



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA EN SISTEMAS– INGENIERÍA INDUSTRIAL

Diseño de una óptima política de inventario en una planta de
producción de paneles solares

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. BARRETO VALDÉZ RODRIGO

TUTOR PRINCIPAL
M.I. ANN WELLENS, FACULTAD DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, CDMX. Marzo 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Rivera Colmenero José Antonio

Secretario: Dra. Segura Pérez Esther

1 er. Vocal: M. I. Wellens Ann Godelieve

2 do. Vocal: Dra. Huerta Barrientos Aida

3 er. Vocal: Dr. Del Moral Dávila Manuel

Lugar o donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, CDMX.

TUTOR DE TESIS:

M. I. Wellens Ann Godelieve

FIRMA

DEDICATORIA.

A mi mamá, Margarita Valdéz.

Por creer siempre en mí, por nunca permitir que me rindiera y siempre estar presente en cada uno de mis logros y fracasos.

A mi papá, Joel Escamilla.

Por guiarme y enseñarme que todo esfuerzo vale la pena y trabajar día con día tiene su recompensa.

A mis hermanas; Yessenia, Miriam y Selene.

Por ser una constante motivación para superarme y levantar mi ánimo cuando más lo necesito.

A mis hermanos; Erick y Rubén.

Porque a pesar de las diferencias siempre están para apoyarme en lo que necesite.

A mis sobrinos.

Por inspirarme a ser un ejemplo para ellos y alegrar momentos difíciles, recordándome siempre el valor de la vida.

A toda mi familia.

Por ser mi red de soporte y darme la fuerza para continuar en todo momento y dar lo mejor de mí.

A mis amigos.

Por compartir experiencias, alegrías y aprendizajes juntos y por superar obstáculos junto conmigo.

A mis alumnos.

Por hacer de mí una mejor persona y exigir día a día mi mejor versión, teniendo en cuenta que nunca se deja de aprender.

Agradecimientos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Por abrirme sus puertas y permitirme superarme, darme herramientas para continuar mi preparación profesional y ampliar mi mente hacia nuevos horizontes.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Por formarme como profesionista, por la confianza depositada para desarrollarme laboralmente y hacerme sentir orgulloso de ser parte de la familia universitaria.

A mi asesora principal M.I. Ann Wellens.

Por apoyarme durante todo el proceso, ayudarme a desarrollar mi potencial y motivarme a dar lo mejor de mí.

A mis sinodales.

Por su tiempo, dedicación y valiosas aportaciones para poder concluir este proceso.

A mis maestros.

Por contribuir significativamente a mi crecimiento profesional y compartir sus conocimientos.

Al Dr. Manuel del Morán Dávila.

Por ser una parte fundamental en mi aprendizaje y crecimiento, además de ser un ejemplo y una inspiración en el ámbito profesional, laboral y sobre todo personal.

Contenido

Capítulo 1 Introducción 1

1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo general.....	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Hipótesis	4
1.3 Revisión de literatura	4

Capítulo 2 Marco teórico..... 7

2.1 La celda fotovoltaica	7
2.1.1 Origen de la tecnología fotovoltaica.....	7
2.1.2 Sistemas fotovoltaicos en la actualidad	9
2.1.3 Evolución de precios de la tecnología fotovoltaica.....	14
2.2 Estructura de un panel fotovoltaico	16
2.3 Pronósticos	17
2.3.1 Pronósticos de series de tiempo	19
2.3.2 Descomposición de una serie de tiempo	19
2.3.3 Pronósticos de serie de tiempo utilizando el último dato	19
2.3.4 Pronósticos de serie de tiempo promedio simplista	20
2.3.5 Promedios móviles.....	20
2.3.6 Promedios móviles ponderados.....	21
2.3.7 Suavizamiento exponencial simple	22
2.3.8 Suavizamiento exponencial doble	23
2.4 Medidas de error en los pronósticos	24
2.4.1 Error cuadrático medio.....	24
2.4.2 Desviación media absoluta	25
2.4.3 Error medio absoluto porcentual	25
2.5 Inventarios	26
2.5.1 Tipos de inventario.....	27
2.5.2 Costos de los inventarios.....	27

2.6 Análisis ABC	29
2.7 Estudio de tiempos.....	30
2.8 Número de ciclos a observar	31
2.9 Cursograma analítico	32
2.10 Simulación	34
Capítulo 3 Metodología.....	35
3.1 Diagnóstico del proceso.....	36
3.2 Revisión estadística de datos históricos	36
3.3 Modelos de pronósticos	36
3.4 Generación de política de inventario.....	37
3.5 Estudio de tiempos.....	37
3.6 Simulación	40
3.7 Resultados y conclusiones.....	41
Capítulo 4 Resultados y discusión	42
4.1 Diagnóstico del proceso.....	42
4.1.1 Proceso de producción de un módulo fotovoltaico.....	45
4.1.1.1 Selección de celdas	45
4.1.1.2 Corte de celdas.....	46
4.1.1.3 Corte de etil vinil acrílico (EVA) y tedlar poliéster tedlar (TPT)	47
4.1.2 Soldadura con cautín	49
4.1.2.1 Soldadura individual.....	49
4.1.2.2 Soldadura en cadena.....	50
4.1.2.3 Criterios para una buena soldadura.....	51
4.1.3 Montaje	52
4.1.4 Laminación.....	55
4.1.4.1 Corroboración de medidas e inspección del conjunto.....	55
4.1.4.2 Electroluminiscencia	57
4.1.4.3 Laminación	59
4.1.5 Enmarcado.....	60
4.1.6 Evaluación de la potencia del módulo fotovoltaico.....	61
4.1.7 Empaque.....	64

4.2 Revisión estadística de datos históricos	64
4.3 Análisis ABC	66
4.4 Cálculo de pronósticos para los módulos de 36, 18 y 32 volts.....	69
4.5 Desviación media absoluta de los diferentes sistemas de pronósticos para los módulos de 36, 18 y 32 volts	70
4.6 Política de inventario recomendada para los módulos de 36, 18 y 32 volts.	73
4.7 Estudio de tiempos y movimientos.....	75
4.8 Simulación	77
4.9 Análisis de resultados de propuesta de la política de inventario.....	80
Conclusiones.....	86
Anexos	89
Referencias	93

Índice de tablas

Tabla 2.1 Número recomendado de ciclos de observación.....	32
Tabla 4.11. Abreviatura utilizada en el estudio de tiempos y movimientos.	38
Tabla 4.1 Cursograma analítico del proceso de elaboración de paneles solares (Parte 1).	43
Tabla 4.2 Cursograma analítico del proceso de elaboración de paneles solares (Parte 2).	44
Tabla 4.3. Registro de ventas de la empresa 2018-2019.....	65
Tabla 4.4. Porcentaje de participación en ventas de todos los productos de la empresa.	66
Tabla 4.5. Estimación de diferentes sistemas de pronósticos para el módulo policristalino de 36v y 320 watts.....	69
Tabla 4.6 Resultados de diferentes sistemas de pronósticos.	70
Tabla 4.7. Desviación media absoluta de los diferentes sistemas de pronósticos del módulo policristalino de 36V 320 w.	71
Tabla 4.8 Desviación media absoluta de los diferentes sistemas de pronósticos.	72
Tabla 4.9 Costos asociados a módulos policristalinos.	73
Tabla 4.10 política de inventario recomendada para los módulos de 36, 18 y 32 volts.....	74
Tabla 5.1 Estudio de tiempos hoja 1	89
Tabla 5.2 Estudio de tiempos hoja 2.	90
Tabla 5.3 Estudio de tiempos hoja 3.	91
Tabla 5.4 Estudio de tiempos hoja 4.	92

Índice de figuras

Figura 2-1 Evolución de la capacidad de energía solar fotovoltaica acumulada por región.	9
Figura 2-2 Evolución de la capacidad de energía solar fotovoltaica acumulada por países.....	10
Figura 2-3 Radiación solar en el mundo.....	11
Figura 2-4 Generación con energías renovables (GWh) 1 de enero- 31 de diciembre 2017.....	12
Figura 2-5 Radiación solar en México.	12
Figura 2-6 Fijación de precios históricos y pronosticados de la industria fotovoltaica.	14
Figura 2-7 Proyección hacia 2024 de producción de energías limpias en México. 15	
Figura 2-8 Simbología del cursograma analítico	33
Figura 3-1 Metodología.	35
Figura 4-1 Diagrama de flujo del proceso.	42
Figura 4-2 Selección de celda.....	45
Figura 4-3 Corte de celdas.....	47
Figura 4-4 Mesa de corte.	48
Figura 4-5 Cortadora de EVA.....	49
Figura 4-6 Soldadura individual.....	50
Figura 4-7 Soldadura en cadena.....	51
Figura 4-8 Colocado de EVA y TPT.	53
Figura 4-9 Colocación de últimas capas de EVA y TPT.....	54
Figura 4-10 Comprobación de corriente y voltaje.....	55
Figura 4-11 Inspección de montaje.	56
Figura 4-12 Máquina de electroluminiscencia.....	57
Figura 4-13 Prueba de electroluminiscencia.....	58
Figura 4-14 Laminadora.....	59
Figura 4-15 Colocado de silicón en ranuras de marcos.....	60
Figura 4-16 Máquina de presión neumática.....	61
Figura 4-17 Simulador solar.....	62
Figura 4-18 Monitor de simulador solar.....	62
Figura 4-19 Análisis ABC de todos los productos.....	67
Figura 4-20 Registro de ventas julio 2018- agosto 2019 de productos críticos.....	68
Figura 4-21 desviación media absoluta de diferentes sistemas de pronósticos.....	71
Figura 4-22 Simulación en SIMIO.....	78
Figura 4-23 Primer parte del proceso en SIMIO.....	79
Figura 4-24 Parte final del proceso en SIMIO.....	80
Figura 4-25 Resultados de capacidad utilizada en el centro de trabajo de empaque.....	81

Figura 4-26. Resultados de capacidad utilizada en el centro de trabajo de laminación.	82
Figura 4-27. Distribución con una quinta laminadora.	83
Figura 4-28. Resultados de capacidad utilizada instalando la quinta laminadora.	84

Capítulo 1 Introducción

Actualmente, muchos de los países han optado por el uso de energías alternativas. A nivel mundial, el aprovechamiento de las energías renovables ha crecido de manera importante en los últimos años. La volatilidad de los precios de los combustibles convencionales, la lucha contra el cambio climático y la búsqueda de nuevas oportunidades de negocio son algunos de los factores que han impulsado este crecimiento.

Una de las fuentes alternativas de energía son los sistemas fotovoltaicos, en los cuales se aprovecha la energía solar para convertirla en energía eléctrica. Este tipo de combustible alternativo continúa siendo una fuente de poder de rápido crecimiento. En México, el sector solar creció un 32% de 2018 al primer semestre de 2019 (ALSOLMEX, 2019). Como resultado de la preocupación medioambiental, se observa un mercado en pleno desarrollo en diferentes países. México sigue apostando por la generación y consumo de energías limpias; es un país privilegiado por el nivel de radiación solar que recibe y que potencialmente se podría convertir de energía solar a energía eléctrica y/o calorífica. Su bajo costo y poco impacto contra el ambiente lo hacen ganar terreno en el país latinoamericano.

Otro de los factores que ha impulsado el crecimiento de la industria fotovoltaica en México son las políticas públicas en el medio ambiente y desarrollo sustentable, además de apoyos como el FIDE (Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica), que es un organismo privado de participación mixta que busca desarrollar e implementar acciones que propicien el uso eficiente de la energía eléctrica y la generación con renovables para contribuir al desarrollo económico, social y a la preservación del medio ambiente (FIDE, 2019).

Para satisfacer la evidente necesidad de productos necesarios para la instalación de sistemas fotovoltaicos en México han surgido diferentes empresas que se dedican a la producción, venta y distribución de paneles solares, inversores y todo

tipo de artículos relacionados con la industria fotovoltaica. Sin embargo, el principal problema para una empresa que produce sistemas fotovoltaicos es la demanda de dichos sistemas por parte de los clientes; puesto que la demanda es incierta, no es posible predecir de forma precisa las existencias de seguridad en los inventarios de materias primas, productos en proceso y producto terminado. Esto puede traducirse en problemas de producción en diferentes departamentos y, en consecuencia, baja productividad.

A pesar de que los errores de previsión pueden implicar pérdidas significativas, su impacto financiero sobre las empresas a menudo se descuida, además de tener dificultades en la línea de proceso en el momento de la planificación, programación y control de los recursos involucrados en el sistema productivo. Por lo tanto, las empresas que se dedican a la industria fotovoltaica necesitan un sistema para pronosticar adecuadamente las necesidades materiales y generar políticas ideales de inventario utilizando un modelo de pronósticos adecuado.

La mayoría de las empresas poseen inventarios, tanto de materias primas como de productos terminados, que son utilizados para satisfacer la demanda de sus clientes y aumentar su nivel de servicio lo que se ve reflejado en una mayor rentabilidad para las empresas. Debido a la naturaleza de cada tipo de industria y por ciertas características especiales de tratamiento, almacén, cantidades, entre otras características, no es lo mismo el control de inventarios de productos perecederos, textiles, automotrices, electrónicos, etc.

En el caso de empresas que desarrollan productos tecnológicos se deben tomar en cuenta diferentes factores como: avances tecnológicos, obsolescencia, condiciones de mercado y costos, ya que cada empresa requiere adaptarse a las necesidades de la industria con la finalidad de mantenerse a la vanguardia, enfrentando nuevos retos para poder ser competitivo.

Existen diversos métodos de control que son usados en las empresas por cada uno de los departamentos, con el fin de mantener un control adecuado; sin embargo, debe existir una política global que rijan a toda la organización para alinear los

objetivos de toda la empresa y no solo los objetivos locales. Tal es el caso de una política de inventarios que puede propiciar un mejor funcionamiento en cada uno de los departamentos de la empresa.

La problemática actual de la empresa objeto de estudio se relaciona con el desabasto de materias primas para producir sus productos, los cuales son principalmente módulos, que son suministrados mediante un sistema de pronósticos de último dato; es decir, los requerimientos mensuales se realizan a partir de la cantidad de piezas vendidas en el mes anterior inmediato. Una consecuencia de no contar con una política de inventarios adecuada en la empresa son tiempos muertos por parte del personal cuando existen faltantes de materias primas para producir. Incluso, se puede llegar al extremo de tenerlos que descansar y pagarles la mitad de su sueldo, mientras que, al llegar los materiales, se pagan horas extras para poder lograr la producción requerida. Esta situación no es la ideal, puesto que genera costos considerables. Si bien anteriormente se han realizado algunas mejoras, solo han sido en cuanto a una redistribución de planta. Para evitar la problemática antes mencionada de falta de inventario, es importante generar una política de inventarios adecuada.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Diseñar una óptima política de inventarios para una empresa que se dedica a la elaboración de sistemas fotovoltaicos, a través de un sistema de pronósticos adecuado, lo que permita disminuir problemáticas respecto al servicio al cliente y baja productividad.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar los productos clave mediante un análisis ABC, con base a los ingresos generados por cada producto.
- Identificar un modelo de pronóstico de la demanda que se adapte al comportamiento de las ventas de los productos de la empresa.

- Reconocer los costos asociados a cada uno de los productos, así como sus restricciones en cuanto a espacio, presupuesto y tiempos de entrega de proveedores.
- Realizar una óptima política de inventarios para cada uno de los productos de mayor importancia para la compañía.

1.2 Hipótesis

Con el diseño de una política de inventarios adecuada para la empresa estudiada, se evitará tener grades niveles de inventario, así mismo aumentará el servicio al cliente y se aprovecharan los recursos humanos, materiales y financieros de la empresa, de tal manera que aumentará la productividad de manera considerable.

1.3 Revisión de literatura

Existen diversas investigaciones sobre el tema de inventarios aplicado a casos prácticos para determinar las existencias de seguridad, buscando minimizar los costos implicados. Algunas de ellas se relacionan en gran medida al presente trabajo de investigación, como:

(Gutierrez-González, 2013) sugieren un análisis ABC para determinar los productos críticos de 15 productos de la industria eléctrica diferentes, para posteriormente identificar el tipo de demanda y diseñar un modelo de inventarios par cada uno de ellos.

(Dullaert, 2013) mediante simulación, muestra que la reducción de la variabilidad del tiempo de entrega no necesariamente disminuye los costos del inventario de seguridad, ya que podría incluso incrementarlo, lo cual depende de la distribución de la demanda del tiempo de entrega y del nivel de servicio meta.

(Ruiz-Torres, 2010) proponen un nuevo procedimiento basado en datos históricos de la demanda y el tiempo de entrega para calcular las existencias de seguridad, que no asume ninguna distribución de probabilidad y produce resultados más

próximos al nivel de servicio meta y menores costos del inventario que los modelos tradicionales, lo que confirma que estos modelos sobreestiman el punto de reorden.

(Avelino, 2017) presenta un análisis de datos para posteriormente determinar el sistema de pronóstico a utilizar, una vez contando con cada uno de los pronósticos procede a la aplicación de un modelo de inventarios.

(Chopra, 2008) afirma que los pronósticos de la demanda futura son esenciales para tomar decisiones puesto que forman la base de toda la planeación de la cadena de suministro.

(King, 2011) comenta que el manejo del inventario busca cumplir con 2 metas fundamentales: dar el nivel de servicio deseado por el cliente y que se haga a un costo mínimo del inventario, que son objetivos que deben balancearse para encontrar una solución apropiada. Afirma que es la variabilidad de la demanda del tiempo de entrega la variable de mayor influencia en esta decisión.

(Morales, 2015) afirma que empresas de gran tamaño requieren de un control y gestión de inventario debido al volumen de información y variedad de productos, para lo cual existen herramientas que engloban la teoría de pronósticos y los modelos de inventarios.

(Pérez, 2012) menciona que debido a las particularidades en la rotación y al comportamiento heterogéneo de la demanda de los productos en cada sitio de distribución, es conveniente realizar una clasificación por cada punto y definir modelos de pronósticos de manera individual.

(Wang, 2010) han derivado fórmulas para estimar el punto de reorden y las existencias de seguridad en caso de que la demanda y el tiempo de entrega estén correlacionados, ya que los modelos tradicionales asumen que estas 2 variables no están correlacionadas, lo cual puede que no sea así, como en el caso que un cliente importante haga pedidos de mayor volumen para satisfacer la demanda, o en caso que la demanda vaya a la baja y, en consecuencia, el proveedor haga corridas de producción más pequeñas y se tarde más en su entrega.

(Ben-Daya, 2003) consideran el tiempo de entrega como una variable controlable, la que descomponen en 3 partes: el tiempo de preparación, el tiempo de procesamiento y el tiempo no productivo. Para un buen manejo del tiempo de entrega debe buscarse la reducción del tiempo de preparación y la adecuada interacción entre el tamaño del lote y el tiempo de entrega.

(Yacuzzi, 2002) menciona que para enfrentar los cambios se deben adoptar nuevos conceptos y técnicas de gestión que permitan lograr un conocimiento más refinado de los mercados y del consumidor, así como una mejor posición, vía la reducción de la incertidumbre, para la toma de decisiones. Entre los métodos adoptados están las técnicas de pronóstico estadístico.

Capítulo 2 Marco teórico

2.1 La celda fotovoltaica

2.1.1 Origen de la tecnología fotovoltaica

Los inicios de la tecnología fotovoltaica se remontan a 1839, cuando el físico Alexandre-Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico con una pila electrolítica, pues comprobó que la exposición al sol aumentaba la corriente de la pila. Además, realizó importantes aportes científicos a los campos de la electricidad y la óptica (International, 2010). Sin embargo, la primera celda solar, con base en selenio como semiconductor y una capa fina de oro, llegaría casi 45 después, en 1883, a manos del inventor americano Charles Fritts, pero aún era demasiado costosa e impráctica para ser manufacturada en grandes cantidades (Benitez, 2017).

La época moderna de la celda de silicio llega en 1954 en los laboratorios Bell, por Gerald Pearson, Daryl Chapin y Calvin Fuller, quienes, experimentando con semiconductores, accidentalmente encontraron que el silicio con algunas impurezas era muy sensitivo a la luz. La primera utilización práctica de la generación de energía con celdas fotovoltaicas fue en los dos primeros satélites geoestacionarios de URSS y USA, donde se desarrolló el primer panel solar fotovoltaico para dicho uso espacial. Su aplicación inicial era la de alimentar autónomamente los equipos de comunicaciones de los satélites (Lamigueiro, 2018).

La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Explorer 1, lanzado en febrero del año 1958; este evento generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo de gran importancia que estimuló la investigación, buscando paneles cada vez más eficientes y que motivó a la industria de tecnología. El primer mercado de los paneles fotovoltaicos fue entonces dirigido al sector aeroespacial.

En 1960, varios autores, entre los que se incluye el premio nobel Schockley, desarrollaron la teoría fundamental de la celda solar en todos sus aspectos más relevantes: materiales, espectro de la radiación, temperatura, termodinámica y eficiencia.

Con la entrada de la celda de silicio a la industria comienza el desarrollo de tecnologías en la producción. El primer paso fue y aún lo es, buscar paneles más eficientes; esto se logró en 1970. La primera celda solar con hetero-estructura de arseniuro de galio (GaAs) y altamente eficiente se desarrolló en la Unión Soviética por Zhore Alferov y su equipo de investigación (Juárez, 2017).

En 1972 suceden dos hechos importantes: el primero es la creación de la Agencia de Desarrollo e Investigación en Energía (USA), la primera organización de desarrollo e investigación promovida y sostenida por un gobierno en el mundo, y en segundo lugar, el embargo petrolífero impuesto por los productores de petróleo del Golfo Pérsico. Este hecho sacudió intensamente a los países industrializados, de modo que muchos gobiernos iniciaron programas para favorecer la aplicación de las energías renovables, en especial la solar (Monera, 2015).

En el año 1981, Arco Solar (USA) sacó al mercado el primer panel de celda de 4 pulgadas (10 cm de lado). Con esto se conseguía una mayor potencia por unidad de superficie, alcanzando potencia de hasta 47 watts con la misma superficie. A continuación, y rápidamente salieron al mercado las celdas de 5 pulgadas y 6 pulgadas. Con la celda de 6 pulgadas, la potencia de los paneles alcanzó los 110-120 watts de potencia nominal, utilizando para ello 36 celdas por panel, teniendo este panel una medida de 100 cm x 140 cm. Las celdas de 4, 5 y 6 pulgadas, es decir, los módulos con potencias de 47, 80 y 120 watts, cubrieron durante varios años el 100% de las necesidades del mercado (Monera, 2015).

Estos módulos, durante varios años, fueron estándar en el mercado mundial, y durante estos años y en paralelo, se incrementaba la potencia de las celdas, hasta conseguir un rendimiento del orden de 15%, hasta los valores actuales dónde una celda de 6 pulgadas, puede producir hasta 4 watts. Aproximadamente a mediados

de los 90, se desarrolló la celda de 8 pulgadas, pero las dimensiones de este módulo, de momento, hacían inviable la comercialización de los mismos. Finalmente, y ante el incremento de las aplicaciones y de la potencia exigida por las mismas, a partir de 1993 se comenzaron a fabricar, con estas celdas, los paneles de 24 volts, colocando para ello 60-72 celdas en serie para alcanzar la tensión necesaria (Pita, 2019).

Mientras las compañías en Europa y Asia iban mejorando sus procesos de fabricación y aumentando su capacidad de producción, la industria japonesa despegó en la producción de módulos convencionales de silicio cristalino, así como en la fabricación de celdas de silicio amorfo para aplicaciones a pequeña escala (relojes, calculadoras, juguetes, etc.), que llegaron al nivel de mega watts en el mercado mundial.

2.1.2 Sistemas fotovoltaicos en la actualidad

Actualmente, la energía solar significa la protección del planeta, como una alternativa energética para un desarrollo sostenible, puesto que el sol es una fuente inagotable y limpia para la generación eléctrica. Las plantas de generación aislada para autoconsumo o las plantas conectadas a la red son el futuro para este desarrollo, por lo que se considera que la energía solar es el motor de los avances económicos en este siglo.

La figura 2.1 indica la evolución de la capacidad de energía solar fotovoltaica acumulada por continente desde el año 2005 hasta el año 2015.

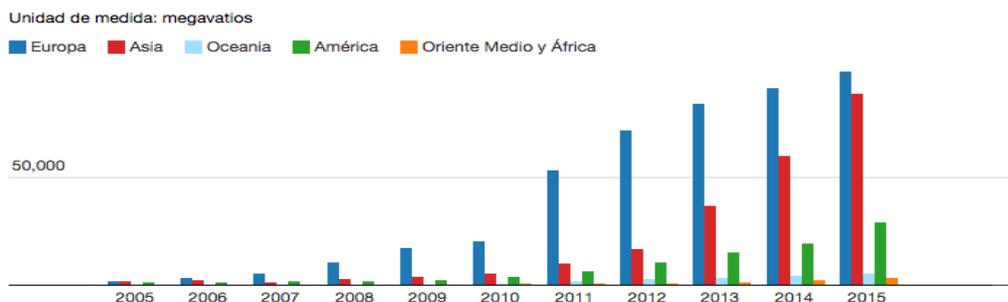


Figura 2-1 Evolución de la capacidad de energía solar fotovoltaica acumulada por región.

Fuente: (Irena, 2017).

Como se puede observar en la figura 2.1, el crecimiento de la energía solar fotovoltaica en el siglo XXI está teniendo un acelerado avance tecnológico y económico. Europa y Asia tienen un auge mucho más grande, lo cual significa grandes áreas de oportunidad para América y grandes áreas de oportunidad para empresas del sector fotovoltaico. En la figura 2.2 se muestra la evolución de la capacidad de energía solar fotovoltaica acumulada por países como China, Alemania, Japón, EUA, Reino Unido, Francia, Australia, India y España, del año 2005 al año 2015.

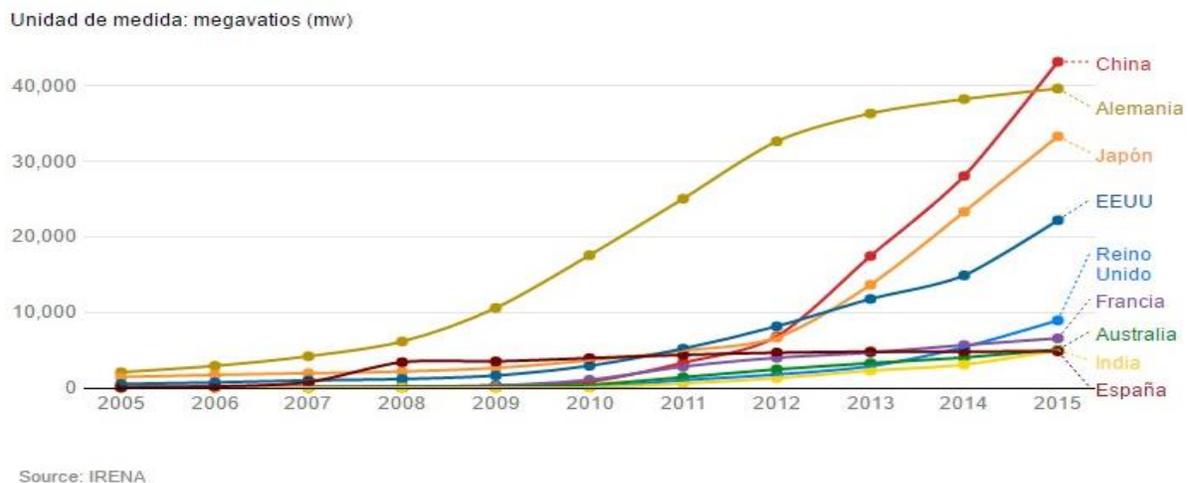


Figura 2-2 Evolución de la capacidad de energía solar fotovoltaica acumulada por países.
Fuente: (Irena, 2017).

La figura 2.2 muestra que la evolución de la capacidad de energía solar fotovoltaica ha incrementado de manera considerable en los últimos 5 años; sin embargo, son pocos países que aprovechan este tipo de energía, como es el caso de China, Alemania, Japón y Estados Unidos. En países como México, el aprovechamiento de energías renovables es relativamente nuevo, ya que la instalación de sistemas fotovoltaicos requiere de una inversión considerable. Sin embargo, los beneficios en el ahorro del consumo de energía eléctrica en un periodo definido amortizan dicha inversión. En la figura 2.3 se muestra la idoneidad por región a nivel mundial para el establecimiento de centrales térmicas solares.

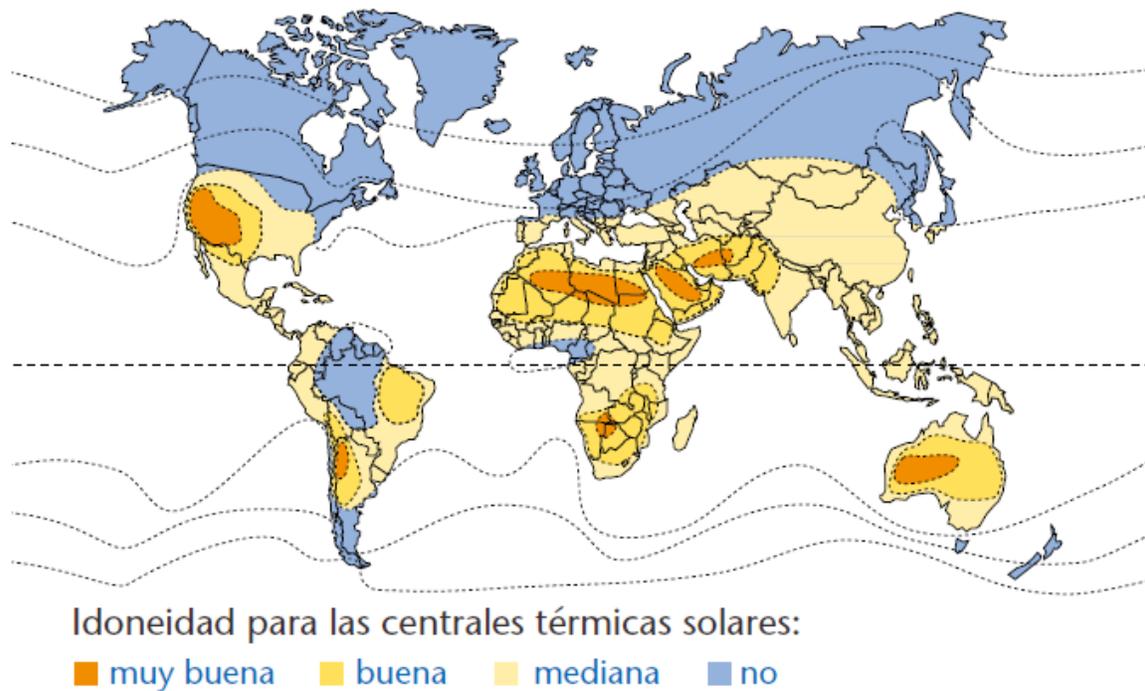


Figura 2-3 Radiación solar en el mundo

Fuente: (Fondear, 2007).

Centroamérica goza de una situación privilegiada en cuanto a la recepción de radiación solar. Como se puede observar en la figura 2.3, México es uno de los países que recibe una importante cantidad de radiación solar, con un promedio anual de 5.3 KWh/m² por día (SENER, 2019). Para que un sistema fotovoltaico sea rentable, se requiere una radiación promedio entre 5 y 6 KWh/m² (IIE, 2018); por esta razón, la implementación de sistemas fotovoltaicos en México es viable y rentable económicamente, a pesar de que el uso y producción de energías renovables no ha logrado tener un impacto significativo dentro del país. En la figura 2.4 se muestra el porcentaje de participación de energías renovables en México hasta el año 2017.

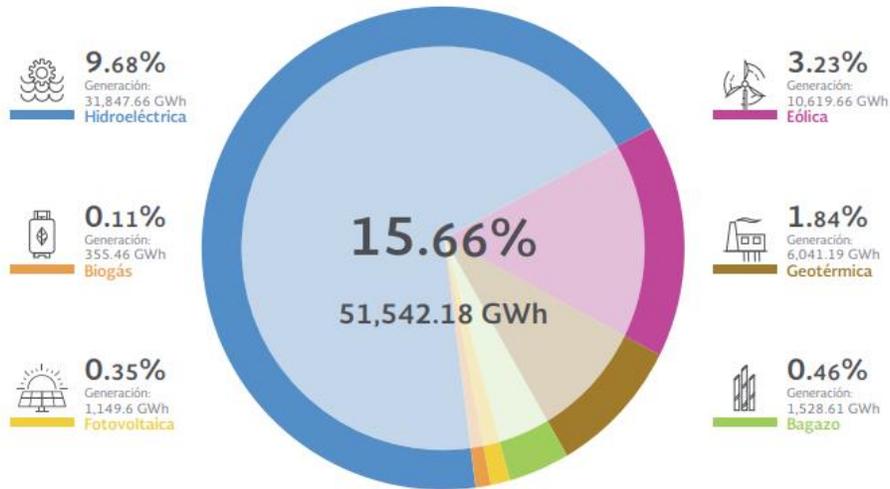


Figura 2-4 Generación con energías renovables (GWh) 1 de enero- 31 de diciembre 2017.

Fuente: (SENER, 2017).

En la figura 2.4 se observa que únicamente el 15.66% de la energía producida en México durante el año 2017 proviene de fuentes renovables, mientras que el 0.35% de éstas corresponde al sector fotovoltaico, por lo que existen oportunidades de crecimiento, tanto para empresas del sector como para los usuarios.

En la figura 2.5 se muestran los niveles de radiación solar por cada uno de los estados de la república mexicana.

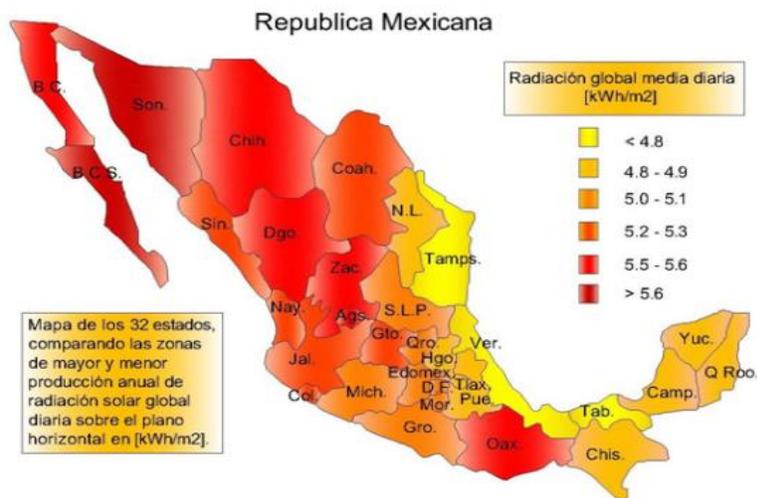


Figura 2-5 Radiación solar en México.

Fuente: (IIE, 2018).

En la figura 2.5 se puede observar que Tamaulipas, Veracruz y Tabasco reciben una radiación solar menor a $4.8\text{KWh}/\text{m}^2$ y que los 29 estados restantes reciben una radiación solar mayor a $4.8\text{ KWh}/\text{m}^2$. Considerando que en el 2019 el país con mayor capacidad de energía solar fotovoltaica acumulada fue China y su radiación solar promedio es de $5.25\text{ KWh}/\text{m}^2$ (IEA, 2019), se considera que la mayor parte del territorio mexicano es una gran área de oportunidad para la implementación de sistemas fotovoltaicos.

La iluminación pública en México ha mostrado oportunidad como un potencial mercado para la energía solar, capaz de mantener la producción y actividad de muchas empresas, tomando en cuenta que el resultado de entrar en ese mercado resultaría en una inmediata competencia con los tendidos eléctricos. Otro de los mercados potenciales y grandes oportunidades para las empresas es la electrificación rural en asentamientos remotos, para ayudar a esta significativa parte de la población a disponer de una modesta y significativa cantidad de iluminación y comunicaciones.

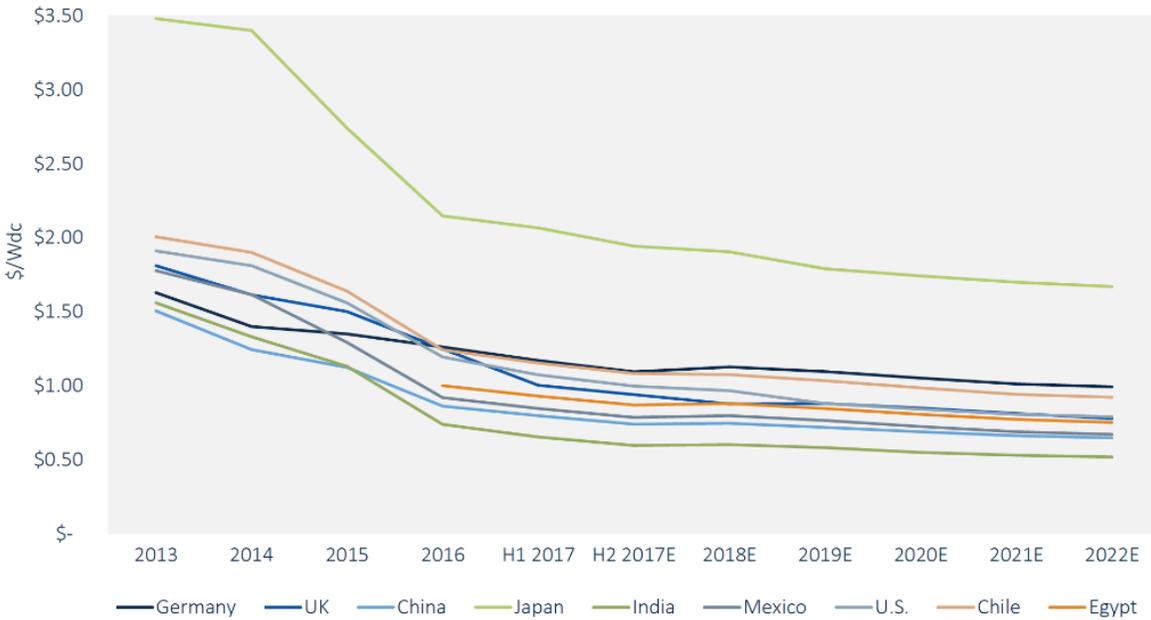
Actualmente, en los países con bajos recursos, la industria fotovoltaica resulta una elección técnica y económicamente más flexible a mediano plazo, y de igual manera en un largo plazo, en comparación con otras opciones, como el uso de la red eléctrica. Una vez puesta en marcha, las instalaciones no están sujetas las fluctuaciones de los precios de los combustibles fósiles.

Otro campo de aplicación de relevancia para la industria es la integración de los módulos solares en edificios, ya sean colocados en ventanas, fachadas, instalados en tejados, con mayor o menor fortuna en la integración. Se desarrolló un mercado enorme mediante el establecimiento gubernamental de tarifas especiales a pagar por la electricidad de origen fotovoltaico generada por particulares en conexión a red. Por otra parte, se encuentra la modalidad del autoconsumo solar que se realiza por iniciativa privada, la cual consiste en consumir directamente la energía que se produce con los paneles solares, fundamentalmente en el mismo lugar dónde se produce dicha energía.

Las instalaciones son normalmente de baja potencia, inversión reducida y por lo tanto aplicable a un gran número de usuarios potenciales. Además de la protección del medio ambiente, el beneficiario directo es el consumidor-usuario.

2.1.3 Evolución de precios de la tecnología fotovoltaica

Actualmente ha sido notorio el gran crecimiento, tanto en la producción de paneles solares los cuales son cada vez más económicos, como en la implementación de grandes plantas solares conectadas a la red eléctrica; en la figura 2.6 se muestra la evolución de precios de los sistemas fotovoltaicos en diferentes países.



Source: GTM Research

Figura 2-6 Fijación de precios históricos y pronosticados de la industria fotovoltaica. Fuente: (GTM Research, 2017).

Como se observa en la figura 2.6, los precios de la industria fotovoltaica han disminuido de manera considerable al paso de los años y se pronostica que sigan disminuyendo aún más, siendo el motivo para que empresas del sector se mantengan en constante innovación tanto en sus procesos de producción (optimizando los recursos), como en la generación de nuevas tecnologías más eficientes y económicas.

En estas áreas de mercado, el esquema de reducción en costos y ampliación en el uso de la tecnología han logrado impulsar a la industria fotovoltaica de manera agigantada, teniendo un explosivo crecimiento en la capacidad de producción y satisfacción en la demanda, día con día ganando nuevos mercados. En Japón el éxito también ha sido abrumador; allí se concede una subvención del 30% del costo de la instalación y luego se remunera el consumo neto, que es la diferencia entre el consumo total y la producción propia. En la figura 2.7 se muestra una gráfica de la cantidad y generación de energías limpias proyectadas hacia el 2024.

MÉXICO PODRÁ DUPLICAR SU CAPACIDAD DE GENERACIÓN LIMPIA HACIA 2024

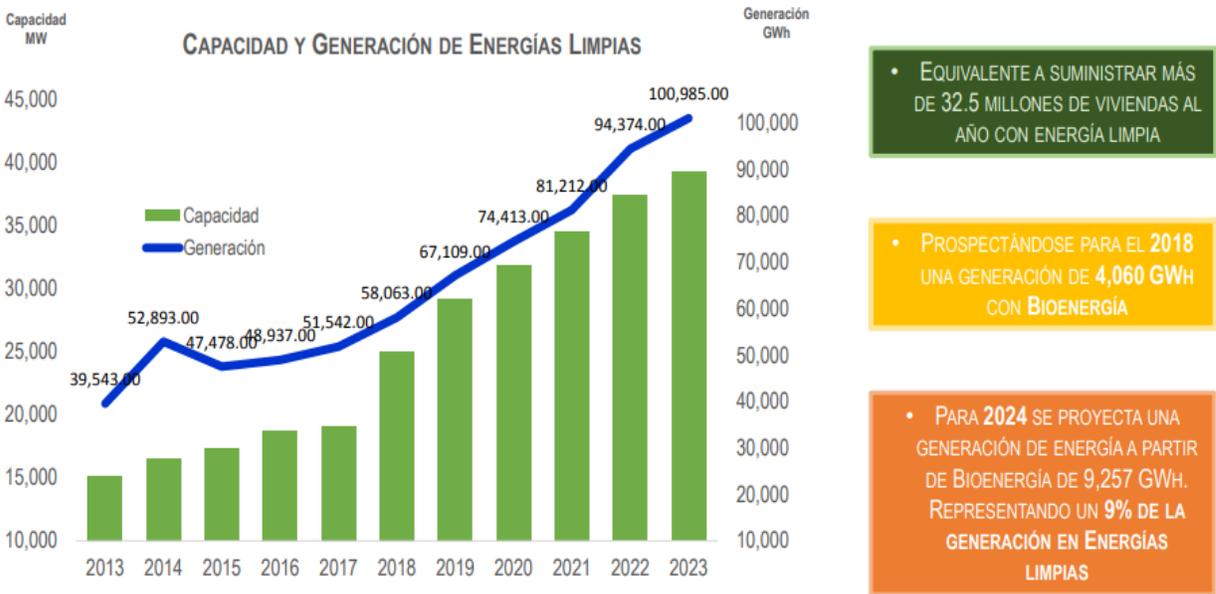


Figura 2-7 Proyección hacia 2024 de producción de energías limpias en México.
Fuente: (SENER, 2017).

En el siglo XXI la industria fotovoltaica tiene el potencial de convertirse en un suministrador importante de energía eléctrica. Como se puede observar en la figura 2.7, particularmente en México se espera que para el 2024 se duplique la generación de energías limpias respecto a lo generado en 2018 según la Secretaría de Energía.

2.2 Estructura de un panel fotovoltaico

Según (Peña, 2017), los paneles fotovoltaicos están compuestos principalmente por:

- **Celdas fotovoltaicas:** son hechas de silicio puro, elemento muy abundante en la naturaleza, pero que se encuentra junto con otros elementos y debe ser purificado en un grado del 99.99%. Las celdas fotovoltaicas tienen 0.5/0.6 V promedio y sirven para convertir la energía luminosa, es decir la luz, en energía eléctrica.
- **Cintas:** sirven para interconectar las celdas solares en grupos para formar cadenas de ellas, y posteriormente estas cadenas son conectadas en serie o en paralelo según sea el caso para obtener el voltaje y potencia que se desea. Las cintas están hechas comúnmente de estaño.
- **Cristal:** vidrio templado y anti reflejante con cualidades de transmisión de luz a más de 90%, es resistente contra impactos, el cual sirve para proteger las celdas fotovoltaicas.
- **Marco:** es un soporte con perforaciones que permiten la fijación y fácil instalación de los paneles. Son hechos de aluminio anodizado, que es un material que brinda una mayor protección que algunos polímeros, ante las amenazas del medio ambiente.
- **EVA (Etil Vinil Acrílico):** se utiliza como encapsulante para proteger las celdas y sus conexiones de agentes externos; soporta temperaturas muy extremas tanto en verano como invierno a cualquier hora del día y la noche, además de proporcionar aislamiento eléctrico. Es transparente para permitir que la energía solar llegue sin dificultad a la celda fotovoltaica.
- **TPT (Tedlar Poliéster Tedlar):** se trata de un laminado típicamente de tres capas, robusto y con altas propiedades dieléctricas, que se encarga de proteger al panel fotovoltaico de los rayos UV, la humedad y el paso del tiempo.

- **Caja de conexiones:** se utiliza para transferir la energía producida por el panel hacia un banco de baterías o a la red eléctrica. Está ubicada en la parte posterior del módulo, y contiene conexiones y diodos de protección

Los módulos fotovoltaicos pueden estar interconectados en serie o en paralelo, para obtener la misma diferencia de potencial (voltaje) y corriente (amperaje) deseado. Para una conexión en serie existe una suma de voltajes, manteniéndose el mismo amperaje. En el caso de la conexión en paralelo se suman los amperes, pero se mantiene la diferencia de potencial (voltaje).

2.3 Pronósticos

La principal problemática para una empresa que se dedica a la elaboración de sistemas fotovoltaicos es la demanda variable de cada uno de sus productos, ya que no se puede predecir de manera exacta. Es necesario implementar un sistema de pronósticos para evitar fluctuaciones drásticas en la producción, lo que permita predecir la demanda con el menor error posible, lo cual permitirá diseñar una política de inventario que sea adecuada para la empresa.

Los pronósticos de la demanda futura son esenciales para tomar decisiones sobre la cantidad a producir de cada producto. Existen diferentes formas de calcularlos; sin embargo, los pronósticos siempre están equivocados y, por tanto, deben incluir tanto el valor esperado del pronóstico como una medida de error del mismo. El margen de error depende del comportamiento de la demanda de cada producto, es por ello que no existe una sola forma de realizarlos.

Chopra (2008) clasifica los diferentes sistemas de pronósticos en cualitativos, de series de tiempo, causales y basados en la simulación.

1. **Cualitativos:** Los métodos cualitativos son principalmente subjetivos y se apoyan en el juicio humano. Son apropiados sobre todo cuando la información histórica no está disponible o existen muy pocos datos, o bien, cuando los expertos cuentan con resultados de investigación del mercado

que pueden afectar el pronóstico. Tales métodos pueden también ser necesarios para pronosticar la demanda a varios años en el futuro de una nueva industria.

2. **Series de tiempo:** Los métodos de pronóstico de series de tiempo utilizan la demanda histórica para hacer pronósticos. Se basan en la suposición de que la historia de la demanda pasada es un buen indicador de la demanda futura. Estos métodos son más apropiados cuando el patrón de la demanda básica no varía significativamente de un año al siguiente. Son los métodos más simples de implementar y pueden servir como un buen punto de inicio para el pronóstico de la demanda.
3. **Causales:** Los métodos de pronóstico causales suponen que el pronóstico de la demanda está altamente correlacionado con ciertos factores en el ambiente (el estado de la economía, las tasas de interés, etc.). Los métodos de pronóstico causales encuentran esta correlación entre la demanda y los factores ambientales y recurren a estimados de lo que serán los factores ambientales para pronosticar la demanda futura. Por ejemplo, la fijación de precios de los productos está fuertemente relacionada con la demanda. Las compañías emplean los métodos causales para determinar el impacto de las promociones de precio en la demanda.
4. **Simulación:** Los métodos de pronóstico por simulación imitan las elecciones del cliente que dan origen a la demanda para llegar a un pronóstico. Al emplear la simulación, la compañía puede combinar los métodos de series de tiempo y causales para responder muchas preguntas como: ¿cuál sería el impacto de una promoción en precio? ¿Cuál sería el impacto de la apertura de una tienda competidora cercana? Las aerolíneas simulan el comportamiento de compra del cliente para pronosticar la demanda de asientos de tarifa alta, cuando no hay asientos disponibles de tarifa baja.

A continuación, se definen los conceptos y métodos principales de los sistemas de pronóstico basados en series de tiempo, dado que dicha metodología se aplica cuando se cuenta con información histórica de ventas y las opiniones de expertos

son reservadas por tratarse de mercados relativamente nuevos. La empresa objeto de estudio cumple con dichas características.

2.3.1 Pronósticos de series de tiempo

Una serie de tiempo se basa en la secuencia de puntos de datos separados de manera periódica (semanal, mensual, trimestral y así sucesivamente). El pronóstico de serie de tiempo implica que los valores futuros se predicen únicamente a partir de los valores pasados, y que cualquier otra variable se ignore, no importa que tan valiosa sea.

2.3.2 Descomposición de una serie de tiempo

El análisis de las series de tiempo propone fraccionar los datos en componentes para proyectarlos hacia el futuro: una serie de tiempo tiene cuatro componentes típicos, que son *tendencia*, *estacionalidad*, *ciclos* y *variación al azar*. La tendencia es el movimiento gradual, ascendente o descendente, de los datos, a través del tiempo. La estacionalidad es el patrón de datos que se repite a sí mismo después de un período de días, como semanas, meses o trimestres (de este último surgió el término estacionalidad, por las estaciones: invierno, primavera, otoño y verano). Los ciclos son patrones que ocurren en los datos cada varios años. Generalmente se encuentran ligados al ciclo del negocio y son de importancia vital en el análisis y planeación de negocios a corto plazo. Finalmente, las variaciones al azar son señales en los datos causadas por oportunidades y situaciones inusuales, por lo que no siguen un patrón predecible (Chopra, 2008).

2.3.3 Pronósticos de serie de tiempo utilizando el último dato

La manera más fácil de pronosticar es asumir que la demanda del siguiente período es exactamente igual a la demanda del período inmediatamente anterior. Matemáticamente, esta forma de pronosticar se puede expresar de la siguiente manera:

$$F_{t+1} = d_t$$

Dónde:

F_{t+1} = Demanda del siguiente periodo

d_t = Demanda actual

Último dato es un método que se adapta a modelos de demanda constante, en el cual se considera una componente aleatoria con distribución normal. Este método es óptimo para patrones de demanda aleatorios o nivelados sin elementos estacionales o de tendencia.

2.3.4 Pronósticos de serie de tiempo promedio simplista

El método de pronóstico simple consiste en obtener la media aritmética de cierto número de datos históricos para determinar con este el pronóstico para el siguiente período; matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$F_{t+1} = \frac{\sum_{t=1}^T d_t}{T} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_T}{T}$$

Dónde:

d_T = Demanda real en el periodo t

T = Número total de periodos

Algunas líneas de productos seleccionan este enfoque de pronóstico simplista porque es un modelo de pronóstico objetivo que otorga el mismo nivel de importancia a datos anteriores que a los datos actuales y más eficientes en cuanto a costo. La objeción principal al uso de estos procedimientos para el pronóstico a corto plazo es que es tan simplista que lo más probable es que tenga errores, porque no toman en cuenta ciertos aspectos como la tendencia y estacionalidad.

2.3.5 Promedios móviles

Un promedio móvil consiste en promediar un número determinado de datos históricos de una serie de tiempo. Con cada periodo que pasa, el dato del periodo más reciente se adiciona a la suma de los datos de los últimos periodos previos, y

el primer periodo se suprime. Esto tiende a suavizar las irregularidades a corto plazo en las series de datos. Matemáticamente, el promedio móvil simple se expresa de la siguiente manera:

$$F_{t+1} = \frac{\text{Suma de las } n \text{ últimas demandas}}{n} = \frac{d_{t-1} + d_{t-2} + \dots + d_{t-n+1}}{n}$$

Dónde:

d_t = Demanda real

n = Número de los últimos periodos

Los promedios móviles son útiles si se asume que las demandas del mercado serán más o menos constantes durante un período de tiempo. Sin embargo, tienen dos problemas. Primero, el incremento del valor de n (número de periodos promediados) suaviza mejor las fluctuaciones, pero hace al método menos sensible a los cambios reales en la información. Segundo, los promedios móviles no pueden reconocer muy bien las tendencias. Puesto que son promedios, siempre se mantendrán dentro de los niveles pasados, y no predecirán un cambio a mayor o menor nivel.

2.3.6 Promedios móviles ponderados

Cuando existe una tendencia o patrón, se pueden utilizar pesos o ponderaciones para poner más énfasis en los valores recientes, generando un pronóstico de promedios móviles ponderados. Esto hace la técnica de pronóstico más sensible a los cambios, ya que los períodos recientes pueden tener mayor peso. Decidir qué pesos se van a utilizar requiere de alguna experiencia y un poco de suerte. La elección de pesos es de alguna forma arbitraria ya que no existe alguna fórmula para determinarlos. Si el último mes o período tiene demasiado peso, el pronóstico puede reflejar un cambio rápido e inusual en la demanda o patrón de ventas.

Matemáticamente, el método de los promedios móviles ponderados se puede expresar como:

$$F_{t+1} = w_1 d_t + w_2 d_{t-1} + \dots + w_n d_{t-n+1}$$

Donde:

$W_{1,2,3,\dots,n}$ = Peso dado a la demanda real en el periodo 1,2,..., n

n = Número de periodos en el pronóstico

$d_{t,t-1,\dots,t-n}$ = Demanda real en el periodo t, t-1,..., t-n

Tanto los promedios móviles simples como los ponderados son efectivos para suavizar las variaciones abruptas en el patrón de demanda, con el fin de ofrecer estimados estables.

2.3.7 Suavizamiento exponencial simple

El método de suavizamiento exponencial simple puede considerarse como una evolución del método de promedio móvil ponderado. En este método se calcula el promedio de una serie de tiempo con un mecanismo de autocorrección que busca ajustar los pronósticos en dirección opuesta a las desviaciones del pasado mediante una corrección que se ve afectada por un coeficiente de suavización (Chopra, 2008). Matemáticamente, el método de suavizamiento exponencial simple se puede expresar como:

$$F_{t+1} = \alpha D_{t+1} + (1 - \alpha)F_t$$

Donde:

F_t = Pronostico del último periodo

D_t = Demanda del último periodo

α = Valor del parámetro de suavizamiento alfa que posee un valor entre 0 y 1

El método de suavizamiento exponencial simple es el más apropiado cuando la demanda no tiene una tendencia o estacionalidad observable y es óptimo para patrones de demanda aleatoria o nivelada donde se pretende eliminar el impacto de los elementos irregulares históricos mediante un enfoque en períodos de demanda reciente. Posee una ventaja sobre el modelo de promedio móvil ponderado ya que no requiere de una gran cantidad de períodos y de ponderaciones para lograr óptimos resultados.

2.3.8 Suavizamiento exponencial doble

Si se tuviera que pronosticar un modelo con tendencia usando suavizado exponencial simple, el pronóstico tendría una reacción retrasada al crecimiento. Entonces, el pronóstico tendería a subestimar la demanda real. Para corregir esto se puede estimar la pendiente y multiplicar la estimación por el número de periodos futuros que se quieren pronosticar. Una simple estimación de la pendiente daría la diferencia entre las demandas en dos periodos sucesivos; sin embargo, la variación aleatoria inherente hace que esta estimación sea mala. Para reducir el efecto de aleatoriedad se puede usar la diferencia entre los promedios calculados en dos periodos sucesivos (Sipper, 1998).

Se puede usar suavizamiento exponencial para actualizar la estimación de la tendencia, lo que lleva al suavizamiento exponencial doble, representado por el siguiente conjunto de ecuaciones:

$$F_{t+1} = S_t + kB_t$$

$$S_t = \alpha d_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + B_{t-1})$$

$$B_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)B_{t-1}$$

Donde:

F_{t+1} = Pronóstico para el periodo t+1

S_t = Suavizamiento del periodo t

B_t = Tendencia del periodo t

d_t = Demanda real del periodo t

S_{t-1} = Estimación en el periodo t-1 (promedio simple)

B_{t-1} = Tendencia en el periodo t-1

α = Ponderación para el proceso constante

β = Ponderación para el proceso de tendencia

El pronóstico de suavización exponencial doble es óptimo para patrones de demanda que presentan una tendencia, al menos localmente, y un patrón estacional

constante, en el que se pretende eliminar el impacto de los elementos irregulares históricos mediante un enfoque en períodos de demanda reciente.

2.4 Medidas de error en los pronósticos

La demanda de cualquier empresa presenta un componente aleatorio. Un buen método de pronóstico debe captar el componente sistemático de la demanda, pero no el aleatorio. Este último se manifiesta en sí mismo en la forma de un error de pronóstico, que contiene información valiosa y debe analizarse con sumo cuidado (Chopra, 2008).

El error de pronóstico para el periodo t está dado por E_t , que se puede expresar de la siguiente manera:

$$E_t = F_t - D_t$$

Donde:

E_t = Error de pronóstico

F_t = Pronostico del periodo t

D_t = Demanda real del periodo t

En otras palabras, el error en el periodo t corresponde a la diferencia entre el pronóstico para el periodo t y la demanda real en el mismo periodo.

En tanto los errores observados estén dentro de los estimados históricos, las compañías pueden continuar utilizando su método de pronóstico actual. Encontrar un error que esté mayor que los estimados históricos puede indicar que el método de pronóstico que se emplea ya no es apropiado. Si todos los pronósticos de la compañía tienden consistentemente a subestimar o a sobrestimar la demanda, puede ser señal de que es tiempo de cambiar el método de pronóstico.

2.4.1 Error cuadrático medio

Una medida del pronóstico de error, es el error cuadrático medio (MSE, por sus siglas en inglés), donde se sostiene lo siguiente:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E_t^2$$

Donde:

MSE = Error cuadrático medio

E_t = Diferencia entre la demanda real y el pronóstico

n = Número de valores observados

El MSE mide el error cuadrado promedio de las predicciones. Para cada periodo, calcula la diferencia cuadrada entre las predicciones y el objetivo y luego promedia esos valores.

2.4.2 Desviación media absoluta

La definición de desviación absoluta media (MAD, por sus siglas en inglés) es el promedio de la desviación absoluta durante todos los periodos, esto es:

$$MAD_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n A_t$$

Donde:

MAD = Desviación media absoluta

A_t = Valor absoluto del error en el periodo t

n = Número de valores observados

Esta fórmula se utiliza para estimar la desviación estándar del componente aleatorio, suponiendo que éste se encuentra distribuido normalmente.

2.4.3 Error medio absoluto porcentual

El error medio absoluto porcentual (MAPE, por sus siglas en inglés) es el error absoluto promedio, expresado como porcentaje de la demanda y está dado por:

$$MAPE_n = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{E_t}{D_t} \right| 100}{n}$$

Donde:

$MAPE$ = Error medio absoluto porcentual

E_t = Diferencia entre la demanda real y el pronóstico

D_t = Demanda real del periodo t

n = Número de valores observados

Para determinar el método que minimice el margen de error, lo recomendable es evaluar los diferentes sistemas de pronósticos y medir los diferentes tipos de errores de cada uno de ellos para sustentar su uso en una política de inventario.

2.5 Inventarios

El inventario es una cantidad de bienes bajo el control de una empresa, guardados durante algún tiempo para satisfacer una demanda futura. Se usa en la mayor parte de las actividades de manufactura, servicio, distribución y venta, y debido a que puede resaltar la rentabilidad y la competitividad, se estudia ampliamente en el sector de manufactura.

Las economías de escala pueden hacer que un inventario sea deseable aun cuando sea posible balancear el suministro y la demanda. Existen ciertos costos fijos asociados con la producción y la compra; éstos son los costos de preparación y los costos de ordenar, respectivamente. Para recuperar este costo fijo y reducir el costo unitario promedio se pueden comprar o producir muchas unidades cada vez que se ordene un producto. Estos tamaños de lote grandes se ordenan con poca frecuencia y se colocan en inventario para satisfacer la demanda futura.

El inventario acumulado en periodos de demanda baja se usa para satisfacer la demanda alta de otros periodos; ello permite que las instalaciones de producción operen a una tasa relativamente constante de producción, característica deseable

en la manufactura. El servicio a clientes es otra razón para mantener un inventario. El inventario se forma para poder cumplir de inmediato con la demanda, lo que lleva a la satisfacción del cliente.

Cuando existe incertidumbre en la demanda, una manera de evadirla es mantener en inventario más unidades de las pronosticadas como demanda; esto evita la posibilidad de quedarse sin unidades si la demanda real excede al pronóstico. Este inventario adicional se llama inventario de seguridad. El proceso de reabastecimiento es otra fuente de incertidumbre que puede justificar mantener un inventario de seguridad.

2.5.1 Tipos de inventario

Los tipos de inventario en los sistemas de producción se clasifican según el valor agregado durante el proceso de manufactura. La clasificación considera la materia prima, el producto en proceso (PEP) y los productos terminados (Sipper, 1998).

La materia prima incluye todos los materiales requeridos para los procesos de manufactura y ensamble por ejemplo:

- Material que necesita procesamiento más adelante en el proceso (celdas, barras de acero)
- Componentes que forman parte de un producto tal como están (cables, tornillos)
- Artículos de consumo (soldadura, electrodos, pegamento, tornillos)

El inventario del producto en proceso (PEP) contiene los elementos que esperan para ser procesado o ensamblado en el sistema de producción y puede incluir productos semiterminados (por ejemplo, una tuerca roscada, pero sin recubrimiento) o subensambles (por ejemplo, cinescopios de televisor).

2.5.2 Costos de los inventarios

Se define un inventario como una "cantidad de un bien" y, como tal, incurre en costos. El costo de compra es obvio. Otros tipos de costos son el costo de ordenar

(de preparación), el costo de almacenaje, el costo por faltantes y el costo de operación del sistema.

El costo de compra es el costo por artículo que se paga a un proveedor (llamado también costo de materiales). Sea C el costo unitario y Q el número de unidades compradas (tamaño del lote), entonces el costo total de compra es CQ , una función lineal de Q . En algunos casos, el proveedor tiene una tabla de costos basada en la cantidad comprada. En este caso, el costo unitario C es una función de Q y el costo de compra es una función más compleja. Si se fabrica una unidad, C corresponde al costo unitario de producción e incluye tanto el costo del material como el costo variable para producirla. El costo total de manufactura para un lote de producción de nuevo es CQ , solo que en este caso C se refiere al costo unitario de producción y no al de compra.

Un costo de ordenar — el costo de preparar y controlar la orden — es aquel en que se incurre cada vez que se coloca una orden con el proveedor. Es independiente del tamaño del lote que se compra y, por lo tanto, es un costo fijo denotado por A . Sin embargo, el costo anual de ordenar, que se estudiará más adelante, depende del tamaño del lote. Para un lote fabricado, el costo fijo está dominado por el costo de preparación, que incluye el costo de preparar la máquina para la corrida de producción (tiempo ocioso de la máquina y mano de obra) y quizá algunos costos de materiales para el arranque debido a rechazos iniciales. Se usa la misma notación, A , para el costo de preparación.

El inventario compromete el capital, usa espacio y requiere mantenimiento, y todo cuesta dinero. Esto se llama costo de almacenaje o de mantener el inventario e incluye lo siguiente:

- Costo de oportunidad
- Costos de almacenaje y manejo
- Impuestos y seguros
- Robos, daños, caducidad, obsolescencia, etcétera.

El costo de almacenar comienza con la inversión en el inventario. El dinero comprometido no puede obtener rendimientos en otra parte. Este costo es un costo de oportunidad, que por lo general se expresa como un porcentaje de la inversión. El valor más bajo de este costo de oportunidad es el interés que ganaría el dinero en una cuenta de ahorros. La mayor parte de las empresas tienen mejores oportunidades que las cuentas de ahorros y muchas tienen una tasa mínima de retorno, que usan para evaluar inversiones, normalmente llamada costo de capital.

2.6 Análisis ABC

En un sistema de inventario cada producto requiere cierto control y administración desde el punto de vista individual; sin embargo, debe reconocerse que no todos los clientes ni todos los artículos en el almacén son igual de importantes para la organización. Existen artículos en el almacén con una alta demanda que representan las mayores ganancias para la empresa. A este tipo de artículos debe prestárseles mucha atención para lograr un alto nivel de servicio. No obstante, existen otro tipo de productos cuya demanda es baja y sus ventas no representan grandes beneficios como los artículos de alta demanda.

Cuando existe un número considerable de artículos en un sistema de inventarios, no es necesario dar el mismo grado de atención a cada uno de ellos. Se puede aplicar una técnica de clasificación de inventarios de múltiples productos, como el análisis ABC, que es muy útil para enfocar la atención en los productos más importantes dentro de un sistema de inventarios. El análisis ABC se basa en una forma de medición representativa para la organización. Con frecuencia la medida de desempeño más representativa son las ventas de cada uno de los artículos, aunque cada administrador puede elegir la forma de medición que considere más representativa para realizar el análisis.

El análisis ABC se utiliza para jerarquizar artículos del inventario en orden descendente según su importancia, que se puede medir de dos formas: por sus ventas representadas en dinero o por su nivel de rotación, clasificándose de la siguiente manera:

- A = artículos con altos ingresos económicos o alta rotación
- B = artículos con medios ingresos económicos o rotación media
- C = artículos con bajos ingresos o baja rotación.

Por lo general, las curvas ABC muestran que el grupo A contiene alrededor del 20% del total de los artículos jerarquizados, que representan el 80% de los ingresos de la empresa o bien de su índice de rotación. El procedimiento para realizar la curva ABC en el siguiente (Silver, 1998):

1. Se tabulan los artículos del inventario en orden descendente debido a los ingresos que representa, a la rotación o a la combinación de ambas.
2. Se evalúa la actividad acumulada comenzando al principio de la lista y acumulando las actividades por artículo hacia abajo.
3. Se grafica la curva ABC del porcentaje acumulado de los ingresos económicos o de la rotación de inventario como función del porcentaje acumulado de artículos.

2.7 Estudio de tiempos

Un estudio de tiempos y movimientos es una técnica del estudio del trabajo, con la que se determina el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea definida, efectuándola según una norma de ejecución preestablecida (Kanawaty, 2008). El fin del estudio los tiempos y movimientos es evitar movimientos innecesarios que solo hacen que el tiempo de operación sea mayor.

Este tipo de estudios empezaron en el siglo XVIII en Francia, cuando Perronet realizó estudios acerca de la fabricación de alfileres (Niebel, 2009), pero no fue hasta finales del siglo XIX, con las propuestas de Frederick Taylor que estas se difundieron y fueron conocidas. Taylor fue llamado el padre de la administración científica y desarrolló en los 80's el concepto de "tareas" (Meyers, 2000), en el que proponía que la administración se debe encargar de la planeación de tareas de cada uno de sus empleados y que cada trabajo debía tener un estándar de tiempo basado en el trabajo de un operario muy bien calificado.

El estudio de tiempos y movimientos se realiza para poder contar con información para tomar decisiones y aumentar la productividad de la empresa detectando áreas de oportunidad y balancear el proceso de producción, tomando en cuenta los siguientes objetivos para las empresas:

- Minimizar el tiempo requerido para la ejecución de trabajos.
- Conservar los recursos y minimizar los costos.
- Proporcionar un producto que sea cada vez más confiable y de alta calidad.
- Eliminar o reducir los movimientos ineficientes y acelerar los eficientes.
- Antes de realizar un estudio de tiempos, deben cumplirse ciertos requerimientos fundamentales. Por ejemplo, si se requiere un estándar de un nuevo trabajo, o de un trabajo antiguo en el que el método o parte de él se ha alterado, el operario debe estar completamente familiarizado con la nueva técnica antes de estudiar la operación. Además, el método debe estandarizarse en todos los puntos en que se use antes de iniciar el estudio. A menos que todos los detalles del método y las condiciones de trabajo se hayan estandarizado, los estándares de tiempo tendrán poco valor y se convertirán en una fuente continua de desconfianza, resentimientos y fricciones internas (Niebel, 2009).

El equipo mínimo requerido para realizar un programa de estudio de tiempos incluye un cronómetro, un tablero de estudio de tiempos, las formas para el estudio y una calculadora de bolsillo. Un equipo de videograbación también puede ser muy útil.

2.8 Número de ciclos a observar

La determinación de la cantidad de ciclos que se estudió para llegar a un estándar equitativo es un asunto que ha causado una discusión considerable entre los analistas de estudio de tiempos, así como entre los representantes sindicales. Como la actividad de una tarea y su tiempo de ciclo influyen el número de ciclos que se pueden estudiar, desde el punto de vista económico el analista no puede estar completamente gobernado por la práctica estadística común que demanda cierto

tamaño de muestra basado en la dispersión de las lecturas individuales del elemento.

Para poder realizar un estudio de tiempos y movimientos es necesario determinar el número de ciclos a observar; General Electric Company estableció la tabla 2.1 como una guía aproximada para el número de ciclos que se deben realizar.

Tiempo de ciclo (minutos)	Número recomendado de ciclos
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

Tabla 2.1 Número recomendado de ciclos de observación

Fuente: (Niebel, 2009).

En la tabla 2.1 se observa que para ciclos más cortos el número de observaciones es mayor y para ciclos más largos el número de observaciones disminuyen.

2.9 Cursograma analítico

El cursograma analítico es una representación gráfica de los pasos que se siguen en toda una secuencia de actividades, dentro de un proceso o un procedimiento, identificándolos mediante símbolos de acuerdo con su naturaleza; incluye, además, toda la información que se considera necesaria para el análisis, tal como distancias recorridas, cantidad considerada y tiempo requerido. Con fines analíticos y como ayuda para descubrir y eliminar ineficiencias, es conveniente clasificar las acciones que tienen lugar durante un proceso dado en cinco clasificaciones. En la figura 2.8 se muestra la simbología utilizada en el cursograma analítico.

Actividad	Símbolo	Resultado predominante
Operación		Se produce o efectúa algo.
Transporte		Se cambia de lugar o se mueve.
Inspección		Se verifica calidad o cantidad.
Demora		Se interfiere o retrasa el paso siguiente
Almacenaje		Se guarda o protege.

Figura 2-8 Simbología del cursograma analítico

Fuente: (Ceneval, 2017).

En la figura 2.8 se puede observar las actividades básicas del estudio de métodos las cuales son: operaciones, transportes, inspecciones, retrasos o demoras y almacenajes, así como los respectivos símbolos de cada una de ellas.

El cursograma analítico muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones de taller o en máquinas, inspecciones, márgenes de tiempo y materiales a utilizar en un proceso de fabricación o administrativo, desde la llegada de la materia prima hasta el empaque o arreglo final del producto terminado. Señala la entrada de todos los componentes y subconjuntos al ensamble con el conjunto principal. De igual manera que un plano o dibujo de taller, presenta en conjunto detalles de diseño como ajustes, tolerancia y especificaciones; todos los detalles de fabricación o administración se aprecian globalmente en un diagrama de operaciones de proceso.

Antes de que se pueda mejorar un diseño se deben examinar primero los dibujos que indican el diseño actual del producto. Análogamente, antes de que sea posible mejorar un proceso de manufactura conviene elaborar un diagrama de operaciones que permita comprender perfectamente el problema, y determinar en qué áreas existen las mejores posibilidades de mejoramiento. El diagrama de operaciones de proceso permite exponer con claridad el problema, pues si no se plantea correctamente un problema difícilmente podrá ser resuelto (CENEVAL, 2018).

2.10 Simulación

Desde su inicio, la simulación ha sido una metodología popular para resolver muchos problemas complejos del mundo real (Keyser, 2017). La simulación permite a los usuarios evaluar su sistema mediante la creación de escenarios de "qué pasaría si", que a cambio facilita el análisis del comportamiento del sistema y capacidades de toma de decisiones antes de tocar los entornos del mundo real (April, 2006). La optimización puede proporcionar un método para evaluar la superioridad de alternativas simuladas para determinar la mejor configuración del modelo.

Actualmente, la investigación tiende a la integración de la simulación y la optimización, cuando se trata de sistemas complejos grandes y altamente estocásticos. De hecho, los modelos SO (simulación-optimización), son los precursores de la implementación de problemas difíciles con el intento de responder a la incertidumbre inherente de un sistema. Los modelos matemáticos son fundamentalmente aplicables a sistemas deterministas, mientras que los modelos SO son más favorables para sistemas complejos y estocásticos con tantos. En otras palabras, cuanto más estocástico es un sistema, los modelos utilizados son menos matemáticos y la simulación se convierte en una posible alternativa.

En general, la simulación es una herramienta para observar el comportamiento de un proceso o de los efectos posibles de la implementación de mejoras. Los simuladores permiten observar de manera gráfica y analítica si el impacto de los resultados es el esperado.

Un simulador permite crear diferentes escenarios en cuanto a propuestas de mejoras y verificar su comportamiento sin tener que realizar ensayos de prueba y error. A través del diseño de un modelo se permiten simular procesos, lo cual facilita la toma de decisiones, disminuyendo el grado de error y tomando en cuenta todas las variables posibles para que el modelo se asemeje a la realidad.

Capítulo 3 Metodología

En la figura 3.1 se muestra la metodología a seguir en el proceso de investigación de la empresa objeto de estudio.

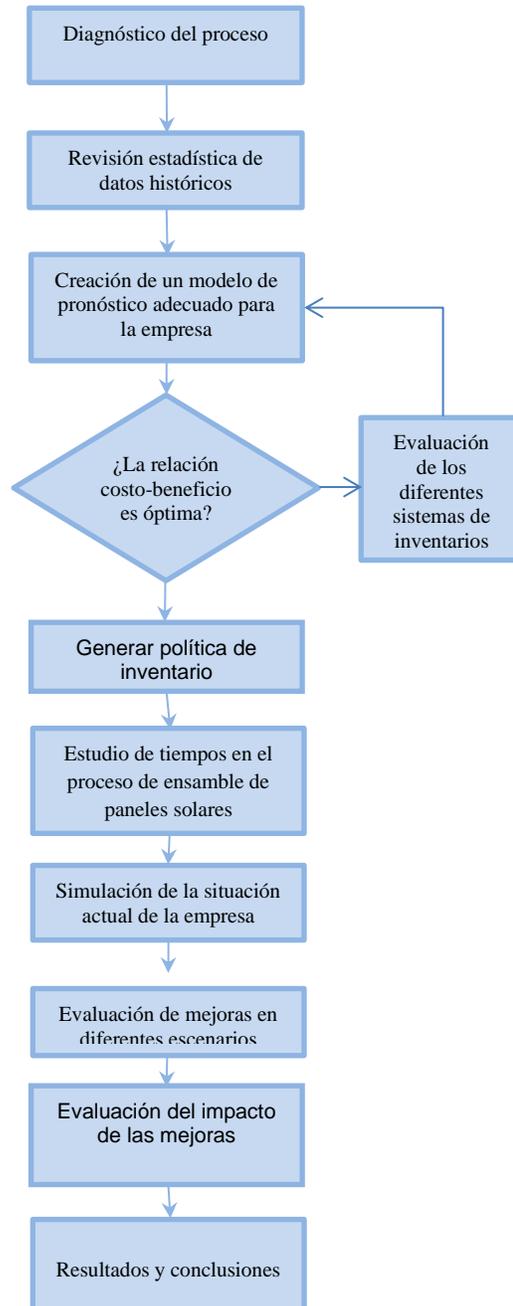


Figura 3-1 Metodología.

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para poder identificar la problemática asociada con la empresa, el primer paso fue un recorrido de las instalaciones y conocer el proceso de producción de módulos solares. Posteriormente se realizó una entrevista con el jefe de producción de la planta con la finalidad de identificar áreas de oportunidad, quien proporcionó información de datos históricos de ventas.

Una vez detectado el problema se realizó la revisión bibliográfica correspondiente, para busca la mejor alternativa para abordar la problemática en el desarrollo del trabajo.

3.1 Diagnóstico del proceso

Para realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso, se elaboró un cursograma analítico y un diagrama de recorrido, con la finalidad de identificar las actividades realizadas en cada estación de trabajo y la secuencia del proceso, así como identificar la importancia de cada una de ellas.

3.2 Revisión estadística de datos históricos

Para identificar los productos críticos de la empresa, se realizó el tratamiento de los datos históricos de las ventas mensuales de cada uno de los productos durante el último año. Esto se realizó mediante un análisis ABC propuesto por Wilfredo Pareto. El análisis ABC sirve para determinar aquellos productos que representan mayor demanda, con base en los hallazgos se determinaron los productos críticos, los cuales requieren una especial atención en cuanto al control de sus existencias.

3.3 Modelos de pronósticos

Con el objetivo de no perseguir la demanda y estabilizar la producción (eliminando fluctuaciones drásticas) se evaluaron los diferentes sistemas de pronósticos, para determinar el sistema que mejor se adapte al comportamiento de la demanda de cada uno de los productos identificados en el análisis ABC.

La finalidad de determinar el sistema de pronósticos adecuado fue disminuir los errores al realizar el pronóstico para el siguiente periodo. Ya que se tenga

identificado el sistema de pronósticos más adecuado para cada uno de los productos, se realizó el pronóstico de los siguientes periodos, lo cual sirvió como base para diseñar la política de inventarios de cada producto.

La primera etapa fue determinar la tendencia de la demanda de cada uno de los productos de manera individual y por grupo, con el fin de definir el método de pronóstico a usar. Por simulación en hoja de cálculo de Excel, se determinaron los requerimientos futuros usando los métodos: Último dato, promedio simple, promedio móvil y suavización exponencial simple, estableciendo comparaciones entre ellos para establecer el más apropiado, tomando como criterio de evaluación el que presentó la menor desviación absoluta (MAD).

3.4 Generación de política de inventario

Una vez realizado el pronóstico para cada uno de los periodos posteriores de cada producto, se validó el sistema de inventarios pertinente que se adecuara según la naturaleza del producto y se investigarán los costos asociados a dicho producto como lo son: costo de materias primas, costos de mantener y costos de ordenar.

Con información acerca de los sistemas de inventarios y los costos asociados se pudo determinar la cantidad a producir y los periodos de producción, con el objetivo de generar un inventario que disminuya los costos pero que no sacrifique el nivel de servicio al cliente. Además, sirve para poder realizar las órdenes de compra con anticipación y evitar paros de producción por desabasto de materias primas.

Considerando la política de control de inventarios que se desea proponer, el primer paso fue encontrar la cantidad óptima a producir para cada uno de los artículos identificados como críticos y determinar la los costos de preparación de la orden de pedido y los costos de mantener de cada producto.

3.5 Estudio de tiempos

El proceso para llevar a cabo el estudio de tiempos consiste en una serie de pasos sistemáticos para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en realizar una tarea. Lo anterior es de gran utilidad al realizar planes agregados,

cargas de trabajo, balanceo de líneas de producción, proyección de ventas y demás tomas de decisiones. El estudio de tiempos aplicado dentro de este trabajo de investigación consistió en los siguientes pasos: división de operaciones en elementos de trabajo, determinar el número de ciclos de trabajo a observar, calificación del desempeño del operario, así como contemplar los sistemas de suplementos.

Para facilitar su medición, se dividió la operación del armado de celdas fotovoltaicas en sus elementos individuales o grupos de movimientos. Cada elemento se registró en su secuencia apropiada, incluyendo una división básica de trabajo terminado mediante un sonido o movimiento distintivo. El tiempo de ciclo en cada estación de trabajo se encuentra de 10 a 20 minutos, se determinó que el número de ciclos a observar para que el estudio de tiempos fuera de 10 ciclos, aumentando en 2 las 8 observaciones sugeridas para ciclos de 10 a 20 minutos por General Electric Company para aumentar el grado de confiabilidad del estudio (ver tabla 2.1).

Se realizaron 10 observaciones de la producción de módulos de 320 watts, durante una semana de manera aleatoria, para lo cual se dividieron y codificaron las actividades como se muestra en la tabla 4.11.

Descripción	Abreviatura
Selección de celdas	A
Transporte de celdas	B
Corte Etil Vinil	C
Soldadura con cautín	D
Montaje	E
Trasporte de modulo	F
Inspección de calidad	G
Transporte a laminadora	H
Laminación	I
Transporte a enmarcado	J
Enmarcado	K
Transporte a calidad	L
Pruebas de calidad	M
Transporte a empaque	N
Empaque	O

Tabla 3.1. Abreviatura utilizada en el estudio de tiempos y movimientos.

Fuente (Elaboración propia, 2020).

En la tabla 4.11 se observan las 15 actividades del proceso de producción de paneles solares; cabe mencionar que, sin importar el tamaño del panel, todos los paneles pasan por el mismo proceso, lo único que diferente es el tiempo en cada estación de trabajo.

Una vez determinado el número de ciclos a observar y la delimitación de elementos, se realizó el estudio de tiempos en forma aleatoria en cada una de las estaciones de trabajo utilizando un cronometraje continuo expresado en minutos, el registro de 2 de los 10 ciclos como ejemplo, se muestran en la tabla 4.12.

Como el tiempo real requerido para ejecutar cada elemento del estudio depende en un alto grado de la habilidad y esfuerzo del operario, es necesario ajustar hacia arriba el tiempo normal del operario bueno y hacia abajo el del operario deficiente hasta un nivel estándar. Por lo tanto, antes de dejar la estación de trabajo, se dio una calificación justa e imparcial al desempeño en el estudio.

En el sistema de calificación del desempeño, se evaluó la efectividad del operario en términos del desempeño de un operario calificado que realiza el mismo elemento. El valor de la calificación se expresó como un porcentaje y se asignó al elemento observado. Un operario calificado se contempló como un operario completamente experimentado que trabaje en las condiciones acostumbradas en la estación de trabajo, a un paso ni demasiado rápido ni demasiado lento, pero representativo de un paso que se puede mantener a lo largo del día.

Ningún operario puede mantener un paso estándar todos los minutos del día de trabajo. Pueden ocurrir tres clases de interrupciones para las que debe asignarse tiempo extra. La primera son las interrupciones personales, como viajes al baño y a tomar agua; la segunda es la fatiga que afecta incluso a los individuos más fuertes en los trabajos más ligeros. La tercera, son los retrasos inevitables, como herramientas que se rompen, interrupciones del supervisor, pequeños problemas con las herramientas y variaciones del material, todos ellos requieren la adición de una holgura. Como el estudio de tiempos se realizó durante un periodo relativamente corto y como los elementos extraños se retiraron al determinar el

tiempo normal, por lo que se añadió una holgura al tiempo normal a fin de llegar a un estándar justo que un trabajador pueda lograr de manera razonable. El tiempo requerido para un operario totalmente calificado y capacitado, trabajando a un paso estándar y realizando un esfuerzo promedio para realizar la operación se llama tiempo estándar (TE) de esa operación.

Una vez teniendo cada una de las mediciones con su valoración respectiva se procedió a graficar el comportamiento de los datos y verificar el tipo de función a la que se asemeja cada uno de los procesos, para complementar el análisis estadístico se calculó la media y desviación estándar para cada una de las funciones (datos que sirvieron para la simulación).

Con el tiempo estándar de cada uno de los pasos para realizar el ensamblado de módulos fotovoltaicos se logró realizar la simulación correspondiente y se pudieron observar los cuellos de botella y el comportamiento del proceso para posteriormente vincular la demanda y verificar los tiempos improductivos por falta de materias primas.

3.6 Simulación

Para la validación de las políticas de inventario se utilizó un software de simulación, no obstante, existen diferentes softwares que permiten evaluar diversos escenarios de sistemas de producción como lo son: Pro Model, Simio, Arena, Anylogic. Sin embargo, algunos de ellos son muy costosos debido a que permiten el ingreso de múltiples entidades y locaciones. Para el presente trabajo se decidió utilizar Simio debido a su enfoque basado en objetos y por su compatibilidad con otros softwares como AutoCad para vincular información y poderla importar sin problema alguno, además de que el proceso es relativamente corto y no requiere de características especiales.

3.7 Resultados y conclusiones

Se establecieron conclusiones finales sobre la importancia de tener una política de inventarios adecuada en la empresa que asegure el aprovisionamiento de recursos. Además, se detectaron áreas de oportunidad dentro del proceso para aumentar la capacidad de producción.

Capítulo 4 Resultados y discusión

4.1 Diagnóstico del proceso

Para identificar los lugares físicos donde se realiza cada operación y la secuencia seguida por el proceso, se realizó el diagrama de flujo del proceso mostrado en la figura 4.1.

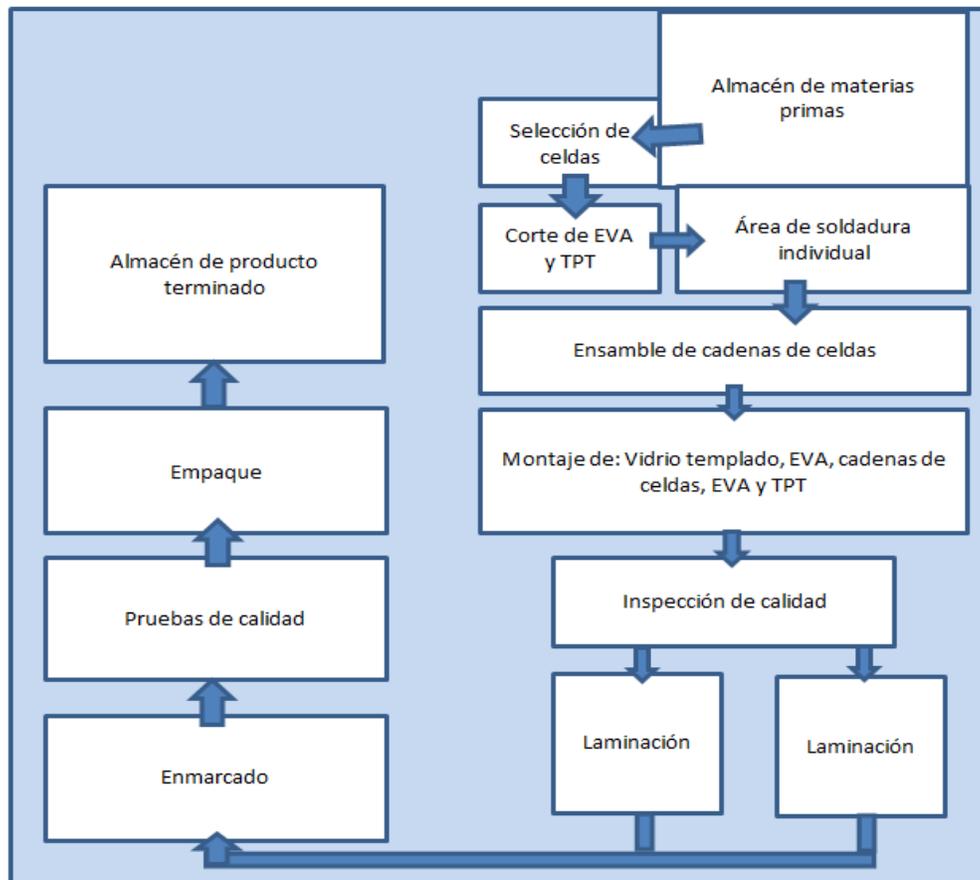


Figura 4-1 Diagrama de flujo del proceso.

Fuente (Elaboración propia, 2020).

Para tener una mejor comprensión y entendimiento del proceso de producción y las actividades que se realizan en cada una de las partes, en el cursograma de la tabla 4.1 se muestra de manera específica y de manera secuencial lo que se realiza en el proceso

CURSOGRAMA ANALÍTICO DE LA PRODUCCIÓN DE MÓDULOS SOLARES

DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: Modulo Solar		Hoja 1 de 2				
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: Producción de modulo solar						
DETALLES DEL PROCESO	ACTIVIDAD					RESPONSABLE
	○	□	D	⇒	▽	
Almacenamiento de las celdas en el almacén					●	Almacenista
Transporte de las celdas al área de selección				●		
Selección de las celdas de acuerdo a sus colores	●					
Inspección de las celdas		●				
Transporte de las celdas al área de soldadura				●		
Almacenamiento de la EVA y TPT en el área de almacén					●	
Transporte de la EVA al área de corte				●		
Corte de la EVA de acuerdo al tamaño del panel a producir	●					
Transporte de la EVA al área de soldadura				●		
Transporte del TPT al área de corte				●		
Corte del TPT de acuerdo al tamaño del panel a producir	●					
Transporte del TPT al área de soldadura				●		
Alimentación de celdas a la máquina de soldadura	●					
Alimentación de carretes de buses a la máquina de soldadura	●					
Producción de cadenas a base de celdas de la máquina	●					
Inspección de las cadenas		●				
Transporte de cadenas a los estantes				●		
Almacenamiento del cristal de vidrio templado en almacén					●	
Transporte del cristal al área de montaje				●		
Almacenamiento de buses en el almacén					●	
Transporte de buses al área de montaje				●		
Alistamiento de mesa para unión de elementos	●					
Se coloca el cristal encima de la mesa	●					
Se coloca la EVA en el cristal	●					
Colocación de cadenas de celda encima de la EVA (acorde al tamaño del panel)	●					
Se coloca el TPT en la parte inicial del panel	●					
Se colocan los buses en la parte inicial del panel	●					
Soldado manual de buses con las cadenas de las celdas	●					
Colocación de EVA encima de las cadenas	●					
Transporte del panel al área de iluminación				●		
Colocación del panel en los primeros estantes	●					
Encendido de la máquina para inspección	●					

Tabla 4.1 Cursograma analítico del proceso de elaboración de paneles solares (Parte 1).

Fuente (Elaboración propia, 2020).

CURSOGRAMA ANALÍTICO DE LA PRODUCCIÓN DE MÓDULOS SOLARES

DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: Modulo Solar		Hoja 2 de 2				
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: Producción de modulo solar						
DETALLES DEL PROCESO	ACTIVIDAD					RESPONSABLE
	○	□	D	➔	▽	
Colocación del panel en la máquina para inspección	●					
Inspección del panel		●				
Transporte del panel a los segundos estantes				●		
Encendido de la máquina para laminación	●					
Se colocan dos primeros sacos protectores para colocar dos paneles en la maquina	●					
Colocación de los paneles en la máquina	●					
Colocación de los segundos sacos protectores de cada panel	●					
Proceso de laminación por parte de la máquina	●					
Extracción de los dos paneles	●					
Colocación de paneles en estantes	●					
Transporte de los paneles al área de marcos				●		
Colocación de paneles en estantes	●					
Almacenamiento de marcos en el almacén					●	
Transporte de marcos al área de enmarcación				●		
Encendido de la máquina para enmarcar	●					
Se colocan los 4 marcos en la máquina	●					
Se coloca el panel en la máquina	●					
Proceso de enmarcación por parte de la máquina	●					
Inspección del panel		●				
Traslado a empaque				●		
Empaque de panel en cajas	●					
Traslado al área de almacén				●		
Almacenamiento de producto terminado					●	

Tabla 4.2 Cursograma analítico del proceso de elaboración de paneles solares (Parte 2).

Fuente (Elaboración propia, 2020).

En las tablas 4.1 y 4.2 se puede observar el proceso de elaboración de un panel solar a detalle, así como su secuencia de producción. Con la finalidad de conocer a profundidad cada parte del proceso, a continuación se describe el proceso de producción de un panel fotovoltaico.

4.1.1 Proceso de producción de un módulo fotovoltaico

El proceso de producción del panel fotovoltaico en la empresa objeto de estudio se realiza de forma manual, mediante un proceso no automatizado de ensamble de materiales, agregando valor al producto para ser colocado en el mercado de consumo.

4.1.1.1 Selección de celdas

El proceso de producción comienza con la selección de celdas solares. Este paso parte de que no todas las celdas tienen el mismo color y para no perder uniformidad en el tono se seleccionan y separan los elementos para que cada uno de los módulos cumpla con requisitos estéticos, como se muestra en la figura 4.2.



Figura 4-2 Selección de celda.

Fuente: (Peña, 2017).

Como se puede observar en la figura 4.2, la selección de celdas es proceso sencillo en donde la persona que está seleccionando deberá de tener en cuenta los siguientes criterios:

- El color de la celda, ya que se puede encontrar diferentes tonalidades. En un lote se pueden obtener celdas de tonalidad uniforme; sin embargo, existen ocasiones en las cuales se tienen hasta seis tonalidades diferentes por lote adquirido, variando desde colores claros a otros más oscuros.
- En el momento de la selección de celdas, es necesario revisar que los colectores primarios y secundarios no estén demasiado desgastados u oxidados.
- También es recomendable observar que las celdas no estén despostilladas, fracturadas o rotas.
- Las celdas deben estar libres de manchas. En algunas ocasiones las celdas solares presentan manchas circulares de diferentes tamaños. En caso de que la celda esté manchada con una huella digital (marca de dedo), el proceso de laminación desaparece y desvanece la mancha; sin embargo, cuando la mancha proviene de fábrica, por algún defecto de elaboración, esta debe de retirarse.

4.1.1.2 Corte de celdas

Las celdas fotovoltaicas entregan una diferencia de potencial de 0.5 volts en promedio, cada una. Si la celda es cortada, el voltaje se mantiene, debido a que la energía mínima necesaria para mantener unidos los semiconductores se mantiene. La característica que se ve reducida, es la corriente o amperaje debido a la reducción del área de la celda cortada. En la figura 4.3 se muestra el corte de celdas.



Figura 4-3 Corte de celdas.

Fuente: (Peña, 2017).

En la figura 4.3 se muestran celdas cortadas; sin embargo, los módulos con potencias superiores a 135 son elaborados con celdas completas (sin cortar), ya que la cantidad de celdas utilizadas en estos módulos alcanzan el voltaje necesario para aplicaciones prácticas (12 volts). En el caso de los módulos con potencias menores o iguales a 100 W no es posible completar el voltaje necesario, con celdas completas, es por ello que las celdas son cortadas, para que, al ser conectadas en serie, entreguen un voltaje operativo.

4.1.1.3 Corte de etil vinil acrilico (EVA) y tedlar poliester tedlar (TPT)

El EVA o etil vinil acrilico sirve para unir el vidrio, las celdas y el TPT o tedlar poliester tedlar, en un proceso de encapsulado, con lo cual se evita que agentes exteriores como polvo, humedad o aire, afecten a las celdas y sus conexiones. Con lo anterior se retrasa el deterioro propio del panel al exponerse a condiciones severas o

agrestes del medio en el que se instale. El proceso de corte se realiza en una mesa como se muestra e la figura 4.4.



Figura 4-4 Mesa de corte.

Fuente: (Peña, 2017).

Como se puede observar en la figura 4.4, el primer paso para realizar el corte del EVA consiste en colocar un rollo de material en el rodillo de la mesa de corte, el cual se desenrolla para cortar manualmente a la medida del panel producido (medida del vidrio para el módulo de la capacidad deseada).

Una vez medida la cantidad de EVA a utilizar y extendido sobre la mesa de corte, se utiliza una cortadora de como se muestra en la figura 4.5.



Figura 4-5 Cortadora de EVA.

Fuente: (Peña, 2017).

En este paso, se toma EVA por los dos extremos y se extiende sobre la mesa, realizando un corte de lado a lado del material sobre el riel de corte.

4.1.2 Soldadura con cautín

La soldadura con cautín se utiliza comúnmente en electrónica para la fabricación de circuitos, pero en este caso se usa para unir celdas solares en la fabricación de módulos fotovoltaicos.

Se requiere tener el siguiente equipo completo en orden y a la mano para soldar: cintas de estaño, celdas, flux, tabla térmica, soldador “cautín”. El área de trabajo debe de estar limpia y despejada de cualquier otro objeto que no corresponda a dicha área. Cabe hacer mención que dentro de la misma se delimitan los espacios donde se ubica cada uno de los instrumentos y materiales a utilizar.

4.1.2.1 Soldadura individual

En el proceso de soldadura individual existen dos elementos importantes: la plancha y el soldador “cautín”, los cuales mantienen cierta temperatura. En caso de una temperatura alta existe el riesgo de quemar la celda, mientras que con temperatura baja se impide la soldadura correcta. En la figura 4.6 se muestra el proceso de soldadura individual.



Figura 4-6 Soldadura individual.

Fuente: (Peña, 2017).

La soldadura con cautín para celdas solares es un proceso sencillo. Como se observa en la figura 4.6, el proceso consiste en desplazar la punta del cautín sobre las cintas de estaño colocadas en las celdas. Cada celda debe tener tres o cuatro cintas, dependiendo de la tecnología utilizada, que están colocadas sobre las líneas verticales (colectores primarios en el lado azul o negativo). Para que las cintas queden soldadas a los colectores primarios, se realiza un proceso de limpieza con una mezcla de alcohol que contiene alcohol, alcohol iso-propílico, metanol y etanol.

4.1.2.2 Soldadura en cadena

En el proceso de soldadura en cadena son necesarias las celdas que anteriormente fueron soldadas en proceso individual. Dentro de este proceso se unen las celdas soldadas con cintillas de estaño, ajustando el número de celdas para la capacidad requerida del módulo, como se muestra en la figura 4.7.



Figura 4-7 Soldadura en cadena.

Fuente: (Peña, 2017).

En la figura 4.7 se observa que, para comenzar a formar una cadena de celdas, estas deben de ser colocada sobre una bandeja. La bandeja tiene delimitadas cada una de las separaciones entre celda y celda. En el proceso de soldadura en cadena, las celdas son unidas en serie por el lado positivo (color gris), de tal forma que se genera una suma de voltajes. Las cintillas deben de ser alineadas sobre los contactos posteriores. Al igual que en el proceso de soldadura individual, se le hace pasar el cautín sobre la cintilla de estaño en cada celda. Al terminar de soldar una cadena, esta es colocada sobre otra bandeja.

Una vez que se completa el número de cadenas, por ejemplo: 4 cadenas para paneles de 155W o 6 cadenas para el caso de paneles de 260W y 310W, la charola pasa a una sección de depósito temporal.

4.1.2.3 Criterios para una buena soldadura

Para que la soldadura de celdas solares sea aceptada bajo los estándares de control de calidad, debe de cumplir con ciertas especificaciones como:

- Ausencia de “soldadura ficticia”: en este caso se observan ligeras elevaciones en la cinta que no han sido soldadas correctamente sobre la celda.
- Ausencia de raspaduras: otro criterio a evaluar es que en la celda no se observen raspaduras, a causa del mal uso del cautín cuando este último se fricciona con la celda solar provocando ralladuras.
- Colectores primarios totalmente cubiertos: las cintas de estaño deben cubrir por completo las líneas blancas donde son puestas, es preciso que no sea visible el color blanco (planteado) de los colectores primarios.

4.1.3 Montaje

Dentro de este proceso existe un acomodo de los materiales que conformaran el panel solar:

- Vidrio templado
- EVA (capa de Etil Vinil Acrilico)
- Celdas conectadas en serie
- EVA
- TPT (capa de Tedlar Poliester Tedlar)

Sobre una mesa se coloca el vidrio templado que al tener rigidez permite soportar los demás materiales durante etapas posteriores. En un siguiente paso, sobre el vidrio templado se coloca un pliego de EVA, poniendo especial atención para cubrir el vidrio. El EVA puede ser más grande que el vidrio templado, pero no más pequeño; lo anterior para asegurar que el panel tenga un correcto encapsulado en el proceso de laminación, como se muestra en la figura 4.8.



Figura 4-8 Colocado de EVA y TPT.

Fuente: (Peña, 2017).

Como se observa en la figura 4.8, se colocan las cadenas de celdas sobre el EVA, dichas cadenas son colocadas de manera que la cara superior (azul o negativo) quede hacia abajo, el número de cadenas dependerá del tipo de panel que se manufacture. Una vez colocadas todas las cadenas sobre el EVA, se deben de cumplir con las siguientes mediciones:

- Entre cada cadena debe existir una separación de 3 mm. Nota: una vez que la medida entre cada cadena es correcta, son unidas con cinta adhesiva, para evitar que sufran desplazamientos, debidos a la manipulación del panel.
- Las celdas deben estar separadas del vidrio 15 mm en los costados y 28 a 29 mm en la parte superior e inferior.
- La separación de las celdas a los buses colectores primarios del panel debe ser de 5 mm.

Para una conexión en serie, se une un polo positivo (cara posterior, en color gris) con un negativo (cara superior, en color azul). Para esto, las cadenas deben ser acomodadas de forma impar, es decir, se coloca la primera cadena y se gira 180

grados las siguientes, una a la vez. Este efecto de zigzag entre las cadenas genera arreglos en donde en una la última celda tiene terminales positivas y en otra se encuentre con terminales negativas). Al terminar la interconexión de las cadenas, existe una etapa de corte de sobrantes de cintas de estaño.

Posteriormente se colocan en la parte superior centrada un pedazo pequeño de EVA y otro TPT como se muestra en la figura 4.9.

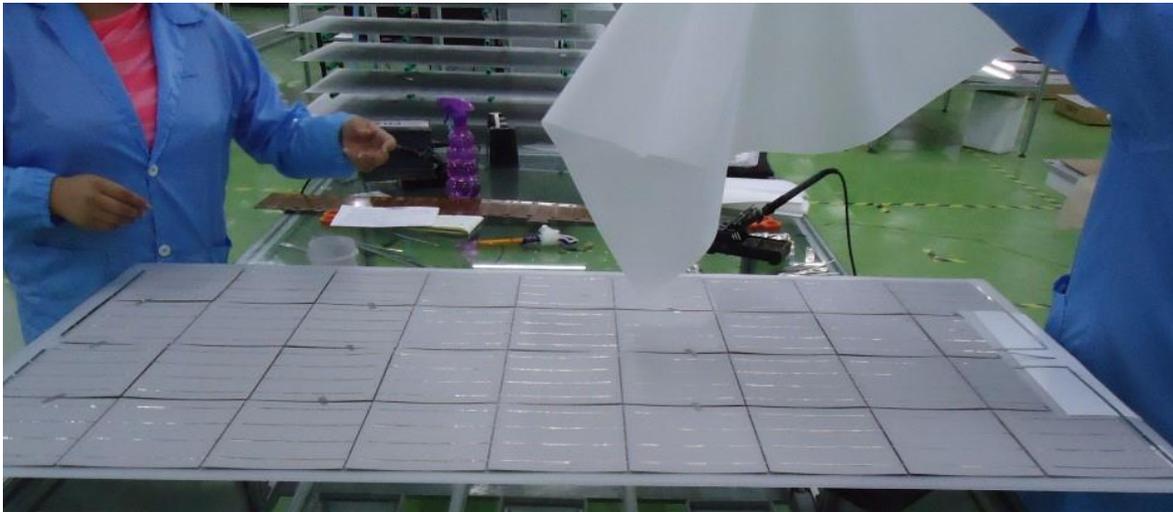


Figura 4-9 Colocación de últimas capas de EVA y TPT.

Fuente: (Peña, 2017).

Como se observa en la figura 4.9, el EVA y el TPT ayudan a que las cintas que conectan a los buses no se unan, aislando el sistema de conexión. Estos son colocados en los buses de salida para la interconexión hacia la caja conexión.

El siguiente paso es colocar todo el conjunto de elementos sobre una mesa de pruebas para verificar que el panel este entregando el voltaje adecuado, como se muestra en la figura 4.10.



Figura 4-10 Comprobación de corriente y voltaje.

Fuente: (Peña, 2017).

Como se puede observar en la figura 4.10, la mesa de pruebas cuenta con un sistema de focos incandescentes que permite corroborar la corriente y voltaje. En caso de que exista un error en dichos parámetros, el panel es revisado y reparado.

4.1.4 Laminación

El proceso de laminación consta de tres procesos dentro del mismo:

- Corroboración de medidas, e inspección del conjunto
- Electroluminiscencia
- Laminación

4.1.4 1 Corroboración de medidas e inspección del conjunto

En este paso se realiza la inspección básica del conjunto, entendiendo por conjunto al conglomerado formado por TPT, EVA, celdas fotovoltaicas, EVA y vidrio templado). Este se coloca hacia abajo sobre una estructura metálica similar a una mesa, con un espejo que permite visualizar el panel con el objeto de identificar defectos, basuras, residuos o algún otro desperfecto o problema visual, como se muestra en la figura 4.11.



Figura 4-11 Inspección de montaje.

Fuente: (Peña, 2017).

Dentro de este proceso de inspección de montaje observado en la figura 4.11, se debe verificar que el conjunto cuente correctamente con los siguientes criterios:

- Polaridad de los electrodos.
- Verificar que no tenga residuos en los colectores primarios y secundarios.
- Asegurarse que el vidrio este cubierto en su totalidad por el TPT y EVA, y que el TPT no tenga rasguños.
- El conjunto no debe tener basura, cabellos, insectos, pedazos de celda, celdas rotas, etc.
- En este proceso de inspección se verifica que el conjunto cuente con las medidas correctas entre el vidrio y las celdas. La medida que se debe tener entre el filo del vidrio y la celda es de 15 mm en los costados y de 28 a 30 mm en la parte inferior y superior (como ya se había mencionado). Estas medidas se toman ya que a la hora de colocar el conjunto en el marco, los bordes de cada uno tienen 1.0 cm de ancho, cubriendo parte del conjunto.

4.1.4.2 Electroluminiscencia

Durante el proceso de inspección se coloca el conjunto dentro del “detector de defectos de celdas”. En este paso se verifica que las cadenas de celdas que anteriormente ya fueron unidas no presenten algún problema. Lo anterior se realiza mediante un efecto inverso que ocurre cuando el módulo se encuentra instalado in situ, lo que significa que mediante una diferencia de potencial se revisa la estructura funcional de cada celda y del panel en su conjunto. Para la realización de este proceso, se coloca el conjunto dentro de la máquina de electroluminiscencia, como se muestra en la figura 4.12.



Figura 4-12 Máquina de electroluminiscencia.

Fuente: (Peña, 2017).

En la figura 4.12 se muestra una máquina de electroluminiscencia en la cual se conectan las puntas caimán que se encuentran en dicha máquina hacia los terminales positivo y negativo del conjunto, una vez el conjunto dentro de la máquina para que comience a trabajar esta deberá estar cerrada.

Posteriormente la máquina entregará una imagen en donde se podrá observar si las celdas presentan algún problema, como se muestra en la figura 4.13.

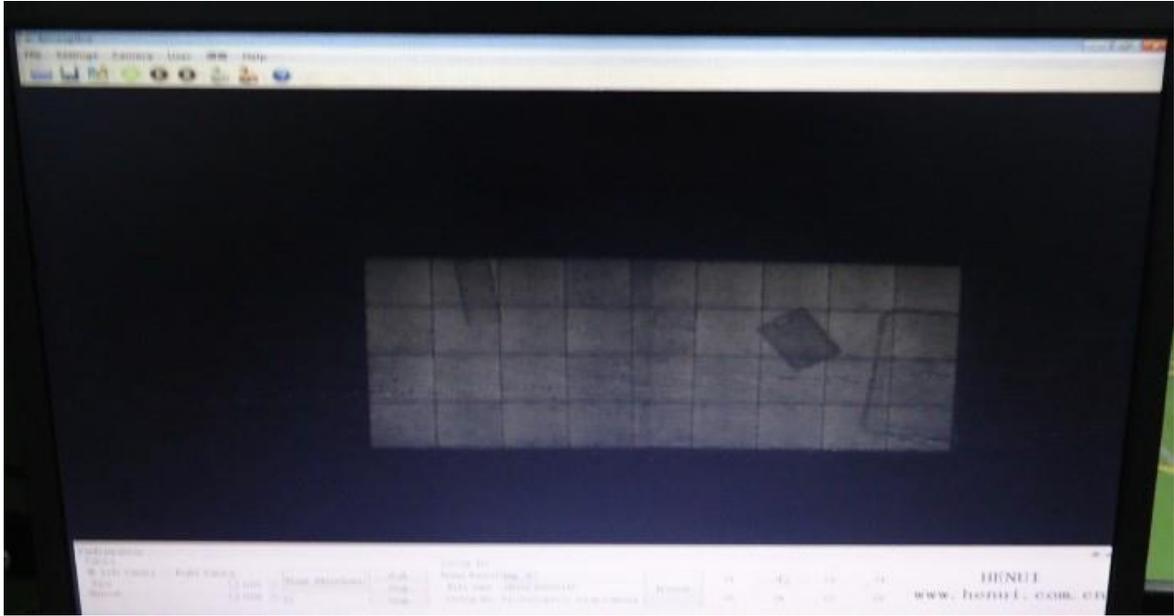


Figura 4-13 Prueba de electroluminiscencia.

Fuente: (Peña, 2017).

Durante la prueba de electroluminiscencia que se observa en la figura 4.13, se pueden detectar diferentes fallas en el panel, como pueden ser las siguientes:

- Rupturas en la celda
- Grietas en la celda
- Celdas astilladas
- Incorrecta conexión de las celdas
- Corto circuito

Al momento de colocar el conjunto dentro de la máquina, la información generada resultado del proceso de prueba exhaustiva realizada a cada conjunto, es almacenada en el disco duro del ordenador. Es en el monitor donde se muestran los resultados de la prueba realizada en las celdas y al conjunto.

Cabe hacer mención que, en caso de encontrarse algún defecto, las celdas solares son remplazadas y el módulo se identifica como reparado. Una vez que es aceptada la calidad del conjunto o módulo, se procede al proceso de laminación.

4.1.4.3 Laminación

El proceso de laminación consiste de dos etapas principales, por un lado; la extracción de aire durante la etapa de vacío y el posterior aumento de temperatura, dentro de la cámara de una máquina que se denomina laminadora y la cual se muestra en la figura 4.14.



Figura 4-14 Laminadora.

Fuente: (Peña, 2017).

En la figura 4.14 se muestra una laminadora en la cual el módulo o conjunto se coloca dentro, con la finalidad de unir heterogéneamente los elementos de dicho conjunto. Los pasos a seguir son:

1. Colocar una tela de teflón resistente al calor sobre la plancha de la laminadora
2. Colocar un pliego de papel encerado con la finalidad de evitar que el EVA se adhiera o incruste en la plancha de la laminadora
3. Coloca el conjunto de modo que el vidrio quede hacia abajo
4. Colocar una segunda tela de teflón para cubrir el conjunto, lo cual evita que el EVA se adhiera o incruste en el caucho de la tapa de la laminadora

La máquina trabaja por periodos en un lapso total del 17 a 20 minutos:

- Primero extrae todo el aire existente, dentro de la máquina generando vacío dentro de la cámara (78 KPa).
- El segundo proceso consiste de un incremento gradual de la temperatura, hasta alcanzar los 130 °C, lo cual permite que el EVA se funda, además de generarse una reacción química en la estructura del conjunto.

Al finalizar el proceso de laminación, se abre la tapa de la máquina abre y se retira el teflón. Posteriormente se retira el módulo laminado, colocando dicho módulo sobre una mesa, para su inspección. En seguida se procede a retirar los excedentes de papel encerado, EVA y TPT de las orillas, para depositarse temporalmente con la finalidad de integrarse al siguiente proceso.

4.1.5 Enmarcado

El proceso de enmarcado consiste en colocar los marcos de aluminio anodizado en el módulo laminado. Antes de ensamblar el marco se coloca silicón en las ranuras de los marcos donde se ensamblará el módulo laminado. Para ello se utiliza una pistola de silicón que funciona con aire a presión, como se muestra en la figura 4.15.



Figura 4-15 Colocado de silicón en ranuras de marcos.

Fuente: (Peña, 2017).

Después el conjunto con los marcos es colocado sobre la máquina de presión neumática que se encarga de cuadrar y ensamblar por completo los marcos, como se muestra en la figura 4.16.



Figura 4-16 Máquina de presión neumática.

Fuente: (Peña, 2017).

Posterior al ensamble de marco de aluminio en el módulo laminado que se observa en la figura 4.16, se coloca otra capa de silicón en la parte interior del marco de aluminio, con el objetivo de reforzar el proceso de encapsulamiento de cada panel. Posterior a ello, se coloca también la caja de conexión del panel solar. Una vez finalizado este proceso es necesario esperar a que el silicón seque por completo para que, posteriormente, en el área de acabados se realice un proceso de limpieza.

4.1.6 Evaluación de la potencia del módulo fotovoltaico

Para realizar la verificación de potencia, se coloca el panel en un simulador solar, el cual se muestra en la figura 4.17. Para dicho proceso es necesario usar el equipo de protección para la vista, en este caso goggles oscuros.



Figura 4-17 Simulador solar.

Fuente: (Peña, 2017).

En el simulador solar observado en la figura 4.17, se realiza el proceso de verificación, para lo cual se conectan los conectores MC4 (Multi-Contact, 4mm of diameter), para la emision de un destello de luz, que permite el registro de las características de cada panel (V_{cc} , I_{cc} , P_{max} , etc). Dichas características se registran en una base de datos y se visualizan en el monitor del simulador solar mostrado en la figura 4.18.



Figura 4-18 Monitor de simulador solar.

Fuente: (Peña, 2017).

El monitor del simulador solar observado en la figura 4.18 realiza la inspección de diferentes factores, con el objeto de verificar la calidad de los paneles, como lo son:

Celdas

- Celdas rotas
- Celda astillada
- Celda rota por la mitad
- Mala soldadura de la celda
- Espacio entre celdas fuera de tolerancia
- Color anormal
- Celdas manchadas
- Quemada con el cautín
- Estaño en las celdas
- Cintas de conexión
- Oxidación

Vidrio

- Rayado
- Daño en el vidrio
- Estrellado
- Roto

Marco

- Exceso de silicón en el marco
- Esquinas del marco sin cerrar bien
- Marco dañado (rayado o deforme).

Caja conexión

- Desalineada
- Exceso de silicón

Defectos de laminación

- Basura dentro del panel
- Burbujas

4.1.7 Empaque

Para finalizar el proceso, cada uno de los módulos se coloca en cajas de cartón y se colocan en el almacén de producto terminado para posteriormente ser distribuidos a cada uno de los clientes.

4.2 Revisión estadística de datos históricos

Para poder diseñar una política de inventario adecuada para la empresa objeto de estudio, se analizaron los registros de las ventas mensuales de la empresa estudiada, proporcionados por la propia empresa, desde julio del 2018 hasta agosto del 2019, contando con un registro total de 14 meses, los cuales se muestran en la tabla 4.3.

Descripción	Ventas 2018						Ventas 2019							
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Módulo Policristalino 36V 320W	1325	1282	825	936	1050	832	1310	987	1078	787	936	826	850	887
Módulo Policristalino 18V 100W	836	915	1036	573	902	741	1505	253	944	250	462	854	351	412
Módulo Policristalino 32V 265W	625	791	742	709	912	542	837	773	879	501	734	578	614	593
Módulo Monocristalino 36V 340W	42	12	5	71	34	83	400	95	273	293	20	45	72	37
Módulo Policristalino 18V 50W	26	54	20	15	42	12	83	321	293	8	14	8	11	9
Módulo Policristalino 32V 260W	9	6	37	42	27	31	185	0	43	65	72	41	54	68
Módulo Monocristalino 18V 165W	31	60	56	23	4	90	148	22	30	7	21	51	36	29
Módulo Policristalino 18V 25W	12	36	48	22	15	6	2	145	82	62	56	27	31	21
Modulo Policristalino 32V 265W A-	11	40	14	26	57	21	12	73	32	52	31	42	28	41
Modulo Mono 100W Flexible	54	31	25	6	59	9	90	7	15	5	40	46	48	36
Modulo Mono 50W Flexible	27	67	30	18	10	59	90	8	12	4	13	31	20	17
Inversor 5.0 KW	16	55	15	34	56	41	21	16	39	9	12	26	19	25
Inversor 10.0 KW	28	52	22	45	32	28	8	15	7	16	30	43	23	41
Modulo Polir 36V 320W A-	16	38	32	43	25	21	41	0	8	42	21	27	8	11
Inversor 3.0 KW	41	14	56	27	53	16	9	10	10	9	16	32	11	9
Módulo Monocristalino 32V 280W	44	27	12	21	28	5	5	7	21	41	31	31	28	25
Inversor 3.6 KW	42	34	39	13	27	53	1	8	15	5	15	13	11	16
Inversor JFY 1.5 KW	16	33	8	43	37	8	8	8	51	1	12	16	16	9
Modulo Poli 36V 310W A-	23	29	14	21	30	12	16	13	36	9	14	12	10	13
Inversor 1.0 KW	56	15	35	19	5	18	9	1	14	1	8	23	12	16
WIFI-STICK	30	8	21	13	20	17	18	7	17	26	11	16	14	18
Modulo Poli 18V 100W A-	44	19	25	15	17	7	11	9	2	7	18	16	3	5
Inversor 1.5 KW	7	10	35	9	20	43	0	4	5	6	23	9	4	8
Módulo Policristalino 18V 10W	16	9	11	23	8	5	8	23	20	5	17	17	11	8
Inversor 2.0 KW	8	3	1	8	4	3	1	5	4	6	23	34	8	6
Módulo Policristalino 36V 310W	2	0	1	4	0	0	0	1	6	12	2	4	0	1

Tabla 4.3. Registro de ventas de la empresa 2018-2019.
Fuente: (Información proporcionada por la empresa, 2019).

En la tabla 4.2 se observan los datos históricos de ventas de 14 meses, de cada uno de los 27 productos del catálogo de la empresa. Las ventas reflejan que los productos de mayor venta son los módulos solares en diferentes tamaños; sin embargo, para poder realizar un análisis detallado se requiere el tratamiento de los datos mediante una técnica estadística como el análisis ABC.

4.3 Análisis ABC

En el registro histórico de los datos, algunos productos tienen alta demanda y otros no, por lo que se decidió realizar un análisis ABC. Este análisis se muestra en la tabla 4.4, para determinar los productos críticos de la empresa. El criterio que se utilizó fue el volumen de ventas anuales de cada producto.

Descripción	Suma	Acumulado	Porcentaje
Módulo Policristalino 36V 320W	13911	0.32	0.32
Módulo Policristalino 18V 100W	10034	0.56	0.23
Módulo Policristalino 32V 265W	9830	0.78	0.23
Módulo Monocristalino 36V 340W	1482	0.82	0.03
Módulo Policristalino 18V 50W	916	0.84	0.02
Módulo Policristalino 32V 260W	680	0.85	0.02
Módulo Monocristalino 18V 165W	608	0.87	0.01
Módulo Policristalino 18V 25W	565	0.88	0.01
Módulo Poli 32V 265W A-	480	0.89	0.01
Módulo Mono 100W Flexible	471	0.90	0.01
Módulo Mono 50W Flexible	406	0.91	0.01
Inversor 5.0 KW	384	0.92	0.01
Inversor 10.0 KW	390	0.93	0.01
Módulo Poli 36V 320W A-	333	0.94	0.01
Inversor 3.0 KW	313	0.95	0.01
Módulo Monocristalino 32V 280W	326	0.95	0.01
Inversor 3.6 KW	292	0.96	0.01
Inversor 1.5 KW	266	0.97	0.01
Módulo Poli 36V 310W A-	252	0.97	0.01
Inversor 1.0 KW	232	0.98	0.01
WIFI-STICK	236	0.98	0.01
Módulo Poli 18V 100W A-	198	0.99	0.00
Inversor 1.5 KW	183	0.99	0.00
Módulo Policristalino 18V 10W	181	1.00	0.00
Inversor 2.0 KW	114	1.00	0.00
Módulo Policristalino 36V 310W	33	1	0.00

Tabla 4.4. Porcentaje de participación en ventas de todos los productos de la empresa.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la tabla 4.4 se observa que el porcentaje de participación en ventas de los 27 productos es diferente. Para mayor comprensión de la importancia de cada producto, la figura 4.19 muestra la participación porcentual y acumulada de los productos.

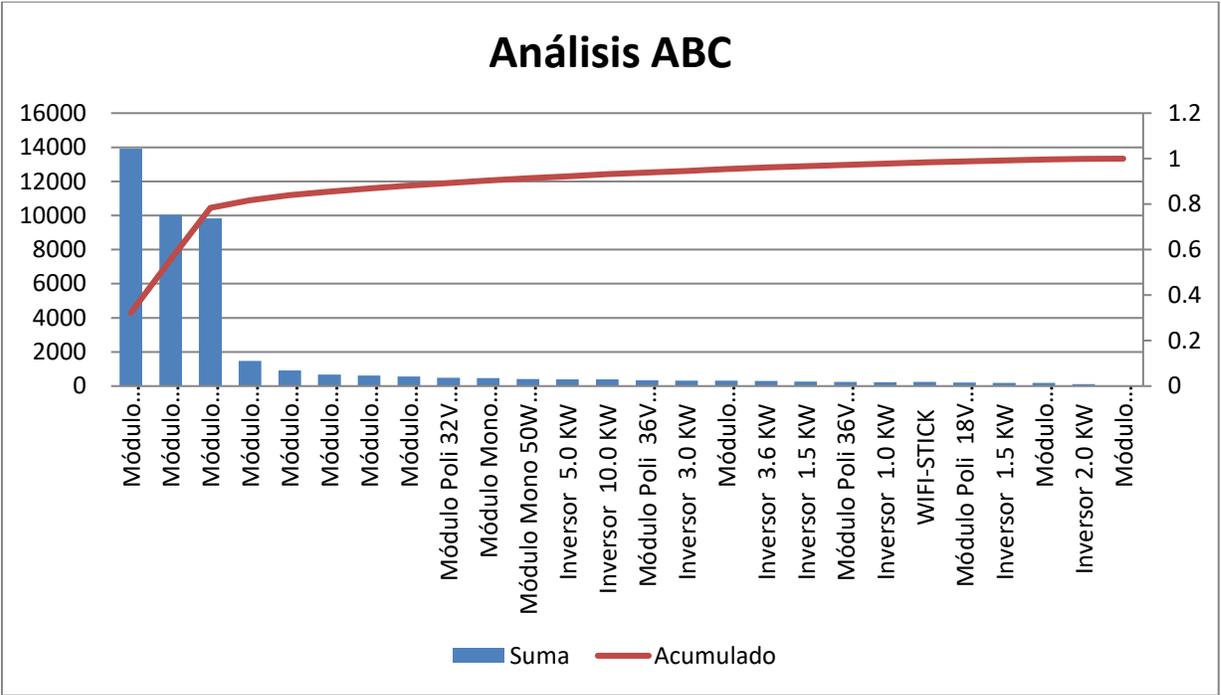


Figura 4-19 Análisis ABC de todos los productos.
 Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Como se observa en la figura 4.19, los productos clave para la empresa objeto de estudio son los módulos policristalinos de 36, 18 y 32 volts. Dichos productos representan el 78% de las ventas de la empresa, razón por la cual se decidió realizar un sistema de pronósticos y una política de inventario para cada uno de estos tres productos.

Antes de realizar el pronóstico para cada uno de los productos se realizó la gráfica del registro de ventas julio 2018 a agosto 2019 de productos críticos como se muestra en la figura 4.20 con el objetivo de identificar la tendencia en las ventas de cada producto.

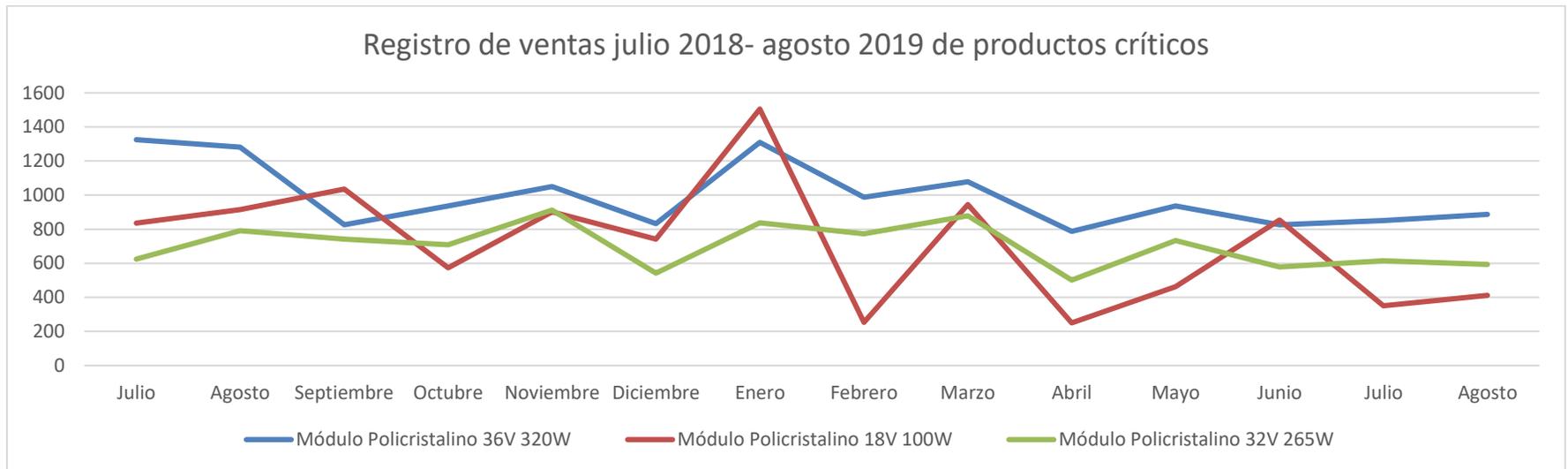


Figura 4-20 Registro de ventas julio 2018- agosto 2019 de productos críticos.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Como se observa en la figura 4.20 el producto que tiene el comportamiento menos variable en cuanto a las ventas de cada mes es el módulo policristalino de 32 volts, por otra parte; en los módulos de 18 y 32 volts se observa cierta estacionalidad en el mes de enero ya que las ventas aumentan de manera considerable. También se observa que el producto con mayor variabilidad en las ventas mensuales es el módulo de 18 volts.

4.4 Cálculo de pronósticos para los módulos de 36, 18 y 32 volts

A continuación se desglosan los cálculos de uno de los tres tamaños de módulos identificados como principales para la empresa objeto de estudio.

El módulo de 36 volts 320 watts presenta un porcentaje de participación en las ventas del 32%, por lo que se considera como producto prioritario para la empresa. En la tabla 4.5 se muestra la estimación de diferentes sistemas de pronósticos, considerando datos históricos de las ventas de julio 2018 - agosto 2019, con la finalidad de evaluar y determinar el sistema que mejor se adapta al comportamiento de la demanda para el módulo de 320 watts.

Módulo policristalino 36V 320W					
Periodo	Demanda	Último dato	Promedio Simple	Promedio Móvil n=3	Suavizado exponencial ($\alpha=0.1$)
Julio	1325				
Agosto	1282		1325		1320
Septiembre	825	1282	1303		1316
Octubre	936	825	1144	1144	1266
Noviembre	1050	936	1092	1014	1233
Diciembre	832	1050	1083	937	1214
Enero	1310	832	1041	939	1175
Febrero	987	1310	1080	1064	1188
Marzo	1078	987	1068	1043	1167
Abril	787	1078	1069	1125	1158
Mayo	936	787	1041	950	1120
Junio	826	936	1031	933	1101
Julio	850	826	1014	849	1073
Agosto	887	850	1001	870	1050
Pronóstico		887	993	854	1033

Tabla 4.5. Estimación de diferentes sistemas de pronósticos para el módulo policristalino de 36v y 320 watts.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la tabla 4. se muestran los resultados de los pronósticos para los módulos de 36, 18 y 32 volts utilizando los métodos: último dato, promedio simple, promedio móvil simple (utilizando los 3 últimos valores) y suavizado exponencial.

Resultados de diferentes sistemas de pronósticos				
Tipo de modulo	Último dato	Promedio Simple	Promedio Móvil Simple	Suavizado exponencial ($\alpha=0.1$)
Módulo de 36 volts 320 y watts	887	993	854	1033
Módulo de 32 volts y 265 watts	593	702	595	669
Módulo de 18 volts y 100 watts	412	717	539	690

Tabla 4.6 Resultados de diferentes sistemas de pronósticos.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la tabla 4.6 se observa la evaluación de los diferentes sistemas de pronósticos; para cada uno de ellos se pronostica la demanda del mes de septiembre para los tres tipos de módulos. Los resultados obtenidos con cada método son diferentes, por lo que es necesario medir los errores en los pronósticos con la finalidad de elegir el sistema de pronóstico a utilizar.

4.5 Desviación media absoluta de los diferentes sistemas de pronósticos para los módulos de 36, 18 y 32 volts

Existen diferentes técnicas de medición del error en los pronósticos. En la tabla 4.7 se muestra la evaluación del error de cada sistema de pronósticos durante el periodo que comprende de julio 2018- agosto 2019 del módulo de 36 volts y 320 watts, utilizando la desviación media absoluta, para identificar el sistema de pronósticos con menor desviación y posteriormente utilizarlo en la generación de la política de inventario.

Errores en los pronósticos del módulo policristalino 36V 320W								
	Último dato		Promedio Simple		Promedio Móvil Simple		Suavizado exponencial ($\alpha=0.1$)	
	Diferencia	Valor Absoluto	Diferencia	Valor Absoluto	Diferencia	Valor Absoluto	Diferencia	Valor Absoluto
Julio								
Agosto	-43	43	-43	43			38	38
Septiembre	-457	457	-478	478			491	491
Octubre	111	111	-208	208	-208	208	330	330
Noviembre	114	114	-42	42	36	36	183	183
Diciembre	-218	218	-251	251	-105	105	382	382
Enero	478	478	269	269	371	371	-135	135
Febrero	-323	323	-93	93	-77	77	201	201
Marzo	91	91	10	10	35	35	89	89
Abril	-291	291	-282	282	-338	338	371	371
Mayo	149	149	-105	105	-14	14	184	184
Junio	-110	110	-205	205	-107	107	275	275
Julio	24	24	-164	164	1	1	223	223
Agosto	37	37	-114	114	17	17	163	163
	Σ	2446	Σ	2264	Σ	960	Σ	3065
	MAD	188.15385	MAD	174.15385	MAD	120	MAD	235.7692

Tabla 4.7. Desviación media absoluta de los diferentes sistemas de pronósticos del módulo policristalino de 36V 320 w.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

La tabla 4.7 muestra la desviación media absoluta obtenidos, los cuales se muestran también de forma gráfica en la figura 4.21.

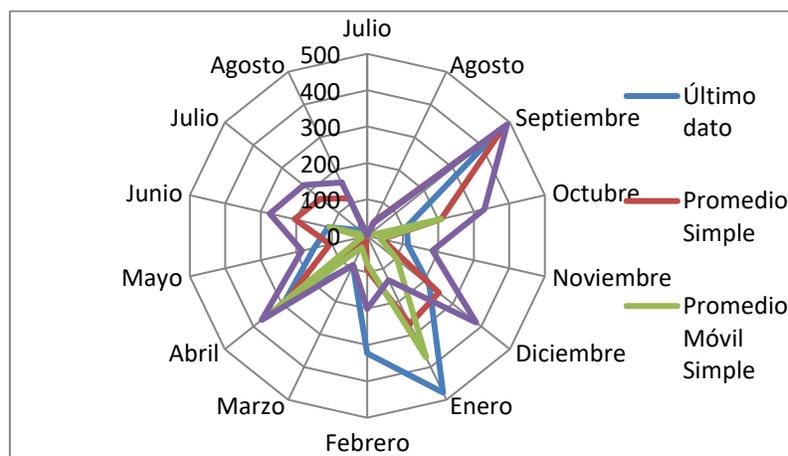


Figura 4-21 desviación media absoluta de diferentes sistemas de pronósticos.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la figura 4.21 se observa que la menor desviación media absoluta se logra a través del sistema de pronósticos promedio móvil simple, por lo cual se decide utilizarlo para pronosticar la demanda posterior.

En la tabla 4.8 se muestra el resumen de la desviación media absoluta de cada uno de los sistemas de pronósticos para los módulos de 36, 18 y 32 volts.

Desviación media absoluta de los diferentes sistemas de pronósticos				
Tipo de modulo	Último dato	Promedio Simple	Promedio Móvil Simple	Suavizado exponencial ($\alpha=0.1$)
Módulo de 36 volts 320 y watts	188.15	174.15	120.00	235.77
Módulo de 32 volts y 265 watts	162.31	118.69	112.55	542.00
Módulo de 18 volts y 100 watts	441.69	308.24	316.81	300.00

Tabla 4.8 Desviación media absoluta de los diferentes sistemas de pronósticos.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la tabla 4.8 se puede observar que el método que presenta una desviación media absoluta menor para los módulos de 36 volts y 32 volts, es el método de promedio móvil simple, mientras que para el módulo de 18 volts el método con menor desviación media absoluta es el suavizado exponencial. Por esta razón se eligen estos como los respectivos métodos a utilizar en el cálculo de los pronósticos.

En la tabla 4.9 se muestra la información proporcionada por la empresa en cuanto a los costos asociados de cada módulo. Esta información servirá posteriormente para el cálculo de la política de inventario.

Costos asociados a módulos policristalinos			
Tipo de modulo	Costo de total de los materiales	Costo de preparación de la orden	Costo anual del inventario por unidad
Módulo de 36 volts 320 y watts	\$ 3,180.00	\$ 225.00	\$ 636.00
Módulo de 32 volts y 265 watts	\$ 2,088.00	\$ 225.00	\$ 417.00
Módulo de 18 volts y 100 watts	\$ 1,008.00	\$ 225.00	\$ 201.00

Tabla 4.9 Costos asociados a módulos policristalinos.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la tabla 4.9 se observa que entre mayor sea el voltaje del módulo, los costos de materiales y de inventario son mayores. El costo de preparación de orden es el mismo para los tres modelos de módulos.

4.6 Política de inventario recomendada para los módulos de 36, 18 y 32 volts.

A continuación, se muestra como ejemplo el cálculo de la política de inventario recomendada para el módulo de 36 volts 320 watts, considerando el modelo EPQ sin faltante dado que la empresa produce y al mismo tiempo ordena.

De acuerdo con los datos proporcionados por la empresa, los costos asociados para un módulo son los siguientes:

- Costo de total de los materiales del panel 36 volts 320 watts \$3180
- Costo de preparación de la orden \$225
- Costo anual del inventario por unidad 20% del costo del producto

Como la demanda mensual pronosticada es de 854, la demanda anual asciende a 10,248 unidades. La empresa produce dichos módulos a una tasa constante de 1200 unidades al mes.

De acuerdo con la naturaleza del producto no se admiten faltantes puesto que el cliente no está dispuesto a esperar por su producto cuando lo solicita. La cantidad económica a producir sin faltantes se calcula con (Sipper, 1998):

$$Q = \sqrt{\frac{2(225)(10,248)}{636 \left(1 - \frac{10,248}{14400}\right)}} = 158.58$$

Por lo tanto, la cantidad a producir es de 158 unidades del módulo de 36 volts en 65 periodos durante el año y los costos anuales asociados a mantener dicho inventario son:

$$k(299) = 3180(158) + \sqrt{2(225)(636) \left(1 - \frac{10,248}{14400}\right)} = \$502,727$$

En la tabla 4.10 se muestra el resumen del cálculo de la política de inventario recomendada para los módulos de 36, 18 y 32 volts.

Política de inventarios					
Tipo de modulo	Demanda mensual pronosticada	Demanda anual	Tasa constante de producción	Cantidad económica a producir	Costos promedio anuales asociados a mantener el inventario
Módulo de 36 volts 320 y watts	854	10,248 unidades	1200 unidades al mes.	158 en 65 periodos	\$502,727.00
Módulo de 32 volts y 265 watts	578	6,936 unidades	850 unidades al mes	152 en 46 periodos	\$317,621.00
Módulo de 18 volts y 100 watts	690	8,280 unidades	900 unidades al mes	195 en 43 periodos	\$196,705.00

Tabla 4.10 política de inventario recomendada para los módulos de 36, 18 y 32 volts.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

4.7 Estudio de tiempos y movimientos

Como se explicó en la metodología, se realizaron para este estudio 10 observaciones de la producción de módulos de 320 watts, durante una semana de manera aleatoria. Como ejemplo, la tabla 4.11 muestra el registro de 2 de los 10 ciclos.

ESTUDIO DE TIEMPOS									
DEPARTAMENTO: Producción					ESTUDIO NÚM:1				
PRODUCTO/PIEZAS: Módulos Solares NÚM. : 1					OBSERVADO POR: Rodrigo V				
					FECHA:				
					COMPROBADO POR: Jairo García				
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	V.	C.	T.R.	T.B.	ELEMENTO	V.	C.	T.R.	T.B.
Ciclo 1					Ciclo2				
A	95	2.1	2.1	2.0	A	95.0	71.3	2.0	1.9
B	105	2.6	0.5	0.5	B	105.0	71.7	0.5	0.5
C	100	9.6	7.0	7.0	C	105.0	78.9	7.2	7.6
D	102	24.3	14.7	15.0	D	95.0	96.2	17.3	16.4
E	85	32.3	8.1	6.8	E	90.0	104.6	8.4	7.6
F	100	33.3	1.0	1.0	F	80.0	105.7	1.1	0.9
G	102	36.3	2.9	3.0	G	96.0	108.9	3.2	3.1
H	105	36.7	0.5	0.5	H	100.0	109.4	0.6	0.6
I	98	49.0	12.2	12.0	I	105.0	122.6	13.2	13.9
J	95	49.5	0.5	0.5	j	90.0	123.2	0.5	0.5
K	100	53.0	3.5	3.5	K	100.0	180.5	3.5	3.5
L	97	53.5	0.5	0.5	L	95.0	181.0	0.5	0.5
M	100	63.5	10.0	10.0	M	110.0	191.0	10.0	11.0
N	96	64.0	0.5	0.5	N	105.0	191.6	0.5	0.5
O	95	69.3	5.3	5.0	O	100.0	196.8	5.3	5.3

NOTA: V.= Valoración. C.= Cronometraje. T.R. = Tiempo Restado. T.B. = Tiempo Básico.

Tabla 4.11 Bitácora de estudio de tiempos.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la tabla 4.11 se muestra la bitácora del estudio de tiempos de 2 de los 10 ciclos observados para los 15 elementos, con su respectivo cronometraje y valoración, además del tiempo restado; para obtener el tiempo básico de cada elemento. Una vez

teniendo los datos del estudio de tiempos se ordenaron por ciclo de trabajo y por elemento de trabajo. En la tabla 4.12, se muestra el resumen del estudio de tiempos.

Número de ciclo observado	Tiempo total de ciclo
1	67.8
2	73.8
3	71.7
4	66.6
5	72.1
6	68.5
7	68.6
8	67.3
9	66
10	65
Tiempo normal	68.6

Tabla 4.12 Resumen de estudio de tiempos y movimientos.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la tabla 4.12 se observan los tiempos de ciclo totales y se eliminaron tanto el tiempo de ciclo pesimista y el optimista (valores en negritas). Los demás datos se promediaron para obtener un tiempo de ciclo normal. Con este resultado se obtuvo el tiempo de ciclo de trabajo estandarizado. Este tiempo corresponde al tiempo total que tarda en producirse un módulo.

Para poder calcular el tiempo normal de cada elemento, así como su media y desviación estándar, se identificaron las 10 observaciones de cada elemento, como se muestran en la tabla 4.13.

Elemento	Tiempo observado en cada ciclo										Promedio	Desviación estándar
A	2.0	1.9	1.9	2.1	2.2	2.0	2.1	2.0	2.2	2.5	2.1	0.1806
B	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0445
C	7.0	7.6	7.4	7.6	8.3	7.0	7.2	6.3	7.6	6.8	7.3	0.5481
D	15.0	16.4	15.7	14.3	17.1	16.2	17.3	13.5	14.0	15.6	15.5	1.2938
E	6.8	7.6	7.2	6.0	7.2	6.2	7.0	6.8	6.4	6.0	6.7	0.5585
F	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.9	1.0	1.1	1.1	0.9	1.1	0.2975
G	3.0	3.1	3.1	3.2	3.1	2.6	2.8	4.1	3.3	3.3	3.2	0.4016
H	0.5	0.6	1.0	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1455
I	12.0	13.9	13.1	13.0	12.6	11.6	11.9	12.1	9.8	12.1	12.2	1.0941
J	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.0681
K	3.5	3.5	3.6	3.4	3.7	3.7	3.7	3.3	4.1	3.3	3.6	0.2427
L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.0315
M	10.0	11.0	10.3	9.0	9.4	9.5	8.7	10.5	10.4	8.4	9.7	0.8548
N	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5	0.0683
O	5.0	5.3	5.5	4.6	4.9	5.0	4.3	4.9	4.6	3.5	4.8	0.5636

Tabla 4.13. Tiempo normal por elemento.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la tabla 4.13 se observa que el tiempo de la mayoría de los elementos se comporta en forma similar y que solo los elementos “D” e “I” presentan una desviación estándar mayor a 1.

El tiempo estándar de operación en forma individual de cada uno de los elementos, servirá para realizar la simulación del proceso. Asimismo, se calculó la media y la desviación estándar de cada elemento.

4.8 Simulación

Para realizar la validación de los resultados de los pronósticos, se realizó una simulación del proceso, contemplando los tiempos de producción en cada estación de trabajo de acuerdo con la distribución que sigue cada una de ellas. La simulación se realizó en SIMIO y cada estación de trabajo fue identificada como un servidor puesto que tiene una entrada, un tiempo de proceso y una salida. En la figura 4.22 se muestra como quedó la distribución de la planta en el simulador.

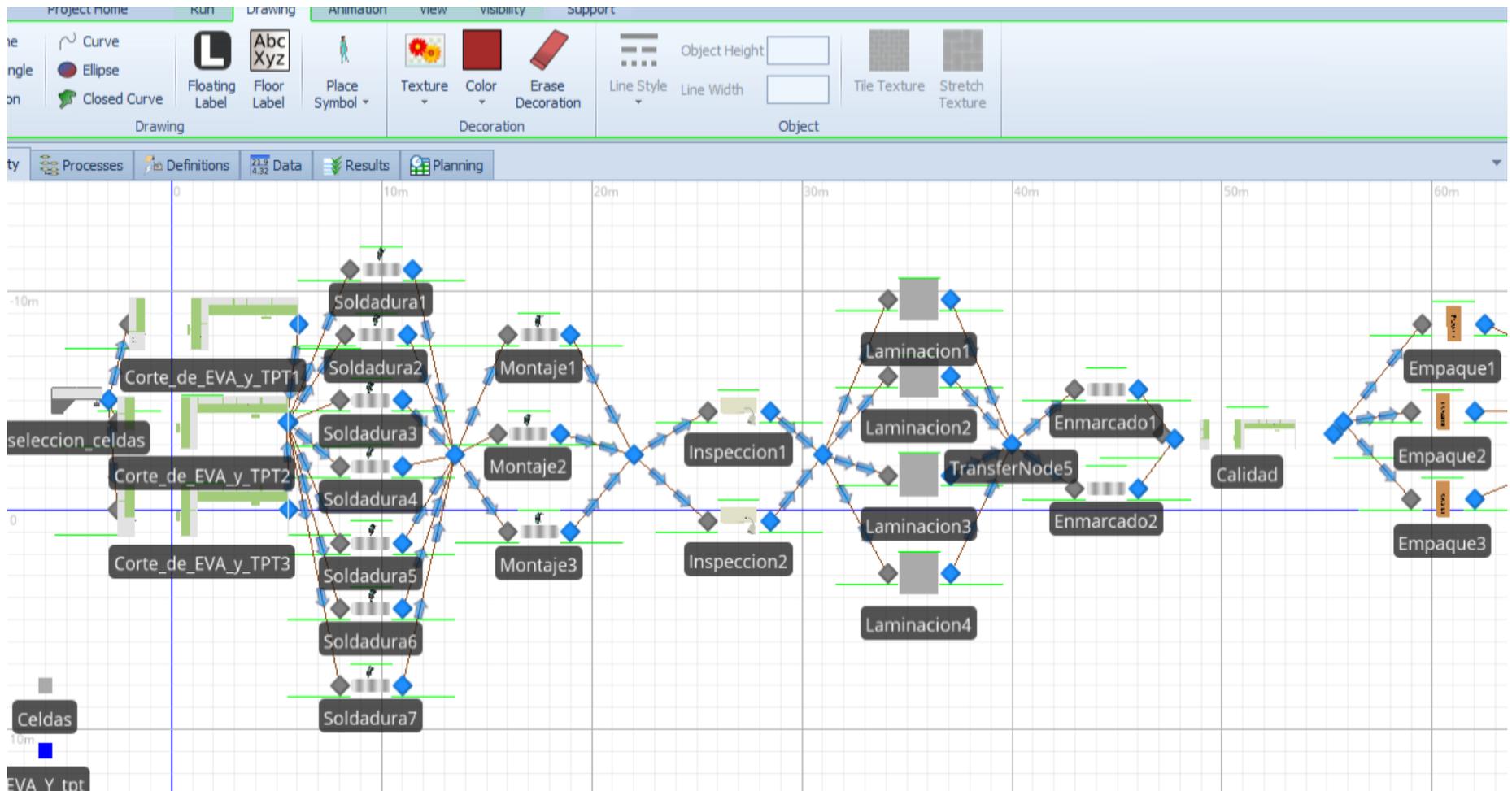


Figura 4-22 Simulación en SIMIO.
Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la figura 4.22 se observan todas las estaciones de trabajo en el simulador, las cuales se conectaron por medio de rutas a las cuales se les asignó un tiempo de acuerdo con el estudio de tiempos y movimientos.

Para que la simulación tuviera ambientación, a cada estación de trabajo se le aplicó un símbolo gráfico semejante al proceso real, como se muestra en la figura 4.23

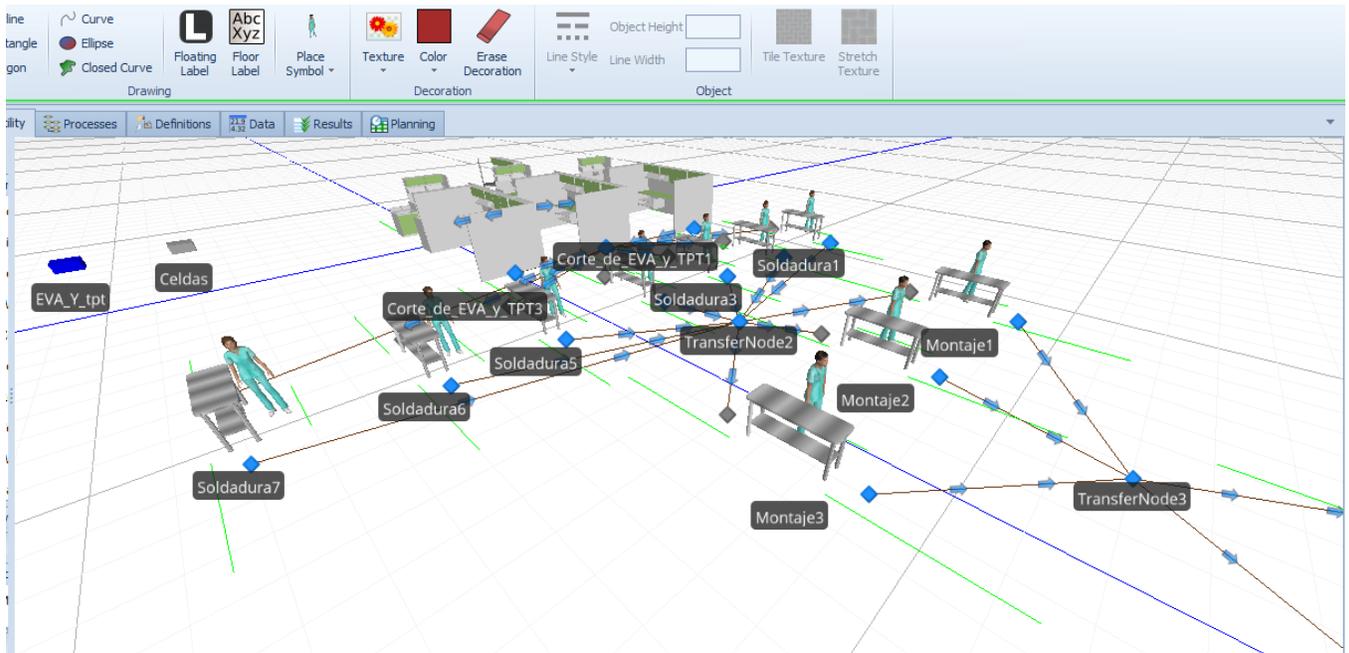


Figura 4-23 Primer parte del proceso en SIMIO.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la figura 4.23 se observa la parte inicial del proceso donde los principales elementos son las áreas de corte de EVA y TPT, soldadura y el área de montaje.

La ambientación de la parte final del proceso se muestra en la figura 4.24. En esta figura, se pueden apreciar las áreas de laminación, enmarcado, calidad y empaque.

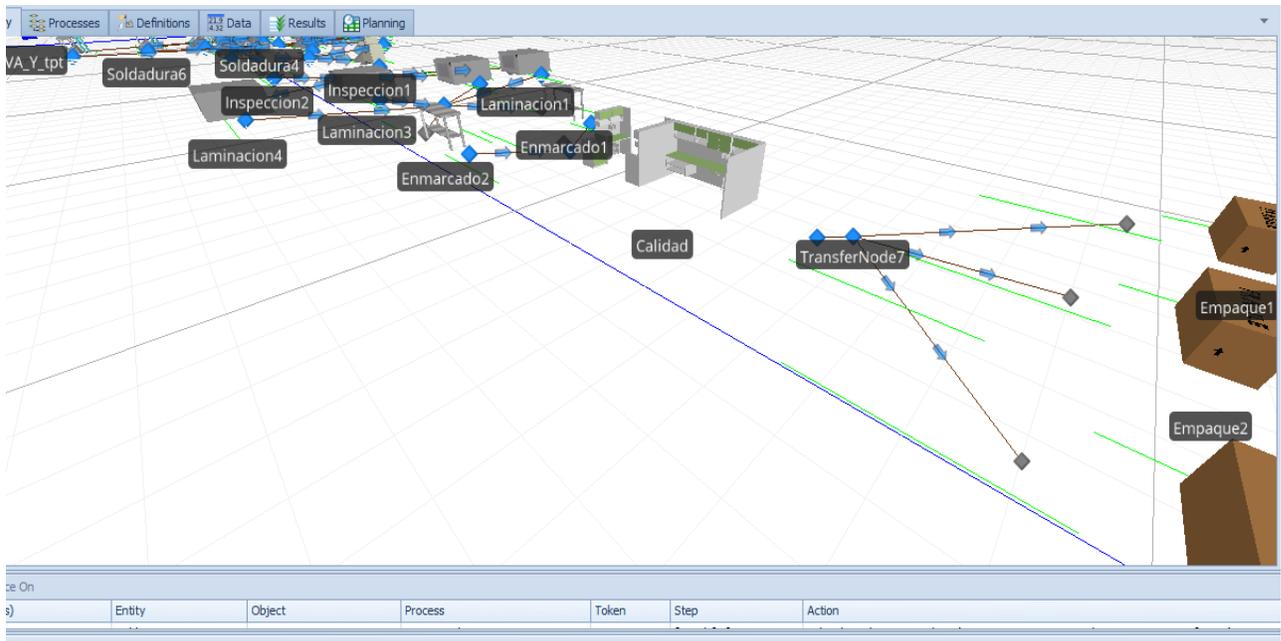


Figura 4-24 Parte final del proceso en SIMIO.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

4.9 Análisis de resultados de propuesta de la política de inventario

Con la política de inventario se podrá realizar una correcta programación de la producción, por lo cual se recomienda realizar los pedidos correspondientes de los materiales con un mes de anticipación para evitar retrasos en las entregas de material por parte de los proveedores. Cabe destacar que se debe revisar de manera periódica el comportamiento de modelo propuesto y de ser necesario replantear cada una de las políticas para la empresa donde se llevó a cabo el proyecto, considerando que la variabilidad de la demanda puede aumentar o modificarse las tendencias de comportamiento de los clientes.

Con el pronóstico de la demanda y la cantidad a producir de cada uno de los productos es posible pedir con tiempo a cada uno de los proveedores los insumos necesarios, para no tener problemas de desabasto y no desperdiciar los recursos, además de facilitar la planeación y programación de la producción.

Los resultados de producción en la simulación, al realizar 10 corridas, son muy cercanos a lo establecido en los pronósticos, por lo que se considera viable la política

de inventario; sin embargo, a través de la simulación se identificó que existen centros de trabajo holgados como se muestra en la figura 4.25.

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average Total
Server	Corte_de_EVA_y_TPT3	Processing	HoldingTime	TimeInStation	Minimum (Ho...)	0.1018
			Throughput	NumberEntered	Total	198.0000
				NumberExited	Total	197.0000
	Empaque1	[Resource]	Capacity	ScheduledUtilization	Percent	42.3907
				UnitsAllocated	Total	128.0000
				UnitsScheduled	Average	1.0000
					Maximum	1.0000
			UnitsUtilized	Average	0.4239	
				Maximum	1.0000	
			ResourceState	TimeProcessing	Average (Ho...)	0.1357
Occurrences	75.0000					
Percent	42.3907					
Total (Hours)	10.1738					
TimeStarved	Average (Ho...)	0.1819				
	Occurrences	76.0000				
InputBuffer	Content	NumberInStation	Average	0.1222		
			Maximum	1.0000		

Figura 4-25 Resultados de capacidad utilizada en el centro de trabajo de empaque.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la figura 4.25 se muestra la capacidad utilizada en el área de empaque, donde la ocupación llega a ser únicamente del 42%, lo cual desaprovecha de manera considerable la capacidad instalada de la empresa y representa una gran área de oportunidad.

El uso de energías renovables en la actualidad está tomando una relevante importancia, por lo que en un futuro se espera un aumento en la demanda de los productos de la empresa. Por lo tanto, se recomienda balancear en forma correcta la línea de producción aumentando la capacidad de los centros de trabajo identificados como cuellos de botella. En la figura 4.26 se muestra el área de laminación.

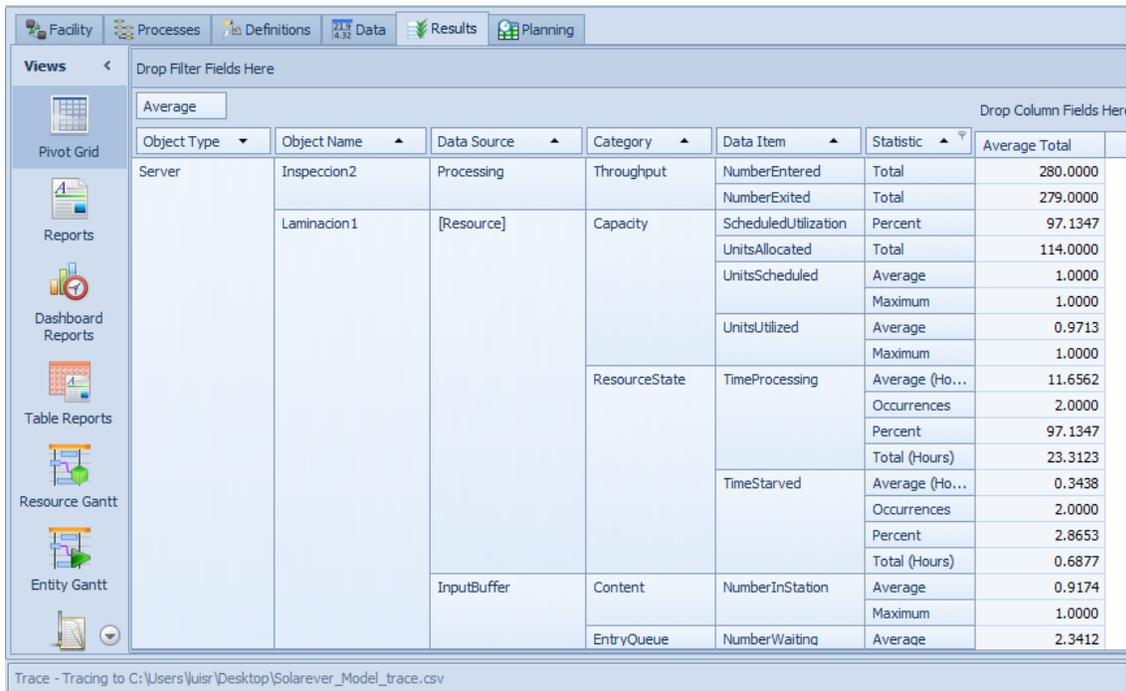


Figura 4-26. Resultados de capacidad utilizada en el centro de trabajo de laminación.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la figura 4.26 se observa que el porcentaje de utilización arrojado en la simulación de las máquinas de laminación llega a ser del 97%, lo cual lo convierte en un centro de trabajo crítico, pues algún paro no planeado afectaría todo el proceso y se requiere aumentar la capacidad de producción en este subproceso. Se recomienda invertir en una quinta laminadora, lo que aumentaría la producción total sin tener que contratar a más personal, porque el personal que se encuentra en centros de trabajo como empaque se podrían reubicar en los centros de trabajo críticos como laminación y soldadura.

La distribución de la planta aumentando una quinta laminadora y un octavo centro de trabajo de soldadura quedarían como se muestra en la figura 4.27 Se observa la distribución recomendada, con la finalidad de aprovechar la capacidad instalada de la empresa sin verse en la necesidad de contratar nuevo personal. En la figura 4.28 se muestra el aumento en la producción de unidades

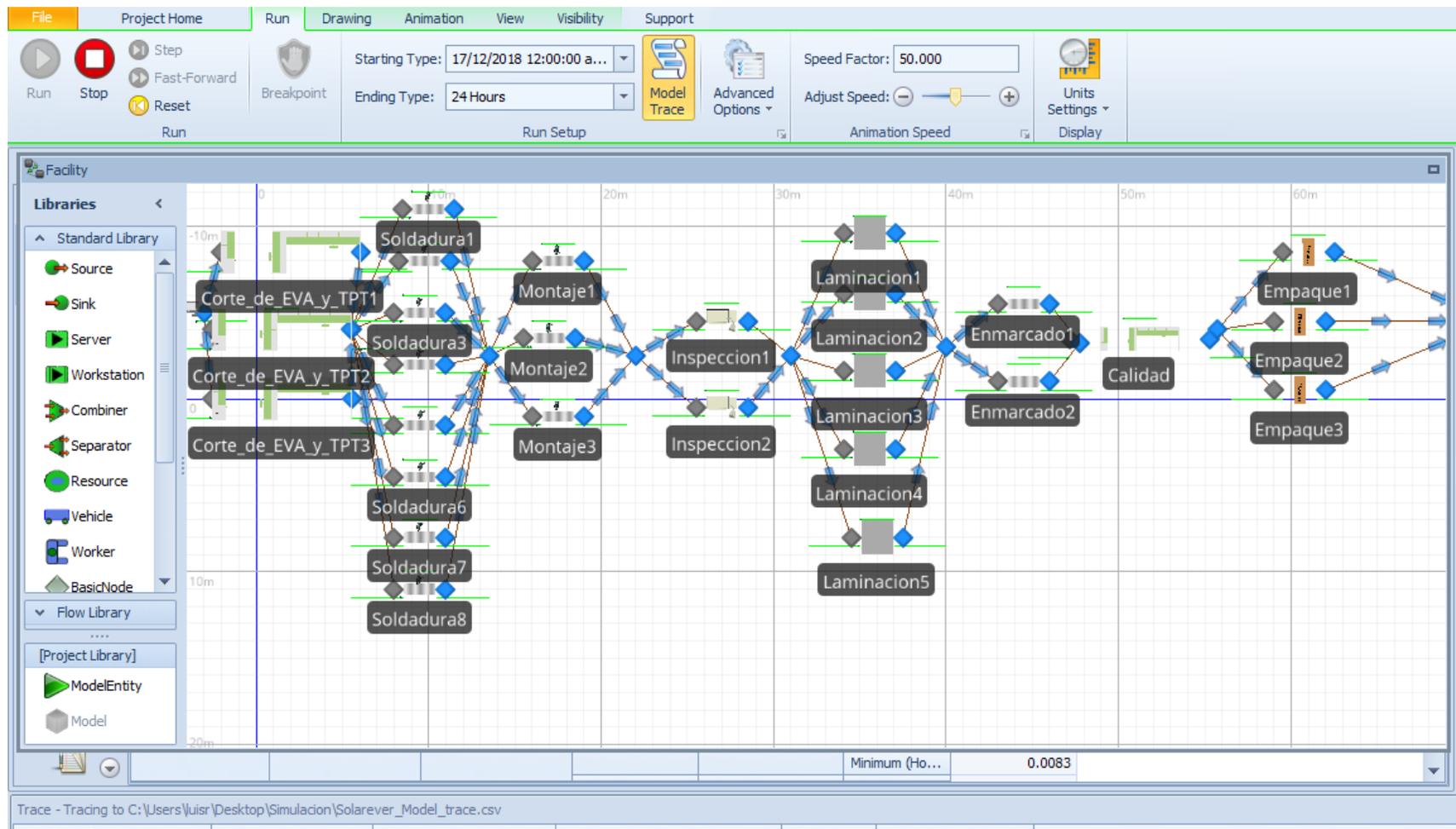


Figura 4-27. Distribución con una quinta laminadora.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

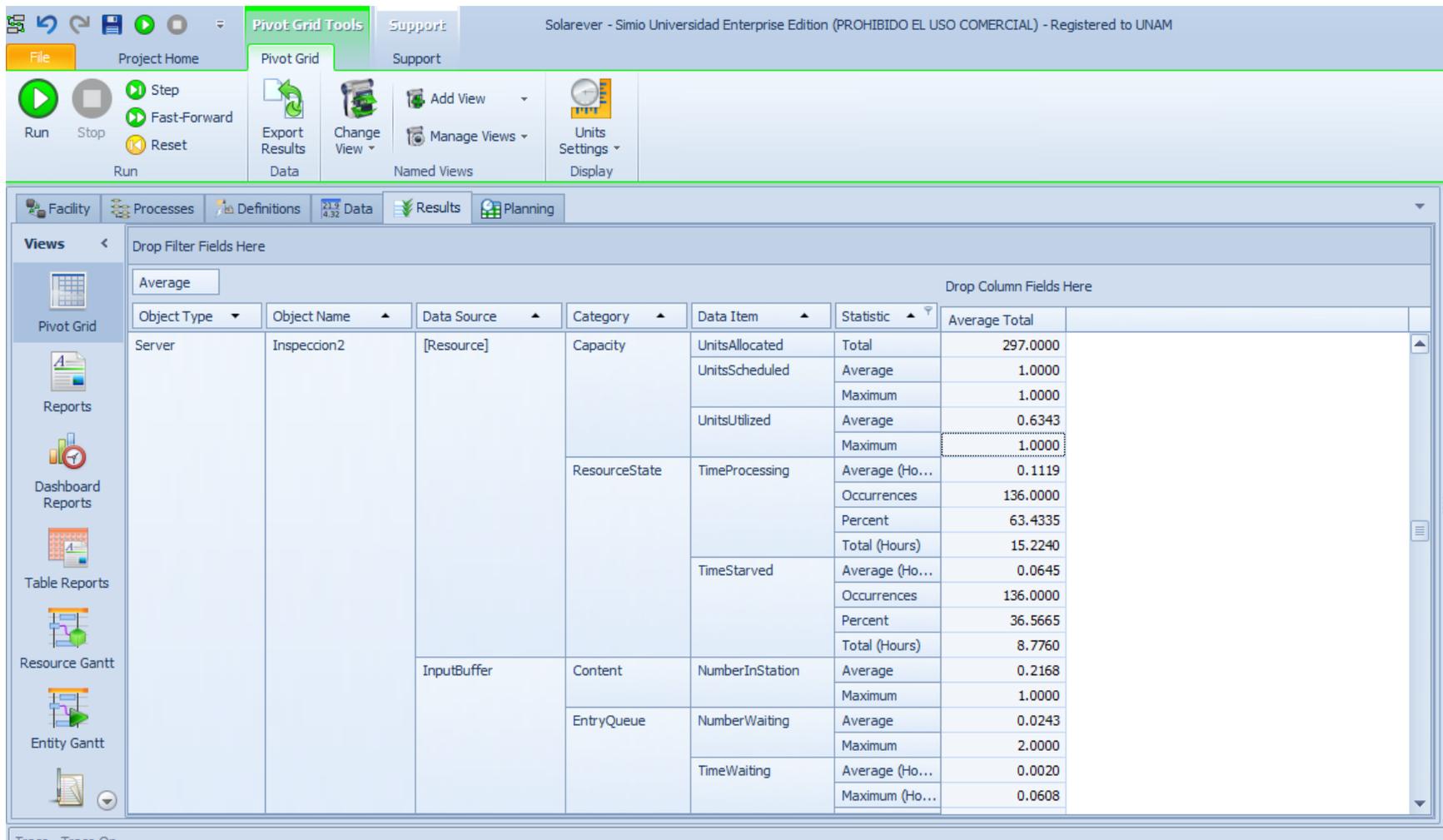


Figura 4-28. Resultados de capacidad utilizada instalando la quinta laminadora.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

En la figura 4.28 se observa en la categoría *capacidad* que la producción de unidades aumenta de 280 a 297 con la utilización de una quinta laminadora y un octavo centro de soldadura, lo cual significa un aumento del 6% en la producción total. Además, se aprovecharía de esta forma la capacidad instalada, eliminando tiempos muertos en los demás centros de trabajo.

Conclusiones

El aprovechamiento de las energías limpias en los últimos años ha ido en aumento, con el impulso de la tecnología, el abastecimiento de nuevos mercados, requerimientos gubernamentales y principalmente por la preocupación de un mundo limpio en lucha contra el cambio climático. Las industrias han optado por invertir de una buena manera en el uso de las energías alternas, sabiendo que existen diferentes tipos de ellas, tales como; hidroeléctrica, eólica, nuclear, geotermia, fotovoltaica, biogás, entre algunas otras. Cada una tiene diferentes costos de producción así, como de medios y materiales para su utilización con su respectivo proceso.

La Tierra recibe del sol una cantidad enorme de energía: con la energía que se recibe del sol durante un solo día se podría cubrir la demanda energética mundial actual por más de 20 años. El sol provee energía en forma de radiación, la cual es la base de toda la vida en la tierra. Particularmente la energía fotovoltaica, que es la que se encarga de aprovechar dicha energía solar, cuenta con un mayor y rápido crecimiento en comparación de las demás energías alternativas, gracias a su bajo costo de producción, a su flexibilidad de uso, y principalmente porque su recurso principal de producción abunda en la tierra en gran proporción. Esto ha originado que las industrias tengan un mercado potencial dentro de esta área, realizando inversiones puntuales alrededor del mundo.

México es un país privilegiado al tener una de las zonas con mayor recepción solar en el mundo, así como altos niveles en las horas pico de aprovechamiento solar. Con base en ello, el país posee grandes posibilidades de creación y crecimiento de la industria fotovoltaica, lo cual origina una compleja y ardua competencia en el mercado de la producción de artículos fotovoltaicos, principalmente de módulos solares. Por esta razón es de vital importancia tener un buen manejo en el proceso global de la cadena de suministro que forman las empresas de esta rama.

En este trabajo se realizan las propuestas de mejora en la gestión para una empresa del ramo fotovoltaico, mediante herramientas, metodologías y técnicas que impactan de manera favorable los costos y utilidades de la organización.

El inventario es esencial en la creación y existencia de una empresa, ya que en ella se puede hacer un balance de los bienes con que cuenta esta. La carencia de un inventario en una empresa pudiera conllevar a la quiebra de esta, debido a que habría una desorganización, a consecuencia de las carencias o excesos de bienes se tomarían malas decisiones en el manejo de la empresa.

Aunque los inventarios generan costos considerables, son necesarios para cubrir la demanda requerida y tener un buen servicio al cliente. En el presente trabajo se propone producir el inventario para los tres productos clave de la empresa estudiada bajo una política de inventario EPQ sin faltantes, con el objetivo de lograr los mínimos costos anuales por mantener dicho inventario, sin sacrificar el nivel de servicio con el cliente, satisfaciendo las restricciones de acuerdo con la capacidad de la empresa.

El análisis e identificación de la situación actual a través del diagnóstico de la empresa arrojó áreas de oportunidad en el aprovisionamiento, planeación de la demanda, almacenamiento, abastecimiento y control, teniendo problemas con falta de materia prima, escases de productos, entregas incompletas, cancelación de ventas, almacenamientos innecesarios y daños en los materiales almacenados.

La organización cuenta con una gran variedad de productos, de los cuales se generan los datos históricos de cada uno, y es importante identificar a los artículos estrella para poner mayor atención a ellos. Con la herramienta de análisis ABC se identifican dichos productos, teniendo como resultado a 3 módulos solares. Ahora bien, uno de los aspectos fundamentales para llevar a cabo la solución de las problemáticas, es generar la planeación de la demanda y de la producción a fin de realizar las requisiciones de materia prima, materiales, piezas y refacciones necesarias, en tiempo, cantidad y forma correcta. De esta manera se puede satisfacer la demanda requerida por los clientes de manera eficiente.

Para ello se realizó el cálculo de los pronósticos correspondientes de cada uno de los 3 artículos, con diferentes métodos; promedio móvil, media móvil, último dato y suavizado exponencial, y así encontrar el pronóstico que más se adecua a la demanda de la industria fotovoltaica. Se identificó que los métodos suavizado exponencial y

promedio móvil simple, son los más recomendados para generar la proyección de la demanda, dependiendo de cada producto. Posteriormente se puede generar el plan maestro de producción, tomando en cuenta las estructuras de producto.

Las medidas del error ayudan a identificar el mejor pronóstico, sabiendo que cada cálculo cuenta con un grado de error y con base a estas herramientas se puede denotar el que obtiene un menor porcentaje del mismo. El MAD, MSE y MAPE son las medidas utilizadas en cada uno de los tipos de pronósticos, donde las tres medidas identifican al suavizado exponencial como el más factible a implantar en la empresa.

La herramienta de simulación es de gran ayuda para plantear diferentes escenarios y verificar si los resultados corresponden a lo esperado en el proyecto. La simulación fue de bastante ayuda para identificar áreas de oportunidad como el no utilizar la capacidad instalada de algunas estaciones de trabajo, así como los cuellos de botella. Una vez identificadas las áreas de oportunidad se planteó aumentar una quinta laminadora y un octavo centro de trabajo de soldadura en un escenario futuro, a través de la simulación donde los resultados fueron favorables y aumento la producción en un 6% sin necesidad de contratar personal nuevo.

Con la política de inventarios generada se espera satisfacer la demanda de los clientes al menos de los 3 productos identificados como clave para la empresa. Se espera que aumente la productividad de la empresa y disminuyan los costos, contribuyendo de esta forma a aumentar la rentabilidad de la empresa.

Anexos

ESTUDIO DE TIEMPOS									
DEPARTAMENTO: Producción					ESTUDIO NÚM. : 1				
OPERACIÓN: Ensamble de módulos solares					HOJA NÚM. : 1 DE: 4				
ESTUDIO DE TIEMPOS NÚM: 1					OBSERVADO POR: Rodrigo V				
PRODUCTO/PIEZAS: Módulos Solares NÚM. : 1					FECHA:				
					COMPROBADO POR: Jefe de producción				
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	V.	C.	T.R.	T.B.		V.	C.	T.R.	T.B.
Ciclo 1					Ciclo2				
A	95	2.1	2.1	2.0	A	95.0	71.3	2.0	1.9
B	105	2.6	0.5	0.5	B	105.0	71.7	0.5	0.5
C	100	9.6	7.0	7.0	C	105.0	78.9	7.2	7.6
D	102	24.3	14.7	15.0	D	95.0	96.2	17.3	16.4
E	85	32.3	8.1	6.8	E	90.0	104.6	8.4	7.6
F	100	33.3	1.0	1.0	F	80.0	105.7	1.1	0.9
G	102	36.3	2.9	3.0	G	96.0	108.9	3.2	3.1
H	105	36.7	0.5	0.5	H	100.0	109.4	0.6	0.6
I	98	49.0	12.2	12.0	I	105.0	122.6	13.2	13.9
J	95	49.5	0.5	0.5	j	90.0	123.2	0.5	0.5
K	100	53.0	3.5	3.5	K	100.0	180.5	3.5	3.5
L	97	53.5	0.5	0.5	L	95.0	181.0	0.5	0.5
M	100	63.5	10.0	10.0	M	110.0	191.0	10.0	11.0
N	96	64.0	0.5	0.5	N	105.0	191.6	0.5	0.5
O	95	69.3	5.3	5.0	O	100.0	196.8	5.3	5.3

Tabla 5.1 Estudio de tiempos hoja 1

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

	ESTUDIO DE TIEMPOS: CONTINUACIÓN.				HOJA NÚM. : 2 DE: 4				
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	V.	C.	T.R.	T.B.	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	V.	C.	T.R.	T.B.
Ciclo 3					J	100	356.0	0.5	0.5
A	95.0	198.8	2.0	1.9	K	90	359.8	3.8	3.4
B	105.0	199.3	0.5	0.5	L	98	360.4	0.5	0.5
C	100.0	206.6	7.4	7.4	M	90	370.4	10.0	9.0
D	95.0	223.1	16.5	15.7	N	95	370.9	0.5	0.5
E	90.0	231.1	8.0	7.2	O	90	376.0	5.2	4.6
F	85.0	232.1	1.0	0.9	Ciclo 5				
G	96.0	235.3	3.2	3.1	A	102.0	378.2	2.1	2.2
H	105.0	236.3	1.0	1.0	B	94.0	378.7	0.5	0.5
I	105.0	248.8	12.5	13.1	C	95.0	387.5	8.8	8.3
J	90.0	249.3	0.5	0.5	D	100.0	404.6	17.1	17.1
K	100.0	252.8	3.6	3.6	E	97.0	412.0	7.4	7.2
L	95.0	253.4	0.6	0.5	F	85.0	413.1	1.1	1.0
M	90.0	264.8	11.4	10.3	G	97.0	416.3	3.2	3.1
N	98.0	265.4	0.5	0.5	H	110.0	416.8	0.5	0.6
O	94.0	271.2	5.8	5.5	I	98.0	429.7	12.8	12.6
Ciclo 4					J	100.0	430.2	0.5	0.5
A	100	273.2	2.06	2.06	K	105.0	433.7	3.5	3.7
B	90	273.7	0.525	0.4725	L	95.0	434.2	0.5	0.5
C	95	281.7	7.98	7.581	M	90.0	444.6	10.4	9.4
D	90	297.6	15.9	14.31	N	97.0	445.1	0.5	0.5
E	85	304.6	7	5.95	O	95.0	450.3	5.2	4.9
F	98	339.1	1.0	1.0	Ciclo 6				
G	100	342.2	3.2	3.2	A	95.0	452.4	2.1	2.0
H	95	342.8	0.6	0.5	B	105.0	453.0	0.6	0.6
I	102	355.5	12.7	13.0	C	96.0	460.3	7.3	7.0

NOTA: V.= Valoración. C.= Cronometraje. T.R. = Tiempo Restado. T.B. = Tiempo Básico.

Tabla 5.2 Estudio de tiempos hoja 2.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

ESTUDIO NÚM. :	ESTUDIO DE TIEMPOS: CONTINUACIÓN.				HOJA NÚM. : 3 DE: 4				
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	V.	C.	T.R.	T.B.	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	V.	C.	T.R.	T.B.
D	94.0	477.5	17.3	16.2	N	105.0	590.9	0.5	0.5
E	85.0	484.8	7.3	6.2	O	95.0	595.4	4.5	4.3
F	100.0	486.7	1.9	1.9	Ciclo 8				
G	95.0	489.4	2.7	2.6	A	90	597.6	2.2	1.98
H	110.0	489.9	0.5	0.6	B	95	598.1	0.525	0.49875
I	95.0	502.2	12.2	11.6	C	90	605.1	7	6.3
J	100.0	502.8	0.6	0.6	D	100	618.6	13.5	13.5
K	105.0	506.3	3.6	3.7	E	95	625.8	7.14	6.783
L	95.0	506.9	0.5	0.5	F	105	626.8	1.06	1.113
M	90.0	517.4	10.5	9.5	G	110	630.6	3.75	4.125
N	100.0	517.9	0.5	0.5	H	100	631.1	0.57	0.57
O	95.0	523.1	5.3	5.0	I	95	643.9	12.72	12.084
Ciclo 7					J	85	644.4	0.575	0.48875
A	105.0	525.1	2.0	2.1	K	90	648.1	3.64	3.276
B	95.0	525.7	0.6	0.6	L	110	648.6	0.545	0.5995
C	90.0	533.8	8.1	7.2	M	105	658.6	10	10.5
D	100.0	551.0	17.3	17.3	N	95	659.2	0.54	0.513
E	95.0	558.4	7.4	7.0	O	97	664.3	5.1	4.947
F	95.0	559.4	1.1	1.0	Ciclo 9				
G	90.0	562.6	3.2	2.8	A	105.0	2.1	2.1	2.2
H	100.0	563.1	0.5	0.5	B	100.0	2.6	0.5	0.5
I	95.0	575.6	12.5	11.9	C	95.0	10.7	8.1	7.6
J	100.0	576.1	0.5	0.5	D	90.0	26.3	15.6	14.0
K	105.0	579.7	3.6	3.7	E	85.0	33.8	7.5	6.4
L	95.0	580.2	0.5	0.5	F	90.0	35.0	1.2	1.1
M	85.0	590.4	10.2	8.7	G	95.0	38.4	3.5	3.3

NOTA: V.= Valoración. C.= Cronometraje. T.R. = Tiempo Restado. T.B. = Tiempo Básico.

Tabla 5.3 Estudio de tiempos hoja 3.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

ESTUDIO NÚM. :	ESTUDIO DE TIEMPOS: CONTINUACIÓN.				HOJA NÚM. : 4 DE: 4				
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	V.	C.	T.R.	T.B.	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	V.	C.	T.R.	T.B.
H	110.0	39.0	0.5	0.6					
I	95.0	49.3	10.3	9.8					
J	102.0	49.8	0.5	0.5					
K	95.0	54.1	4.3	4.1					
L	100.0	54.7	0.5	0.5					
M	90.0	66.2	11.5	10.4					
N	85.0	66.7	0.5	0.4					
O	97.0	71.4	4.8	4.6					
Ciclo 10									
A	110.0	2.3	2.3	2.5					
B	96.0	2.8	0.5	0.5					
C	85.0	10.9	8.1	6.8					
D	100.0	26.5	15.6	15.6					
E	85.0	33.5	7.0	6.0					
F	90.0	34.5	1.1	0.9					
G	105.0	37.6	3.1	3.3					
H	110.0	38.2	0.6	0.6					
I	95.0	50.9	12.7	12.1					
J	110.0	51.6	0.6	0.7					
K	95.0	55.1	3.5	3.3					
L	110.0	55.5	0.5	0.5					
M	95.0	64.3	8.8	8.4					
N	80.0	64.7	0.4	0.3					
O	85.0	68.8	4.1	3.5					
NOTA: V.= Valoración. C.= Cronometraje. T.R. = Tiempo Restado. T.B. = Tiempo Básico.									

Tabla 5.4 Estudio de tiempos hoja 4.

Fuente: (Elaboración propia, 2020).

Referencias

- ALSOLMEX. (Junio de 2019). *Asociación Mexicana de Energía Solar*. Obtenido de <https://www.asolmex.org>
- April, J. (2006). . Enhancing business process management whit simulation soptimization. *Conference on winter simulation*, 642-649.
- Asociación Mexicana de Energía Solar*. (Junio de 2019). Obtenido de <https://www.asolmex.org>
- Avelino, R. N. (2017). *Aplicación de pronósticos y optimización de inventarios, para reducir los faltantes de medicamentos, en una Clínica de Medicina familiar del ISSSTE*. México .
- Ben-Daya, M. y. (2003). Lead time reduction in a stochastic inventory system with learning consideration. *International Journal of Production Research*.
- Benitez, C. G. (2017). Solarever Tecnología de América: Más alla de los paneles solares.
- CENEVAL. (2018). *Guia CENEVAL Ingeniería Industrial*. Obtenido de www.ceneval.net
- Chopra, S. (2008). *Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson.
- Díaz, N. L. (2017). Metodología de Estudio de Tiempo y Movimiento; Introducción al GSD. *Área de Innovación y Desarrollo*, 41.
- Dullaert, W. y. (2013). The impact of lead time reliabiliyy in freight transport: A logistics assesment aftrasnsport economics findings. *Transportation Research* , 190-200.
- FIDE. (2019). *Fideicomiso Para el Ahorro de Energía Eléctrica*. Obtenido de <http://www.fide.org.mx/>
- García, F. M. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros en Telecomunicación.
- Gutierrez-Gonzaléz, E. P.-O. (2013). Aplicación de un modelo de inventario con revisión periódica para la fabricación de transformadores de distribución. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 537-551.
- IEA. (2019). *International Energy Agency*.
- IIE. (2018). *Instituto de investigaciones electricas*.

- International, S. (2010). *Photovoltaics Design and Installation Manual*. Gabriola Island: New Society Publishers.
- IRENA. (2019). *The International Renewable Energy Agency*. Obtenido de <https://www.irena.org>
- Juárez, A. S. (2017). *Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial*. México: Instituto de Energías Renovables. UNAM.
- Kanawaty, G. (2008). *Introducción al estudio de trabajo*. Ginebra: OIT.
- Keyser, t. k. (2017). Intelligent simulation: Integration on SIMIO and MATLAB to deploy decision support systems to simulation environment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 45-60.
- King, P. (s.f.). Crack the code: Understanding safety stock and mastering its equations. *Apics*.
- Lamigueiro, O. P. (2018). *Energía Solar Fotovoltaica*. Creative Commons.
- Meyers, F. E. (2000). *Estudio de tiempos y movimientos para la manufactura ágil*. Prentice Hall.
- Monera, F. (2015). *Historia de la Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de <https://suelosolar.com>
- Morales, D. U. (2015). *Modelos de pronósticos y sistemas de inventarios aplicados en el reabasto de mercancías en el sector retail*. México.
- Niebel, B. W. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: Mc Graw Hil.
- NREL. (2019). *National Renewable Energy Laboratory* . Obtenido de <https://www.nrel.gov>
- Peña, G. H. (2017). Proceso no automatizado de fabricación de paneles fotovoltaicos: el primer paso hacia la automatización de la industria fotovoltaica. *INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO* .
- Pérez, R. A. (2012). Aplicación de modelos de pronósticos en productos de consumo masivo. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 117-125.
- Pita, G. L. (2019). *ANTEPROYECTO DE PLANTA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA POLI CRISTALINA DE 150 MW EN PAMPA DE ARRIEROS*. Perú: UASF.

- Roberto, C. P. (s.f.). Estrategia de producción y operaciones .
- Ruiz-Torres, A. y. (2010). Safety stock determination based on parametric lead time and demand information. *International Journal of Production Research*, 2841-2857.
- Salas, H. G. (2010). *Inventarios Manejo y Control*. Colombia: ECOE.
- SENER. (2019). *Secretaría de Energía*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener>
- Silver, E. (1998). *Inventory Management and Production Planing and Sheduling*. New York.
- Sipper, D. (1998). *Planeación Y Control De La Producción*. México: Mc Graw Hill.
- Solarever. (2018). Obtenido de <https://www.solarever.com.mx/>
- Villalobos, N. C. (s.f.). *Gestion de la Producción y Operaciones*.
- Wang, P. Z. (2010). Sizing inventory when lead time and demand are correlated. *Production and operations management*.
- Yacuzzi, E. (s.f.). Diseño e implementación de un sistema de pronóstico de ventas en Whirlpool Argentina.