

# Medición de la Capacidad de planta de una empresa fabricante de Equipos Electrónicos de Potencia

Pablo Emilio Rozo García<sup>1</sup>  
Johann Hernández<sup>2</sup>  
Diana Ovalle<sup>3</sup>

## Resumen

Una de las aplicaciones más interesantes de la optimización en el campo real es la de medir la capacidad que puede tener una empresa industrial para fabricar sus productos, para ello se debe tener en cuenta los tiempos de fabricación, los tiempos de uso de las instalaciones, las materias primas disponibles y el recurso humano. Se ha estudiado un caso puntual y real de una empresa de Ingeniería Electrónica ubicada en Bogotá y dedicada al diseño, fabricación, comercialización y prestación de servicios de equipos electrónicos de potencia, la empresa requiere determinar la capacidad de planta, para tomar decisiones apropiadas en el caso que se supere sus límites en cuanto recursos físicos como humanos, para lo anterior se aplicaran modelos de optimización acordes a los sistemas lineales. En este artículo se quiere mostrar el manejo del modelo simplex en el desarrollo de problemas de optimización, para encontrar una respuesta a los requerimientos de la compañía, sin embargo, se ha resuelto por dos métodos adicionales para comprobar la validez de los resultados y tomar decisiones asertivas.

**Palabras claves:** Optimización, Simplex, Solver, Linprog, restricciones.

<sup>1</sup> perozog@udistrital.edu.co

<sup>2</sup> johann.hernandez@udistrital.edu.co

<sup>3</sup> dmovalle@udistrital.edu.co

## Introducción

La empresa de Ingeniería Electrónica es una compañía fabricante de equipos electrónicos de potencia, cuya misión es satisfacer necesidades de continuidad y pureza de alimentación eléctrica de las instalaciones de sus clientes mediante el diseño, fabricación, comercialización y suministro de bienes y servicios en aplicaciones de sistemas electrónicos y en la adecuación y control de energía eléctrica. Dado que la empresa desarrolla todas sus actividades con personal idóneo y se encuentra enmarcada dentro de un sistema de gestión de calidad ISO 9001 para el mejoramiento de las operaciones, uno de los puntos a revisar es en el tiempo de entrega de los productos, la calidad de los mismos y el costo competitivo en el mercado. Se encontró que los retardos en la entrega de los productos ha generado un cierto grado de insatisfacción en los clientes por lo que se ha decidido revisar la capacidad de planta.

Para realizar el estudio se tomó como base los productos de mayor movimiento como son Rectificadores/Cargadores de Baterías trifásicos, Rectificadores/Cargadores de Baterías monofásicos, Rectificadores.

32

Cargadores de Baterías de HF, UPS e Inversores. Se tuvo en cuenta los tiempos de planta, los tiempos dedicados a cada producto, los recursos humanos y las materias primas base. Además de acuerdo con las estadísticas se tiene el promedio de equipos que se demandan en este nicho.

Con estos datos se planteó una función objetivo que permita determinar el máximo de equipos que se pueden producir teniendo en cuenta las restricciones derivadas de los parámetros arriba mencionados. El planteamiento da como resultado un problema de programación lineal de cinco variables y diez restricciones que se desarrollaran a través de un algoritmo simplex y para corroborar la veracidad de los resultados se utilizara el toolbox de MATLAB linprog y con el Solver que se maneja a través de Excel.

## Planteamiento del problema de optimización

La empresa de Ingeniería Electrónica es una compañía industrial que al estar enmarcada dentro de un sistema de gestión de calidad - ISO 9001 -, la revisión de los procesos es fundamental para la mejora continua. Dentro de la evaluación por parte de los clientes se revisa la parte comercial, administrativa, ingenieril, calidad de los equipos, tiempos de entrega, costos dentro del mercado,

atención de garantías, nivel de garantías, capacitación y postventas. Para el caso de estudio, se centró dicha evaluación en la problemática de los tiempos de entrega.

Se realizó un levantamiento de datos de los últimos tres años en los productos más representativos de la empresa los cuales son Rectificadores/Cargadores de Baterías Trifásicos, Rectificadores/Cargadores de Baterías Monofásicos, Rectificadores/Cargadores de Baterías de HF, UPS e Inversores. Los datos consolidados fueron del número de unidades vendidas por año y el retardo en la entrega de los productos donde se señaló el máximo retardo y el mínimo retardo por año. A partir de estos datos se determinó los promedios de retardo así como el promedio de equipos vendidos por la empresa. El cuadro resumen se puede observar en la Figura 1.

En la tabla de la figura 1, se puede observar que la cultura de la empresa es el incumplimiento, curiosamente al hacer el levantamiento de los datos ningún producto se entrega oportunamente, así que efectivamente es primordial determinar cuál es el inconveniente de la empresa y para ello es necesario determinar cuál es la capacidad de la planta.

Se muestran diferentes gráficas que indican el comportamiento de la empresa, en donde se puede apreciar en la gráfica 1 la cantidad de ventas de los productos durante los años 2013, 2014 y 2015, en la gráfica 2 el retardo máximo y mínimo en cada producto por año, en la gráfica 3 el retardo promedio por año y en la gráfica 4 el retardo promedio de los tres años y el promedio de productos vendidos.

Para poder plantear la función objetivo es necesario conocer el proceso que se realiza para producir un producto, por lo que a continuación se enumeran los pasos:

	CARG. TRIFÁSICOS (TIRIS.)	CARG. MONOFÁSICOS (TIRIS.)	CARGADOR DE H.F.	UPS	INVERSORES
NUMERO DE EQUIPOS / 13	26	18	38	18	5
NUMERO DE EQUIPOS / 14	69	15	46	13	19
NUMERO DE EQUIPOS / 15	30	15	27	20	13
T. MÁXIMO DE RETARDO / 13	63	27	23	52	13
T. MÁXIMO DE RETARDO / 14	58	33	18	66	19
T. MÁXIMO DE RETARDO / 15	32	18	14	31	21
T. MÍNIMO DE RETARDO / 13	16	2	2	5	8
T. MÍNIMO DE RETARDO / 14	7	5	5	3	14
T. MÍNIMO DE RETARDO / 15	10	2	4	2	7

PROMEDIO RETARDO /13	39,5	14,5	12,5	28,5	10,5
PROMEDIO RETARDO /14	32,5	19	11,5	34,5	16,5
PROMEDIO RETARDO /15	21	10	9	16,5	14
PROMEDIO RETARDO	31,0	14,5	11,0	26,5	13,7
PROMEDIO UNIDADES	41,7	16,0	37,0	17,0	12,3

Fig. 1. Datos generales obtenidos al revisar pedido a pedido y equipo a equipo durante los años 2013, 2014 y 2015.

1. El departamento comercial hace la entrega del pedido donde se indica el alcance, tiempo y costo.
2. La información pasa al departamento de ingeniería en donde se genera el diseño del equipo que incluye planos mecánicos y eléctricos, listados de material y listado de cableado. Esta información se reparte para el departamento de compras y para el departamento de Producción.

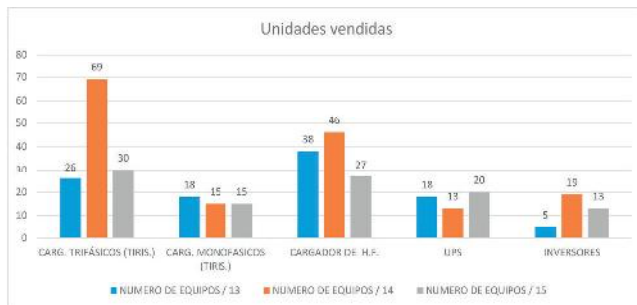


Fig. 2. Unidades vendidas de los cinco productos en los últimos tres años.

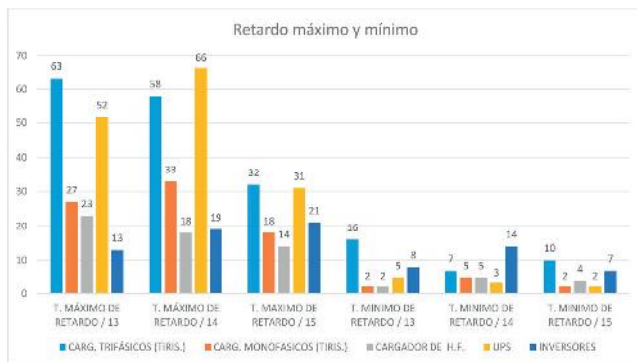


Fig. 3. Retardo máximo y mínimo presentado en cada producto durante cada año.

4. El departamento de producción de acuerdo con los planos mecánicos y eléctricos con sus respectivos listados inicia sus trabajos de metalmecánica, que corresponde al maquinado de las bandejas como la preparación y adecuación de los disipadores para los tiristores y diodos de potencia, de igual forma se arman los módulos que son la Bandeja principal, la Bandeja I/O, el modulo I/F y la Caja de tarjetas, en forma paralela se trabaja el ensamble de las Tarjetas

del sistema cuya cantidad depende del tipo de producto a fabricar y con todos estos insumos de realiza el proceso de ensamble del producto. Una vez producción termina estas actividades el equipo se le pasa al departamento de Ingeniería.

5. El equipo ensamblado llega al departamento de Ingeniería - área de pruebas -, donde se realiza la puesta a punto del equipo y el protocolo de pruebas del mismo. Este punto es clave, porque es donde se garantiza que el equipo que se le va a entregar al cliente cumple con todos los requerimientos del mismo. El equipo nuevamente pasa al departamento de producción.

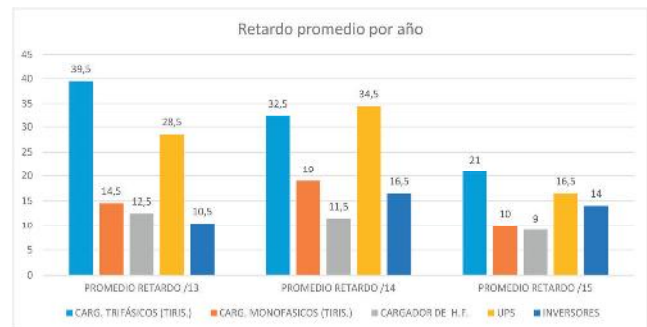


Fig. 4. Retardo promedio de cada producto por año.

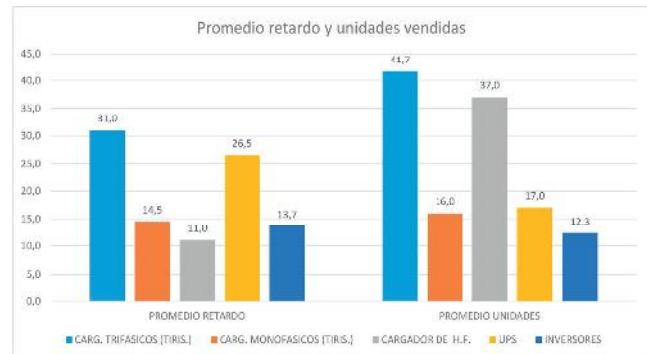


Fig. 5. Se muestra el promedio de retardo por producto y el promedio de unidades vendidas durante los años 2013, 2014 y 2015.

6. El equipo nuevamente en producción pasa a través de dos actividades, una corresponde al alistamiento (limpieza, etiquetado y lacado contra corrosión) y finalmente el embalamiento del mismo que puede ser entregado en sitio o en plataforma. En este instante el departamento de ingeniería área de documentación debe entregar el manual del equipo donde se incluye información técnica del equipo como del usuario para su manipulación.

En algunos casos el alcance del pedido incluye curso de capacitación e instalación y puesta en marcha. Para efectos de plantear la función objetivo, en procura de realizar la medición de la capacidad de planta se van a tener en cuenta los

siguientes ítems que obedecen a la información que se obtuvo desde la gerencia de la empresa.

1. Se cuenta con un inventario anual de materia prima básica en Bandejas de 300 unidades y de Transformadores de 200 unidades. Este inventario corresponde a un convenio hecho con los proveedores de los mismos para tener unos mejores precios.

Para efectos del problema se van a identificar los productos de la siguiente forma:

A = Rectificador/Cargador de Baterías Trifásico.  
 B = Rectificador/Cargador de Baterías Monobásico.  
 C = Rectificador/Cargador de Baterías de HF.  
 D = UPS.  
 E = Inversores.

2. El producto A utiliza cuatro (4) bandejas, el producto B usa tres (3) bandejas, el producto C usa dos (2) bandejas, el producto D usa seis (6) bandejas y el producto E utiliza tres (3) unidades de bandeja.

El recurso humano se clasifica en operarios y especialistas (técnicos e ingenieros).

3. Para la fabricación del producto A se requieren de 44 horas de operarios, para el producto B se requiere de 16 horas de operarios, para el producto C se requiere de 10 horas de operarios, para el producto D se requiere de 40 horas de operarios y para el producto E se requiere de 56 horas de operarios.
4. Para la fabricación del producto A se requieren de 16 horas de especialistas, para el producto B se requiere de 12 horas de especialistas, para el producto C se requiere de 8 horas de especialistas, para el producto D se requiere de 24 horas de especialistas y para el producto E se requiere de 16 horas de especialistas.
5. Las instalaciones de la empresa están disponibles de Lunes a viernes de 6:00 A.M. a 10:00 P.M. (16 horas) diarias durante 53 semanas del año. Con esto se tiene una disponibilidad total de 4240 horas.
6. El recurso humano de operarios trabajan 45 horas semanales lo que corresponde a una disponibilidad anual de 2385 horas.
7. El recurso humano de especialistas trabajan 40 horas semanales lo que corresponde a una disponibilidad anual de 2120 horas.
8. De acuerdo con los productos, la empresa le

ha asignado un número de horas para su manufactura que están distribuidos de la siguiente forma:

Producto A = 8 horas  
 Producto B = 5 horas  
 Producto C = 3 horas Producto D = 8 horas  
 Producto E = 6 horas

### A. Función objetivo

Como la solicitud de la empresa es lograr determinar la capacidad de la planta, el planteamiento debe estar orientado a maximizar la producción a partir de los tiempos de instalaciones, tiempos de trabajo de los recursos humanos, materias primas claves (Bandejas y transformadores de potencia) y basados en la figura No. 5 se quiere tomar como base el fabricar los productos en una cantidad cercana a el promedio obtenido de los últimos tres años. Por lo tanto, la función objetivo será:

$$\text{Max } 8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5$$

Donde:

$x_1$  = Número máximo de Rectificadores/Cargadores Trifásicos a producir.

$x_2$  = Número máximo de Rectificadores/Cargadores Monofásicos a producir.

$x_3$  = Número máximo de Rectificadores/Cargadores de HF.

$x_4$  = Número máximo de UPS a producir.

$x_5$  = Número máximo de Inversores a producir.

**1) Restricciones del problema:** La solución del problema lineal está sujeto a cada uno de los parámetros que arriba fueron mencionados:

$$\begin{aligned} 4x_1 + 3x_2 + 2x_3 + 6x_4 + 3x_5 &\leq 300 \\ 3x_1 + x_2 + 0x_3 + 4x_4 + 2x_5 &\leq 200 \\ 8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5 &\leq 4240 \\ 44x_1 + 16x_2 + 10x_3 + 40x_4 + 28x_5 &\leq 2385 \\ 16x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 24x_4 + 16x_5 &\leq 2120 \\ x_1 &\leq 40 \\ x_2 &\leq 15 \\ x_3 &\leq 30 \\ x_4 &\leq 15 \\ x_5 &\leq 10 \end{aligned}$$



**Métodos de solución**

Para la solución de este problema de Programación Lineal se van a utilizar tres métodos, el método simplex, el Solver y el linprog.

**Metodo simplex**

El método Simplex es un método analítico de solución de problemas de programación lineal capaz de resolver modelos más complejos que los resueltos mediante el método gráfico sin restricción en el número de variables. El Método Simplex es un método iterativo que permite ir mejorando la solución en cada paso. La razón matemática de esta mejora radica en que el método consiste en caminar del vértice de un poliedro a un vértice vecino de manera que aumente o disminuya (según el contexto de la función objetivo, sea maximizar o minimizar), dado que el número de vértices que presenta un poliedro solución es finito siempre se hallara solución.

Como punto inicial, el método simplex necesita que cada una de las restricciones este en forma estándar especial, en la que todas las restricciones se expresen como ecuaciones, mediante la adición de variables de holgura o de exceso, según sea necesario. Esta conversión conlleva a un conjunto de ecuaciones simultáneas donde el número de variables excede al número de ecuaciones, lo que lleva a que las ecuaciones entregan un número infinito de puntos de solución. Los puntos extremos de este espacio pueden identificarse algebraicamente por medio de las soluciones básicas del sistema de ecuaciones simultáneas. De acuerdo con la teoría del algebra lineal, una solución básica se obtiene igualando a cero las variables necesarias con el fin de igualar el número total de variables y el número total de ecuaciones para que la solución sea única, y luego se resuelve el sistema con las ecuaciones restantes. Lo fundamental en la transición del método gráfico al método algebraico se basa en la siguiente relación:

Puntos extremos  $\Leftrightarrow$  soluciones básicas

Por lo tanto, el método simplex lo que hace es identificar una solución inicial y después desplazarse sistemáticamente a otras soluciones básicas que tengan el potencial de mejorar el valor de la función objetivo. Finalmente, la solución básica optima ser a identificada, con lo que termina el proceso del cálculo. Lo que concluye que el método simplex es un procedimiento de cálculo iterativo donde cada iteración está a asociada con una solución básica.

En el método simplex se pueden identificar dos variantes: los algoritmos del método simplex primal

y los del simplex dual. Aparentemente son dos métodos diferentes, sin embargo, lo fundamental de los dos algoritmos se basa en que los puntos extremos del espacio de soluciones son totalmente identificables por las soluciones básicas del modelo de programación lineal. Por una parte, el método simplex primal parte de una solución básica factible y se continúa iterando a través de soluciones básicas factibles sucesivas hasta alcanzar el óptimo. Por otra parte, el método simplex dual son sistemas que no tienen una solución factible básica inicial con solo holguras, pero que pueden resolverse sin utilizar variables artificiales, este método la solución comienza siendo infactible y óptima, caso totalmente contrario al método simplex primal. El algoritmo se muestra en la figura 6.

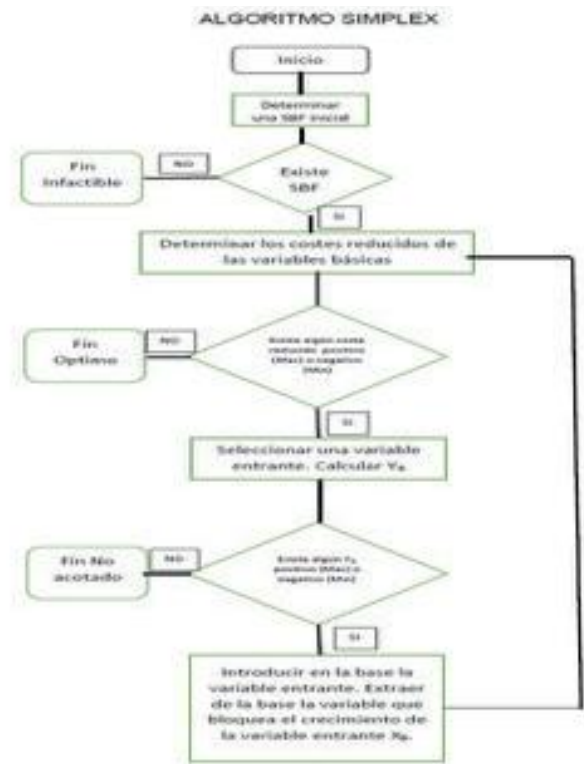


Fig. 6. Diagrama de flujo del algoritmo Simplex.

**Método solver**

El Solver se utiliza para determinar el valor máximo o mínimo de una celda modificando otras celdas. Las celdas que se seleccionen deberán estar relacionadas mediante fórmulas en la hoja de cálculo. Si no están relacionadas, cuando se modifique una celda no se modificara la otra. Con Solver puede modificarse el valor óptimo para una celda, denominada celda objetivo. Solver ajusta los valores en las celdas cambiantes que se especifiquen, denominadas celdas ajustables para generar el resultado especificado en la fórmula de la celda objetivo. Pueden aplicarse restricciones para limitar los valores del modelo,

pudiendo estas hacer referencia a otras celdas a las que afecte la fórmula de la celda objetivo.

Microsoft Excel Solver utiliza el código de optimización no lineal (GRG2) desarrollado por la Universidad León Lasdon de Austin (Texas) y la Universidad Allan Waren (Cleveland). Los problemas lineales y enteros utilizan el método más simple con límites en las variables y el método de ramificación y límite, implantado por John Watson y Dan Fylstra de Frontline Systems, Inc.

### Cuadro de diálogo Parámetros de Solver

Con Solver, puede buscarse el valor óptimo para una celda, denominada celda objetivo, en una hoja de cálculo. Funciona en un grupo de celdas que estén relacionadas, directa o indirectamente, con la fórmula de la celda objetivo. Solver ajusta los valores en las celdas cambiantes que se especifiquen, denominadas celdas ajustables, para generar el resultado especificado en la fórmula de la celda objetivo. Pueden aplicarse restricciones para restringir los valores que puede utilizar Solver en el modelo y las restricciones pueden hacer referencia a otras celdas a las que afecte la fórmula de la celda objetivo.

36

**Celda objetivo:** Celda que se desea definir con un valor determinado o que se desea maximizar o minimizar.

**Valor de la celda objetivo:** Especifica si se desea maximizar o minimizar la celda objetivo, o bien definirla con un valor específico el cual se introducirá en el cuadro.

**Cambiando las celdas:** Celdas que pueden ajustarse hasta que se satisfagan las restricciones del problema, pueden especificarse 200 celdas como máximo.

**Estimar:** Estima todas las celdas que no contienen ninguna fórmula a las que se hace referencia en la fórmula de la celda objetivo y escribiéndola en el cuadro "cambiando las celdas".

**Sujeto a las siguientes restricciones:** Muestra una lista de las restricciones actuales en el problema, permitiéndose editar dichas restricciones.

**Resolver:** Inicia el proceso de solución del problema definido.

**Cerrar:** Cierra el cuadro de dialogo sin resolver el problema. Retiene todos los cambios que se hayan

realizado mediante los botones Opciones, Agregar, Cambiar o Borrar.

**Opciones:** Muestra el cuadro de dialogo Opciones de Solver, donde pueden cargarse y guardarse los modelos de problema y las características de control avanzado del proceso de solución.

**Restablecer todo:** Borra los valores actuales del problema y restablece todos los valores a sus valores originales.

### Cuadro de diálogo Opciones de Solver

Pueden controlarse las características avanzadas del proceso de solución, cargarse o guardarse definiciones de problemas y definirse parámetros para los problemas lineales y no lineales. Cada opción tiene una configuración predeterminada adecuada a la mayoría de los problemas.

### Cuadro de diálogo Resultados de Solver

Muestra un mensaje de finalización y los valores resultantes más próximos a la solución que se desee, como son: Conservar la solución de Solver, Restaurar valores originales, Informes y Guardar escenario.

### Mensajes de finalización de Solver

Cuando Solver encuentra una solución, muestra uno de los siguientes mensajes en el cuadro de dialogo Resultados de Solver:

1. Solver ha encontrado una solución. Se han satisfecho todas las restricciones y condiciones.
2. Solver ha llegado a la solución actual. Todas las restricciones se han satisfecho.
3. Solver no puede mejorar la solución actual. Todas las restricciones se han satisfecho.
4. Cuando se ha alcanzado el límite de tiempo, se ha seleccionado Detener.
5. Cuando se ha alcanzado el límite máximo de iteración, se ha seleccionado Detener.
6. Los valores de la celda objetivo no convergen.
7. Solver no ha podido encontrar una solución factible.
8. Se ha detenido Solver a petición del usuario.

9. No se han satisfecho las condiciones para Adoptar modelo lineal.
10. Solver ha encontrado un valor de error en una celda objetivo o restringida.
11. Memoria disponible insuficiente para resolver el problema.
12. Otro elemento de Excel está utilizando SOLVER. DLL.

Dado que el método Solver utiliza para nuestro caso el algoritmo Simplex el diagrama de flujo es el mismo de la figura 6.

### Método -Toolbox Linprog

Los problemas de programación lineal consisten en optimizar una ecuación lineal que está sujeta a una serie de restricciones conformadas por desigualdades lineales. Para resolverlos el toolbox posee la función `linprog`, la cual posee tres algoritmos para su solución, el método de larga escala, el método simplex y el de Active Set.

La sintaxis para llamar esta función es la siguiente:  
`x = linprog(f,A,b,Aeq,beq,lb,ub,x0,options)`

Donde:

`f`: es el vector de coeficientes de la función objetivo, organizado según las variables.

`A`, `b`: corresponden a las restricciones de desigualdad, siendo el primero la matriz y el segundo el vector del lado derecho del sistema de inecuaciones  $Ax \leq b$ .

`Aeq`, `beq`: tienen el mismo tratamiento que `A` y `b`, respectivamente, teniendo en cuenta que los nuevos corresponden a un sistema de ecuaciones, en tanto que los antiguos constituían uno de inecuaciones.

`lb`, `ub`: son, respectivamente, los límites inferior y superior de la región donde se espera que se encuentre el punto óptimo.

`x0`: es el punto inicial para la iteración. Según el algoritmo usado es posible, o no, omitir este último.

### Algoritmo de Linprog

#### Optimización a larga escala

El método de larga escala, se basa en LIPSOL' (Solución Lineal del Punto Interior) la cual es

una variable del algoritmo Mehrotras predictor-corrector, un método primal-dual del punto interior. Un número de pasos previos del proceso ocurren antes de que el algoritmo comience a iterar.

#### Optimización a media escala

`Linprog`: es un método activo del sistema y es así una variación del método simplex, bien conocido para programación lineal. El algoritmo encuentra una solución factible inicial por la solución de otro problema de programación lineal:

`options = optimset('LargeScale', 'off', 'Simplex', 'on')`

Y pasando `options` como un argumento de entrada de `linprog`. El algoritmo simplex retorna una solución óptima del vértice. Es importante tener presente que no se podrá proveer un punto inicial `x0` para `linprog`, del método a gran escala o del método a media escala usando el algoritmo del método simplex. En cualquier caso si se coloca `x0` como un argumento de entrada, el `linprog` no toma en cuenta `x0` y calcula su propio punto inicial para el algoritmo.

A continuación se indica un algoritmo (figura 7) para resolver un problema lineal usando `Linprog`.

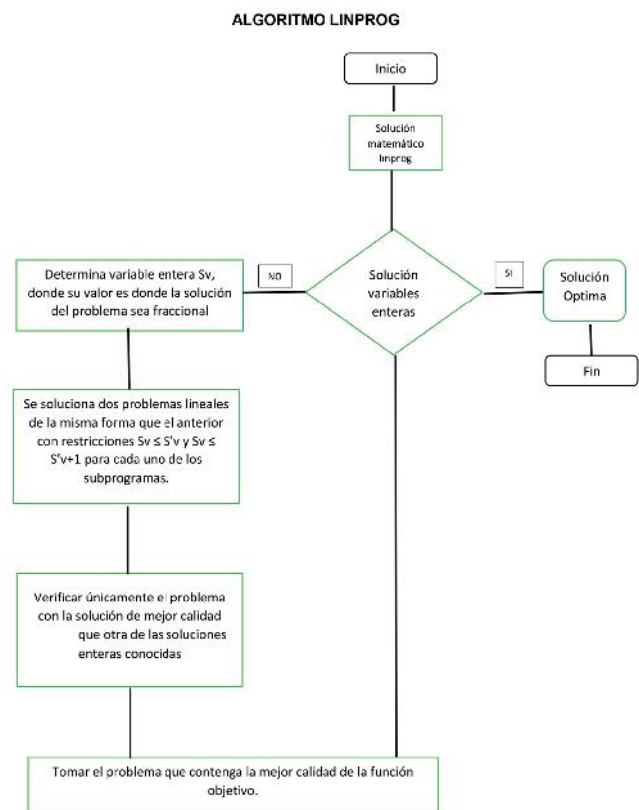


Fig. 7. Diagrama de flujo aplicando Linprog.

Resultados del problema de optimización

Método Simplex

Max  $8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5$   
 Sujeto a:

$$\begin{aligned} 4x_1 + 3x_2 + 2x_3 + 6x_4 + 3x_5 &\leq 300 \\ 3x_1 + x_2 + 0x_3 + 4x_4 + 2x_5 &\leq 200 \\ 8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5 &\leq 4240 \\ 44x_1 + 16x_2 + 10x_3 + 40x_4 + 28x_5 &\leq 2385 \\ 16x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 24x_4 + 16x_5 &\leq 2120 \\ x_1 &\leq 40 \\ x_2 &\leq 15 \\ x_3 &\leq 30 \\ x_4 &\leq 15 \\ x_5 &\leq 10 \end{aligned}$$

Para pasar la función objetivo de Maximizar a minimizar lo que se requiere es multiplicar por -1 la función y esta quedaría:

Min  $-8x_1 - 5x_2 - 3x_3 - 8x_4 - 6x_5$

Se aplica a través de MATLAB el siguiente programa de Simplex, figura 8.



```

clc,clear all
Min = [-8 -5 -3 -8 -6];%funcion objetivo
A1=[4 3 2 6 3];
A2=[3 1 0 4 2];
A3=[8 5 3 8 6];
A4=[44 16 10 40 28];
A5=[16 12 8 24 16];
A6=[0 0 0 0 0];
A7=[0 1 0 0 0];
A8=[0 0 1 0 0];
A9=[0 0 0 1 0];
A10=[0 0 0 0 1];
A=[A1;A2;A3;A4;A5;A6;A7;A8;A9;A10];%Matriz de restricciones
b=[300; 200; 4240; 2385; 2120; 40; 15; 30; 15; 10];%Vector
correspondiente a las restricciones
Iter=10;%Numero de iteraciones
n=length(A,1);%Numero de elementos de holgura
Solucion=[A zeros(1,n) 0];%Minimiza tabla
for iter=1:Iter;%Bucle que determina si hay negativo en la funcion
solucion
    [r,c]=min(Solucion(end,:));%Determina si hay negativo en la funcion
    if r==0
        break
    end
    [a,c]=min(Solucion(end,:));%Determina cual es el mas negativo y el número
    del coeficiente
    div=Solucion(r,end)./Solucion(r,c);%Se realizan las divisiones para
    determinar el pivote
    i=div<=0;
    r=div;
    [f,]=inf;%Se le coloca infinito a los que no cumplen condiciones
    [h,f]=min(d);%Se indica el pivote y en que fila está
    h
    Solucion(f,1:end)=Solucion(f,1:end)/Solucion(f,c);%Se realizan las
    operaciones correspondientes en la fila
    for i=1:1:size(Solucion,1)%Este bucle hace las iteraciones
        correspondientes
            if i==f
                Solucion(i,:)=Solucion(i,:)-(Solucion(i,c)*Solucion(f,:));
            end
        end
    end
    Solucion
    
```

Fig. 8. Programa de MATLAB Simplex

En ocho (8) iteraciones se obtuvo los valores de las variables, los resultados se muestran en las figuras:

Figura 9, Iteraciones de la 0 al 2  
 Figura 10, Iteraciones de la 3 al 5  
 Figura 11, Iteraciones de la 6 al 8, final.

Tabla 1															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
4	3	2	6	3	1										300
3	1	0	4	2		1									200
8	5	3	8	6			1								4240
44	16	10	40	28				1							2385
16	12	8	24	16					1						2120
1										1					40
	1										1				15
		1										1			30
			1										1		15
				1										1	10
-8	-5	-3	-8	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Interacción 1															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
0	3	2	6	3	1	0	0	0	0	-4	0	0	0	0	140
0	1	0	4	2	0	1	0	0	0	-3	0	0	0	0	80
0	5	3	8	6	0	0	1	0	0	-8	0	0	0	0	3920
0	16	10	40	28	0	0	0	1	0	-44	0	0	0	0	615
0	12	8	24	16	0	0	0	0	1	-16	0	0	0	0	1480
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	40
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	-5	-3	-8	-6	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	320
Interacción 2															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
0	3	2	0	3	1	0	0	0	0	-4	0	0	-6	0	50
0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	-3	0	0	-4	0	20
0	5	3	0	6	0	0	1	0	0	-8	0	0	-8	0	3800
0	16	10	0	28	0	0	0	1	0	-44	0	0	-40	0	25
0	12	8	0	16	0	0	0	0	1	-16	0	0	-24	0	1120
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	40
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	-5	-3	0	-6	0	0	0	0	0	8	0	0	8	0	440
Interacción 3															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
0	1.3	0.9	0	0	1	0	0	-0.1	0	0.7	0	0	-1.7	0	47.3
0	-0.1	-0.7	0	0	0	1	0	-0.1	0	1.1	0	0	-1.1	0	18.2
0	1.6	0.9	0	0	0	0	1	-0.2	0	1.4	0	0	0.6	0	3794.6
0	0.6	0.4	0	1	0	0	0	0	0	-1.6	0	0	-1.4	0	0.9
0	2.9	2.3	0	0	0	0	0	-0.6	1	9.1	0	0	-1.1	0	1105.7
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	40
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
0	-0.6	-0.4	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0	0	1.4	1	9.1
0	-1.6	-0.9	0	0	0	0	0	0.2	0	-1.4	0	0	-0.6	0	445.4

Fig. 9. Iteraciones de la 0 a la 2.

(This table content is identical to the one above, representing the continuation of the Simplex iterations.)



Interacción 4																
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b	
0	0	0.1	0	-2.2	1	0	0	-0.2	0	4.3	0	0	1.5	0	45.3	
0	0	-0.6	0	0.2	0	1	0	-0.1	0	-0.2	0	0	-1.5	0	8.4	
0	0	-0.1	0	-2.8	0	0	1	-0.3	0	5.8	0	0	4.5	0	3792.2	
0	1	0.6	0	1.8	0	0	0	0.1	0	-2.7	0	0	-2.5	0	16	
0	0	0.5	0	5	0	0	0	-0.8	1	1.7	0	0	6	0	1101.3	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0	40	
0	0	-0.6	0	-1.8	0	0	0	-0.1	0	2.7	1	0	2.5	0	13.4	
0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30	
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15	
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	
0	0	0.1	0	2.8	0	0	0	0.3	0	-5.8	0	0	-4.5	0	447.8	
Interacción 5																
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	B	
0	0	1.1	0	0.5	1	0	0	-0.1	0	0	-1.5	0	-2.4	0	24.5	
0	0	-0.7	0	0.1	0	1	0	-0.1	0	0	0.1	0	-1.3	0	19.7	
0	0	1.2	0	0.9	0	0	1	-0.2	0	0	-2.1	0	-0.7	0	3764.1	
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15	
0	0	4.4	0	5.8	0	0	0	-0.4	1	0	-6.2	0	-9.5	0	1018.2	
1	0	0.2	0	0.6	0	0	0	0	0	0	-0.4	0	-0.9	0	35.1	
0	0	-0.2	0	-0.6	0	0	0	0	0	1	0.4	0	0.9	0	4.9	
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30	
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15	
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	
0	0	0	-1.2	0	-0.9	0	0	0	0.2	0	0	2.1	0	0.7	0	475.9

Fig. 10. Iteraciones de la 3 a la 5.

Interacción 6															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	B
0	0	1	0	0.4	0.9	0	0	-0.1	0	0	-1.4	0	-2.2	0	22.5
0	0	0	0	0.4	0.6	1	0	-0.1	0	0	-0.9	0	-2.7	0	35
0	0	0	0	0.4	-1.1	0	1	-0.1	0	0	-0.4	0	1.8	0	3737.5
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	0	0	0.4	-4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	920
1	0	0	0	0.5	-0.2	0	0	0	0	0	0	0	-0.4	0	30
0	0	0	0	-0.5	0.2	0	0	0	0	1	0	0	0.4	0	10
0	0	0	0	-0.4	-0.9	0	0	0.1	0	0	1.4	1	2.2	0	7.5
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	15
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	0	0	0	-0.4	1.1	0	0	0.1	0	0	0.4	0	-1.8	0	
Interacción 7															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	B
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	0	-0.2	-0.5	1	0	0	0	0	0.9	1.3	0	0	44.5
0	0	0	0	0.8	-0.3	0	1	-0.2	0	0	-1.6	-0.8	0	0	3731.2
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	0	0	4	-4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	920
1	0	0	0	0.5	-0.4	0	0	0.1	0	0	0.2	0.2	0	0	31.4
0	0	0	0	-0.5	0.4	0	0	-0.1	0	1	-0.2	-0.2	0	0	8.6
0	0	0	0	-0.2	-0.4	0	0	0	0	0	0.7	0.5	1	0	3.5
0	0	0	1	0.2	0.4	0	0	0	0	0	-0.7	-0.5	0	0	11.5
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	0	0	0	-0.8	0.3	0	0	0.2	0	0	1.6	0.8	0	0	508.8

Iteración 8 – tabla final															
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	b
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	30
0	0	0	0	0	-0.5	1	0	0	0	0	0.9	1.3	0	0.2	46.1
0	0	0	0	0	-0.3	0	1	-0.2	0	0	-1.6	-0.8	0	-0.8	3723.5
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	15
0	0	0	0	0	-4	0	0	0	1	0	0	0	0	-4	880
1	0	0	0	0	-0.4	0	0	0.1	0	0	0.2	0.2	0	-0.5	26.8
0	0	0	0	0	0.4	0	0	-0.1	0	1	-0.2	-0.2	0	0.5	13.2
0	0	0	0	0	-0.4	0	0	0	0	0	0.7	0.5	1	0.2	5.4
0	0	0	1	0	0.4	0	0	0	0	0	-0.7	-0.5	0	-0.2	9.6
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
0	0	0	0	0	0.3	0	0	0.2	0	0	1.6	0.8	0	0.8	516.5

Fig. 11. Iteraciones de la 6 a la 8, final.

Método Solver

Max  $8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5$   
 Sujeto a:

$$\begin{aligned}
 &4x_1 + 3x_2 + 23 + 6x_4 + 3x_5 \leq 300 \\
 &3x_1 + x_2 + 0x_3 + 4x_4 + 2x_5 \leq 200 \\
 &8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5 \leq 4240 \\
 &44x_1 + 16x_2 + 10x_3 + 40x_4 + 28x_5 \leq 2385 \\
 &16x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 24x_4 + 16x_5 \leq 2120 \\
 &x_1 \leq 40 \\
 &x_2 \leq 15 \\
 &x_3 \leq 30 \\
 &x_4 \leq 15 \\
 &x_5 \leq 10
 \end{aligned}$$



Se realizó la programación correspondiente, la cual se anexa a continuación, ver figura 12a:

El resultado final de indica en el informe de Solver (Ver figura 12b).

Método Toolbox Matlab - linprog

$$\begin{aligned}
 &\text{Max } 8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5 \\
 &\text{Sujeto a:} \\
 &4x_1 + 3x_2 + 23 + 6x_4 + 3x_5 \leq 300 \\
 &3x_1 + x_2 + 0x_3 + 4x_4 + 2x_5 \leq 200 \\
 &8x_1 + 5x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 6x_5 \leq 4240 \\
 &44x_1 + 16x_2 + 10x_3 + 40x_4 + 28x_5 \leq 2385 \\
 &16x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 24x_4 + 16x_5 \leq 2120 \\
 &x_1 \leq 40 \\
 &x_2 \leq 15 \\
 &x_3 \leq 30 \\
 &x_4 \leq 15 \\
 &x_5 \leq 10
 \end{aligned}$$

Para pasar la función objetivo de Maximizar a minimizar lo que se requiere es multiplicar por -1 la función y esta quedaría:

Tipo de Equipos

Recursos	Rectificador Trifásico	Rectificador Monofásico	Cargadores HF	UPS	Inversores	Cantidad Total	Restricciones
	216	75	90	72	60	513	<=4240
T. de instalaciones	108	45	60	54	30	297	<=300
Cantidad de bandejas	81	15	0	36	20	152	<=200
Cantidad de transformadores	1188	240	300	360	280	2368	<=2385
Tiempo de Operarios	432	180	240	216	160	1228	<=2120
especialistas	27	15	30	9	10		
Unidades totales fabricadas	Producción máxima 513						

a. Programación final en Solver

Microsoft Excel 15.0 Informe de respuestas  
 Hoja de cálculo: [Proyecto\_Final\_Solver.xlsx] Proyecto final  
 Informe creado: 11/06/2016 4:46:26 a. m.  
 Resultado: Solver encontró una solución de enteros dentro de lo tolerado. Se cumplieron todas las restricciones.  
 Motor de Solver  
 Motor: Simplex LP  
 Tiempo de la solución: 0,091 segundos.  
 Iteraciones: 1 Subproblemas: 0  
 Opciones de Solver  
 Tiempo máximo limitado, Iteraciones limitada, Precisión 0,000001  
 Máximo de subproblemas ilimitado, Máximo de soluciones de enteros limitado, Tolerancia de enteros 1%, Asumir no negativo

Celda objetivo (Máx)			
Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$C\$22	Producción máxima Rectificador Trifásico	320	513

Celdas de variables				
Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$C\$19	Unidades totales fabricadas Rectificador Trifásico	40	27	Entero
\$D\$19	Unidades totales fabricadas Rectificador Monofásico	0	15	Entero
\$E\$19	Unidades totales fabricadas Cargadores HF	0	30	Entero
\$F\$19	Unidades totales fabricadas UPS	0	9	Entero
\$G\$19	Unidades totales fabricadas inversores	0	10	Entero

Restricciones					
Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Demora
\$H\$14	T. de instalaciones Cantidad Total	513	\$H\$14<=4240	No vinculante	3727
\$H\$15	Cantidad de bandejas Cantidad Total	297	\$H\$15<=300	No vinculante	3
\$H\$16	Cantidad de transformadores Cantidad Total	152	\$H\$16<=200	No vinculante	48
\$H\$17	Tiempo de Operarios Cantidad Total	2368	\$H\$17<=2385	No vinculante	17
\$H\$18	Tiempo de especialistas Cantidad Total	1228	\$H\$18<=2120	No vinculante	892
\$C\$19	Unidades totales fabricadas Rectificador Trifásico	27	\$C\$19<=40	Vinculante	0
\$D\$19	Unidades totales fabricadas Rectificador Monofásico	15	\$D\$19<=15	Vinculante	0
\$E\$19	Unidades totales fabricadas Cargadores HF	30	\$E\$19<=30	Vinculante	0
\$F\$19	Unidades totales fabricadas UPS	9	\$F\$19<=9	Vinculante	0
\$G\$19	Unidades totales fabricadas inversores	10	\$G\$19<=10	Vinculante	0
\$C\$19:\$G\$19	Entero				

b. Informe final en Solver

Fig. 12. (a) Programación final en Solver. (b) Informe final en Solver.

$$\text{Min } -8x_1 - 5x_2 - 3x_3 - 8x_4 - 6x_5$$

Se aplica a través de Toolbox de MATLAB el siguiente programa de linprog (ver fig. 13a).

El resultado a través de linprog se puede apreciar en la figura 13b.

Programa Matlab – Toolbox Linprog –

```

clc,clear all ;
f=[-8;-5;-3;-8;-6]; %
función objetivo
A=[4 3 2 6 3;
  3 1 0 4 2;
  8 5 3 8 6;
  44 16 10 40 28;
  16 12 8 24 16;
  1 0 0 0 0;
  0 1 0 0 0;
  0 0 1 0 0]
  0
  0 0
  1 0;
  0 0
  0 0
  1];
b=[300;200;4240;2385;
;2120;40;15;30;15;10];
lb=zeros(5,1);
[x,fval,exitflag,output,lambda] = linprog(f,A,b,[],[],lb); x
    
```

a. Programa de Linprog.

Resultado de Matlab –Linprog -

```

Optimization terminated.
x =
 26.8269
 15.0000
 30.0000
 9.6154
 10.0000
    
```

b. Resultado de programa Linprog.

Fig. 13. (a) Programa De MATLAB de Linprog. (b) Resultados de Linprog

V. Análisis de resultados

Es muy interesante llegar a este aparte del trabajo final y encontrar que el trabajo realizado no ha sido en vano.

El análisis de los resultados se puede enfocar en dos frentes, por una parte, en lo correspondiente a los métodos de desarrollo del problema lineal y por otro lado, el determinar una capacidad de planta de la empresa de Ingeniería Electrónica, que además de dar un resultado numérico permitirá tomar decisiones importantes para la compañía.

A continuación se presenta una tabla comparativa de los resultados de los tres (3) métodos utilizados para resolver el problema lineal.

**Tabla I**  
Tabla comparativa de resultados

Método	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
Simplex	26.8	15	30	9.6	10
Solver	27	15	30	9	10
Linprog	26.8269	15	30	9.6154	10

### Análisis con respecto a los métodos

1. Por el número de variables y restricciones que se están manejando en este problema los tres métodos son apropiados para alcanzar un resultado apropiado.
2. El número de iteraciones que se manejaron en los tres métodos son pocos, menos de 10, lo que hace que el tiempo y consumo computacional es pequeño.
3. El más sencillo de uso de los tres métodos seleccionados es el *linprog*, pues no se requiere sino tener la función objetivo bien planteada, las restricciones bien definidas con sus respectivas desigualdades y determinar los datos que se quieren obtener.

En el caso de Solver se requiere programar cada una de las celdas que inciden en la función objetivo, así como la celda de la función objetivo, introducir claramente las restricciones y de qué tipo, por otra parte la información entregada por Solver da unos datos muy interesantes para orientar a tomar decisiones sobre la situación en cuestión; es necesario conocer con cierto grado de destreza para poderlo usar, esta herramienta puede ser usada para solución de problemas lineales y no lineales.

En el caso de Simplex se debe tener claro el algoritmo para poder resolver cualquier tipo de problema lineal. Es una excelente herramienta para obtener buenos resultados.

4. En cuanto a la precisión como se puede apreciar en la tabla 1, el más preciso de ellos fue *linprog*, en segunda instancia el Simplex y Solver al ser un sistema que entrega resultados enteros redondeara los valores, sin embargo, es interesante que los resultados por los tres métodos fueron muy cercanos.

### Análisis con respecto a la medición de la capacidad de la planta.

1. Un primer análisis se aprecia en que se tiene una disponibilidad de planta muy grande (4240 horas) de las cuales solo se está utilizando aproximadamente 515 horas, lo que puede llevar a pensar que se puede trabajar en un solo turno de 9 horas y no 16 horas como se hace en la actualidad.
2. La cantidad de materia prima básica es acorde con las necesidades de producción, sin embargo, en el caso de los transformadores de potencia se tiene un sobrante de aproximadamente el 1/3 en inventario que representa dinero.
3. En cuanto al recurso humano se puede apreciar que la mano de obra de los operarios está muy precisa, casi que no tiene margen de error, por lo que una incapacidad sería riesgoso para el cumplimiento. Por el lado de la mano de obra especializada, a pesar de manejar 40 horas semanales está muy amplia para el trabajo que se está desarrollando, se tiene aproximadamente un sobrante del 0.4 del tiempo del trabajo anual.
4. Por último, no era del interés de este trabajo si el número de equipos a producir da el punto de equilibrio financiero de la empresa, pero si no se alcanza, es el necesario tomar medidas en cuanto a la mano de obra - operarios - y manejo de materias primas básicas.

### Conclusiones

Este fue un trabajo muy interesante que a pesar de ser un problema lineal se contextualiza el conocimiento, al ser un caso real y tangible compromete a los autores a tener muchas precauciones y precisiones, porque a partir de este trabajo se pueden tomar decisiones trascendentales para una compañía.

De otra parte, en cuanto a lo académico este trabajo permite visualizar las bondades que se tiene con los diversos métodos de solución de problemas lineales, que al ser estudiados y evaluados enriquecen el conocimiento como parte del desarrollo doctoral, estas herramientas se convierten en alternativas que se pueden manejar en un momento dado para dar solución a un problema de cualquier rea.

En cuanto a los métodos de solución de problemas lineales utilizados en este trabajo se puede indicar que cada uno de ellos tiene sus bondades y sus falencias, sin embargo, dependiendo del problema a solucionar se puede tomar cualquier alternativa.

Parece muy interesante tener en Solver y Linprog dos alternativas para solucionar no solo problemas lineales sino que pueden solucionar problemas no lineales, algo que no ocurre con Simplex.

Por último, es muy importante la hoja de informe que genera Silver con la solución del problema, porque permite visualizar más fácilmente en que puntos se puede trabajar para mejorar la situación, pues finalmente es lo que más interesa al momento de tener un resultado numérico.

## Referencias

- [1] H. Kopka and P. W. Daly, "A Guide to LATEX", 3rd ed. Harlow, England: Addison-Wesley, 1999.
- [2] J. R. Salinas, O. Zubieta y J. Romero, "Problemas de programación lineal".
- [3] User Guide for Mathworks, Optimization Toolbox for use with MATLAB, 1990-2006.
- [4] D. Kalenatic y L. E. Blanco, "Aplicaciones Computacionales en Producción", 1rd ed. Fondo editorial, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1993.'
- [5] G.D. KEppen, F.J. Gould, others, "Investigación de operaciones' en la ciencia administrativa", 5rd Ed. Pearson, Prentice Hall, 2000.
- [6] H. Taha, "Investigación de operaciones", 9rd ed. Pearson, Always Learning, 2012.
- [7] F. S. Hillier, "Introducción a la Investigación de operaciones", 9rd ed. Mc. Graw Hill, 2010.
- [8] D. Luenberger, "Linear and Nonlinear programming", 3rd ed. Springer, 2008.
- [9] E. Chong, "An Introduction to optimization", 2rd ed. Wiley-Interscience, 2001.
- [10] D. Ovalle, "Curso de Optimización", 1rd Ed. Presentaciones de clase, 2015.

## De los autores

**Pablo Emilio Rozo García:** Ingeniero electrónico – Universidad Antonio Nariño – Colombia. Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones – Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia, Especialista en Pedagogía y docencia Universitaria – Universidad La Gran Colombia – Colombia y Especialista en Administración de Empresas – Fundación Universitaria Los Libertadores – Colombia. E-mail: perozog@udistrital.edu.co

**Johann Alexander Hernández:** Ingeniero eléctrico – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia. Doctor en Ingeniería, Ingeniería Eléctrica – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia y Magister en Ingeniería, Ingeniería Eléctrica – Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá – Colombia. E-mail: jhernandez@udistrital.edu.co

**Diana Marcela Ovalle Martínez:** Ingeniero electrónico – Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Colombia. Doctor en Tecnologías Industriales – Universidad Politécnica De Cartagena – España y Magister en Ingeniería Eléctrica – Universidad De Los Andes – Colombia. E-mail: dmovalle@udistrital.edu.co