

Aumento de capacidad en línea de ensamble AWW e implementación de concepto de fábrica visual

Juan Carlos Castro Cardona¹, Jan Mayen² y Isa Pereyra²
Posgrado CIATEQ A.C.¹, CONAHCYT-Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ),
San Luis Potosí, S. L. P.; México
juan.carloscc1993@gmail.com, isabel.pereyra@ciateq.mx

Resumen— Este trabajo se enfoca en aumentar la capacidad de ensamble de los Chillers AWW, respondiendo a su creciente demanda. Se realizaron mejoras significativas, incluyendo un Run test optimizado que redujo el tiempo de ciclo y un sistema de conveyors para mayor eficiencia y seguridad en el subensamble. La implementación de un sistema de fábrica visual y análisis de tiempo, junto con simulaciones en ProModel, permitió optimizar la producción y minimizar fallas. Estas mejoras duplicaron la capacidad de producción, superando el rendimiento de plantas en Estados Unidos.

Palabras claves—AWV, Capacidad de producción, Chiller, Fábrica visual, ProModel, Simulaciones.

Abstract— This paper focuses on the increasing assembly capacity of AWW Chillers (Air-cooled World Variable speed), responding to their growing demand. Significant improvements were made, including an optimized run test that reduced cycle time and a conveyor system for greater efficiency and safety in the subassembly. The implementation of the Visual Factory System and time analysis, including simulations in ProModel, allowed us to optimize production and minimize failures. These improvements doubled production capacity, surpassing the performance of similar plants in the United States.

Keyword—AWV, Production Capacity, Chiller, Visual Factory, ProModel, Simulations.

I. INTRODUCCIÓN

La empresa donde se realizó el proyecto, es una empresa líder en su ramo fundada en Osaka, Japón en 1924, se especializa en la fabricación de productos relacionados con la calefacción, ventilación y aire acondicionado. Con presencia a nivel mundial, se destaca por su constante desarrollo de nuevas aplicaciones. Entre los productos que ofrece la empresa, se encuentran los Chillers, equipos enfriadores de agua que tienen una amplia gama de aplicaciones. Dada la gran demanda de Chillers, en América del Norte, se está trabajando en la apertura de una nueva planta en SLP dedicada exclusivamente a la fabricación de estos equipos. La figura 1 proporciona una visión anticipada de cómo se verá la planta una vez finalizada.



Figura 1.- Planta de Chillers en SLP

Existen diferentes Chillers, en el caso de los que estaremos tratando en este proyecto son los que su enfriamiento es a través del aire. En la figura 2 se muestra el ejemplo de un Chiller de aire.



Figura 2.- Ejemplo de Chiller de aire

El chiller cuenta en la parte superior con ventiladores, los cuales por medio de aire generan un intercambio de temperatura en la parte de los condensadores con el refrigerante, el refrigerante a su vez logra el enfriamiento del agua en el evaporador de la máquina. Los Chillers tienen diferentes aplicaciones, tales como medios para enfriar el agua que es usada en un hotel, para el aire acondicionado, o en empresas para mantener frío distintos equipos.

La capacidad de producción es un concepto esencial en la gestión de la producción y las operaciones dentro de una organización. Se refiere al volumen máximo de bienes o servicios que una empresa puede generar en un período de tiempo determinado, tomando en cuenta las limitaciones de sus recursos como la mano de obra, las materias primas, los equipos, la tecnología y el espacio disponible. La capacidad de producción es fundamental para la planificación estratégica, ya que establece los límites de lo que una empresa puede alcanzar y proporciona una base para la determinación de los costos de producción y la fijación de precios. Conocer y gestionar correctamente esta capacidad permite a las organizaciones optimizar sus operaciones, aumentar su eficiencia y competitividad, y satisfacer las demandas del mercado de manera efectiva.

La relevancia de la capacidad de producción es amplia y fundamental para cualquier organización productiva. En primer lugar, proporciona una medida del rendimiento potencial de una empresa. A través de su gestión efectiva, las empresas pueden balancear la demanda y la oferta, minimizando los tiempos de espera y los costos de inventario, mientras se maximiza la utilización de los recursos.

Además, la capacidad de producción puede tener un impacto directo en el nivel de servicio al cliente. Un mal cálculo puede resultar en incapacidad para cumplir con la demanda, lo que puede afectar la satisfacción del cliente y la percepción de la marca.

Una línea de ensamble es un sistema de producción que divide el trabajo en procesos específicos o tareas que se realizan de manera secuencial. Cada estación de trabajo en la línea principal es que el producto en construcción se mueva, usualmente a lo largo de una cinta transportadora, y pase por varias estaciones de trabajo, cada una de las cuales añade algo al producto final (Herrera 2019).

La línea de ensamble fue popularizada por Henry Ford en la industria automotriz a principios del siglo XX, con el objetivo de mejorar la eficiencia de la producción y reducir el tiempo de fabricación.

En una línea de ensamblaje típica:

- 1.- Cada trabajador o máquina hace un trabajo específico.
- 2.- A medida que cada trabajo se completa, el producto en proceso se mueve a la próxima estación de trabajo.
- 3.- En cada estación de trabajo, se añade algo más al producto, o se realiza un paso más en el proceso de producción.
- 4.- Este proceso se repite hasta que el producto esté terminado.

Las líneas de ensamble son comunes en una variedad de industrias, incluyendo la automotriz, la electrónica, la alimentación y la manufactura en general.

La línea de ensamble cuenta con varios factores que la conforman:

Estaciones de trabajo y herramientas: Estas pueden ser manuales, semi - automatizadas, y automatizadas completamente. Esto dependerá del requerimiento de la operación, por ejemplo, hay operaciones sencillas u operaciones artesanales las cuales requieren ser manuales completamente. En muchas líneas de ensamble cada vez se ve más la interacción entre las máquinas y los operadores esto en japonés tiene un término llamado Jidoka. Y también hay líneas las cuales son muy automatizadas, como una línea de armado de carrocería de los vehículos.

Operadores: Los operadores pueden ser de producción, pero también hay operadores de pruebas e inspectores de calidad.

El operador de producción es el encargado del ensamble de las partes para ir armando la unidad, estas operaciones pueden ir desde operaciones generales como atornillado de partes, hasta operaciones más específicas que requieren un mayor entrenamiento como es la soldadura de partes.

Los operadores de pruebas se encargan de realizar diferentes pruebas a la unidad, entre las pruebas más comunes que se realizan son las pruebas de hermeticidad, más conocida como prueba de fugas, también existen las pruebas eléctricas funcionales, las cuales revisan que la unidad trabaje correctamente, esta puede ser complementada con diferentes sensores, o sistemas de visión. Con esta prueba se busca asegurar que la unidad vaya conforme a la especificación del proveedor.

Y por último están los inspectores de calidad, ellos se encargan de revisar que el producto cumpla con la calidad necesaria para satisfacer al cliente, normalmente el inspector de calidad se encuentra al final de la línea realizando la inspección final, o también en operaciones críticas.

Materiales o componentes: Son todos los materiales que constituyen la unidad, cada unidad cuenta con un Listado de materiales, que es conocida en la industria como BOM (Bill of materials), por lo que en la línea estos materiales son surtidos, hay materiales que pueden ser surtidos como Kanban, pero hay materiales que son surtidos por secuencia, el encargado de surtir estos materiales es conocido como Mover de materiales.

A. LayOut General de la planta para fabricación de Chillers

El proceso de fabricación de un Chiller consta de varios puntos, yendo un poco atrás de la línea de ensamble, empieza en la planta desde la llegada de materia prima en almacén, luego pasa a las máquinas de corte de lámina, doblado de lámina, y luego áreas de espera del material, de donde posteriormente se tomará el material. En la figura 3 se muestra un LayOut con las diferentes áreas.

En el punto 1 es el área de almacén donde se guarda la materia prima, tales como las láminas de acero, este abarca toda el área que se encerrada en color azul.

En el punto 2, es la posición de una torre de almacenamiento y surtimiento de las láminas hacia la máquina de corte. El punto 3 está situada la máquina, que normalmente se le conoce como Punch & Shear

El punto 4 es un área de espera de la materia prima ya cortada. En el punto 5, se encuentra el área de dobléz, aquí se encuentran las máquinas dobladoras de lámina, y en el punto 6 se encuentra el área de espera, en esta área el movedor de materiales va por el carro, para llevarlo después al área de Ensamble donde se ensamblarán los componentes.

En el punto 7 se encuentran las líneas de ensamble, que es donde ya las piezas metálicas se comienzan a ensamblar para ir armando la unidad junto con los otros componentes, las líneas de ensamble que se muestran encerradas en color morado, son 2 líneas de ensamble.

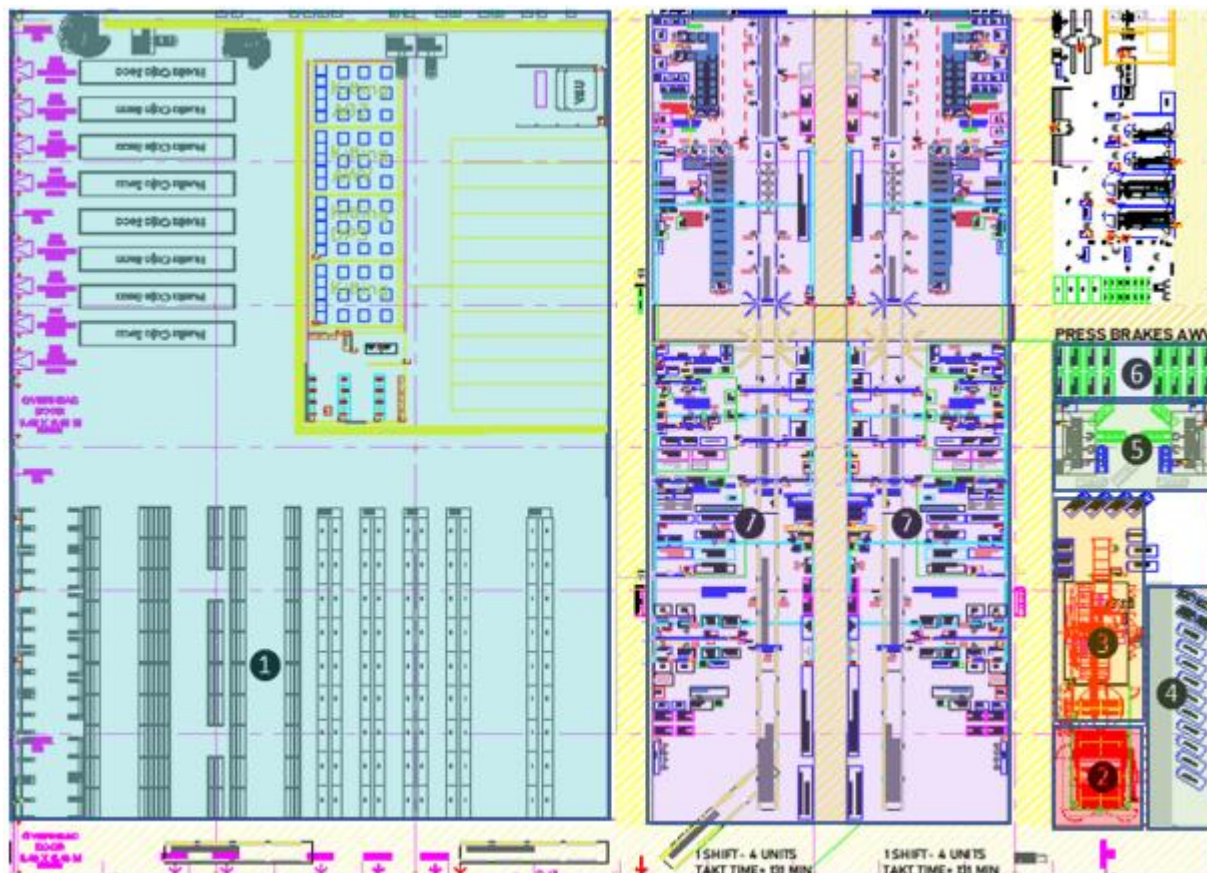


Figura 3.- LayOut General de Procesos de fabricación previos a ensamble

II. METODOLOGÍA

El diseño de una línea de producción comienza con la comprensión de las necesidades del cliente. Es esencial conocer el producto que el cliente espera, sus especificaciones de calidad y el volumen o demanda esperados. Para la línea de ensamble se empieza calculando el tiempo tacto, o en inglés conocido como Takt Time (TT) (Womack, 1992), este no es más que el Tiempo máximo que el proveedor tiene para

realizar una unidad cumpliendo la demanda de cliente. Por ejemplo, una línea de ensamble se está diseñando para realizar 1920 unidades de Chillers anualmente, cuál sería el Tiempo tacto para una línea de Chillers se realiza la siguiente operación:

$$\text{Unidades diarias} = \frac{\text{Unidades anuales}}{\text{Días disponible al año}} = \frac{1,920}{240} = 8 \text{ unidades} \quad (1)$$

En base a esto se obtiene el tiempo Takt Time a 1 turno, y a 2 turnos, por ejemplo, supongamos que el primer turno trabaja de 7 a.m. a 3 p.m., y el segundo de 3 p.m. a 11 p.m., en cada turno solo hay que considerar quitar 30 min del tiempo de comida, y 15 min de junta de arranque en cada inicio de turno, y llenado de formatos de arranque, por lo que el tiempo disponible para el primer turno es de 7.25 hrs

$$\text{Minutos disponibles a 1 turno} = 7.25 \text{ hrs} \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right) = 435 \text{ min} \quad (2)$$

$$\text{Minutos disponibles a 2 turnos} = 14.5 \text{ hrs} \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right) = 870 \text{ min} \quad (3)$$

$$TT \text{ a 1 turno} = \frac{435 \text{ min}}{8 \text{ unidades}} = \mathbf{54.37 \text{ min}} \quad (4)$$

$$TT \text{ a 2 turnos} = \frac{870}{8 \text{ unidades}} = \mathbf{108.7 \text{ min}} \quad (5)$$

El siguiente paso es hacer el contenido de trabajo para fabricar una unidad, este es un desglose de cada operación, y el tiempo estimado que llevará realizarla, para esto si es un producto completamente nuevo, se analiza el modelo 3D, se comienza a verificar cada una de las operaciones necesarias, número de atornillados, si es necesario tener subensambles, máquinas especiales necesarias, pruebas requeridas, y en base a estas operaciones, se considera el tiempo que tomará. Si el producto, es uno similar que ya se realiza, se pueden tomar estos tiempos como referencia.

Es importante como un paso previo haber revisado el modelo 3D en conjunto con diseño, y ver que este pueda ser realmente ensamblado en la línea de ensamble, una vez congelado el diseño 3D, ahora si se empieza formalmente con el diseño de la línea. En la tabla 1, se muestra un desglose de contenido de trabajo, para calcular el tiempo necesario requerido para ensamblar la unidad.

Tabla 1.- Ejemplo de Contenido de trabajo en estación de Montaje de caja de control, compresor y evaporador

Estación	#	Operación	Tiempo (Min)
Montaje de caja de control, compresor y evaporador.	1	Colocar la base sobre los carros transportadores	15
	2	Mover base hacia la línea de ensamble	3.75
	3	Instalar soportes laterales en base	12.5
	4	Colocar soportes por caja de control	3
	5	Colocar soportes para el evaporador	4
	6	Colocar soportes para la tubería de descarga	7
	7	Instalar caja de control realizado 12 atornillados	5
	8	Tomar compresor con grúa y montarla en unidad	7.5
	9	Realizar 8 atornillados verificando torque	8
	10	Tomar evaporador con grúa, y montarla en unidad	5
	11	Realizar 6 atornillados, verificar torque	6
Tiempo total de la estación			76.75

En base al contenido de trabajo, el total de tiempo necesario, se definen la cantidad de estaciones de trabajo, cada estación debe de tener una cantidad menor de trabajo al tiempo Takt time, a veces hay estaciones en las cuales su tiempo ciclo es alto, por lo que se busca el dividir este contenido de trabajo, o hacer estaciones paralelas.

Una de las partes principales en el diseño de una línea de ensamble es la cantidad de trabajadores que habrá en ella. Para esto una vez definido cuantas horas de trabajo ocupará producir una unidad, el siguiente paso es obtener la cantidad de trabajadores necesarios. Para esto se utiliza la siguiente formula:

$$\#Operadores = \frac{(Horas\ por\ máquina)(Número\ de\ maquinas\ por\ turno)}{(Horas\ efectivas\ por\ operador)(Eficiencia)} \tag{6}$$

Por ejemplo, se supone lo siguiente, las horas necesarias para la fabricación de un Chiller, se encuentra en 72 horas, de acuerdo a la demanda se tienen que realizar 4 unidades por turno, y las horas de trabajo efectivas de un operador son 7.25 horas. Para la eficiencia se puede utilizar base de proyectos pasados, pero siendo un poco conservadores en el arranque, y teniendo una rampa de eficiencia, de la que en el siguiente punto se hablará, para este caso vamos se utilizará una eficiencia de 0.6.

Quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$\#Operadores = \frac{(72\ hrs)(4)}{(7.25\ hrs)(.6)} = 66\ operadores \tag{7}$$

Estos operadores, se distribuyen a lo largo de las estaciones de trabajo, acorde al contenido de trabajo.

La eficiencia en las líneas de ensamble se mide en base a la meta establecida, entre las unidades que se obtienen, por ejemplo, en el caso de que se haya establecido y demostrado que la línea es capaz de dar 10 unidades por turno, y ese día la línea solo pudo dar 7 unidades, esto quiere decir que la línea tuvo una eficiencia de 70 %.

$$Eficiencia = \frac{7 \text{ unidades}}{10 \text{ unidades}} = 0.70 = \mathbf{70\%} \quad (8)$$

Esta eficiencia realmente puede ser impactada por varias razones, las cuales se citan a continuación:

- Paros provocados por fallas en equipos.
- Ausentismo del personal, y falta de personal capacitado.
- Cortos de materiales, o defectos en los materiales.

Estos factores afectan en gran manera la eficiencia de una línea de ensamble, por lo que es importante contar con una buena estrategia para disminuirlos lo mayormente posible. Abajo se enlistan algunos ejemplos de buenas prácticas para lograr mejorar la eficiencia de la línea de ensamble:

Para las fallas de equipos, es necesario tener programas de Mantenimiento, los cuales se sigan, y busquen cumplirse, estos programas involucran Mantenimientos preventivos, Mantenimientos predictivos, y Mantenimientos correctivos. Es de gran importancia contar con un plan de refaccionamiento, ya que, si no se tienen las refacciones críticas a la mano, y una maquina falla a causa de esto, esta puede llegar a parar por varios días, inclusive meses, si es una refacción poco común.

Para el caso del ausentismo, y falta de personal capacitado se tiene que trabajar en diferentes estrategias, las cuales van desde el poder hacer ver al trabajador que su lugar de trabajo es seguro, que las condiciones para realizar su trabajo son las óptimas, también poder generar en el trabajador un sentido de pertenencia, que él puede sentirse valorado dentro de la compañía, y esto se logra, a partir de que el trabajador cuente con un salario digno, y prestaciones que sean de beneficio para él y su familia, de cualquier manera poder erradicar el problema del ausentismo 100% es difícil, por lo que cada línea debe tener operadores multifuncionales, que puedan trabajar en diferentes estaciones, en caso de ser necesario, esta es de gran ayuda para poder dar flexibilidad a la línea en caso de que hay ausencia de algún operador.

III. RESULTADOS

En la línea de ensamble se tienen diferentes estaciones de trabajo, en la figura 4 se muestra un LayOut general de una línea de ensamble de Chiller. A continuación, se citan las diferentes estaciones que se tienen en la línea de ensamble:

- 1.- Montaje de Caja de Control, Compresores y Evaporador.
- 2.- Soldadura de tubería de descarga (Tubería de compresor y evaporador)
- 3.- Montaje de condensadores y ventiladores.
- 4.- Soldadura final de tubería de descarga a condensadores.
- 5.- Pruebas de Fuga, aplicación de vacío, y carga de refrigerante.
- 6.- Prueba de funcionalidad del equipo.
- 7.- Colocación de aislamiento térmico de tubería, y paneles exteriores
- 8.- Inspección final y empaque de la unidad.

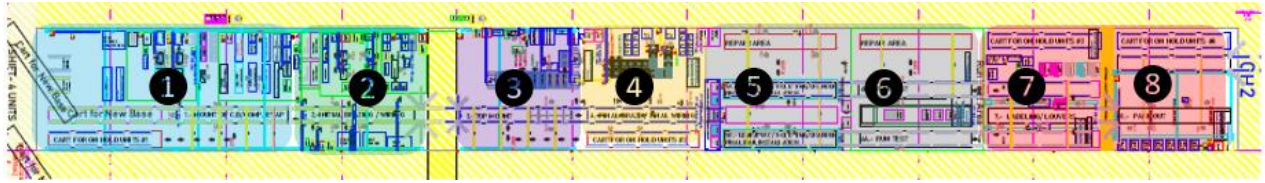


Figura 4.- LayOut General de la línea de ensamble de Chillers

En la figura 5 se muestra la gráfica con los tiempos ciclos de cada una de las estaciones.

Las barras de color gris representan los tiempos ciclos de la planta hermana en Staunton, US, y las barras en color azul representa los tiempos ciclos en la planta de SLP, se realizaron diferentes mejoras para poder lograr reducir estos tiempos, gracias a cada una de las mejoras implementadas, se logró que todas las estaciones entrarán dentro del takt time (132 min). Abajo se mencionan las principales mejoras, para reducir los principales cuellos de botella.

1.- Reducción de tiempo ciclo en estación de prueba Run test

En la planta de Staunton, se tenía una sola estación de prueba de Run test, en esta lo que se realizaba era la prueba de la unidad, energizando circuito por circuito, cada unidad consta de 2 circuitos, estos circuitos alimentan compresores los cuales consumen una gran cantidad de energía eléctrica. También en la prueba de Run test, que es donde la unidad opera a condiciones normales, se realiza la última prueba de fuga, de igual manera circuito, por circuito.

En la planta de SLP, se mejoró agregando un transformador con mayor capacidad eléctrica, el cual puede soportar probar la unidad con ambos circuitos a la par, para esto se realizaron cálculos de capacidad eléctrica, y consumo. También en la estación se instaló otro aparato para poder realizar la prueba de fuga de manera simultánea.

2.- Estaciones en paralelo para la fabricación de subensamble de ventilador

En la planta de Staunton, se tenía una sola estación de trabajo para fabricar el subensamble del ventilador, lo que ocasionaba que se hiciera un cuello de botella en esta, teniendo un tiempo ciclo promedio de 240 min.

En la planta de SLP, se colocó una estación en paralelo, para poder reducir el tiempo ciclo a la mitad, en 120 min.

3.- Estaciones de Instalación de paneles louvers y etiquetado

En la planta de Staunton, se tiene en esta estación la instalación de paneles louvers de manera manual, utilizando dos operadores, un operador carga el panel, y otro operador lo atornilla.

En la planta de SLP, se realizó un dispositivo para poder cargar el panel louvers, y el operador al cargarlo con el dispositivo, procede para atornillarlo.

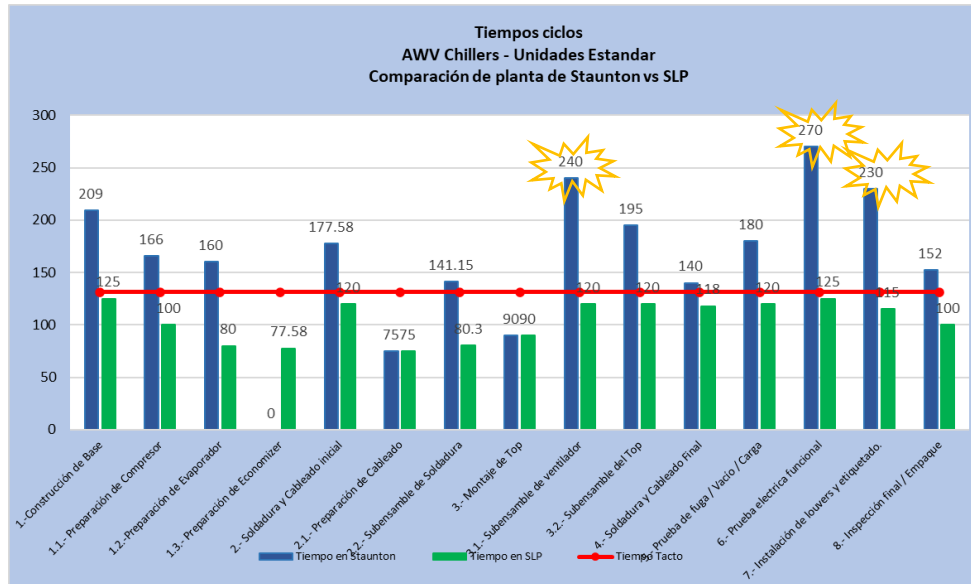


Figura 5.- Gráfica de tiempos ciclos de las estaciones

En la parte de abajo se muestran algunas imágenes de las unidades ya producidas en la línea de ensamble. En la Figura 6 se muestra durante la prueba de fuga, y la prueba eléctrica, y a la derecha lista para ser empacada.



Figura 6.- A la izquierda unidad en prueba de fuga, unidad en prueba eléctrica y unidad lista para ser empacada.

En la Figura 7 se muestra la unidad ya empacada y lista para ser enviada al cliente, usando la grúa móvil.



Figura 7- Unidad empacada y lista para ser enviada a cliente.

Implementación de Concepto de fábrica visual

Aparte de impulsar su sistema de gestión Lean, las empresas industriales que saben aprovechar al máximo las ventajas de la fábrica visual logran los siguientes beneficios (Fenza 2021):

- Reducción de esperas y tiempo dedicado a la búsqueda de información.
- Mejora de la comunicación, la transparencia y la colaboración en la planta de producción.
- Reducción de errores.
- Reducción de no conformidades y retrabajos.
- Mejora del nivel de capacitación de los operarios.
- Mayor seguridad en el entorno laboral.
- Incremento de la motivación entre los empleados.
- Refuerzo de los estándares y métodos de fabricación.
- Aumento de la productividad y del rendimiento.

Las técnicas y herramientas de Fábrica Visual parten desde lo más básico, que son ayudas visuales colocados en las áreas de trabajo, que son estandarización de los carros de herramienta, teniendo un lugar para cada herramienta, bien identificado.

En la Figura 8 se muestra, la línea de ensamble en sus inicios, y antes de implementación de fábrica visual, en la Figura 9 se muestra la línea de ensamble ya terminada, y con la implementación de fábrica visual, se les ha aplicado estándares visuales, tal como se muestra en ellas, tienen triángulos en la parte de arriba, con los nombres de cada estación, además de estar delimitadas las estaciones por cintas. En la figura 0 se muestra el estandar visual implementado en la línea, donde se muestra desde el tamaño de los letreros de señalización hasta que tipo de cinta llevará.



Figura 8.- Línea de ensamble en sus inicios, y antes de implementación de fábrica visual



Figura 9.- Línea de ensamble donde se muestran estaciones delimitadas

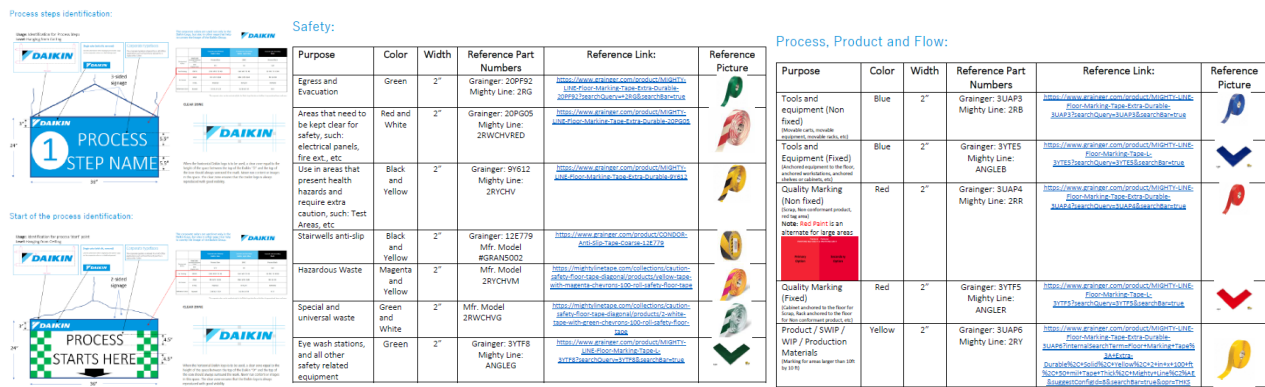


Figura 10.- Estandar Implementado en línea de ensamble

Pero actualmente fábrica visual, no solo se basa, en colocación de ayudas visuales, también consta de poder tener sistemas, que permitan monitorear en tiempo real los procesos, como se muestra en la figura 11, las presiones de las máquinas de doblado en tiempo real.



Figura 11.- Se muestra tabla con muestreos en tiempo real acerca de posición de alarmas

IV. CONCLUSIONES

Este proyecto ha demostrado que la innovación y la mejora continua son clave para mantener la competitividad en la industria de fabricación de Chillers. Como parte del estado anterior es que en la planta hermana en Estados Unidos los tiempos ciclos eran demasiado altos, fuera del Tiempo tacto para poder cumplir con los clientes, así como no había un orden respecto a la fábrica visual.

A través de la implementación de la fábrica visual y el aumento de la capacidad de producción, hemos no solo alcanzado, sino superado nuestras metas iniciales, logrando una producción de hasta 8 unidades diarias, con esto se han tenido pláticas con el equipo de Estados Unidos, para que ellos puedan hacer parte de estas implementaciones en su planta, y crecer aún más como organización.

Este éxito subraya la importancia de adaptarse a las cambiantes demandas del mercado y la eficiencia operativa. Futuras investigaciones podrían explorar cómo tecnologías emergentes pueden ser integradas para seguir optimizando la producción y la calidad. Este proyecto sirve como un caso de estudio valioso sobre la aplicación práctica de técnicas de gestión de producción avanzadas y su impacto en la eficiencia y satisfacción del cliente.

AGRADECIMIENTOS

Castro Cardona, Juan Carlos, agradece en gran manera al Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ) Unidad San Luis Potosí, a mis asesores, la Dra. Isabel Pereyra, y al Dr. Jan Mayen, también a la empresa donde laboro, y gracias a todos mis seres queridos, quienes siempre me han brindado su gran apoyo.

REFERENCIAS

- [1] Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D., & Chaparro, F. O. (1992). *La máquina que cambió el mundo* (p. 292). Madrid: McGraw-Hill.
- [2] Bautista Arroyo, J. M. (2010). *Metodología para implementación de la manufactura esbelta en los procesos productivos para la mejora continua* (Doctoral dissertation).
- [3] Hernández, J., & Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: Fundación EOI, 178, 978-8415061403.
- [4] Herrera, M. K. I. F., Portillo, M. T. E., López, R. R., & Gómez, J. A. H. (2019). Herramientas de manufactura esbelta que inciden en la productividad de una organización: modelo conceptual propuesto. *Revista lasallista de investigación*, 16(1).
- [5] Ibarra-Balderas, V. M., & Ballesteros-Medina, L. L. (2017). *Manufactura esbelta*. *Conciencia Tecnológica*, (53).
- [6] Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing. Paso a paso*. Marge books.
- [7] Rojas Jauregui, A. P., & Gisbert Soler, V. (2017). *Lean manufacturing: herramienta para mejorar la productividad en las empresas*. *3C Empresa, Investigación y pensamiento crítico*, 116-124.
- [8] Favela-Herrera, M. K. I., Escobedo-Portillo, M. T., Romero-López, R., & Hernández-Gómez, J. A. (2019). Herramientas de manufactura esbelta que inciden en la productividad de una organización: modelo conceptual propuesto. *Revista lasallista de investigación*, 16(1), 115-133.
- [9] Iborra, V., & Medina, L. L. B. (2017). *Manufactura esbelta*. *Conciencia Tecnológica*, (53), 54-58.
- [10] Arce Rodríguez, F. A. (2017). *Manufactura esbelta para elevar la productividad en una empresa manufacturera de línea blanca*, Lurín-2017.

- [11] Castañeda Ramos, L. V. (2017). Implementación de herramientas de manufactura esbelta para reducir desperdicio y lograr mejora continua en los procesos productivos de las plantas de Flexo Spring en la ciudad de Bogotá.
- [12] Rajadell Carreras, M. (2021). Lean Manufacturing: Herramientas para producir mejor. Ediciones Díaz de Santos.
- [13] Vargas-Hernández, J. G., Muratalla-Bautista, G., & Jiménez Castillo, M. T. (2018). Sistemas de producción competitivos mediante la implementación de la herramienta Lean Manufacturing. *Ciencias administrativas*, (11), 81-95.
- [14] Sarria Yépez, M. P., Fonseca Villamarín, G. A., & Bocanegra-Herrera, C. C. (2017). Methodological model in the implementation of lean manufacturing. *Revista Ean*, (83), 51-71.