrana semipermeable, que permite el paso del agua pura y retiene las moléculas de soluto.
- Permeado: El agua purificada (permeado) se obtiene en el lado permeado de la membrana.
- Concentrado: El agua con alta concentración de soluto (concentrado) se rechaza en el lado del concentrado.
- Post-tratamiento: El agua permeada puede ser sometida a un post-tratamiento para mejorar su sabor, pH o mineralización.

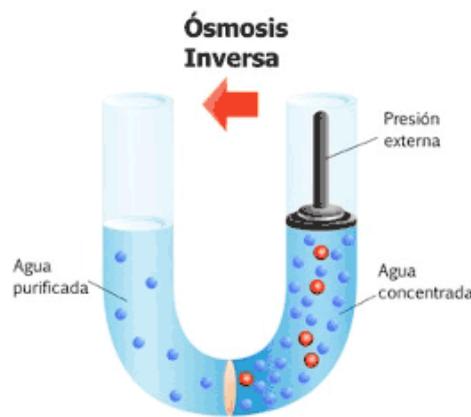


Ilustración 9: Proceso ósmosis inversa

Fuente: Carbotecnia (2024)

Las membranas de OI se clasifican según su tamaño de poro y su capacidad de retención de solutos. Los tipos más comunes son:

- Membranas de celulosa acetato: Son las más utilizadas y tienen un tamaño de poro de 0.1 a 0.5 micras.
- Membranas de poliamida: Son más resistentes al cloro y tienen un tamaño de poro de 0.01 a 0.1 micras.
- Membranas de nanofiltración: Tienen un tamaño de poro de 0.001 a 0.01 micras y pueden eliminar virus y bacterias.

En la ilustración 10 se muestra un esquema del interior de un filtro de ósmosis inversa.

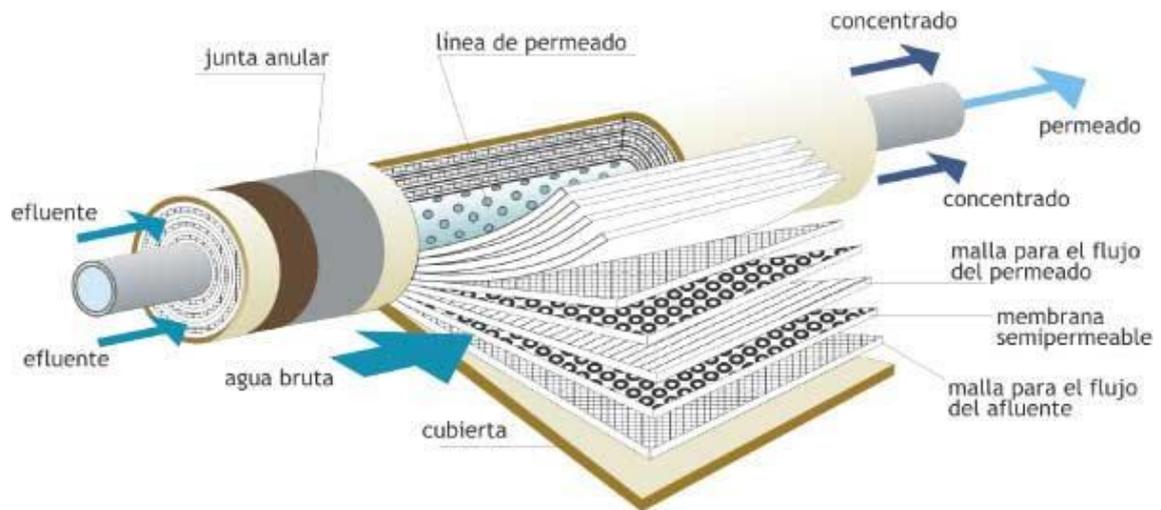


Ilustración 10: Filtro ósmosis inversa

Fuente: Toala (2017)

Los equipos de OI pueden ser de diferentes tamaños y capacidades. Se pueden encontrar equipos domésticos para uso individual, así como equipos industriales para grandes volúmenes de agua.

La OI tiene una amplia gama de aplicaciones en diversos sectores, algunas de las cuales se detallan a continuación:

1. Desalinización de agua de mar:

Es la aplicación más importante de la OI. Se utiliza para obtener agua potable a partir de agua salada. La OI permite producir agua potable a un costo relativamente bajo, lo que ha contribuido a aliviar la escasez de agua en muchas regiones del mundo.

2. Purificación de agua para la industria:

La OI se utiliza para obtener agua de alta pureza para las industrias farmacéutica, electrónica y alimentaria. El agua purificada por OI es esencial para la producción de medicamentos, productos electrónicos y alimentos de alta calidad.

3. Eliminación de contaminantes del agua:

La OI se utiliza para eliminar bacterias, virus, metales pesados y productos químicos del agua. Esta tecnología permite obtener agua segura para el consumo humano y para el riego de cultivos.

4. Reutilización de aguas residuales:

La OI se utiliza para tratar aguas residuales y convertirlas en agua apta para su reutilización. Esta tecnología permite reducir el consumo de agua potable y proteger el medio ambiente.

Ventajas:

El proceso de ósmosis inversa se utiliza de manera eficiente en la limpieza de tarjetas en empresas manufactureras del sector electrónico, al ofrecer agua potable a partir de fuentes saladas o salobres y al eliminar una amplia gama de contaminantes como bacterias, virus, metales pesados y productos químicos. Este método asegura un suministro seguro de agua para las operaciones de lavado, contribuyendo así a la calidad y fiabilidad de los productos electrónicos fabricados.

El uso de ósmosis inversa (OI) en la limpieza de tarjetas en empresas del sector electrónico no solo garantiza un suministro seguro de agua para operaciones críticas como el lavado, si no que presenta una serie de ventajas sostenibles que son cada vez más valoradas en entornos industriales. La OI se destaca como una tecnología relativamente sostenible por varias razones importantes.

En primer lugar, la ósmosis inversa no requiere el uso de productos químicos para purificar el agua, a diferencia de otros métodos de tratamiento que pueden depender de sustancias químicas potencialmente dañinas para el medio ambiente. Esto no solo reduce la cantidad de productos químicos utilizados en el proceso, asimismo disminuye la liberación de residuos químicos peligrosos al medio ambiente.

Además, el proceso de OI se puede optimizar mediante medidas que minimizan el consumo de energía y la generación de agua residual. Por ejemplo, se pueden implementar sistemas de recuperación de energía para reducir el consumo eléctrico, y tecnologías de reutilización de agua para minimizar la cantidad de agua desechada. Estas estrategias no solo ayudan a reducir los costos operativos a largo plazo, también ayudan a disminuir la huella ambiental general de las operaciones industriales.

Otra ventaja clave de la OI en términos de sostenibilidad es su capacidad para aprovechar fuentes de agua salada o salobre que de otro modo no serían utilizables para aplicaciones industriales o agrícolas. Al convertir estas fuentes en agua potable de alta calidad, se reduce la presión sobre los suministros de agua dulce, que son recursos naturales críticos y a menudo limitados en muchas regiones del mundo.

Además de sus beneficios ambientales y de recursos, la ósmosis inversa se destaca por su versatilidad y facilidad de uso. En cuanto a la versatilidad, la OI tiene una amplia gama de aplicaciones en diversos sectores, desde desalinizar agua de mar hasta purificar agua para la industria, eliminar contaminantes del agua y reutilizar aguas residuales. Esta flexibilidad la hace invaluable en entornos donde se requiere un suministro confiable de agua de alta calidad para múltiples propósitos.

En términos de facilidad de uso, los equipos de ósmosis inversa son relativamente fáciles de operar y mantener. No requieren de personal altamente calificado para su operación diaria, lo que reduce los costos de capacitación y mantenimiento. Esta accesibilidad facilita su implementación en una amplia gama de configuraciones industriales y comerciales, lo que contribuye aún más a su atractivo como solución para el tratamiento de agua en diversos contextos.

Por último, la implementación de la ósmosis inversa en el proceso de producción de agua también puede contribuir a alcanzar objetivos relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, específicamente aquellos relacionados con Agua Limpia y Saneamiento (ODS 6), Producción y Consumo Responsables (ODS 12), al promover prácticas de uso eficiente de recursos e Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9).

Desventajas:

La ósmosis inversa (OI), a pesar de sus múltiples beneficios, también presenta desafíos importantes a considerar. En términos de costos, su proceso puede ser relativamente costoso tanto en la adquisición inicial de equipos como en el funcionamiento continuo debido al consumo energético.

Esto se suma al impacto ambiental generado por la producción de agua residual y el consumo de energía, aunque su capacidad para producir agua potable segura y de alta calidad sigue siendo una ventaja fundamental. Las membranas utilizadas en la OI son sensibles a la suciedad y requieren un pretratamiento cuidadoso, además de tener una vida útil limitada que implica costos adicionales de mantenimiento.

Asimismo, es importante tener en cuenta que, si bien la OI elimina una amplia gama de contaminantes, no elimina todos los contaminantes ni gases disueltos como el CO₂, y puede eliminar minerales beneficiosos del agua. La viabilidad de la OI depende de las

características específicas del agua y las necesidades del usuario, por lo que se recomienda un análisis detallado antes de su implementación para optimizar su rendimiento y beneficios.

3.3 Metodología: Lean Seis Sigma

3.3.1 Metodología Lean

Lean Manufacturing es un sistema integrado socio-tecnológico de mejoramiento de procesos, cuyo objetivo principal es eliminar desperdicios o actividades que no agregan valor al cliente. Al eliminar desperdicios la calidad aumenta mientras que los tiempos y costos de producción disminuyen en muy poco tiempo. Tejeda, A. S. (2011).

¿Cómo funciona?

La metodología Lean se basa en cinco principios clave mostrados en la ilustración 11:

- Definir el valor: Identificar lo que realmente necesita y aprecia el cliente.
- Crear un flujo de valor: Mapear todos los pasos del proceso para eliminar actividades innecesarias y optimizar el flujo de trabajo.
- Establecer un sistema de flujo continuo: Eliminar interrupciones y cuellos de botella para que el proceso fluya sin problemas.
- Crear un sistema de "pull": Producir solo lo que el cliente demanda en el momento preciso.
- Buscar la perfección: Mejorar continuamente los procesos y eliminar cualquier tipo de desperdicio (Muda en japonés).

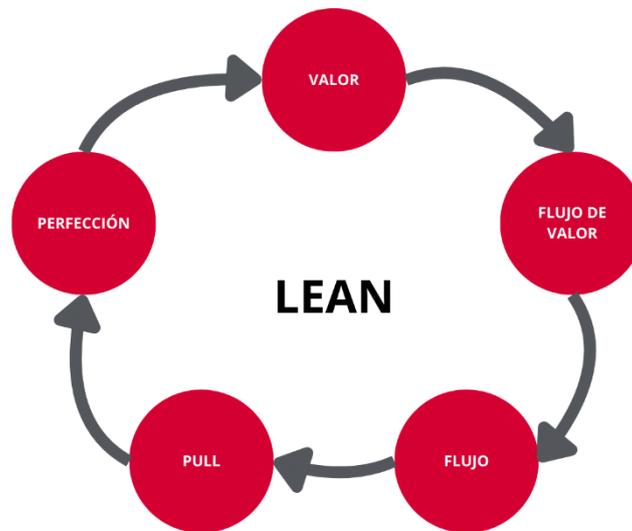


Ilustración 11: 5 principios del Lean

Fuente: Elaboración propia

¿Cuáles son sus beneficios?

El enfoque Lean, reconocido por su eficiencia y mejora constante, aporta numerosos beneficios a las empresas:

En primer lugar, al poner énfasis en las necesidades de los clientes, el Lean Manufacturing logra una mayor satisfacción del cliente al ofrecer productos o servicios de alta calidad que cumplen exactamente con sus expectativas. Esto se logra al eliminar actividades innecesarias y optimizar el uso de recursos, lo que a su vez reduce significativamente los costos operativos.

Además, el Lean Manufacturing impulsa el aumento de la productividad al optimizar los procesos, permitiendo así realizar más trabajo en menos tiempo y con menos recursos. Esta mejora en la eficiencia conduce a una notable mejora en la calidad de los productos o servicios, al enfocarse en la eliminación de errores y defectos.

Otro punto destacado es su capacidad para aumentar la flexibilidad operativa de una empresa. Como demuestra Clancy, R., et al (2023), al optimizar los procesos y recursos, las empresas pueden adaptarse ágilmente a cambios en la demanda del mercado, variaciones en los pedidos de los clientes o ajustes en el entorno empresarial. Esta

flexibilidad mejora la competitividad de la empresa y su capacidad para mantenerse ágil y eficiente en un entorno empresarial dinámico.

¿Cómo se aplica?

La metodología Lean se ejecuta mediante una variedad de herramientas y técnicas diseñadas para optimizar los procesos y mejorar la eficiencia en diferentes áreas de una organización. Entre estas herramientas se encuentran:

- 1- Mapas de flujo de valor: Representan gráficamente el proceso para identificar oportunidades de mejora al analizar el flujo de trabajo desde la llegada de materias primas hasta la entrega del producto final. Esto permite tomar decisiones informadas para la mejora continua al identificar cuellos de botella, tiempos de espera y actividades redundantes.
- 2- Kanban: Este sistema visual de gestión del trabajo se basa en tarjetas o señales visuales que representan tareas o procesos. Limita el trabajo en progreso y prioriza actividades según la capacidad y demanda para lograr un flujo de trabajo equilibrado y eficiente, además de identificar rápidamente problemas o retrasos.
- 3- 5S: Técnica de organización y limpieza del espacio de trabajo para mejorar la eficiencia y seguridad. Los cinco principios de las 5S (Clasificación, Orden, Limpieza, Estandarización y Disciplina) promueven un entorno de trabajo más ordenado y con procesos estandarizados.
- 4- Kaizen: Eventos de mejora continua que involucran a todos los empleados en la identificación de problemas, generación de ideas de mejora y ejecución de soluciones a pequeña escala. Fomenta una cultura de mejora continua y permite abordar rápidamente problemas emergentes.
- 5- Seis Sigma: Herramienta sistemática para identificar y resolver problemas mediante la recopilación y análisis de datos. Aunque efectiva para mejorar la calidad y reducir defectos, su implementación requiere un alto grado de capacitación y experiencia, siendo más compleja que otras herramientas Lean.

Al combinar estas herramientas de manera adecuada y adaptarlas a las necesidades específicas de cada proceso y organización, es posible aplicar la metodología Lean de manera efectiva para lograr mejoras sostenibles en la eficiencia, calidad y competitividad empresarial.

3.3.2 Seis Sigma

Para explicar qué es y en qué consiste esta metodología, se ha tenido en cuenta los artículos de Laoyan, S. (2024), y de González, M. N. (2023). Los cuales explican de manera clara y concisa los aspectos más relevantes de esta herramienta.

Seis Sigma, también conocido como Six Sigma en inglés (SS), es una metodología orientada a mejorar procesos que puede ser de gran ayuda para que las empresas perfeccionen sus operaciones. Su enfoque principal radica en lograr una uniformidad en los procesos con el propósito de reducir las variaciones en el producto final. En esencia, este método busca minimizar los defectos en un producto, proceso o servicio.

La filosofía de Seis Sigma indica que todos los procesos se pueden definir, medir, analizar, mejorar y controlar (comúnmente conocido como el método DMAIC):

- **Definir:** En esta fase se determina y establecen los objetivos del proyecto y el problema.
- **Medir:** Consiste en la recopilación de datos e información para la evaluación inicial del proceso.
- **Analizar:** Identificar la causa principal del problema a solucionar.
- **Mejorar:** Esta fase tiene como finalidad establecer una solución al problema identificado.
- **Controlar:** Aquí se debe asegurar que los avances conseguidos tras la implantación de las mejoras son correctos.

Según Seis Sigma, todos los procesos deben tener entradas y salidas. Las entradas son acciones que el equipo lleva a cabo, y las salidas son los efectos de estas.

Niveles Seis Sigma

Los niveles Sigma representan la variabilidad y la capacidad de un proceso para cumplir con las especificaciones requeridas. Cada nivel indica una cantidad específica de desviación estándar respecto a la media del proceso. Además, se utiliza el concepto de DPMO (Defectos Por Millón de Oportunidades) para evaluar la calidad del proceso.

- **1σ:** Este nivel muestra una alta variabilidad en el proceso, con aproximadamente 691,462 DPMO.

- **2 σ** : Aunque la variabilidad se reduce comparado con 1 Sigma, todavía existen problemas significativos en la consistencia del proceso, con alrededor de 308,537 DPMO.
- **3 σ** : Aquí la variabilidad del proceso es moderada, con mejoras notables en la consistencia y alrededor de 66,807 DPMO.
- **4 σ** : Se observa una reducción adicional en la variabilidad, mostrando un proceso más consistente con alrededor de 6,210 DPMO.
- **5 σ** : En este punto, la variabilidad del proceso es mínima y se produce dentro de las especificaciones con alrededor de 233 DPMO, lo que indica una calidad muy alta.
- **6 σ** : Representa el nivel máximo de calidad y consistencia en los procesos, con prácticamente solo 3.4 DPMO, lo que significa una producción prácticamente libre de defectos.

El objetivo principal de esta metodología es alcanzar un nivel de rendimiento que minimice la variabilidad y mantenga el proceso dentro de las especificaciones de calidad de manera consistente. El cálculo del DPMO es una métrica clave para evaluar el desempeño del proceso en términos de calidad y reducción de defectos.

Además de estos niveles de calidad, los cuales se enfocan en el producto, también existen unos niveles que miden la calidad de conocimiento de una persona en cuanto a Seis Sigma.

Cada nivel de certificación en Seis Sigma (ilustración 12) representa un compromiso creciente con la excelencia operativa y la mejora continua, brindando a las organizaciones las capacidades necesarias para resolver problemas, reducir costos y mejorar la calidad de manera sistemática y efectiva.

- 1- **Cinturón Blanco**: Este nivel representa la introducción al Seis Sigma y proporciona una comprensión básica de los conceptos y herramientas utilizados en este enfoque de mejora de procesos. Los profesionales con certificación de Cinturón Blanco suelen participar en proyectos de mejora bajo la supervisión de profesionales de niveles superiores.
- 2- **Cinturón Amarillo**: Los profesionales con certificación de Cinturón Amarillo tienen un conocimiento más profundo de las herramientas y técnicas de Seis

Sigma. Participan en proyectos de mejora de menor escala y apoyan a los equipos de proyectos dirigidos por Cinturones Verdes y Negros.

- 3- **Cinturón Verde:** Los Cinturones Verdes son individuos que han completado una capacitación formal en Seis Sigma y tienen experiencia en la aplicación de herramientas y métodos para la mejora de procesos. Dirigen proyectos de mejora de tamaño medio y actúan como enlace entre el equipo de proyecto y la alta dirección.
- 4- **Cinturón Negro:** Los Cinturones Negros son líderes de proyectos altamente capacitados en Seis Sigma, con un profundo conocimiento de las herramientas estadísticas y la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar). Son responsables de liderar proyectos de mejora de alto impacto y guiar a equipos multidisciplinarios hacia el éxito.
- 5- **Cinturón Máster Black:** Este nivel representa un alto grado de experiencia y dominio en Seis Sigma. Los cinturones Máster Black son líderes estratégicos en la implementación de Seis Sigma dentro de una organización. Proporcionan orientación, entrenamiento y soporte a los Cinturones Negros y Verdes, y juegan un papel crucial en la integración de Seis Sigma en la cultura organizacional.

Cada nivel de certificación en Seis Sigma representa un compromiso creciente con la excelencia operativa y la mejora continua, brindando a las organizaciones las capacidades necesarias para resolver problemas, reducir costos y mejorar la calidad de manera sistemática y efectiva.

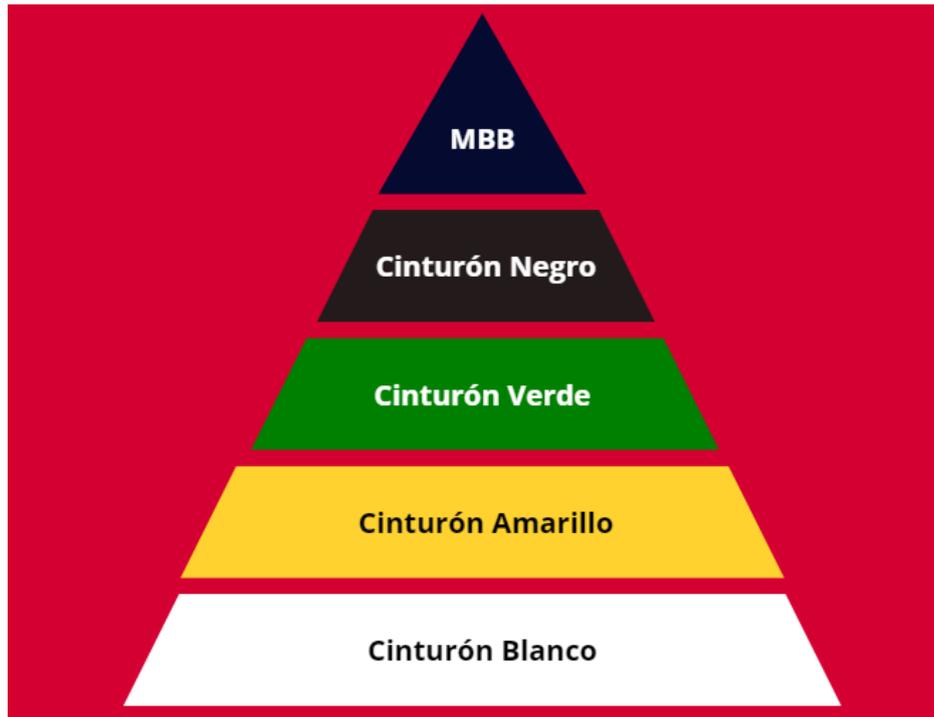


Ilustración 12: Cinturones Seis Sigma.

Fuente: Elaboración propia.

¿De dónde proviene el término Seis Sigma?

Seis Sigma proviene de la utilización de herramientas estadísticas. Sigma es la desviación típica de una distribución estadística y da una idea de la variabilidad de un proceso. El objetivo de esta metodología es reducir la variabilidad del proceso dentro de unos límites establecidos. En una distribución normal equivale a decir que solo se producen 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO).

Utiliza la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) para identificar y eliminar defectos en procesos.

Inicialmente utilizada en manufactura, Seis Sigma ha sido adoptada en diversos sectores como servicios financieros, salud y tecnología. Su enfoque basado en datos y herramientas estadísticas avanzadas permite mejorar la calidad, reducir costos y optimizar procesos, lo que lleva a mejoras significativas en la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente en las organizaciones que la implementan.

5 principios clave de 6Sigma

1. Poner foco en el cliente

2. Usar datos para detectar dónde se produce la variación
3. Mejora continua
4. Incluir a todos
5. Garantizar un ambiente flexible y receptivo

3.3.3 Lean Seis Sigma

El enfoque combinado de Lean Seis Sigma es ampliamente reconocido en la industria por su capacidad para mejorar la calidad, reducir costos y aumentar la eficiencia en diversos procesos organizacionales. Esta metodología integra los principios de Lean, centrados en la eliminación de desperdicios y la optimización del flujo de trabajo, con las herramientas analíticas y estadísticas de Seis Sigma, orientadas a la reducción de variabilidad y la mejora continua. Según Bhaskar, H. L. (2020), la implementación exitosa de Lean Seis Sigma ha demostrado resultados significativos en términos de aumento de la productividad, reducción de defectos y mejora en la satisfacción del cliente en organizaciones de distintos sectores industriales.

4. DISEÑO METODOLOGÍA SEIS SIGMA

Celestica tiene muy incorporada en su cultura la mejora continua. Como bien se ha comentado anteriormente, poseer una cultura lean hace que las empresas estén en continuo desarrollo, conllevando a estas a conseguir mayores logros y mejores resultados anuales. Esto se corrobora en el estudio realizado por

En este periodo de prácticas se ha diseñado una metodología Seis Sigma para la mejora continua de la planta de osmosis de la fábrica.

Para ello se utiliza la metodología DMAIC del seis sigma, que permitirá tener un enfoque mucho más amplio del problema y así abordarlo de la mejor manera posible.

4.1 Definir

En esta primera etapa deberemos definir de manera clara y concisa cual es el verdadero problema que hay con la planta de osmosis. Exponiendo, el correspondiente *Project Charter* para situar el objetivo del proyecto, así como el problema y las métricas.

También deberemos aportar datos de valor que puedan proporcionarnos un enfoque más amplio de la producción de agua osmotizada en la planta. Asimismo, deberíamos aportar un plan de proyecto para identificar datos numéricos y que pueda darnos un inicio de camino en cuanto a posibles soluciones y establecer el verdadero objetivo de nuestro proyecto.

4.2 Medir

Tras establecer objetivos y el problema principal, debemos medir y aportar los datos necesarios para estipular posibles causas del problema.

Sería necesario llevar a cabo un diagrama de proceso del servicio de agua osmotizada, así como de la propia planta de osmosis actual. Esto nos servirá como guía de las distintas ramas a las que este servicio ofrece agua osmotizada y quienes son los que la consumen mayoritariamente.

También, sería necesario realizar un gráfico de predicción para poder estimar el consumo futuro y hacer que este dato pueda servir como ayuda a la hora de tomar cualquier tipo de decisión en cuanto a soluciones.

4.3 Analizar

Tras medir todos los parámetros establecidos en el punto anterior, es necesario analizar cada uno de ellos. Para ello llevaremos a cabo un diagrama de Ishikawa, el cual es una herramienta muy útil para ubicar diferentes causas del problema principal.

Además, podríamos situar en un diagrama de Pareto las diferentes causas para ver el impacto que pueden generar en la fábrica y centrarnos en uno de ellos para abordarlo con una solución rápida y eficaz, que consiga mitigar gran parte del problema.

Otro análisis necesario a la vez que interesante es el de la red de agua de la Poble de Vallbona, la cual nos determinará la calidad del agua para los procesos de ósmosis inversa.

4.4 Mejorar

Tras realizar los diagramas de Ishikawa y Pareto, tendremos una visión clara de causas y el problema. Aquí será el momento de elegir la solución a la causa o causas que más impacto puedan generar al problema, y se podrá en marcha.

4.5 Controlar

Tras implantar la mejora, será necesario llevar a cabo un control para asegurar que la implantación de esta metodología ha sido correcta y efectiva. En Celestica monitorizamos la gran mayoría de máquinas con SCADA, para tener un control a tiempo de real del estado de estas. Lo ideal sería conseguir introducir los parámetros indicados en la mejora para poder controlar que la planta funciona correctamente.

5. RESULTADOS APLICACIÓN SEIS SIGMA

5.1 Definir

5.1.1 Project Charter

¿Cuál es el problema?

El consumo de agua osmotizada en Celestica Valencia ha ido en aumento con la incorporación de nuevas líneas de producción y maquinaria que requiere de este servicio.

Por tanto, la producción de la planta actual (10l/min), el tanque intermedio de unos 1.700L más los 5 tanques de 2000L, no es suficiente (consumimos 20l / min) y para evitar que se acaben las existencias (en alrededor de 19hrs) debemos comprar de manera externa (aproximadamente 2.000€ mensuales) para no parar la producción. Esto supone un gasto bastante elevado y genera muchos gases efecto invernadero debido a su transporte, que debe ser solucionado lo antes posible.

Para ello es preciso llevar a cabo una profunda investigación para así poder encontrar soluciones para mejorar el proceso de producción de agua osmotizada y siempre garantizando la mejor calidad de nuestro producto, el menor impacto medioambiental y el mayor ahorro económico.

Objetivo del proyecto:

Evitar quedarnos sin abastecimiento propio de agua osmotizada, respetando el medio ambiente y maximizando el ahorro económico.

Métricas:

En la tabla 1 se muestran las métricas que tomaremos para este proyecto.

Tabla 1: Métricas

Métrica	De:	Hasta:	Fecha Objetivo:
Primario: Producción total	10 l / min	30 l / min	AGOSTO 2024
Secundario: Económico	45.000 €/año	12.000 €/año	ENERO 2025

Ahorro del proyecto:

Ahorro total anual: 20.000€ / 40.000€

5.1.2 Datos de apoyo para el proyecto

El siguiente gráfico (Ilustración 13), muestra los diferentes equipos que se abastecen de este servicio.

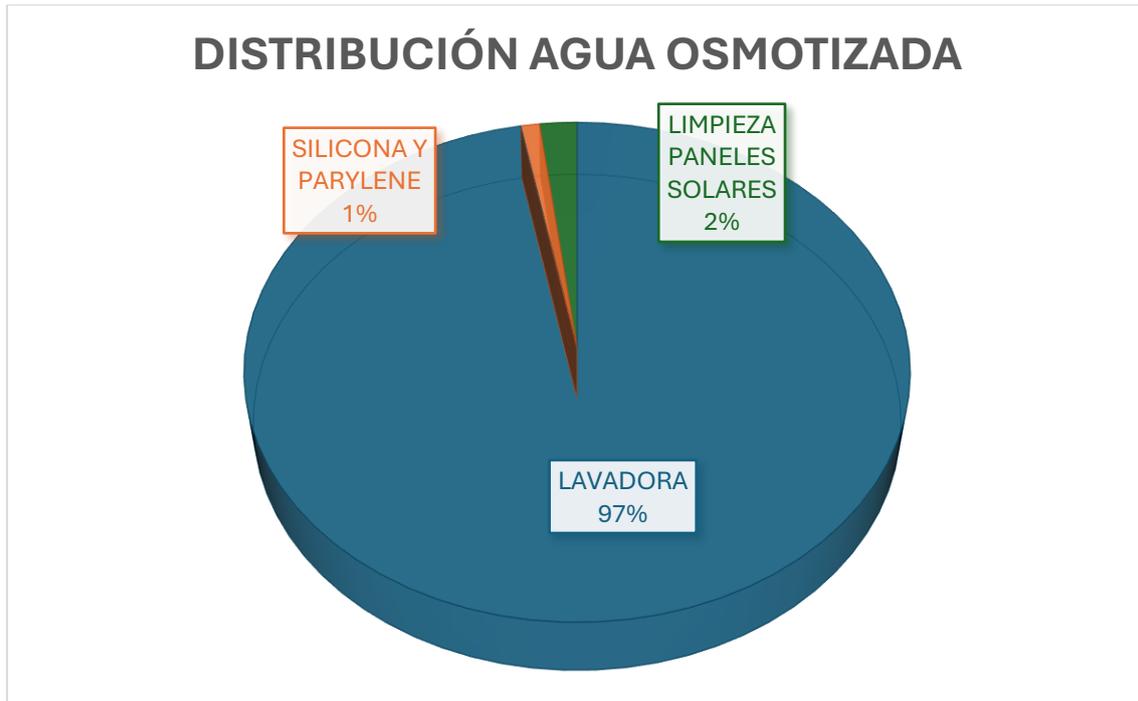


Ilustración 13: Distribución agua osmotizada.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la ilustración 13, el 97% de la producción de la planta de osmosis va destinada a la lavadora de PCBs. que consume 20 l/m cuando está en funcionamiento.

Luego un 2% destinado al lavado de paneles solares, y un 1% para silicona y parylene.

Además, en la ilustración 14 podemos observar el consumo general desde el segundo semestre de 2023 y los primeros 4 meses de 2024:

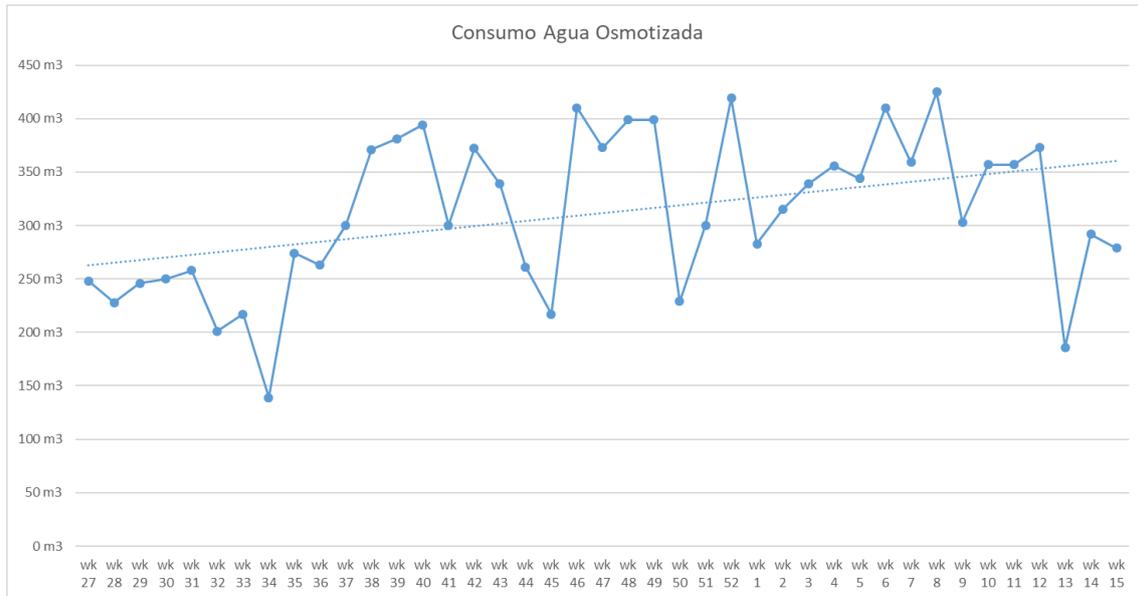


Ilustración 14: Consumo agua osmotizada

Fuente: Elaboración propia

Como muestra este gráfico, en este periodo Celestica ha experimentado un aumento en el consumo de agua osmotizada. Que, siguiendo la tendencia, es bastante probable que en un futuro este servicio sea cada vez más necesario.

5.1.3 Resumen proyecto Seis Sigma

Oportunidades:

Aumentar la producción, supondría un gran ahorro económico y medioambiental, al no tener que depender de externos para nuestra cadena de producción.

Alcance:

Mejorar sistema de producción de agua osmotizada

Soporte y recursos necesarios:

- Podría ser necesaria una inversión

Límites del proyecto:

- La capacidad de tomar datos relevantes podría ralentizar el proceso de análisis
- Existe riesgo de que el ROI sea demasiado alto.

5.1.4 Plan de proyecto

Hoy en día, la fábrica consta de una planta de generación de agua osmotizada (10l / min), que proporciona el servicio a distintas máquinas y puntos de agua (parylene, puesto de lavado, lavadora, puntos de agua en producción).

Por una parte, la planta estaba diseñada para dar suministro de agua osmotizada a razón de 10 l/min. Por lo que, suponiendo que la fábrica necesite un continuo abastecimiento, el consumo únicamente de la lavadora de PCBs es de 20 l/min y, además, con vistas a futuro de incorporación de nuevas líneas de producción este consumo podría aumentar.

Por tanto, suponiendo un consumo continuo de 20 l/min:

DATOS

- 5 tanques 10.000L tanque agua osmotizada.
- 1.700L tanque intermedio.
- Consumo de 20m³/min
- Producción 10m³/min

$$\text{Producción} - \text{Consumo} = \text{Consumo Real}$$

$$10l / \text{min} - 20m^3 / \text{min} = | - 10l / \text{min} |$$

$$\text{Tanques} / \text{consumo real} = \text{tiempo en consumir todo}$$

$$\frac{11.700l}{10l / \text{min}} = 1170 \text{ minutos} = 19,5 \text{ horas} = 0,8125 \text{ días}$$

Lo que quiere decir que, en cosa de 1 día, nuestra producción no da abasto y se depende de externos para continuar con la producción.

La posible solución es aumentar la capacidad de producción de la propia planta. Para ello sería necesario hacer un estudio y comparar ofertas de distintos proveedores que puedan satisfacer nuestras necesidades.

El objetivo principal es evitar quedarnos sin abastecimiento propio de agua osmotizada, respetando el medio ambiente y maximizando el ahorro económico.

5.2 MEDIR

5.2.1 Análisis preliminar de la red de agua (Pobla de Vallbona)

Realizar un análisis preliminar de la red de agua es un paso crucial antes de la implantación de una planta de osmosis, ya que permite evaluar diversos aspectos fundamentales que impactarán en el diseño y funcionamiento efectivo de la planta.

En primer lugar, este análisis proporciona información detallada sobre la calidad del agua en la red, incluyendo la presencia de contaminantes, niveles de salinidad y otros parámetros importantes. Conocer estas características es esencial para determinar el tipo de tecnología de osmosis más adecuada, ya sea inversa o directa, y para diseñar los sistemas de pretratamiento necesarios para garantizar un rendimiento óptimo y prolongar la vida útil de las membranas de osmosis.

Además, el análisis preliminar permite evaluar la disponibilidad y la capacidad del suministro de agua en la red. Es crucial conocer la demanda de agua y su variabilidad a lo largo del tiempo para dimensionar correctamente la planta de osmosis y asegurar un suministro adecuado de agua tratada según las necesidades del proceso o del consumo humano.

Otro aspecto importante es la evaluación de la infraestructura existente, como las tuberías y sistemas de distribución de agua. Detectar posibles fugas, obstrucciones o problemas de presión en la red es esencial para planificar las modificaciones necesarias y garantizar un flujo de agua estable y eficiente hacia la planta de osmosis.

Además de los aspectos técnicos, el análisis preliminar también considera factores económicos y ambientales. Se evalúan los costos asociados con la implementación y operación de la planta de osmosis, así como los beneficios económicos a largo plazo en términos de ahorro de agua y energía. Asimismo, se analizan los impactos ambientales, como la generación de agua residual y la disposición adecuada de los subproductos del proceso de osmosis.

Por lo tanto, se llevó a cabo un análisis preliminar de agua adjunto en el anexo 1 para determinar la conductividad y calidad del agua.

5.2.2 Diagrama de flujo

Actualmente en Celestica Valencia y como se muestra en la ilustración 15, existe una planta de osmosis inversa bifase, lo que quiere decir, que hay 2 procesos de ósmosis para generar agua osmotizada a razón de 10 litros/minuto y con una calidad de $1\mu\text{S}/\text{cm}$.



Ilustración 15: Planta de Ósmosis Celestica

Fuente: Elaboración propia

El proceso comienza extrayendo agua de la red de la Poble de Vallbona. Esta agua previamente analizada no es apta para el proceso de lavado. Aquí empieza el proceso de ósmosis actual para conseguir transformar el agua de la red, en agua apta para el lavado de tarjetas:

- 1- Primero mediante una bomba a presión, el agua procedente de la red viaja a través de la tubería hasta pasar por 3 filtros, tal y como se muestra en la ilustración 16 que se encargan de eliminar cualquier tipo de elemento sólido.



Ilustración 16: Filtros partículas sólidas

Fuente: Elaboración propia

- 2- Posteriormente se realiza el proceso químico, mostrado en la ilustración 17 para purificar el agua, es decir, eliminar el cloro, sal, cal, o cualquier componente que altere el pH.



Ilustración 17: Pretratamiento químico. Descalcificador.

Elaboración propia

- 3- Tras purificar el agua comienza la primera etapa de ósmosis en la ilustración 18 se muestra dónde se produce. Este proceso se lleva a cabo para reducir la conductividad del agua en menos de $30 \mu\text{S}/\text{cm}$. El agua resultante se almacena en un tanque intermedio de unos 60L



Ilustración 18: 1ª Etapa osmosis inversa.

Fuente: Elaboración propia

- 4- El agua a $30 \mu\text{S}/\text{cm}$ no es apta para el lavado, por lo que se realiza una segunda etapa de ósmosis inversa en la máquina mostrada en la ilustración 19 para conseguir disminuir la conductividad del agua en $1 \mu\text{S}/\text{cm}$.



Ilustración 19: 2ª Estapa ósmosis inversa.

Fuente: Elaboración propia.

- 5- El agua residual se almacena en tanques residuales (ilustración 20), que posteriormente se vierten en camiones cisterna que llevan esta agua al lugar correspondiente.



Ilustración 20: Tanque agua residual planta de ósmosis.

Fuente: Elaboración propia.

- 6- Finalmente, el agua resultante se introduce en el tanque intermedio de 1700L, que una vez lleno, la planta de ósmosis sigue produciendo agua que almacenará en varios tanques de 1.060 litros, dando como resultado un total de 11.700 L (ilustración 21).



Ilustración 21: Tanques agua osmotizada:

Fuente: Elaboración propia.

Para verlo de manera visual se ha llevado a cabo un diagrama de flujo (ilustración 22) de la máquina actual:

La etapa “Pretratamiento” corresponde a los pasos 1 y 2. Se muestran 2 fases de ósmosis inversa mencionados en los pasos 3 y 4. Y se muestra el almacenamiento total de 11.700 litros que se mencionan en el paso 6.

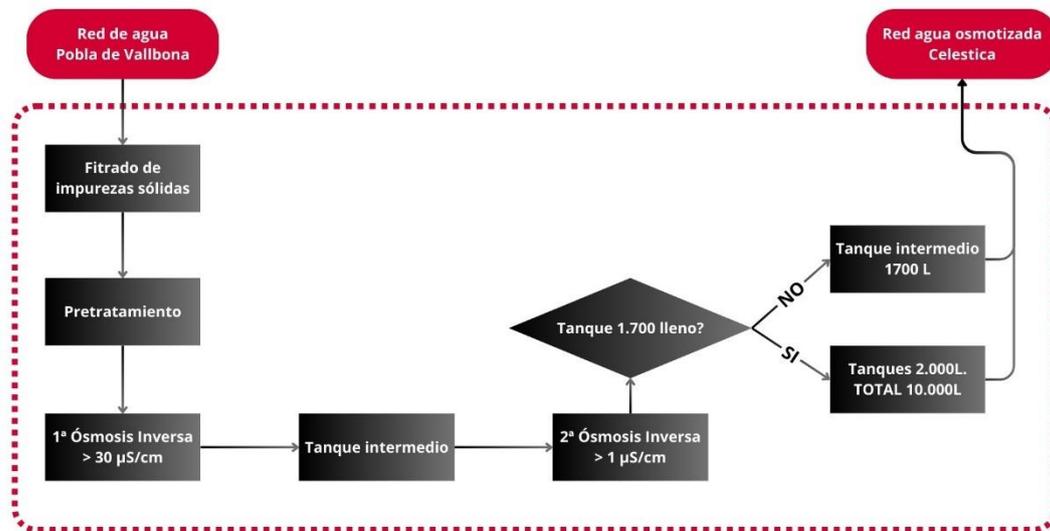


Ilustración 22: Diagrama de flujo planta de ósmosis

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Equipos que alimentar

Como se ha descrito, la producción de agua osmotizada se destina a diferente maquinaria y puntos en la fábrica:

- Lavadora (ilustración 23): Consume el equivalente al 99% de la producción de la planta (20 l/m), sirve para mejorar la calidad de las PCBs al eliminar cualquier impureza que haya podido adherirse en los pasos de montaje anteriores.



Ilustración 23: Lavadora PCBs Celestica

Fuente: Elaboración propia.

- Parylene y silicona: Aquí se aplican diferentes tipos de adhesivos a las tarjetas, que son lavadas de forma manual en la propia sala, al ser PCBs con diseños muy específicos y con un volumen de producción relativamente bajo.



Ilustración 24: Silicona y parylene Celestica

Fuente: Elbaboración propia.

- Limpieza de paneles solares: 2 veces al año se lleva a cabo el proceso de limpieza de paneles solares que se muestran en la ilustración 25. Se utiliza agua osmotizada debido a las manchas de cal que deja el agua procedente de la red local.



Ilustración 25: Paneles solares Celestica

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Estimar los efectos de consumo

Tras analizar los consumos históricos, en la ilustración 26 se puede observar un diagrama de predicción de consumo:

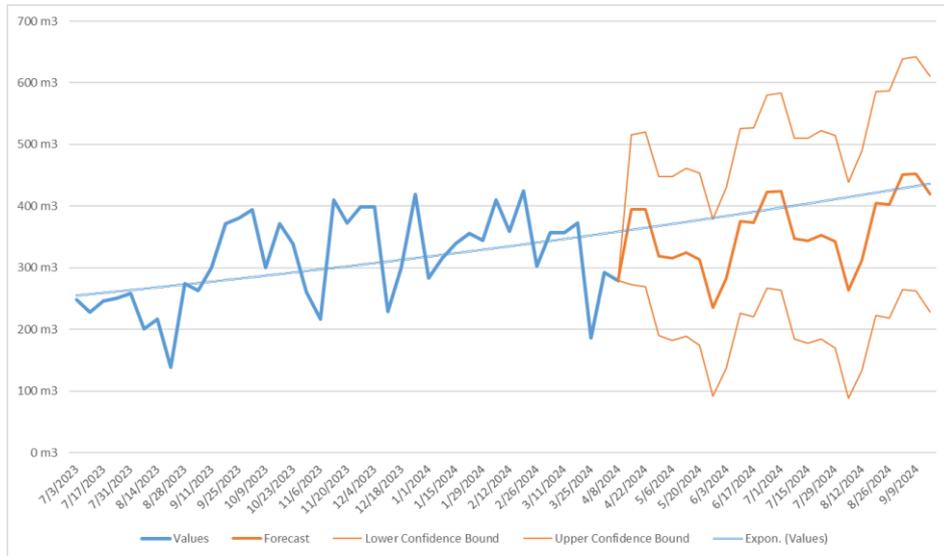


Ilustración 26: Predicción consumo agua osmotizada

Fuente: Elaboración propia

El cual analiza los datos históricos y lleva a cabo un tramo superior optimista y un tramo inferior pesimista, que haciendo una media ponderada aparece la predicción media que es la línea intermedia.

Por tanto, y como resultado podemos observar que la línea de tendencia va en aumento, lo que puede indicar que, en un futuro, el problema puede agravarse.

5.3 ANALIZAR

5.3.1 Diagrama Ishikawa

También conocido como diagrama causa-efecto o espina de pescado, es una herramienta visual que es utilizada para identificar y analizar las causas de un problema concreto. Es muy útil en ámbitos de calidad y la mejora continua de procesos, ya que permite visualizar las relaciones entre las causas potenciales y el efecto.

Consta de 3 elementos principales que se muestran en la ilustración 27:

- Cabeza: Representa el problema o efecto principal que se desea analizar.
- Espinas principales: Son las categorías principales que agrupan las causas potenciales del problema. Se representan como las ramas que salen de la cabeza del diagrama.

- Espinas Secundarias: Son las subcategorías que se desprenden de las espinas principales y representan las causas más específicas del problema.

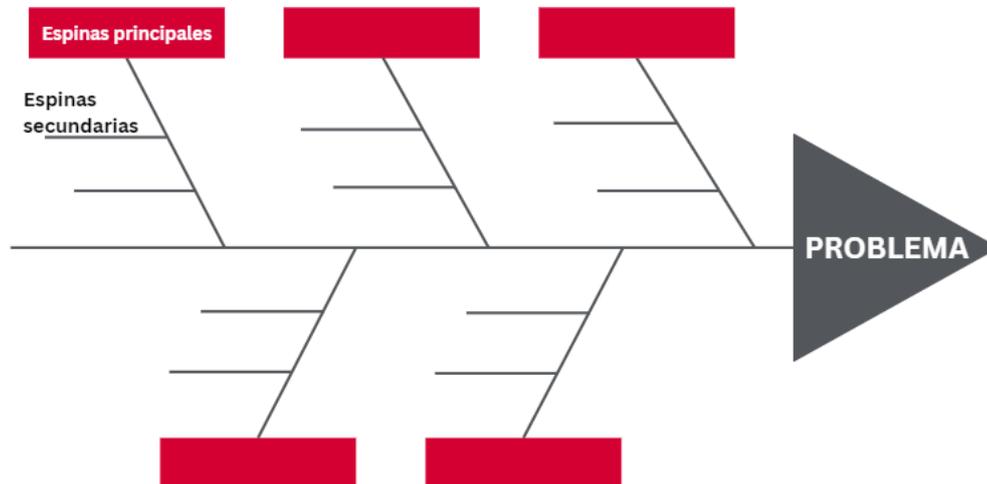


Ilustración 27: Esquema diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

Para crear un diagrama de Ishikawa se deben seguir una serie de pasos:

1. Definir el problema: Identificar de manera clara y concisa el problema.
2. Lluvia de ideas: Sesión de lluvia de ideas de equipo para identificar las posibles causas del problema.
3. Agrupar las causas: Clasificar las causas identificadas. Existen diferentes categorías dependiendo del sector que abordemos:
 - a. Mano de obra, métodos, materiales, medio ambiente y maquinaria (Manufacturera)
 - b. Políticas, procedimientos, personal, provisiones (Administración y servicios)
 - c. Comunicación, conducción, captación, recursos.
4. Refinar las categorías: Desarrollar las causas principales identificando subcategorías más específicas (espinas secundarias o terciarias).
5. Analizar el diagrama: Finalmente revisamos el diagrama y buscamos entender las relaciones de las causas con el problema principal.

Aplicando lo anterior, hemos desarrollado un diagrama de Ishikawa (ilustración 28) para identificar de manera visual las posibles causas del problema:

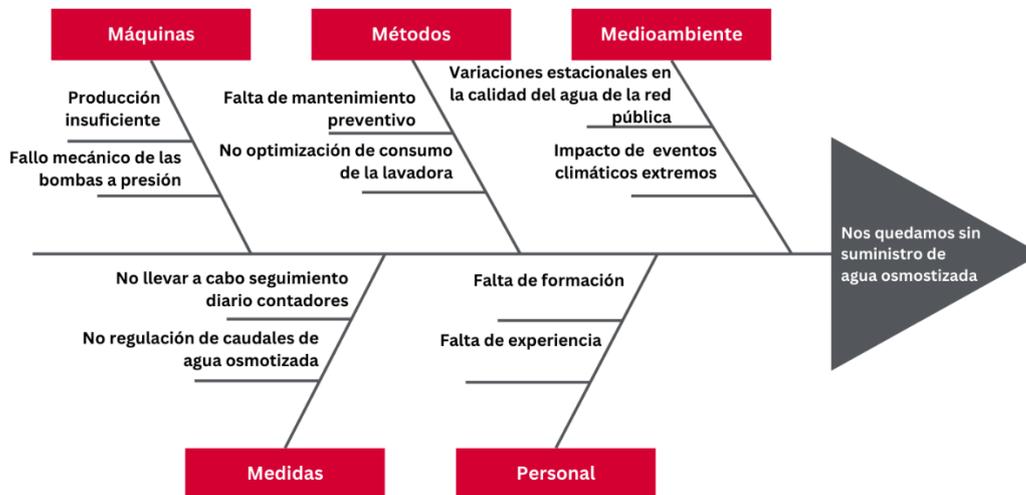


Ilustración 28: Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta clave en la gestión de calidad y la toma de decisiones estratégicas, permitiendo identificar y priorizar los problemas o causas más significativos que afectan a un proceso o sistema. Su enfoque en la regla del 80/20, donde el 80% de los efectos provienen del 20% de las causas, ayuda a focalizar los esfuerzos en resolver los problemas que tienen el mayor impacto. Este método se basa en el principio descubierto por Vilfredo Pareto, y su aplicación se extiende a diversas áreas como la mejora continua, la gestión de proyectos y la resolución de problemas operativos.

Investigaciones como el estudio de Gorener, A., & Toker, K. (2023), resaltan la efectividad del diagrama de Pareto en la mejora de procesos industriales al priorizar y abordar los problemas más críticos.

Esto se complementa con el análisis de Navarrete, C. V., & Gutiérrez, O. P. (2017)., donde se enfatiza la importancia de utilizar herramientas como el diagrama de Pareto para optimizar la calidad y eficiencia en la producción.

En conjunto, estas investigaciones respaldan la relevancia y efectividad del diagrama de Pareto como una herramienta esencial en la gestión de calidad y la mejora continua de procesos.

Para realizar un diagrama de Pareto debemos seguir una serie de pasos:

1. Recopilar datos: Recopilamos datos del problema que debemos abordar. En nuestro caso, los datos provendrían del diagrama de Ishikawa.
2. Clasificación y ordenamiento: Los datos que se obtienen se ordenan y se clasifican de mayor a menor frecuencia o impacto.
3. Creación del diagrama: Con los datos obtenidos se genera una gráfica de barras verticales.

Por lo tanto, y siguiendo los pasos mencionados anteriormente se ha desarrollado el diagrama de Pareto:

Tabla 2: Datos diagrama de Pareto:

CAUSAS	FRECUENCIA
Producción insuficiente	80
Fallo mecánico de las bombas de presión	25
No optimización de consumo lavadora	20
Fallo de mantenimiento preventivo	15
Variaciones estacionales en la calidad del agua de la red pública	15
No llevar a cabo seguimiento de contadores diario	15
Impacto de eventos climáticos extremos	10

No regular caudal de agua osmotizada	5
Falta de formación	2
Falta de experiencia	1

Tras analizar las causas y ordenar los datos de mayor a menor por frecuencia, mostraremos en la ilustración 29 el diagrama de Pareto:

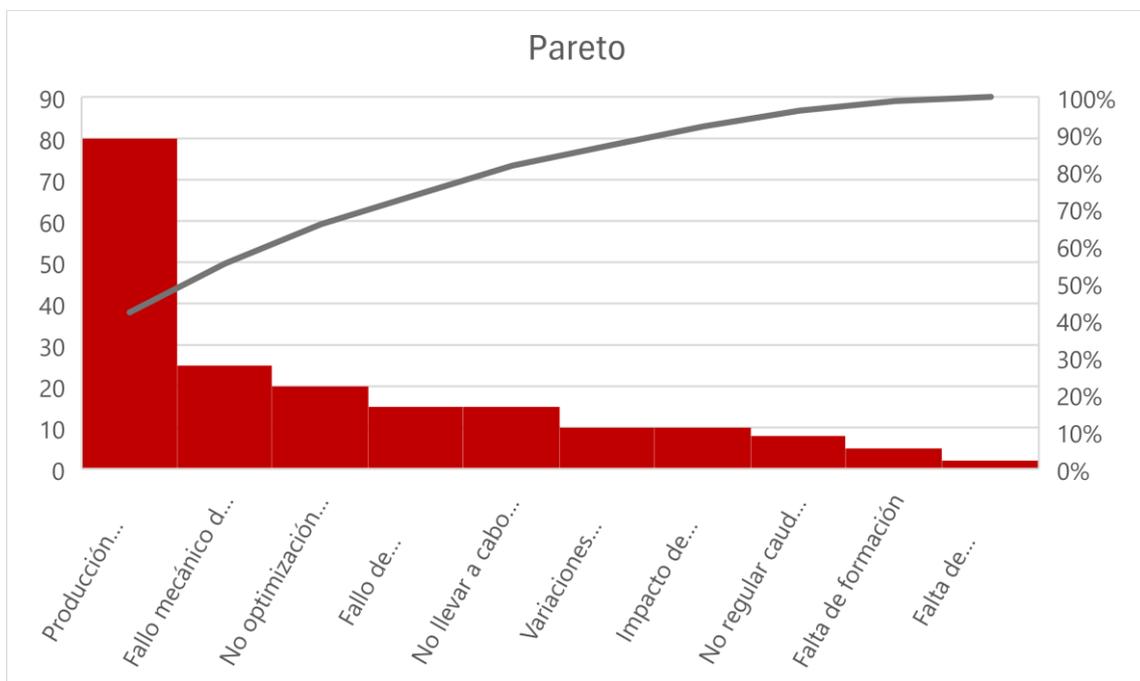


Ilustración 29: Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia

5.4 MEJORAR

Una vez analizadas las causas principales del problema, toca centrarse en la que más impacto genera. Para ello en la ilustración 30 se visualiza de nuevo el diagrama de Pareto, resaltando la causa que más impacto produce, y en la cual se centrarán los esfuerzos:

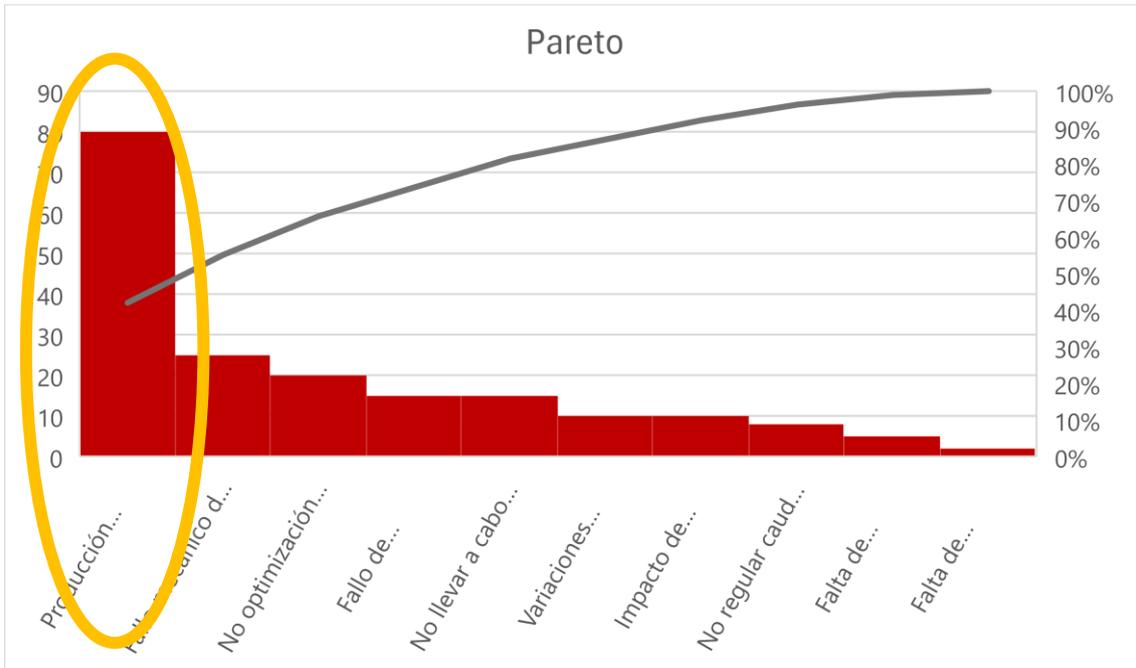


Ilustración 30: Causa principal diagrama Pareto

Fuente: Elaboración propia

Tras analizar el diagrama de Pareto, se puede observar que la causa principal del problema es la producción insuficiente de la actual planta de ósmosis de Celestica.

Por lo cual, se ha decidido instalar una planta de ósmosis paralela a la actual, para así poder generar 30 l/min de este servicio (10 l/min actual + 20 l/min nueva), con posibilidad de aumentar a 40 l/min.

Seguidamente se establecen las necesidades que ha de tener la nueva planta de ósmosis:

Tabla 3: Necesidades planta de ósmosis nueva.

Producción de agua (l/min)	20 l/min
Conductividad del agua generada ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Almacenamiento (L)	2.000 L
Control a tiempo real (SCADA)	SI

Tras propuestas las necesidades de la nueva planta, se lleva a cabo un procedimiento interno de Celestica, una RFQ (*Request for quote*), a diferentes proveedores, que por protección de datos de las de las empresas no se mencionarán los nombres, dando como resultado:

- Proveedor 1, con 30 años de experiencia, es un grupo de empresas especializado en tratamientos de aguas con sede en Alicante y Murcia. Su enfoque integral va más allá de suministrar instalaciones de tratamiento de agua, ofreciendo servicios que abarcan desde la visita al cliente y análisis del agua hasta el diseño y fabricación de plantas llave en mano. Destacan por su capacidad de diseñar la mejor solución de tratamiento según las necesidades específicas del cliente, manteniendo un precio competitivo. Además, su equipo se encarga de la instalación, puesta en marcha y seguimiento continuo de las plantas, asegurando su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo.

En el caso de Proveedor 1, su propuesta es muy atractiva, tal y como se muestra en la tabla 4, la inversión que deberíamos realizar es de unos 54.891€ para instalar una planta de ósmosis paralela a la actual.

Tabla 4: Oferta económica Proveedor 1.

PLANTA DE TRATAMIENTO OSMOSIS CON PRETRATAMIENTO doble etapa con desmineralizacion. 20 lts/min (ampliable con 2 modulos osmosis adicionales)		UNIDADES
Equipos	1 Ud. Filtro proteccion osmosis automatico • Q trabajo = 1.9m3/h • Di ametro 440 mm/Altura 1800 mm • Medio decolorador y protector de membranas del agua de red	1
Equipos	1 Ud. Filtro descalcificador calidad industrial con tanque de salmuera • Q trabajo = 1.9 m3/h • Di ametro 330 mm/Altura 1600 mm • 75 litros de resina descalcificadora	1
Equipos	1 Ud. Filtro microfiltracion • Q trabajo = 1.6 m3/h • Di ametro 259 mm/Altura 1200 mm • Cartuchos filtrantes industriales 5 micras	2
Equipos	Bomba de alta presion osmosis en acero inoxidable GRUNDFOS	2
Equipos	Microfiltracion multicartucho a 5 micras	2
Equipos	ETAPA 1 - Planta de osmosis industrial IMEDAGUA • Q trabajo max=1500 lts/h • Planta completamente montada y lista para funcionar • N° membranas 6 Ud. 40x40 Dow o similar	1
Equipos	ETAPA 2 - Planta de osmosis industrial IMEDAGUA • Q trabajo max=1200 lts/h • Planta completamente montada y lista para funcionar • N° membranas 6 Ud. 40x40 Dow o similar	1
Equipos	Equipo desmineralizacion doble etapa 1200 lts/h lecho mixto recambiable 50 litros	
Equipos	Equipos de dosificacion anticrustante para membranana • Deposito 120 litros • Bomba dosificadora automatica 6 l/h	1
Equipos	Deposito 2000 litros almacenamiento agua tratada (incluye boyas de nivel para arranque/paro, instalacion y unificacion con la planta existente)	1
Equipos	Deposito 2000 litros almacenamiento agua osmosis 1 para recombeo (incluye bomba de alimentacion osmosis 2)	1
Equipos	Cuadro eléctrico de control y maniobra de todos los equipos	1
Equipos	SCADA de control y archivo de los siguientes valores • Consumo de agua de entrada osmosis • Conductividad salida osmosis • Caudal generado de agua osmotizada • Control de apagado y encendido planta • Consumo eléctrico Kw/h planta	1
Trabajo	Montaje y conexonado eléctrico completo en el bastidor en las instalaciones de IMEDAGUA	1
Trabajo	Montaje y conexonado hidráulico completo en el bastidor en las instalaciones de IMEDAGUA	1
SERVICIOS IMEDAGUA		
Servicios	Transporte de los equipos a destino (descarga y recepcion por parte del cliente)	Incluido
Servicios	Puestan en marcha de la planta por los tecnicos de IMEDAGUA en destino	Incluido
Servicios	Pruebas electricas e hidraulicas en fabrica	Incluido
Servicios	Planos e informacion tecnica de la instalacion	Incluido
Servicios	Manual de operacion y mantenimiento	Incluido
Servicios	Conexonado de la planta y los filtros de pretratamiento en destino por un fontanero aportado por el cliente (se enviara un diagrama de conxion y sera asistidos por el tecnico enviado de IMA WATER)	Incluido
Presupuesto planta tratamiento de osmosis		54.981 €

- Proveedor 2: Destaca por ser especialista en el tratamiento del agua, contando con un equipo humano compuesto por ingenieros, técnicos especialistas y personal de

mantenimiento altamente capacitado. Su enfoque abarca todas las etapas del tratamiento del agua, desde el diseño hasta el servicio post-venta, ofreciendo soluciones adaptadas a las necesidades de sus clientes. Entre sus áreas de experiencia se encuentran la desalinización por ósmosis inversa, el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales, la potabilización, la filtración, la descalcificación, el intercambio iónico y más.

Destacan por ensamblar sus propios productos y ofrecer soluciones llave en mano, respaldadas por un sólido servicio de asistencia técnica postventa, asesoramiento y asistencia durante todo el proceso. Sus servicios abarcan desde la instalación de válvulas hasta el montaje de equipos técnicos como los grupos de presión, sistemas para piscinas, trasvases y bombeos residuales, cubriendo así las necesidades de diversos sectores como residencial, urbano e industrial en procesos de ósmosis inversa, filtración, descalcificación, potabilización y desmineralización del agua.

En este caso, la oferta también parece ser bastante oportuna (tabla 5), sumando un monto de 53.679,23 €, para poder instalar la planta de ósmosis paralela a la actual:

Tabla 5: Oferta económica Proveedor 2.

Item	Descripción	Ud.	Precio NETO/Ud.	Importe neto
1	Filtro Cintropur NW32 c/ soporte (según punto 4.1)	1	146,98 €	146,98 €
2	Dosificación producto acondicionamiento (según punto 4.2)	2	353,4 €	706,80 €
3	Osmosis inversa OID28 para 2,4 m ³ /h de permeado con flushing y limpieza química (según punto 4.3)	1	47.549,17 €	47.549,17 €
4	Sensores de caudal (según punto 5)	3	608,7 €	1826,28 €
5	Instalación de los equipos ofertados (precio aproximado a falta de ver instalación definitiva)	1	2.350 €	2.350 €
6	Puesta en marcha	1	800 €	800 €
7	Productos químicos (una garrafa de producto químico necesario para la puesta en marcha sosa,dispersante,bisulfito)		300 €	300 €
Precio TOTAL (sin IVA)				53.6769,23 €

5.4.1 Elección de la mejora

Para elegir cuál de las 2 ofertas es la elegida, se lleva a cabo en la tabla 6, la comparativa de las ofertas. Esto permitirá tener ambas opciones a vista plena y así diferenciar los aspectos más importantes que ayudarán a tomar la decisión correspondiente.

Tabla 6: Comparativa ofertas

OFERTANTE	GENERACIÓN DE AGUA 20 l/min	Calidad 1 µs/cm	Precio	Control en SCADA
PROVEEDOR 1	X	X	54.891,00 €	SI
PROVEEDOR 2	X	X	53.679,23 €	NO

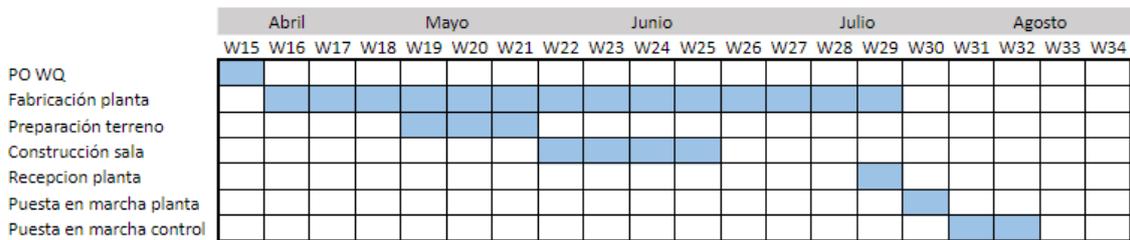
Tras analizar ambas ofertas, la opción que se ha escogido es la de WQIndustrial. La razón se basa en precio y que, aunque no aporte el control en SCADA, poseemos personal capacitado para llevar a cabo esa tarea.

5.4.2 Plan de acción

Tras elegir la mejora, se debe establecer un plan de acción que sirva de guía en las próximas semanas de proyecto.

Por lo tanto, en la tabla 7 se muestra dicho plan:

Tabla 7: Diagrama de Gant fabricación planta de ósmosis



En la semana 15, se lanza la orden de compra al proveedor, en el caso de Celestica al proveedor 2 para proceder con la siguiente tarea, que es la de fabricación de planta.

A su vez en la semana 19 -20 -21, se prepara el terreno.

Tras esta preparación, se inicia el proceso de construcción.

Una vez finalizada la tarea de fabricación, se lleva a cabo la puesta en marcha y seguido la puesta en marcha del sistema de control (SCADA).

Siguiendo el plan de acción, para la semana 33 del año 2024 la planta de ósmosis estará en funcionamiento para Celestica.

5.4.3 Retorno de la inversión (ROI)

Para conocer qué rentabilidad tendrá el proyecto, se lleva a cabo el ROI, que es un indicador financiero que indica en cuanto tiempo se recupera el capital invertido.

Para calcularlo vamos a necesitar:

1. La inversión destinada a la construcción de la planta (tabla 5).
2. Facturas mensuales por la compra de agua osmotizada del año previo a la instalación (tabla 8).

Tabla 8: Facturas mensuales 2023

IMPACTO ECONÓMICO EN CELESTICA (2023)	
ENE	1.695,00 €
FEB	1.178,00 €
MAR	2.088,00 €
ABR	1.917,00 €
MAY	1.123,00 €
JUN	1.658,00 €
JUL	1.567,00 €
AGO	1.341,00 €
SEP	1.713,00 €
OCT	2.176,80 €
NOV	1.846,60 €
DIC	1.977,80 €
TOTAL	20.281,20 €

3. Gasto en energía (€ / kWh). Mostrado en la tabla 9.

Para hacer esta tabla se ha tenido en cuenta el consumo energético de cada mes, y se ha multiplicado por el € medio por kWh de energía publicado en los informes mensuales del OMIE. Dando como resultado:

Tabla 9: Gasto energético en € de la Planta de Ósmosis

CONSUMO PLANTA DE ÓSMOSIS (€)	
ENE	232,00 €
FEB	215,00 €
MAR	157,00 €
ABR	290,00 €
MAY	277,00 €
JUN	268,00 €
JUL	268,00 €
AGO	181,00 €
SEP	298,00 €
OCT	194,00 €
NOV	256,00 €
DIC	271,00 €
TOTAL	2.907,00 €

Al poseer una planta de paneles solares en la fábrica, se ha decidido solventar el gasto energético de la nueva planta con esta generación de energía, por lo que el gasto energético sigue siendo el mismo.

Por lo tanto:

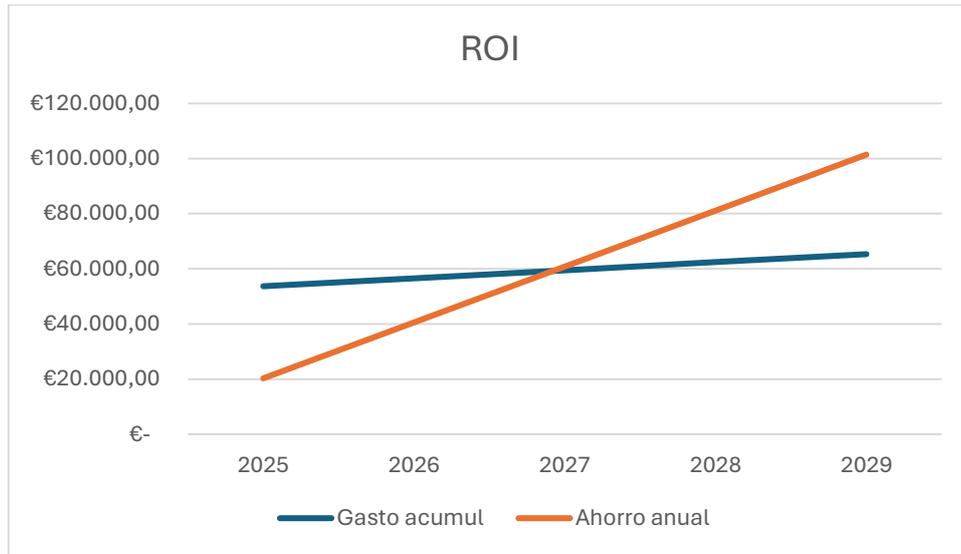


Ilustración 31: Retorno de la inversión (ROI).

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo lo mostrado en la ilustración 31, se puede observar que el retorno de la inversión está en 2 años, por lo que es un punto muy bueno a favor de la empresa, ya que les permite ahorrar aproximadamente 20.000€ anuales.

5.5 CONTROLAR

Como lo indica (Pulido Gutiérrez & de la Vara Salazar, 2013), una carta de control es una gráfica que nos sirve para analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo y si hubo cambios en el mismo luego de la mejora. Una vez realizado esto se procederá a realizar el análisis de la capacidad del proceso con el que se verificará que tan bien se está ejecutando el proceso en relación con las necesidades del cliente y la cuantificación de su desviación estándar. (Breyfogle III, F. W. 2003).

Además, como complemento, en Celestica poseen un gran control de la gran mayoría de la fábrica, gracias al SCADA, un programa informático que permite visualizar de manera inmediata, el monitoreo a tiempo real de los procesos de la empresa.

Por lo tanto, al incorporar a SCADA la nueva planta de ósmosis, se puede saber el grado de cumplimiento del proyecto.

6. CONCLUSIONES

Diseñar una metodología a medida no es tarea fácil. Se ha definido cuál era el objetivo del proyecto, cuál era el problema principal y a partir de ahí se comenzó a desarrollar la solución.

Tras situar el problema de manera clara y concisa, se recopilaron una gran serie de mediciones como el consumo anual del agua osmotizada, qué porcentaje de esta agua va destinada a qué máquina... etc.

Posteriormente se llevó a cabo un análisis de esos datos mediante técnicas como el diagrama de Ishikawa, que implementa actividades seis sigma como la lluvia de ideas; el diagrama de Pareto, con el que se categorizó el impacto real de los resultados del diagrama de Ishikawa; Se analizó la calidad de la red pública de agua de la Poble de Vallbona. Todo ello para poder enfocar con exactitud la causa principal del problema.

Esa causa era la producción insuficiente de la planta de ósmosis actual de la fábrica, por lo que para ello se tomó la decisión de solicitar servicios de empresas externas expertas en el sector, que se ofrecieron para instalar una nueva planta de ósmosis paralela a la actual.

De entre 2 ofertas se eligió la del proveedor 2, que invirtiendo la cantidad de 53.469,23€ al cabo de 2 años se retornará la inversión y se comenzará a notar claramente los beneficios de haber instalado esta máquina.

Pero obviamente, tras esta etapa de mejora se requiere un control, para poder asegurar que la implementación de la mejora es correcta y cumple los objetivos esperados.

7. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Tras dar solución al problema descrito previamente, la aplicabilidad de la metodología diseñada va más allá, pudiendo utilizarse como posible opción para las siguientes causas del problema, como puede ser los fallos en las bombas mecánicas de la planta de ósmosis o no optimización del consumo de la lavadora.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhaskar, H. L. (2020). Lean Six Sigma in manufacturing: A comprehensive review. *Lean manufacturing and Six Sigma-behind the mask*.
- Breyfogle III, F. W. (2003). *Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods*. John Wiley & Sons.
- Carbotecnia. (2024, January 8) ¿Qué es y cómo funciona la ósmosis inversa? Carbotecnia. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/osmosis-inversa/que-es-la-osmosis-inversa-purificador/>
- Clancy, R., O'Sullivan, D., & Bruton, K. (2023). Data-driven quality improvement approach to reducing waste in manufacturing. *The TQM Journal*, 35(1), 51-72.
- González, M. N. (2023). El método Lean Six Sigma, clave en la mejora de procesos de tu empresa. Izertis. <https://www.izertis.com/es/-/post/metodo-lean-six-sigma-mejora-procesos-de-tu-empresa>
- Gorener, A., & Toker, K. (2013). Quality Improvement in Manufacturing Processes to Defective Products using Pareto Analysis and FMEA. *Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(2).
- Laoyan, S. (2024, February 10). Todo lo que necesitas saber sobre Six Sigma [2024] Asana. Asana. <https://asana.com/es/resources/six-sigma>
- Navarrete, C. V., & Gutiérrez, O. P. (2017). Métodos para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en la gestión de inventarios//Methods to improve efficiency and decisions in inventory management. *Revista Ciencia UNEMI*, 10(22), 29-38.
- Pulido, H. G., & De la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. McGraw-Hill Interamericana.
- Tejada, A. S. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y sociedad*, 36(2), 276-310.
- Toala, D. (2017, April 20). Membranas para Sistemas de Osmosis Inversa - Puritek. Puritek. <https://puritekecuador.es/membranas-para-sistemas-de-osmosis-inversa/>

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicaciones Celestica.....	10
Ilustración 2: PCB	11
Ilustración 3: Celdas Celestica.	11
Ilustración 4: Línea SEG	12
Ilustración 5: Organigrama general.	13
Ilustración 6: Celestica Valencia.....	13
Ilustración 7: Proceso de fabricación PCB.	16
Ilustración 8: Proceso de ósmosis.....	17
Ilustración 9: Proceso ósmosis inversa.....	18
Ilustración 10: Filtro ósmosis inversa.....	19
Ilustración 11: 5 principios del Lean	23
Ilustración 12: Cinturones Seis Sigma.....	28
Ilustración 13: Distribución agua osmotizada.	33
Ilustración 14: Consumo agua osmotizada.....	34
Ilustración 15: Planta de Ósmosis Celestica.....	37
Ilustración 16: Filtros partículas sólidas.....	38
Ilustración 17: Pretratamiento químico. Descalcificador.	39
Ilustración 18: 1ª Etapa ósmosis inversa.	39
Ilustración 19: 2ª Etapa ósmosis inversa.....	40
Ilustración 20: Tanque agua residual planta de ósmosis.....	40
Ilustración 21: Tanques agua osmotizada:.....	41
Ilustración 22: Diagrama de flujo planta de ósmosis	42
Ilustración 23: Lavadora PCBs Celestica	43
Ilustración 24: Silicona y parylene Celestica	43
Ilustración 25: Paneles solares Celestica	44
Ilustración 26: Predicción consumo agua osmotizada.....	45
Ilustración 27: Esquema diagrama de Ishikawa	46
Ilustración 28: Diagrama de Ishikawa	47
Ilustración 29: Diagrama de Pareto	49
Ilustración 30: Causa principal diagrama Pareto.....	50
Ilustración 31: Retorno de la inversión (ROI).....	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Métricas	32
Tabla 2: Datos diagrama de Pareto:	48
Tabla 3: Necesidades planta de ósmosis nueva.	50
Tabla 4: Oferta económica Proveedor 1.	52
Tabla 5: Oferta económica Proveedor 2.	53
Tabla 6: Comparativa ofertas.....	54
Tabla 7: Diagrama de Gant fabricación planta de ósmosis	54
Tabla 8: Facturas mensuales 2023	55
Tabla 9: Gasto energético en € de la Planta de Ósmosis	56

ANEXOS

ANEXO 1 – ANALISIS RED PUBLICA AGUA POBLA DE VALLBONA

Boletin

Red	LA POBLA DE VALLBONA
Punto de muestreo	RED LA POBLA
Municipio	POBLA DE VALLBONA (LA)
Zona abastecimiento	LA POBLA DE VALLBONA 1
Fecha de toma	25/10/2023
Tipo de Boletin	Autocontrol
Tipo de analisis	Análisis completo
Laboratorio/s	INTERLAB MADRID
Calificacion de la muestra	AGUA APTA PARA EL CONSUMO
Recomendaciones	
Incidencias manuales	

Parametros Obligatorios

<i>Denominación</i>	<i>Valor cuantitativo</i>	<i>Unidad</i>
Ácido perfluorohexanosulfónico (PFHxS) CAS: 355-46-4		µg/L
Ácido perfluorononanoico PFNA CAS 375-95-1		µg/L
Ácido perfluorooctanoico PFOA CAS 335-67-1		µg/L
Ácido perfluorooctanosulfónico PFOS CAS 1763-23-1		µg/L
Acrlamida (CAS 79-06-01)	0.00	µg/L
Aluminio	119	µg/L
Amonio	0.00	mg/L

Antimonio	0	µg/L
Arsénico	0	µg/L
Bacterias coliformes	0	UFC/100 ml
Benceno (CAS 71-43-2)	0.0	µg/L
Benzo(a)pireno (CAS 50-32-8)	0.000	µg/L
Bisfenol a (CAS 80-05-7)		µg/L
Boro	0.0	mg/L
Bromato	5	µg/L
Cadmio	0.0	µg/L
Cianuro total	0	µg/L
Clorato		mg/L
Clorito		mg/L
Cloro combinado residual	0.3	mg/L
Cloro libre residual	0.0	mg/L
Cloruro	65	mg/L
Cloruro de Vinilo (CAS 75-01-4)	0.00	µg/L
Clostridium perfringens (incluidas las esporas)	0	UFC/100 ml
Cobre	0.0	mg/L
Colifagos somáticos	0	UFP/100 ml
Color	0	mg Pt-Co/L
Conductividad	667	µS/cm a 20°C
Cromo total	0	µg/L
Enterococo	0	UFC/100 ml
Epidiorhidrina (CAS 106-89-8)	0.00	µg/L
Escherichia coli	0	UFC/100 ml
Fluoruro	0.0	mg/L
Hierro	39	µg/L
Índice de Langkier	0.2	Unidades pH
Manganeso	5	µg/L
Mercurio	0.0	µg/L
Níquel	0	µg/L
Nitrato	0	mg/L
Nitritos	0.00	mg/L
Clor	0	In. Dil.
pH	7.9	Unidades pH
Plomo	0.0	µg/L
Recuento de colonias a 22°C	9	UFC/1 ml
Sabor	0	In. Dil.
Selenio	0	µg/L
Sodio	33	mg/L
Sulfato	186	mg/L
Suma total Plaguicidas	0.00	µg/L
Suma 2 Tricloroetano + Tetracloroetano	0	µg/L
Suma 4 Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA)	0.00	µg/L
Suma 4 Trihalometanos (THM)	70	µg/L
Suma 5 AHAs		µg/L
Turbidez	0.0	UNF
Uranio		µg/L
1,2-Dicloroetano (CAS 107-06-2)	0.0	µg/L
Carbono Orgánico total	3.4	mg/L
ALGAS: Microcistina LR	0.0	µg/L
Oxidabilidad	0.6	mg O2 /L

Parametros opcionales

<i>Denominación</i>	<i>Valor cuantitativo</i>	<i>Unidad</i>
PLA: NA_Diazinon_333-41-5	0.00	µg/L
MET: Endosulfan sulfato_1031-07-8	0.00	µg/L
MET: Oxidordano_27304-13-8	0.00	µg/L
PLA: NA_Cianazina_21725-46-2	0.00	µg/L
ALGAS: Microcistina total	0.000	µg/L
Bromoforno CAS 75-25-2	5	µg/L
MET: Heptacloro epoxido_1024-57-3	0.00	µg/L
PLA: A_Pendimetalina_40487-42-1	0.00	µg/L
PLA: NA_Clorpirifos metil_5598-13-0	0.00	µg/L
PLA: NA_Dicofol_115-32-2	0.00	µg/L
ISO: HCH alfa o alfa-BHC_319-84-6	0.00	µg/L
ISO: Endosulfan beta_33213-65-9	0.00	µg/L
PLA: NA_Carbofenotion_786-19-6	0.00	µg/L
ALGAS: Microcistina YR	0.000	µg/L
PLA: NA_HCH gamma o LINDANO_58-89-9	0.00	µg/L
PLA: NA_Pirazofos_13457-18-6	0.00	µg/L
PLA: NA_Clorotalonil o clortalonil_1897-45-6	0.00	µg/L
ALGAS: Microcistina RR	0.000	µg/L
PLA: NA_Carbaril_63-25-2	0.00	µg/L
Cloroforno CAS 67-66-3	23	µg/L
ISO: DDT, p,p' (Clotofenane o Diclaphane)_50-29-3	0.00	µg/L
PLA: NA_Atrazina_1912-24-9	0.00	µg/L
PLA: NA_Endrin_72-20-8	0.00	µg/L
ISO: HCH beta o beta-BHC_319-85-7	0.00	µg/L
Indeno(1,2,3-cd)pireno CAS 193-39-5	0.00	µg/L
PLA: NA_Clorpirifos (clorpirifos etil)_2921-88-2	0.00	µg/L
PLA: NA_Triazofos_24017-47-8	0.00	µg/L
Dibromodlorometano CAS 124-48-1	18	µg/L
PLA: A_Pirimifos metil_29232-93-7	0.00	µg/L
MET: Heptacloro epoxido, trans (heptacloro epoxido A)_28044-83-9	0.00	µg/L
ISO: Clordano trans_5103-74-2	0.00	µg/L
PLA: NA_Disulfoton (Thiodemeton)_298-04-4	0.00	µg/L
Tricloroetano CAS 79-01-6	0.000	µg/L
MET: DDE, p,p'_72-55-9	0.00	µg/L
PLA: NA_Fenitroton_122-4-5	0.00	µg/L
PLA: NA_Prometrina_7287-19-6	0.00	µg/L
Benzo(k)fluoranteno CAS 207-08-9	0.00	µg/L
PLA: NA_Hexaclorobenceno o HCB_118-74-1	0.00	µg/L
PLA: A_Malation_121-75-5	0.00	µg/L
Tetracloroetano CAS 127-18-4	0.000	µg/L
PLA: NA_Aldrin_309-00-2	0.00	µg/L
ISO: DDT, o,p'_789-02-6	0.00	µg/L
ISO: Clordano cis_5103-71-9	0.00	µg/L
ISO: Endosulfan alfa_959-98-8	0.00	µg/L
PLA: NA_Etion_563-12-2	0.00	µg/L
PLA: NA_Heptacloro_76-44-8	0.00	µg/L
Benzo(ghi)perileno CAS 191-24-2	0.00	µg/L
PLA: NA_Triadimefon_43121-43-3	0.00	µg/L
I: Carbonato	0.000	mg/L
PLA: NA_Simazina_122-34-9	0.00	µg/L
PLA: NA_Melidation_950-37-8	0.00	µg/L
PLA: NA_Alacior_15972-60-8	0.00	µg/L

PLA: NA_Fosalone_2310-17-0	0.00	µg/L
l: Bicarbonato	91.000	mg/L
PLA: NA_Coumatos_56-72-4	0.00	µg/L
PLA: NA_Dieldrin_60-57-1	0.00	µg/L
PLA: NA_Tetraclorvinfos o Stirofos_22248-79-9	0.00	µg/L
PLA: NA_Fention (MFP o mercaptophos)_55-38-9	0.00	µg/L
Benzo(b)fluoranteno CAS 205-99-2	0.00	µg/L
PLA: A_Terbutilazina_5915-41-3	0.00	µg/L
MET: DDD, p,p' (p,p'-TDE o Rothane)_72-54-8	0.00	µg/L
PLA: NA_Terbutrina_886-50-0	0.00	µg/L
Bromodlorometano CAS 75-27-4	23	µg/L
PLA: NA_Cianofentos_13067-93-1	0.00	µg/L
Calcio	57	mg/L