



Universidad Autónoma de Baja California



Facultad De Ingeniería Arquitectura y Diseño

Tesis para obtención del grado de Ingeniero Industrial

**Aplicación del método del agente viajero para la
optimización de Proceso CNC en corte textil.**

Presenta:

Manuel de Jesús Valenzuela Mendoza.

Ensenada Baja California a Enero 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

**"APLICACIÓN DEL MÉTODO DEL AGENTE VIAJERO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE
PROCESO CNC EN CORTE TEXTIL"**

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

MANUEL DE JESUS VALENZUELA MENDOZA

Aprobada por:



M.I. Julián Israel Aguilar Duque
Director
(Presidente)



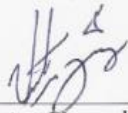
M.I. Guillermo Amaya Parra
Codirector
(Secretario)



Dr. Jorge Limón Romero
Sinodal
(Vocal)



Dr. Ulises Jesús Tamayo Pérez
Sinodal
(Vocal)



M.C. Victor Manuel Juárez Luna
Sinodal
(Vocal)

Ensenada, Baja California México, Enero de 2018.

Dedicatoria

Mi familia

Mi esposa: Nydia Lizeth Ames Rodríguez.

Mis hijos: Diego Valenzuela y Sebastián Valenzuela.

Mi madre: Honoria Mendoza Palma.

Mis maestros

M.C. Jesús Salinas Coronado.

DR. Héctor Efraín Ruiz Y Ruiz.

M.I. Julián Israel Aguilar Duque.

M.I. Guillermo Amaya Parra.

Ing. Miguel Ángel Cadena Lucero.

M.C. Víctor Manuel Juárez Luna.

M.C. José Luis Javier Sánchez González.

Dr. Jorge Limón Romero.

Compañeros

Ing. Francisco Xavier Carvajal Álvarez.

Ing. Cindy Paola Cubeyro Arballo.

Agradecimientos

Gracias a dios por darme vida y estar conmigo en cada etapa de mi vida cuidándome y levantándome en cada tropiezo enseñándome que con el tiempo los fracasos y desilusiones me traería madurez y experiencias para poder cumplir con éxito cada etapa de mi vida y ser un hombre de grandes bendiciones.

Gracias a mis hijos que fueron la fortaleza y el impulso para poder culminar esta etapa de mis estudios ya que cuando pensé que no tenía fuerzas solo en tenerlos en mi mente se convirtieron en ese último suspiro y aliento, sé que, aunque aún están muy pequeños para entender esto tengo la esperanza que algún día ellos me sorprendan de la misma o mejor manera y sigan el buen camino que un padre desea para sus hijos, los amo Diego y Sebastián.

Gracias a mi esposa por darme ese apoyo incondicional que a pesar de las circunstancias de desespero donde pudo darme un momento de tranquilidad, que a pesar de todos los problemas y los momentos de quebrantamiento me apoyo, gracias por todos esos consejos de paciencia cuando llegaron los momentos de tomar esas decisiones tan difíciles y por siempre estar a mi lado cumpliendo un logro más el cual es un inicio de nuestros éxitos trayendo unos momentos inolvidables que siempre están en mi corazón.

Gracias a mi madre por traerme con tantas ilusiones al mundo luchando por tener un hijo fuerte al cual podría tomarlo de la mano en cada etapa de subida, el cual al pasar del tiempo más que una madre se convirtió en el apoyo y la mano que me levanto en diversas ocasiones para poder cumplir un logro más en mi etapa de crecimiento.

Gracias a mis maestros los cuales más que un maestro dentro del aula de clases se convirtió en grandes amigos, los cuales compartieron momentos de sus experiencias y sabiduría para poderme ser de utilidad en cada etapa de la universidad, esos momentos inolvidables que hicieron la diferencia para lograr el éxito, como olvidar esos buenos momentos que se quedaron en las canchas, pero guardados en mi corazón, gracias por abrirme las puertas en sus vidas.

Gracias a mis compañeros por ser de gran ayuda y apoyo compartiendo momentos inolvidables dentro y fuera de las aulas trayendo unas experiencias inolvidables en mi vida y apoyarme en cada momento incondicionalmente.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	5
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	10
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
DELIMITACIONES	11
LIMITACIONES	11
JUSTIFICACIÓN.....	11
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO	12
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN DE REDES.....	12
2.1 MODELO DE LA RUTA MAS CORTA.....	13
Figura 1: Representación de Nodos siguiendo una trayectoria en una red.	14
Tabla 1: representación de solución de la ruta más corta del nodo 1 al nodo 7 con resultado =22.	15
2.2 MODELO DEL ÁRBOL DE EXPANSIÓN MÍNIMA.....	16
2.3 MODELO DE FLUJO MÁXIMO	17
2.4 MODELO DE COSTO MÍNIMO.....	18
Tabla 2: Ejemplo de Método de Costo Mínimo.	18
Tabla 3: solución al paso 1.	19
Tabla 4: Solución al paso 2.....	19
Tabla 5: Solución al paso 3.....	20
2.5 MÉTODO SIMPLEX DE REDES	20
Tabla 6: Tabla método simplex.	22
Tabla 7: Explicación de entrada de variables y salida:.....	23
Tabla 8: ejemplo de entrada y salida de variables.....	23
2.6 MÉTODO DEL AGENTE VIAJERO	24
CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS	25
Solucion de Problema	26
Tabla 9: Maquinas disponibles de cortes y cantidad e modelos que puede ser programada en cada una de ellas.....	26
Figura 2: máquina de corte Focus XHP.	27
Figura 3: Interior de la cabina de la maquina Focus XHP donde se lleva acabo el corte.	27
Tabla 10: Modelos de cortes de la maquina Focus XHP.	28
Figura 4: Dibujo de paneles correspondiente al modelo 520 PAB W/SAFETY VENT.	29
Figura 5: Recorridos Actuales de los desplazamientos de punto a punto.	30
Figura 6 : primera sección de recorridos.	31
Tabla 11: resultados obtenidos de la primera sección de corte.	32

Figura 7: Segunda sección de corte	32
Tabla 12: resultados obtenidos de la Segunda sección de corte.	32
Figura 8: Tercera sección de corte.	32
Tabla 13: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte	32
Tabla 14: Ejemplo de una matriz implementada.	34
Figura 9: Recorridos establecidos de la primera sección:.....	34
Tabla 15: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte	35
Figura 10: Recorridos segunda sección.....	35
Tabla 16: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte	35
Figura 11: Recorridos Tercera Sección.....	36
Tabla 17: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte	36
Tabla 18: consumo de energía sector Industrial.	36
Tabla 19: consumo por trabajo extra.	37
Tabla 20: Datos obtenidos antes de la mejora.	38
Tabla 21: Datos después de la mejora.	38
DISCUSIÓN.....	39
Tabla 22: Costos mano de obra.	39
Tabla 23: Costo de Gastos Energéticos.	39
Etapas 2 del Proyecto	40
Etapas 3 del Proyecto	40
Tabla 24: Ahorro de la primera etapa del proyecto	41
CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
Referencias	43
Figura 12: Línea de corte Máquina Focus XHP modelo OPW.	44

INDICE DE TABLA

Tabla 1: representación de solución de la ruta más corta del nodo 1 al nodo 7 con resultado =22.	15
Tabla 2: Ejemplo de Método de Costo Mínimo.	18
Tabla 3: solución al paso 1.	19
Tabla 4: Solución al paso 2	19
Tabla 5: Solución al paso 3.	20
Tabla 6: Tabla método simplex.	22
Tabla 7: Explicación de entrada de variables y salida:	23
Tabla 8: ejemplo de entrada y salida de variables.	23
Tabla 9: Maquinas disponibles de cortes y cantidad e modelos que puede ser programada en cada una de ellas	26
Tabla 10: Modelos de cortes de la maquina Focus XHP.	28
Tabla 11: resultados obtenidos de la primera sección de corte.	32
Tabla 12: resultados obtenidos de la Segunda sección de corte.	32
Tabla 13: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte	32
Tabla 14: Ejemplo de una matriz implementada.	34
Tabla 15: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte	35
Tabla 16: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte	35
Tabla 17: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte	36
Tabla 18: consumo de energía sector Industrial.	36
Tabla 19: consumo por trabajo extra.	37
Tabla 20: Datos obtenidos antes de la mejora.	38
Tabla 21: Datos después de la mejora.	38
Tabla 22: Costos mano de obra.	39
Tabla 23: Costo de Gastos Energéticos.	39
Tabla 24: Ahorro de la primera etapa del proyecto.	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación de Nodos siguiendo una trayectoria en una red.	14
Figura 2: máquina de corte Focus XHP.	27
Figura 3: Interior de la cabina de la maquina Focus XHP donde se lleva acabo el corte.	27
Figura 4: Dibujo de paneles correspondiente al modelo 520 PAB W/SAFETY VENT.	29
Figura 5: Recorridos Actuales de los desplazamientos de punto a punto.	30
Figura 6 : primera sección de recorridos.	31
Figura 7: Segunda SECCIÓN de corte.....	32
Figura 8: Tercera sección de corte.....	32
Figura 9: Recorridos establecidos de la primera sección:.....	34
Figura 10: Recorridos segunda sección.....	35
Figura 11: Recorridos Tercera Sección.....	36
Figura 12:Linea de corte Maquina Focus XHP modelo OPW.	44

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz ha representado el principal aliciente en los cambios de la economía internacional a lo largo de la historia. EL impacto generado por esta industria representa un avance para el crecimiento de las economías, tal fue el caso de la revolución industrial en el siglo XIX, la producción en masa en el siglo XX y recientemente la automatización y la integración de mecanismos capaces de desarrollar multitareas con diversos grados de complejidad [1].

El efecto positivo generado por la globalización se ve reflejado en el desarrollo de las economías de países en desarrollo, debido a la naturaleza global de los mercados y del ímpetu de supervivencia empresarial, [2]. El desarrollo de este factor impulsado por la industria automotriz, no solo ha magnificado el capital de los inversionistas, sino que ha impulsado a las industrias de soporte para la adaptación de las tecnologías que emanan de la investigación en la industria automotriz [3].

Como es de suponer, en las fases de investigación y desarrollo de la industria automotriz, se han desarrollado nuevas filosofías, estrategias y metodologías, las cuales han generado casos de éxito de la magnitud de empresas como Toyota, General Motors, Motorola, General Electric, entre otros. En otros casos los enfoques utilizados sólo representan un rotundo fracaso y con éste la pérdida significativa de bienes [4] [5].

Al igual que los grandes corporativos han apostado en el desarrollo de procesos y metodologías costosas, de forma paralela los empresarios de organizaciones tipo pequeña y mediana han dirigido sus esfuerzos hacia procedimientos más específicos, mejorando una parte de las metodologías o filosofías adaptándolas a las necesidades o requerimientos de sus procesos [6] [7] [8].

Es así como el desarrollo de investigación aplicada varía desde un requerimiento o necesidad macro representada por las grandes organizaciones hasta la satisfacción de un requerimiento micro o más específico que normalmente presentan las empresas micro,

el comportamiento de las empresas varía en función de sus necesidades ya sean pequeñas o medianas [9]

El presente proyecto de ingeniería aplicada se desarrolló en una empresa del giro automotriz ubicada en Ensenada, Baja California, dirigido hacia la realización de un nuevo nivel de capacidad del equipo de corte CNC para la producción de materia prima para el proceso de fabricación de bolsas de aire.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento que se obtiene anualmente del 50% en la demanda de bolsas de aire para vehículos automotrices, genera un incremento en la demanda de materias primas provenientes del proceso de corte. La mala programación del proceso genera un atraso promedio de 6.5 horas para una carga promedio de 14 cortes. Los retrasos generan la demanda de cumplimiento de programa con uso de tiempo extra, generando incremento en los costos e insatisfacción por parte de los clientes internos.

SUPUESTO

- La implementación de un método de programación de recorrido para la máquina de corte incrementará el nivel de productividad del equipo.
- La implementación del método Agente Viajero, es el método más adecuado para determinar las rutas más cortas realizadas por el equipo de corte.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿El nivel de producción del área de corte aumentara con la programación adecuada del equipo de corte?
- ¿La implementación de métodos de selección y asignación de rutas, permitirá optimizar el proceso de corte?
- ¿El mejor método para el proceso de corte para optimización de las rutas de recorrido del equipo, es el método del Agente Viajero?

OBJETIVO GENERAL

Realizar una programación eficiente de los códigos CNC de la máquina Focus XHP para tener un recorrido óptimo en los cortes de los paneles disminuyendo en un 10% el proceso y regular la jornada laboral de esta área.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio por el Método Heurístico traslado por las rutas más cortas.
- Realizar un estudio por el Método Agente Viajero (TSP) obteniendo las rutas más cortas.
- Realizar la programación de CNC de los recorridos en la máquina.

DELIMITACIONES

El presente proyecto está delimitado para el equipo FOCUS XHP del área de corte de la empresa ya mencionada.

LIMITACIONES

El desarrollo del presente proyecto se encuentra limitado por el tiempo disponible para el desarrollo e implementación de las estrategias y herramientas de optimización de recorridos dirigidas a incrementar la productividad del área de corte de la empresa para cumplir con los requerimientos de producción. Sujeto además a las restricciones de tiempo para la implementación y validación del programa de corte y la disponibilidad de tiempo por parte del factor humano.

JUSTIFICACIÓN

El interés por la organización en incrementar el nivel de servicio por parte del área de corte hacia el área de producción es una de los principales detonantes del presente proyecto, el cual tiene como objetivo incrementar la productividad de los equipos como mínimo un 25%, a partir del desarrollo e implementación del programa de códigos CNC de la máquina Focus XHP.

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

Durante el desarrollo del presente capítulo se expondrán las bases teóricas, desarrollo de técnicas y filosofías útiles para los modelos de asignación y selección de rutas. El objetivo del capítulo es presentar la teoría asociada a los modelos de optimización para el desarrollo del presente trabajo de tesis.

Los problemas de asignación o distribución son problemas de redes con soluciones basadas en programación lineal. El fundamento de estas metodologías se basa en transportar entidades de un punto específico llamado Fuente a otro punto específico denominado Destino.

Los principales objetivos están asociados a la satisfacción de todos los requerimientos establecidos por los destinos con el objetivo de minimizar los costos relacionados al plan y optimizar las rutas de las entidades.

MODELOS DE OPTIMIZACIÓN DE REDES

La estructura o la modelación que se genera con redes nos ayuda a la solución de múltiples problemas de una programación matemática mediante una implementación de algoritmos que se crearon para dicho fin, a estos se les llama o suelen conocerse como Algoritmos de Optimización de Redes [10] [11] [12].

Dentro de aquellos modelos que podemos encontrar y que son más comunes en la resolución por medio de redes son los de transporte o de transbordo, los conceptos básicos utilizados para resolver estos problemas son:

- Gráfica: en una serie de puntos a los cuales conocemos como nodos que suelen ser unidos por líneas llamados ramales o arcos.
- Red: Es una gráfica en la cual se ve reflejado una serie de flujo en sus ramales.
- Cadena: Corresponde a una serie de elementos ramales que van entre un nodo a otro.
- Ruta: Corresponde a los nodos que constituyen una cadena.
- Ciclo: Es una cadena que une a un nodo con el mismo.
- Rama orientada: O arco orientado, este tiene solo un sentido determinado a hacia otro nodo.

- Grafica orientada: Es aquella en la cuales sus ramales tienen un destino determinado u orientados.
- Árbol: Es una gráfica que no tiene ciclos.
- Árbol de Expansión: Es aquel encargado de enlazar todos los nodos de una red, pero no permite existencia de ciclos.
- Nodo fuente: Es aquel nodo en el que todos los ramales se encontraran orientados hacia afuera.
- Nodo destino: Es aquel dónde todos los ramales se encontrarán orientados hacia él.

2.1 MODELO DE LA RUTA MAS CORTA

El modelo de la ruta más corta es un método de programación lineal la cual se basa en resolver un problema de optimización de rutas más cortas o aquellas que tienen un menor costos según el sentido de los nodos unidas por unas aristas [13] [14]. Este método es muy importante ya que suele tener soluciones rápidas las cuales no cuentan con alguna restricción (aunque puede darse el caso que si suceda tener algunas), esto quiere decir que no importaría que tan grande pueda ser el problema ya que estos pueden ser resueltos por pequeños algoritmos, una de las representaciones que pueden definir este método es el siguiente:

- a) Se tienen n nodos, partiendo desde el nodo inicial 1 y teniendo un final en un nodo n .
- b) Los arcos o direcciones están conectados con direcciones diferentes que cero.
- c) Se desea encontrar la trayectoria más corta entre en nodo origen y el nodo final.

En la Figura 1 podemos observar la terminología de una representación de nodos en una red conexa con arcos dirigidos con un flujo que conecta los nodos.

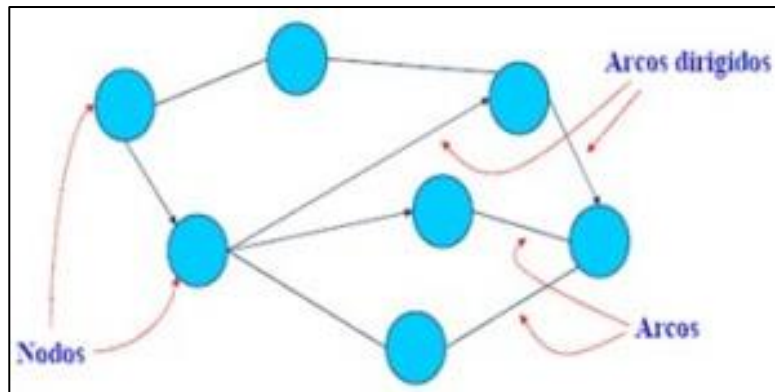


Figura 1: Representación de Nodos siguiendo una trayectoria en una red.

En este método referido a una red, cada uno de los arcos (i,j) suele tener un número siempre asociado el cual podemos visualizarlo como C_{ij} , este se puede interpretar como la distancia que hay desde el nodo “i” al nodo “j” con una distancia “C”.

Una de las formas para solucionar este problema es el siguiente:

- a) Se definen variables, las cuales serán binarias X_{ij} , donde $X_{ij} = 1$ si el arco que forma $(i \text{ a } j)$ es sobre el camino más corto y $X_{ij} = 0$ si no lo hay.

Por lo que existirán solo dos nodos el cual es el origen y el otro el destino.

- b) Se plantea la función objetivo

$$\text{Min } Z = CX_{ij} + C'X_{ij} \dots \dots \dots + C''X_{ij}.$$

- c) Se crea la ecuación considerando lo siguiente:

- Si entra al nodo es +.
- Si sale del nodo en -.

Suponiendo que tenemos un nodo 1 que nos lleva al camino más corto la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Nodo1: } X_{ij} + X'_{ij} = 1.$$

Por lo contrario, si nos lleva por un camino con mayor trayectoria la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Nodo 2: } X_{ij} + X'_{ij} + X''_{ij} = 0$$

Se pueden obtener varias formas de ver esta solución. Una puede observar las ecuaciones de cada nodo y todos aquellos que tengan igualdad a 1 se utilizarán para sumar distancias y obtener la solución al problema.

Otra forma es generar una tabla donde se declararán los campos de los nodos, rutas, distancias y conforme avanzamos con el llenado de cada ruta se estará acumulando la distancia para llegar al nodo final. Como se muestra en la Tabla1.

Tabla 1: representación de solución de la ruta más corta del nodo 1 al nodo 7 con resultado =22.

Nodo	Ruta	Distancia
Origen, 1	1	0
2	1-2	15
3	1-3	10
4	1-2-4	21
5	1-3-5	14
6	1-3-5-6	16
7	1-3-5-6-7	22

Otro método que nos puede ayudar en resolver este tipo de problemas es el método del algoritmo de Dijkstra el cual se refiere en recorrer caminos mínimos, el método se nombra así debido a Edsger Dijkstra quien lo describió por primera vez en 1959.

En este método se establece que Sea $G = (V, A)$ un grafo dirigido ponderado el cual podemos resolverlo de la siguiente manera:

- Sea V una serie de vértices de un grafo.
- Sea C una matriz una matriz de distancia o costos del gráfico, donde $C[u,v]$ almacena los costos entre u y v .
- Sea $D[v]$ el costo mínimo que hay del vértice de origen al vértice v .
- Sea $P[v]$ el vértice predecesor de v en el camino mínimo que se va teniendo construido.

2.2 MODELO DEL ÁRBOL DE EXPANSIÓN MÍNIMA

Consiste en optimizar las redes con el objetivo de enlazar todos los nodos de la red en forma directa y/o indirecta, con el fin de que la longitud de todos los arcos o los ramales sea la mínima donde establece que si n = número de nodos, entonces la solución óptima que obtendremos deberá incluir $n-1$ arcos.

Sean:

$N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ el conjunto de nodos que pertenecen a una red.

C_k = conjunto de nodos que se han enlazados de la forma permanente en la iteración K .

$\check{C}_K$ = Conjunto de nodos que hacen falta por enlazarse en una forma parmente.

Paso 0: Se inicia con el conjunto $C_0 = \emptyset$ y $C^{\rightarrow}_0 = N$.

Paso 1: Sea “ i ” cualquier nodo que se encuentra en la red de la forma que la primera iteración es $C_i = \{i\}$ al realizar esto se tendrá que descontar el nodo de los nodos conectados $C^{\rightarrow}_0 = N \setminus \{i\}$.

Paso 2: Pasar a la siguiente iteración $K = 2$.

Paso 3: Se selecciona un nodo “ j ” $\in C^{\rightarrow}_{K-1}$ (este pertenece al conjunto de aquellos nodos que están pendientes de conectar en la iteración anterior) de forma que debe producir el nodo más corto a un nodo conectado del conjunto C_{K-1} y sacarlo del conjunto $C^{\rightarrow}_{K-1}$.

Este paso se refiere:

Quando $C_k = N$ y $C^{\rightarrow}_K = \emptyset$. El proceso es detenido.

2.3 MODELO DE FLUJO MÁXIMO

Existe un flujo que viaja desde un único lugar que debe ser el origen hacia un único lugar destino a través de arcos que conectan nodos intermedios. Cada uno de los nodos que se encuentran intermedios de estos dos puntos están encargados de enviar la mayor cantidad de flujo del inicio al punto final, aunque se podría presentar problemas que no necesariamente lleven la mayor cantidad de flujo entre puntos. Para el desarrollo de estos problemas se deben considerar los siguientes conceptos.

- Flujo: Circulación de unidades homogéneas de un lugar a otro.
- Capacidad de flujo: Capacidad de las unidades que pueden entrar por el nodo fuente y salir por el nodo destino.
- Origen o fuente de flujo: Nodo por el cual el flujo ingresa.
- Destino o Sumidero de flujo: Nodo por el cual el flujo sale.
- Capacidades residuales: Capacidades restantes unas veces que el flujo pasa el arco.

Para poder desarrollar la solución a este problema utilizamos el método *Ford Fulkerson*, que propone buscar aquellos caminos en los que el flujo pueda ir en aumento hasta llegar al objetivo de llegar al flujo máximo con un flujo positivo, teniendo en claro lo siguiente [13]:

- a) El flujo debe de ser positivo y con unidades enteras.
- b) El flujo a través de los arcos debe ser menor o igual que la capacidad que tenemos.
- c) El flujo que entra a cualquier nodo debe de ser igual al que sale.

Método *Ford Fulkerson*:

- a) Se debe de identificar el nodo que será el de inicio y el de destino.
- b) Se parte del nodo que es inicio y se escoge aquel arco que tiene mayor flujo.
- c) Se deben identificar los nodos que serán los de transbordo.
- d) Se debe de repetir como si el nodo que está de intermediario fuera el nodo de origen.
- e) Se calcula “ k ” y las capacidades nuevas a través de:

$$C_{ij\ ji} = (C_{ki} - K, C_j + K)$$

Dónde:

C= Capacidad.

ij= Índice de los Nodos.

K = Mínimo flujo que pasa por los nodos, se calcula como $k = \min$ (capacidad de la ruta).

2.4 MODELO DE COSTO MÍNIMO

El método de costo mínimo es aquel que se encarga de realizar una trayectoria encontrando una solución a través de la ruta que genere un menor costo [13], el cual tiene como procedimiento que se asignen como sea posible a la variable el costo unitario más pequeño en la *Tabla* completa, en dado caso de que la columna y el renglón cumplan satisfactoriamente, simultáneamente y únicamente, uno de ellos podrá ser tachado, una vez realizado se ajustaran las ofertas y demandas de los que aún no se tacharon, este procedimiento se estará repitiendo con cada una de las variables no tachadas hasta que el costo que sea mínimo, este proceso terminara en el momento que quede una columna y un renglón estén sin tachar.

Para poder entender este método se desarrolla el siguiente ejemplo donde existen tres orígenes, cuatro destinos, tres ofertas y la demanda de cada destino como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Ejemplo de Método de Costo Mínimo.

Origen	Destino				Oferta
	1	2	3	4	
1	10	0	20	11	15
2	12	7	9	20	25
3	0	14	16	18	5
Demanda	5	15	15	10	

Paso1: Se debe de observar que ruta tiene el menor costo como en este caso el origen 3 hacia el destino 1 tiene un costo de cero con una demanda de 5 unidades y una oferta de 5 unidades por lo que tomamos ese valor inicial colocándole la demanda máxima

tachando o eliminando destino uno y la oferta de origen 3 como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: solución al paso 1.

Origen	Destino						Oferta
	1		2		3		4
1	10		0		20	11	15
2	12		7		9	20	25
3	0	5	14		16	18	5
Demanda	5		15		15		10

Paso2: Seguimos con el siguiente valor que genere el menor costo como en este caso será destino 2 costo de envío 0 con una cantidad máxima de 15 unidades como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Solución al paso 2

Origen	Destino						Oferta
	1		2		3		4
1	10		0	15	20	11	15
2	12		7		9	20	25
3	0	5	14		16	18	5
Demanda	5		15		15		10

Paso3: en este caso solo nos queda por satisfacer el destino 3 y 4 con una oferta de 25 con demandas de 15 y 10 respectivamente como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Solución al paso 3.

Origen	Destino								Oferta
	1	2	3	4					
1	10	0	15	20		11			15
2	12	7		9	15	20	10		25
3	0	5	14		16		18		5
Demanda	5	15	15	10					

En este caso llegaríamos a su fin con una solución de costo mínimo =

$$(5*\$0+15*\$0+15*\$9+10*\$20) = \$335$$

En este caso solo se repitieron tres pasos, pero el problema puede tener la cantidad de pasos a realizar dependiendo que tan complejo sea.

2.5 MÉTODO SIMPLEX DE REDES

Este método fue creado en el año 1947 por el estadounidense George Bernard Dantzig y el ruso Leonid Vitalievich Kantorovic, con la finalidad de crear un algoritmo capaz de solucionar problemas de m restricciones a n variables [13] [15].

El método simplex es un procedimiento basado en la solución de problemas de programación lineal, su eficiencia se basa en resolver problemas grandes al utilizar sus conceptos fundamentales geométricos, el método tiene como problemas a resolver tener una serie de nodos a diferentes distancias las cuales serán unidas por vértices.

Es un método iterativo que permite ir mejorando la solución en cada paso o con forme avanza en la solución del problema caminado de un vértice de un poliedro a un vértice vecino de manera que aumente o puede ir disminuyendo ya sea si deseas minimizar o maximizar.

El método simplex trabaja basándose en ecuaciones y restricciones iniciales o variables de holgura que cuenta el problema los cuales se encargan de estructurar el molde y se

representan como una “S” las cuales se suman siempre y cuando las restricciones tienen el signo “ $\leq$ ” y se restan si las restricciones son “ $\geq$ ”.

Para poder entender más este método tenemos una Función Objetivo:

$$Max Z = X_1 + X_2$$

Contamos con algunas Restricciones las cuales las otorga el problema como podrían ser las siguientes:

$$1.- X_1 + X_2 \leq 24$$

$$2.- X_1 \leq 2$$

$$3.- X_2 \leq 1$$

Pasos para desarrollar solución mediante método Simplex:

- a) Se tiene que transformar la variable “Z” y todas aquellas restricciones a igualdades e introducir las variables de holgura si el signo de la igualdad es $\leq$ la variable de holgura será signo con el signo de = (igualdad) positivo de lo contrario signo negativo.

Ejemplo:

$$1.- X_1 + X_2 + 1S_1 + S_2 + S_3 = 24$$

$$2.- X_1 + S_1 + 1S_2 + S_3 = 2$$

$$3.- X_2 + S_1 + S_2 + 1S_3 = 1$$

$$Max Z = X_1 + X_2$$

Al llegar a este punto se dice que llega a su forma estándar, cuando cada una de las restricciones cambia al ser una igualdad y aquellos segundos miembros de las ecuaciones son constantes.

- b) En este paso debemos de armar la matriz la cual tendrá tantas filas como restricciones llegue a tener dicho problema, las columnas necesarias a las variables que lleguemos a tener esto lo podemos observar de la siguiente manera: X

$$R \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Donde R que son los renglones que representan nuestras restricciones y X donde se coloca el valor que tiene X en nuestras restricciones.

- c) Se debe de construir una tabla del método simplex como se muestra en la Tabla 6 teniendo la matriz anterior.

Ejemplo:

$$1S_1 = 24$$

$$1S_2 = 2$$

$$1S_3 = 1$$

Tabla 6: Tabla método simplex.

Cb	Cj Variable solución	Solución	X1	X2	S1	S2	S3
0	S1	24	1	1	1	0	0
0	S2	2	1	0	0	1	0
0	S3	1	0	1	0	0	1
	Zj						
	Cj -Zj		1	1	0	0	0

C_{j0} la fila “ C_j ” tiene hacer referencia el coeficiente que tiene cada una de las variables de la fila que tiene el nombre “solución” en nuestra función objetivo.

Variable solución: en esta columna se asigna la solución básica lineal y esta es donde parte cada una de las iteraciones, en esta también se incluye el valor de aquellas variables que formaran parte de solución final.

Cb: En esta fila se consignará el valor que tiene la variable que se encontrara a la derecha “variable solución” en la función objetivo.

Zj: En esta se asigna la contribución total, esto quiere decir que es el producto entre *Cb* y término.

Cj -Zj: En esta se asigna la diferencia entre la fila *Cj* y la Fila *Zj*, el significado de esta resta es la utilidad que deja recibir por cada variable correspondiente que no está formando parte de la solución.

- d) Determinar los valores que entran y salen, una de las formas de explicar este comportamiento lo podemos observar en la Tabla 8.

Tabla 7: Explicación de entrada de variables y salida:

	Maximizar	Minimizar
Variable que entra	La más positiva de los $C_j - Z_j$	La más negativa de los $C_j - Z_j$
Variable que sale	Siendo “b” los valores bajo la celda solución y “a” el valor correspondiente a la intersección entre b y la variable que entra. La menos positiva de los b/a .	Siendo “b” los valores bajo la celda solución y “a” el valor correspondiente a la intersección entre b y la variable que entra. La más positiva de los b/a .

Tabla 8: ejemplo de entrada y salida de variables.

Cb	Cj Variable solución	Solución	X1	X2	S1	S2	S3	b/a
0	S1	24	1	1	1	0	0	24/1=24
0	S2	2	1	0	0	1	0	2/0 =0
1	X2	1	0	1	0	0	1	1/1 =1
	Zj	1	0	1	0	0	1	
	Cj -Zj		1	1	0	0	-1	

Para este caso como se observa en la tabla 4 tomaremos como variables al azar S3 y X2, al dividir b/a obtenemos que el menor positivo es 1 de la variable que sale “S3” por lo que la variable de entrada será “a=1” la cual será dividida en el valor de entrada X2.

Este paso lo aplicaremos hasta que $C_j - Z_j \leq 0$, o en caso que deseemos maximizar $C_j - Z_j \geq 0$ el cual nos dará la solución óptima para nuestras variables buscada relleno la tabla con las variables restantes, por ejemplo para “X2” podemos multiplicar por -1 para obtener una nueva fila, se procede a multiplicar Cb por cada uno de los valores y obtendremos Zj y así continuar hasta tener la solución óptima buscada.

2.6 MÉTODO DEL AGENTE VIAJERO

De acuerdo a los expertos en el tema, en 1956 Flood introdujo el primer problema de este tipo, fue el del agente viajero o TSP (Travelling Salesman Problem), llamado así porque es posible describirlo en términos de un agente vendedor que debe visitar una cantidad determinada de ciudades en un solo viaje, de tal forma que inicie y termine en el mismo lugar, el agente deberá determina cual será la ruta que seguirá para visitar cada ciudad una sola vez y regresar recorriendo la mínima distancia, siendo este tipo de problemas el básico, posteriormente se fueron considerando otras variables y restricciones, apegadas a la realidad.

A partir de esta propuesta nacieron variaciones, en 1959 con Dantzing y Ramser; donde se modela el despacho de combustible a través de una flota de camiones a diferentes estaciones de servicio, desde una terminal. Este trabajo se convierte en la base para un desarrollo posterior de otras formulaciones en las que se incrementan el número de variables y restricciones [1] [2] [3].

El método TSP clásico se basa en los recorridos o desplazamientos que se realizan de un punto a otro con la finalidad de que estos desplazamientos sean los menos posibles y más cortos de recorrer.

El modelo TSP asociado se define por medio de dos datos:

- a) El número de ciudades, n .
- b) Las distancias d_{ij} entre las ciudades i y j ($d_{ij}=\infty$ si las ciudades i y j no están comunicadas). Un recorrido prohíbe conectar una ciudad a sí misma al asignar una penalización muy alta a los elementos diagonales de la matriz de distancias [13][4]. Se define como:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se llega a la ciudad } i \text{ desde la ciudad } j \\ 0, & \text{de lo contrario.} \end{cases}$$

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij},$$

$$d_{ij} = \infty \text{ para toda } i = j$$

CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

El metodo del agente viajero – Travel Salesman Problem (TSP Por sus siglas en ingles) cuya representacion al solucionar problemas al utilizar multiples variables utilizando algoritmos formados a partir de los nodos que se forman entre cada punto de una trayectoria que se desea seguir, teniendo un parte de inicio y otra que es el final el cual no puede visitar el mismo nodo dos veces, este metodo ofrece tambien no solo una ruta si no tener diversas soluciones del nodo origen al nodo destino, el cual tendra la solucion optima tomando encuesta las condiciones o restricciones que presente el problema, en este caso es obtener la ruta mas corta, el metodo del agente viajero descrito como un conjunto de grafos cuyas aristan suelen ser caminos o rutas que puede seguir la entidad para visitar todos los nodos lo cual lo describe como [7]:

Definir el número de nodos, su posición y el costo por cada arista (i, j) donde i = punto1 y j = punto 2
Elegir el nodo inicial i
Hacer
Si el nodo más cercano no se ha visitado
Visitar nodo j
Actualizar lista de nodos visitados
 $\text{Costo total} = \text{costo total} + \text{costo}_{ij}$
Nodo i = nodo j
Hasta haber visitado todos los nodos.

TSP Aplicado al CNC: Esta tecnología da la confianza a la organización de proveer al cliente productos de excelente calidad. Control numérico computarizado CNC, permite realizar tareas de maquinado o corte de máxima calidad. Ni el técnico más capacitado podría realizar las tareas que la CNC nos ofrece. Normalmente en los productos que se realizan en masa inclusive en los que no; es necesario realizar un diseño de alguna pieza que va a contribuir en el proceso de la manufactura de cualquier producto, y posteriormente el diseño de la pieza se codifica en la CNC y se fabrica un prototipo; una

vez liberado el prototipo se procede a manufacturarlo en serie, y que mejor que sea en una máquina de tecnología de clase mundial como es la CNC. Las empresas para ganar más productos necesitan demostrar a los clientes que tienen la capacidad y sobre todo la tecnología para ofrecer productos de calidad mundial. CNC es la solución para el empresario y cliente para realizar las actividades en tiempo y forma. Mei, Li & Yao (2014), comentan que la CNC agrega un alto valor de calidad al producto, bajo costo, y un servicio orientado a manufactura modular. La alta tecnología del equipo es una efectiva forma de mejorar la eficiencia, reducir costo y asegurar la calidad, para mejorar este proceso de recorridos o rutas se apoyó en la metodología de TSP (Traveling Salesman Problem).

Solucion de Problema

Para poder determinar en que maquina aplicaremos el metodo TSP se determino la forma y métodos de trabajo utilizados para llevar acabo la toma de decisiones en el proyecto para encontrar la solución óptima al problema.

Principalmente se evalúa los modelos de producción manejados con mayor frecuencia así como los números de partes los cuales se tiene un total de 100 modelos diferentes y 400 números de parte diferentes que pueden ser cortados en cualquiera de las máquinas de corte laser, con las que se cuenta en la actualidad las cuales son 7: Lacen A. Lacen B, Cincinati 3, Cincinati 4, Focus XHP, Vector 2500, Vector 700.

En la tabla 9 se muestra los modelos y la cantidad de números de parte que pueden trabajar estas máquinas.

Tabla 9: Maquinas disponibles de cortes y cantidad e modelos que puede ser programada en cada una de ellas.

	Máquinas de Corte			
	Dos Lacent	Dos Cincinati	Una Focus	Dos Vector
Modelos	38	38	31	20
No. de parte	133	68	134	65

Como se muestra en la tabla 8 los centros de trabajo en algunos modelos se reparten entredós maquinas la única que tiene su centro de trabajo del 100 % es la maquina Focus HXP, en base a esto tenemos que dicha maquina será donde se aplicara el problema a resolver.

En la Figura 2 podemos observar la máquina de corte donde se realizará la mejora en los recorridos realizados en generar cada pieza o componente por modelo el cual será enviado a las líneas de producción para poder ser procesados, en la Figura 3 podemos observar el interior de la cabina donde se realizan los cortes.



Figura 2: máquina de corte Focus XHP.



Figura 3: Interior de la cabina de la maquina Focus XHP donde se lleva acabo el corte.

PASO 1:

Determinando la máquina que tiene un centro de trabajo con mayor tiempo de trabajo como se mencionó anteriormente, se prosiguió a determinar los modelos que son procesados en esa máquina debido a la buena calidad que realiza su proceso, los modelos se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Modelos de cortes de la maquina Focus XHP.

MODELO	Tiempo/ corte (min)	Cortes semana	Tiempo semana (min)
MITSUBISHI OUTLANDER	35	4	140
FORD CD533 IC RH	15	8	120
FORD CD533 IC LH	15	0	0
FORD C489 PAB	30	7	210
GM VIVA PAB	25	4	100
FORD V363 DAB	20	5	100
HONDA TZ3 PAB	26	6	156
C520 PAB W/SAFETY VE	30	72	2160
C489 SAB LH	30	7	210
C489 SAB RH	30	0	0
GMX350 DAB	15	25	375
FORD P473 IC CREW CA	20	8	160
FORD P473 IC REGULAR	20	0	0
FORD P473 IC SUPER C	20	0	0
E2SC DAB	20	7	140
NISSAN P42JK SAB - L	25	8	200
NISSAN P42JK SAB - R	25	0	0
GM EPSILON KAB RH	25	20	500
GM EPSILON KAB LH	25	20	500
DODGE PF DAB	45	0	0
NISSAN P42K PAB MY20	30	20	600
FORD CD391/LH CUT &	20	45	900
FORD CD391/RH CUT &	20	45	900
FORD C346 KAB	35	17	595
HYUNDAI AN KAB	25	9	225
D1SB-N PKAB	25	8	200
D1SB-N DKAB	25	0	0

Como se muestra en la tabla anterior se muestra en color verde el modelo que tiene mayor demanda que es el modelo 520 PAB W/ Safety Vent el cual tiene un tiempo promedio de 30 min con una demanda de 72 cortes semanales con un tiempo total de 2160 min con horas promedio de trabajo de 36 horas por lo que se tiene que trabajar las 24 horas de lunes a viernes y sábados 15 horas y media para cumplir con la demanda solicitada para esta máquina de corte.

Teniendo un total de 135 horas disponibles de trabajo las cuales para la demanda se requiere un total de 141.5 horas, al usar este horario se tiene a un atraso de 6.5 horas el cual generar un menor inventario disponible para el inicio de la semana.

PASO 2:

Teniendo el modelo a evaluar se acudió con el departamento de desarrollo para solicitar su apoyo con proporcionarnos el dibujo de dicho modelo y poder visualizar las dimensiones que recorre el cabezal de la maquina al momento de ir realizando cada corte, el cual se muestra en la Figura 4 el diseño y los componentes que corresponden a dicho modelo, el cual al maquina lo corta en tres secciones ya que la longitud del tendido es de 9.97mts, las cuales se pueden ver divididos por la línea azul.

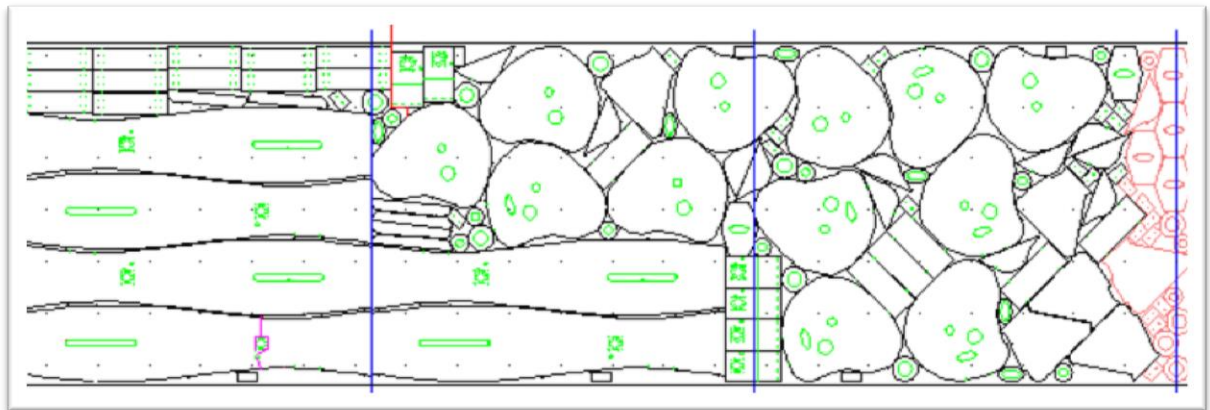


Figura 4: Dibujo de paneles correspondiente al modelo 520 PAB W/SAFETY VENT.

PASO 3:

Se analizó el recorrido que realiza la maquina proporcionado por el software actual que usa ingeniería para observar el proceso de corte, en la Figura 5 se muestran los recorridos de la máquina de color verde que realiza al desplazarse entre puntos cuando no se encuentra en proceso de corte, se observa demasiadas trayectorias, sin una

secuencia determinada lo que ocasiona es un tiempo de proceso más alto ya que el software utilizado te da una opción del recorrido que puede tomar sin importar la distancia que recorre entre puntos y al no contar más que con una sola restricción de que los cortes sean por unidad es decir que donde inicia el corte ahí deberá terminar, el desplazamiento hacia el siguiente panel puede que pase más de una vez por la misma ruta.



Figura 5: Recorridos Actuales de los desplazamientos de punto a punto.

PASO 4:

En este paso se divide en tres secciones para poder analizar los recorridos con una mayor visibilidad y determinar los movimientos que realizaba en cada sección en la Figura 6 se puede observar la primera sección, en la Figura 7 la segunda sección y en la Figura 8 la tercera sección y los recorridos de cada uno de ellos esto para comenzar a analizar las distancias que recorre, el tiempo y los movimientos del cabezal de corte visualizando el software que genero esta ruta, en la Tabla 11 podemos observar lo generado por los desplazamientos en esta primera sección en la Tabla 12 de la segunda sección y en la Tabla 13 de la tercera sección.

Para poder determinar los datos nos apoyamos del modelo en AutoCAD para poder determinar la distancia exacta que recorre obteniendo las medidas uniendo los puntos donde inicia cada punto de partida y siguiendo la trayectoria que actualmente presenta pausando al termino de cada sección la maquina utilizando como molde cartón ya que teníamos restricciones de tiempo solo se podía observar los sábados de 9:30 pm a 6:00

am y domingos de 6:00 pm a 6:00am, así como el cambio de revisión que se realizó inesperadamente la modificación de las trayectorias observadas anteriormente por lo que se parte de cero ya que los nodos de origen también se convirtieron en nodos destinos trayendo como consecuencia en desacomodo en los recorridos de la maquina provocando problemas de calidad así como de funcionamiento y desempeño forzando a realizar un tiempo extra que aumento en 24 horas más de lo que ya se tenía que trabajar en jornada laboral.

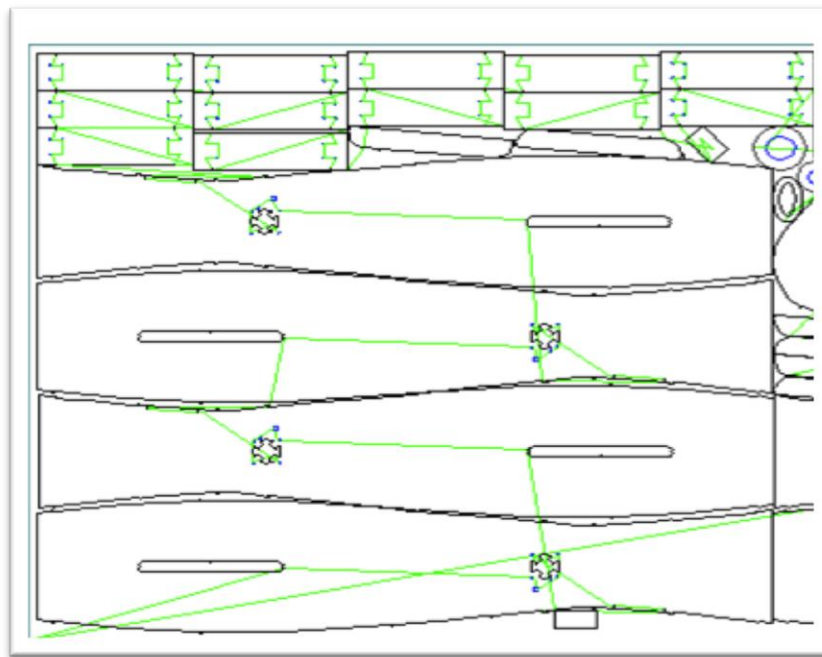


Figura 6: primera sección de recorridos.

Tabla 11: resultados obtenidos de la primera sección de corte.

Datos Obtenidos		
Movimientos realizados	Distancia en Mts.	Tiempo en minutos
262	27.85	9.19

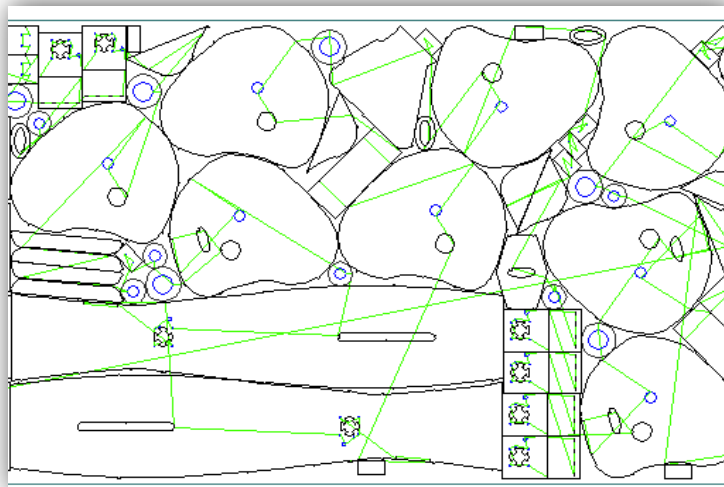


Figura 7: Segunda sección de corte

Tabla 12: resultados obtenidos de la Segunda sección de corte.

Datos Obtenidos		
Movimientos realizados	Distancia en Mts.	Tiempo en minutos
205	24.60	8.11

Figura 8: Tercera sección de corte.

Tabla 13: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte

Datos Obtenidos		
Movimientos realizados	Distancia en Mts	Tiempo en minutos
166	38.46	12.69

PASO 5:

Se determina las condiciones y restricciones que se deben de tomar en cuenta para resolver el problema que tiene como función objetivo reducir los movimientos ineficientes de la máquina al realizar su proceso de corte la cual nos ayudara en reducir el tiempo de atrasa en la máquina de corte y disminuir el tiempo extra excesivo que se lleva cada fin de semana para poder cumplir con lo planeado y requerido para la producción de las bolsas de aire, las principales restricciones que nos sugirió el departamento de desarrollo:

- 1.- Principalmente se debe de realizar cada corte por pieza, es decir que debe hacer una pieza de corte a la vez por lo que el nodo origen de cada uno de los componentes a cortar tendrá el nodo como nodo final por lo que la optimización será al desplazarse de componente acortar a otro.
- 2.- Se debe de dividir lo largo del tendido de corte en tres secciones teniendo un punto inicial del perímetro de una pulgada por algún defecto del proveedor en tela.
- 3.- Las velocidades y potencias del corte no deben de disminuir ya que esto implica un resultado negativo para cumplir el objetivo.
- 4.- Las pruebas solo se harán en la madrugada siempre y cuando se cumpla el plan de producción.

PASO 6:

Análisis de trayectoria de los recorridos el cual se tuvo que tener el apoyo de una matriz en Excel para determinar la distancia entre cada punto de inicio el cual se sugirieron principalmente esquinas donde iniciara el corte o las partes curvas de cada componente ya que al momento de hacer la pieza completa el desface de inicio y fin suele no existir o ser mínimo lo cual no genera defecto de calidad y a partir de las distancias entre los puntos se comienza a trazar la ruta óptima al problema y poder ser analizado el recorrido contra el que está actualmente, en la tabla 14 se puede ver un ejemplo de la unión entre puntos y sus distancias en milímetros.

Tabla 14: Ejemplo de una matriz implementada.

Distancia entre puntos dada en milímetros										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	200	601	200	156	269	564	587	584	600
2	300	0	500	620	450	800	941	2000	5000	548
3	400	150	0	250	131	211	362	142	300	144

En este caso de nuestras matrices tomamos en cuenta cada nodo de partida como nodo final esto debido a las condiciones de las máquinas que tiene que llegar al mismo origen lo cual trajo con ello que nuestra matriz creciera considerablemente aumentando las posibilidades de nuevas rutas a seguir, la importancia de poder establecer los puntos con menor distancia y que no recorrieran dos veces la misma zona nos ayudarían para poder programar el corte en el código CNC de la máquina para seguir la trayectoria que será óptima.

PASO 7:

Una vez realizada las matrices para cada una de las secciones de los nodos que serán unidos se trazan las rutas que obtuvimos al realizar los nodos más cercanos o con menor distancia entre ellos y comenzar a trazar la ruta a programar en el código, las secciones ya trazadas mejoradas se observan en las Figuras 9,10,11 de cada sección al igual que sus distancias y tiempos observadas en las Tablas 15,16,17.

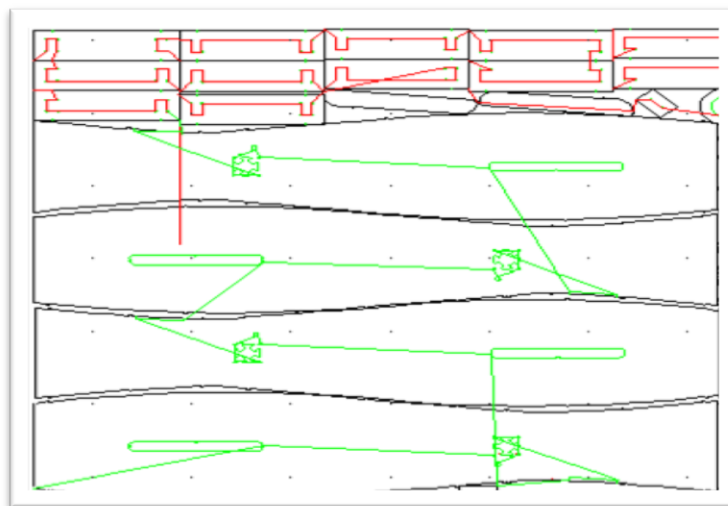


Figura 9: Recorridos establecidos de la primera sección:

Tabla 15: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte

Datos Obtenidos		
Movimientos realizados	Distancia en Mts	Tiempo en minutos
208	22.08	7.29

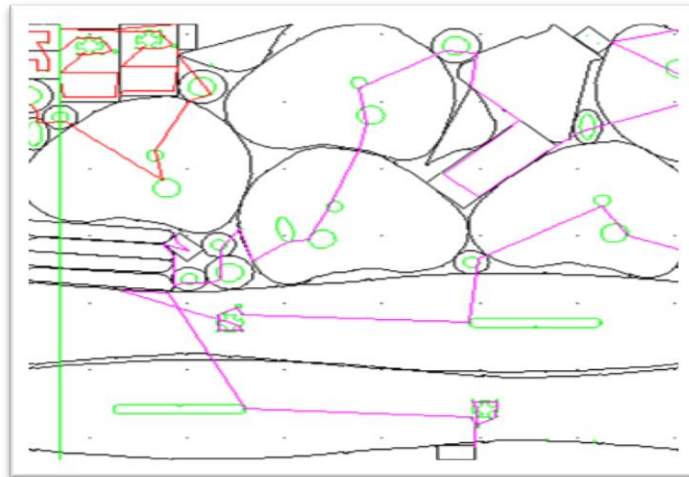


Figura 10: Recorridos segunda sección.

Tabla 16: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte

Datos Obtenidos		
Movimientos realizados	Distancia en Mts	Tiempo en minutos
172	20.58	6.79

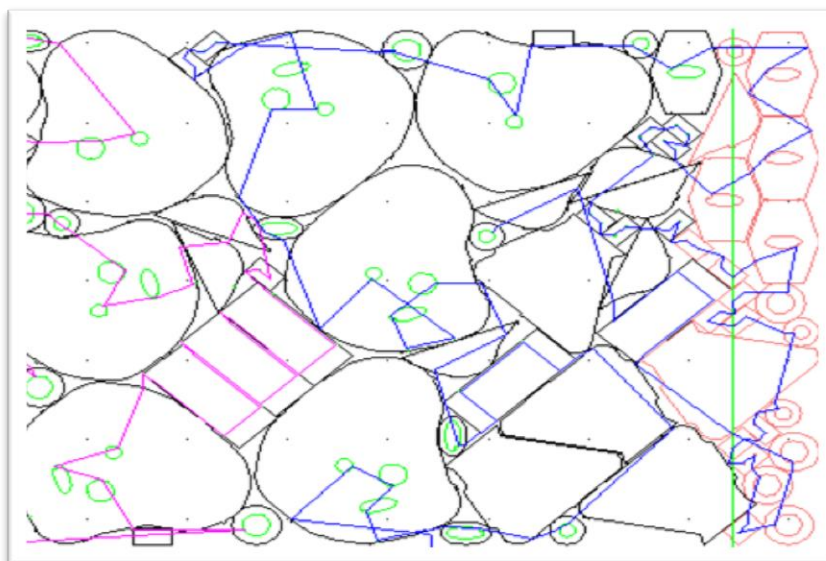


Figura 11: Recorridos Tercera Sección.

Tabla 17: resultados obtenidos de la Tercera sección de corte

Datos Obtenidos		
Movimientos realizados	Distancia en Mts	Tiempo en minutos
130	30.07	9.92

PASO 8:

Teniendo lista la trayectoria optima se realizó un estudio de consumo de electricidad lo cual nos proporcionó la CFE (Comisión Federal de Electricidad) Para saber los precios de los KW/h consumidos por las máquinas de corte laser lo cual se muestra en la tabla 18, al tener esto se calculó los gastos energéticos durante el transcurso del tiempo extra que se genera como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18: consumo de energía sector Industrial.

		Invierno		
Region	cargo KW/h	Energia punta KW/h	Energia intermedia KW/h	Energia Base KW/h
BC	\$271.4200	\$1.9000	\$0.7792	\$0.6120
		Verano		
Region	cargo KW/h	Energia punta KW/h	Energia intermedia KW/h	Energia Base KW/h
BC	\$280.7500	\$1.8952	\$0.7411	\$0.5821

Tabla 19: consumo por trabajo extra.

		Tiempo Extra 01-mayo al 30- Octubre			
Sábado	Hora	Energía Base KW/h	Energía intermedia KW/h	Horas base	Horas Intermedia
Maquina	21:30 a 6:00	\$0.5821	N/A	8.5	N/A
Lámparas	19:00 a 7:00	\$0.5821	\$0.7411	9	3
Domingo					
Maquina	6:00 a 17:30	\$0.5821	N/A	15.5	N/A
Lámparas	19:00 a 23:00	\$0.5821	N/A	4	N/A
		Tiempo Extra 01-Noviembre al 06- Diciembre			
Sábado	Hora	Energía Base KW/h	Energía intermedia KW/h	Horas base	Horas Intermedia
Maquina	21:30 a 6:00	N/A	\$0.7792	N/A	8.5
Lámparas	19:00 a 7:00	N/A	\$0.7792	N/A	12
Domingo					
Maquina	6:00 a 17:30	N/A	\$0.7792	N/A	15.5
Lámparas	19:00 a 23:00	N/A	\$0.7792	N/A	4

PASO 9:

Al realizar los estudios correspondientes en los recorridos de la maquina se obtuvo lo siguiente.

En la tabla 20: Se muestra los movimientos, distancias y tiempos en las secciones del corte antes de la mejora y en la tabla 21 después de la mejora.

Tabla 20: Datos obtenidos antes de la mejora.

	Antes de la Mejora	
Total Movimientos sin corte	Total Distancia recorrida en mts	Tiempo en minutos
634.18	90.91	30
	Desplazamientos 1er sección	
Movimientos sin corte	Distancia recorrida en mts	Tiempo en minutos
262.31	27.85	9.19
	Desplazamientos 2da sección	
Movimientos sin corte	Distancia recorrida en mts	Tiempo en minutos
205.57	24.60	8.11
	Desplazamientos 3ra sección	
Movimientos sin corte	Distancia recorrida en mts	Tiempo en minutos
166.30	38.46	12.69

Tabla 21: Datos después de la mejora.

	Despues de la Mejora	
Total Movimientos sin corte	Total Distancia recorrida en mts	Tiempo en minutos
510	72.73	24
	Desplazamientos 1er sección	
Movimientos sin corte	Distancia recorrida en mts	Tiempo en minutos
208	22.08	7.29
	Desplazamientos 2da sección	
Movimientos sin corte	Distancia recorrida en mts	Tiempo en minutos
172	20.58	6.79
	Desplazamientos 3ra sección	
Movimientos sin corte	Distancia recorrida en mts	Tiempo en minutos
130	30.07	9.92

PASO 10:

DISCUSIÓN

Al implementar la mejora se observó un alcance en costos como en mano de obra como en los costos energéticos que se utilizan en las jornadas de tiempo extra, los datos se observan en las tablas 22 y 23

Tabla 22: Costos mano de obra.

	Mano de obra		
	cantidad	sueldo	sueldo TE
operador	3	500	1500
calidad	1	600	600
supervisor	1	750	750
lider	1	600	600
prog	1	600	600
Kanbanistas	2	500	1000
Mecanico	1	800	800
Montacargista	1	500	500
		Total	\$ 6,350.00

En la tabla 23 se muestra el costo requerido de energía en las temporadas invierno y verano proporcionados por la CFE.

Tabla 23: Costo de Gastos Energéticos.

	Energia y Maquinaria verano			
	Cantiad	Precio fijo	cargo KW/h	Costo TE
Lamparas	80	\$200.00	\$280.7500	\$22,660.00
Maquina Focus	1	\$430.29	\$280.7500	\$22,890.29
Gas Mixto	2	\$ 20,000.00	N/A	\$20,000.00
			Total	\$65,550.29
	Energia y Maquinaria Invierno			
	Cantiad	Precio fijo	cargo KW/h	Costo TE
Lamparas	80	\$195.00	\$271.4200	\$21,908.60
Maquina Focus	1	\$575.98	\$271.4200	\$22,289.58
Gas Mixto	2	\$ 20,000.00	N/A	\$20,000.00
			Total	\$64,198.18

Etapa 2 del Proyecto

PASO 11:

Debido al amplio desarrollo de las rutas obtenidas y temiendo las posibilidades de mejorar el objetivo establecido el corporativo toma la decisión de adquirir una nueva máquina Focus XHP por lo cual se vuelve a calcular la carga de trabajo ya que al analizar la etapa 1 y mejorar la ruta la carga de trabajo de 141.5 horas se redujo a 134.31 por lo que ya el tiempo extra no se requiere pero al instalar la segunda maquina se redujo la jornada laboral en solo dos turnos de lunes a viernes a con un total de 87.5 horas teniendo un total de 20.34 horas disponibles lo cual nos ayuda a tener un día de inventario en nuestro almacén.

Etapa 3 del Proyecto

PASO 12:

Esta etapa se encuentra en prueba ya que la planta hermana del corporativo GST ubicada en Estados Unidos era la encargada de exportarnos alrededor de 10 000 bolsas de aire para ser procesadas en la planta de Ensenada, pero al ver los resultados de las primeras dos etapas el corporativo GST toma la decisión de incorporar 4 máquinas más para el uso de corte de las cortinas que nos exportaban lo cual se comienzan a realizar los cortes en Ensenada dejando de generar la espera semanal de ese material que ocasionaba atrasos en la producción debido a las aduanas este proyecto estando en fase de desarrollo surge en enero del 2017 con la finalidad de reducir aún más de gastos y el crecimiento de una nueva nave industrial en Ensenada y la creación del corporativo GST Torreón la cual será la encargada de producir los rollos de tela disminuyendo la importación de rollos de Estados Unidos y China.

PASO 13:

Se obtuvo un resultado favorable ya que se planteó reducir en un 10% los movimientos y se llegó al 20%, el cual se ve reflejado en la tabla el cual corresponde a la etapa 1 del proyecto del primer año como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24: Ahorro de la primera etapa del proyecto

Pago Tiepo Extra temporada 01-junio al 30- Octubre				Pago Tiepo Extra temporada 01-Noviembre al 20 diciembre			
Verano				Invierno			
Mano de Obra	Maquinaria	Iluminacion	Total	Mano de Obra	Maquinaria	Iluminacion	Total
\$ 101,600.00	\$2,197,467.6787	\$367,813.64	\$2,565,281.3235	\$ 101,600.00	\$668,687.54	\$108,666.18	\$777,353.72
			Gasto Actual	\$3,342,635.04			
			Ahorro	\$720,482.87			
			Total	\$2,622,152.17			

Los resultados de la etapa dos Fueron sumamente significativos ya que se redujeron los gastos de inversión de tiempo extra en un 100 % ya que en la etapa 1 se ahorró \$720,482.87 pesos, pero teniendo una inversión anual de perdida de \$2,622,15217 pesos, pero al incorporar la nueva máquina se redujo por completo el gasto por tiempo extra.

En la etapa 3 Estando en fase de desarrollo se puede decir que hasta la fecha del mes de mayo del 2017 el corporativo GST Ensenada dejo de recibir cortinas de los Modelos OPW el cual pretende la reducción de gastos de importación y exceso de inventario.

CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En lo personal como conclusión son resultados favorables ya que en un inicio se crea el proyecto con la finalidad de tener una posibilidad del juego de parámetros que tiene cada una de las máquinas de corte intentando ganar un poco más de tiempo productivo en el área de láser, el cual al observar la funcionalidades de diversas matrices implementadas para optimizar cada recorrido se adquirió una maquina más el cual es un ahorro considerable y mejora como empresa la cual tiene una meta de mejoras cada año implementando este tipo de proyectos.

Como recomendaciones se debe de tomar en cuenta un punto muy importante los mantenimientos preventivos de las máquinas de corte deben ser estratégicamente implementados ya que al aumentar su eficiencia sus partes deben de estar en óptimas condiciones ya que al no realizar esto al paso del tiempo se empezarán a ver problemas trayendo con ello un rendimiento negativo en cada una de las máquinas.

Referencias

- [1] B. Mundial, «Banco Mundial,» 07 03 2017. [En línea]. Available: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SL.UEM.TOTL.ZS?end=2017>.
- [2] S. Grover, «eHow,» 10 Julio 2014. [En línea]. Available: http://www.ehowenespanol.com/efectos-positivos-negativos-globalizacion-info_445947/.
- [3] Organisation for Economic Co-operation and Development, «Classification of Manufacturing Industries by Technological Intensity,» OECD, USA, 2016.
- [4] T. Ohno, El sistema de producción Toyota : más allá de la producción a gran escala., Barcelona, 2000.
- [5] Y. Monden, El sistema de producción de Toyota, Japon, 1990.
- [6] W. M. Field, Lean Manufacturing, Tools, Techniques and How to Use Them, Florida, USA: CRC PRESS, 2001.
- [7] M. Solinam y A. Hamed, «A comprehensive review of manufacturing wastes: Toyota production system Lean Principles,» *Emirate Journal for Engineering Research*, vol. 22, nº 2, pp. 1-10, 2017.
- [8] M. Kurdve, M. Zackrisson, M. Wiktorsson y U. Harlin, «Lean and green integration into production system models – experiences from Swedish industry,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 85, pp. 180-190, 2014.
- [9] P. R. Mondelo y E. G. Pedro Barrau, «Ergonomía 1 Fundamentos,» Barcelona, 1999.
- [10] J. Medina, «Algoritmos genéticos para la optimización de redes de distribución.,» de *Ingeniería de Tránsito y Transporte. actas X Congreso Panamericano*, Washington, 2010.
- [11] J. Medina y V. Yepes, «Optimización de redes de distribución con algoritmos genéticos.,» de *In Actas del IV Congreso de Ingeniería del Transporte*, 2000.
- [12] G. Pereyra, D. Pandolfi y A. Villagra, «Diseño y optimización de redes de distribución de agua utilizando algoritmos genéticos.,» *Informes Científicos-Técnicos.*, vol. 9, nº 1, pp. 37-63, 2017.

[13] H. A. Taha, Investigación de Operaciones, México D.F.: Pearson, 2012.

[14] A. Coronado, «Universidad Libre,» 14 04 2015. [En línea]. Available: <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/7766>. [Último acceso: 06 2017].

Anexos:

En la Figura 11 se puede apreciar la línea de las 4 máquinas de corte de la cortina OPW el cual tuvo un ampliación de la nave así como un proyecto de almacén para esta parte de corte trayendo con ello nuevo proyectos los cuales serán implementados en el corporativo GST torreón dependiendo de los resultados que se obtengan durante la etapa 3 del proyecto ya que las instalaciones de la plantas de Torreón tiene una infraestructura trabajando del 50% se espera que en el transcurso del año 2017 y principios del 2018 la planta trabaje a su 100%.

Figura 12: Línea de corte Máquina Focus XHP modelo OPW.

