



## OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN EFICIENTIZANDO EL USO DE RECURSOS UTILIZANDO P.L. APLICACIÓN EN UNA PyME

**GLORIA R. TROVATO**

Facultad de Ciencias Económicas - UNCPBA

Campus Universitario - Paraje Arroyo Seco - Tandil - 7000 - Buenos Aires - Argentina

[trovato@econ.unicen.edu.ar](mailto:trovato@econ.unicen.edu.ar)

**LUIS A. PACHECO**

Facultad de Ciencias Económicas - UNCPBA

Campus Universitario - Paraje Arroyo Seco - Tandil - 7000 - Buenos Aires - Argentina

[lapacheco@infovia.com.ar](mailto:lapacheco@infovia.com.ar)

### Resumen

Un tema que preocupa a los empresarios **PyMEs** de hoy, es lograr **Eficiencia** en el uso de los recursos y mejorar su competitividad. Las fábricas de aberturas de aluminio no escapan a este fenómeno, y es así como los autores trabajaron en un caso real, utilizando la **Programación Lineal (PL)**, con el objetivo de determinar una combinación óptima de productos, eficientizando el uso de los recursos y maximizando las ganancias esperadas, considerando además la sensibilidad de las variables del modelo a través del análisis paramétrico a fin de ofrecer elementos para la toma de decisiones.

Los datos consignados para los tiempos de procesos, son de fuente primaria, relevados por los propios autores. La metodología empleada abarca relevamientos de procesos, cronometrajes de tiempos insumidos y, análisis de lay-out y movimientos. Las utilidades por unidad de producto, derivan de un análisis de costo por artículo y de los precios de mercado de los mismos.

En el caso presentado, los resultados obtenidos de la aplicación del modelo mostró claramente a la empresa, los beneficios potenciales que se pueden obtener a través de la utilización de herramientas cuantitativas que permiten **optimizar** el uso de recursos.

**Palabras claves:** Eficiencia– Programación Lineal – Optimización

### Abstract

At the present, **efficiency** in the resource's use and **competitiveness** is an important topic which concerns the small and medium companies' (SMC) businessmen. The aluminum windows frame

(used of which) The 12 1 Tf2B fraing



In this case, the results obtained from the model application showed clearly to the corporation, the potential benefits can be getting by using quantitative tools that allow resources **optimization**.

**Key words:** Efficiency - Lineal Programming - Optimization

## Introducción

La circunstancia económica-social, a más de política, en que se están desarrollando los mercados de hoy, obliga a los empresarios de PyMEs, a recurrir a tecnologías de gestión que permitan enfocar los esfuerzos producidos a los factores determinantes para alcanzar los objetivos propuestos, o en otras palabras, lograr ser no solo eficaces, sino también eficientes.

Lograr eficiencia y competitividad no es sólo problema de las grandes empresas; por el contrario, las PyMEs, cuya ventaja es la flexibilidad, deben aplicar técnicas de relevamiento de procesos, de toma de tiempos, de estudio de movimientos, de optimización de layout, de trabajo en equipo, y análisis del punto de equilibrio, alguna de las tantas herramientas disponibles para hacerlo.

La necesidad de ser eficientes para ser competitivos, instalada en nuestra economía y en el mundo, da oportunidad a la I.O. de demostrar que no es una disciplina aislada, que tampoco es un conjunto de herramientas cuantitativas, sino que es una disciplina de apoyo a la toma de decisiones, y complementaria de otras que persiguen fines de gestión.

## Presentación de la situación planteada

Se trata de una fábrica de aberturas de aluminio, que necesita efficientizar el uso de sus recursos, para ser competitivo en el mercado donde opera, lo cual significa lograr un grado de especialización en una gama limitada de productos que logre la adecuada productividad, reduciendo los costos unitarios de forma de mantenerla o incrementarla.

Esta empresa se encuentra actualmente abocada a la fabricación de tres **productos principales**, que utilizan perfilera de aluminio denominada “línea estándar”:

- a) ventana corrediza vidrio entero, (VC VE),
- b) ventana corrediza vidrio repartido, (VC VR) y
- c) puerta. (P)

Las ventanas mencionadas en el inc. a) se comercializan en natural y color (blanco). Los demás productos son de color (blanco).

En cuanto a las medidas en que se producen las distintas aberturas, se consideran:

- Ventanas Corredizas Vidrio Entero, con vidrio<sup>1</sup>, de dos hojas, sin guía ni tapacinta<sup>2</sup>:

0.60 m x 0.50 m.	1,00 m x 0,90 m	1,50 m x 1.10 m.
0.80 m x 0.50 m.	1.20 m x 0.90 m.	1,50 m x 1.50 m.

- Ventanas Corredizas Vidrio Repartido, con vidrio<sup>3</sup>, de dos hojas, sin guía ni tapacinta<sup>4</sup>:

1.20 m x 0.90 m (4 Vidrios/hoja)	1.20 m x 1.50 m (9 Vidrios/hoja)
1.00 m x 1.10 m (6 Vidrios/hoja)	1.50 m x 1.50 m (12 Vidrios/hoja)

- Puerta 0.80 m x 2.00 m, con cerradura sin herrajes, de una hoja.

<sup>1</sup> El vidrio considerado es tipo float de 3mm.

<sup>2</sup> Las guías y tapacintas se comercializan en Kit aparte que no se incluye en el análisis.

<sup>3</sup> Idem 3.

<sup>4</sup> Idem 4.



La empresa cuenta con personal administrativo-comercial, un supervisor no afectado a tareas directas de producción y seis **empleados** cuya formación y entrenamiento los habilita para tareas determinadas según la TABLA 1:

Empleado	Tarea/operación							
	Corte	Matrizado Ventana	Armado marco Ventana	Armado hoja Ventana	Mecaniza- do palillos y Armado VR	Mecanizado y Armado Puerta	Ensa mble Venta- na	Identifica- ción y Embalaje Final
<b>A</b>	x	x						
<b>B</b>			x	x				
<b>C</b>							x	x
<b>D</b>			x	x				
<b>E</b>					x	x		
<b>F</b>				x				

TABLA 1

Se dispone de los siguientes **equipos** principales: una cortadora doble cabezal, dos pulmones para los matrizados de perfiles correspondientes a marcos y hojas de ventanas, una copiadora manual para el mecanizado de perfiles de puerta, un equipo para el mecanizado de los palillos del vidrio repartido y una embaladora semiautomática.

Además posee como **puestos de trabajo**, una mesa para armado de marcos de ventana, una mesa de armado de hojas y colocación del vidrio respectivo (para ventana vidrio entero), un puesto de armado de puertas (formado por una mesa de armado de marcos y una de armado de hojas), un lugar asignado a la colocación de los vidrios repartidos, otro donde se realiza el ensamble de ventanas y por último, un puesto de identificación y embalaje final.

El puesto de Armado de Marcos, es tanto para ventanas con vidrio entero como para las de vidrio repartido. De igual manera ocurre con la mesa de Armado de Hojas; cuando la ventana es del tipo vidrio repartido se realiza la colocación de los mismos en el puesto mencionado.

El empleado **A** por ser el único habilitado para realizar cortes y matrizados para ventanas, es el encargado de abastecer de perfiles cortados para marcos, hojas, palillos de vidrio repartido y puertas.

El **Flujo de los productos en los procesos de fabricación** de las aberturas presenta la siguiente secuencia:

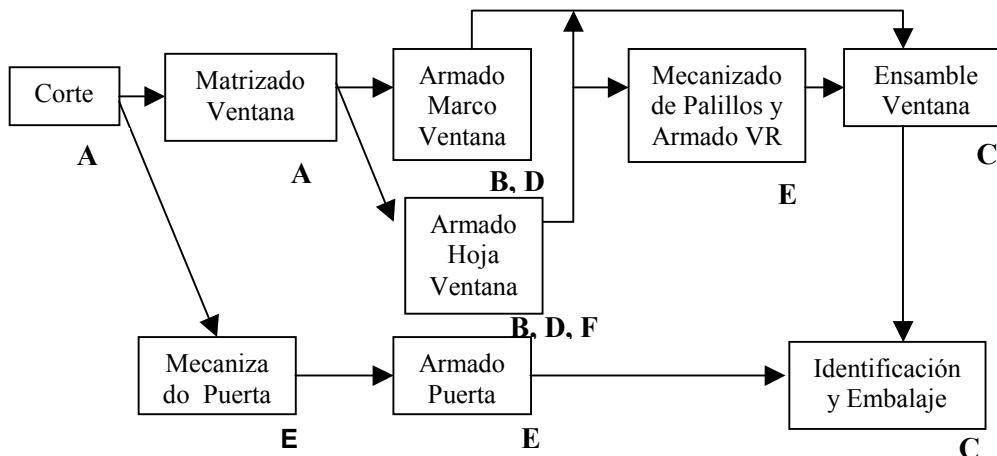


Figura 1

Los datos referidos a los **tiempos normales unitarios insumidos**, utilizados al plantear el uso de recursos, en las respectivas operaciones que se utilizan en el planteo, fueron tomados en cuatro empresas, en similares circunstancias de operación, y promediados, con el objeto de contemplar la rotación que poseen los empleados de la empresa analizada en cuanto a los puestos de trabajo.



Las operaciones de armado, incluyen la colocación de los accesorios respectivos. Se denominan accesorios a los herrajes (cierres y cerraduras), escuadras, burletes, cuñas, tapones antirruidos, tapones felpados, felpa de perfiles, tapas de desagote, tapacantos, tope-trabas, e insumos a remaches, tornillos y selladores. Los vidrios son considerados una parte del producto.

Por estimaciones realizadas a través del análisis de ventas efectuadas años anteriores, situación del mercado, y competidores actuales, se determinó que la **demanda máxima** de:

- a) Ventana Corrediza Vidrio Entero es de 945 unidades/mes distribuidas según tabla (TABLA 2):

Medidas	Natural	Color
0.60 m x 0.50 m.	35	25
0.80 m x 0.50 m.	45	30
1,00 m x 0,90 m	135	40
1.20 m x 0.90 m.	350	80
1,50 m x 1.10 m.	90	35
1,50 m x 1.50 m.	60	20
<b>Total:</b>	<b>715</b>	<b>230</b>

TABLA 2

- b) Ventana Corrediza Vidrio Repartido es de 250 unidades/mes según tabla (TABLA 3):

Medidas	Color
1.20 m x 0.90 m	20
1.00 m x 1.10 m	40
1.20 m x 1.50 m	120
1.50 m x 1.50 m	70
<b>Total:</b>	<b>250</b>

TABLA 3

- c) Puertas, es de 70 unidades/mes.

Debido a las exigencias del mercado que se está analizando, ciertas medidas de los tipos de aberturas consideradas, deben componer la oferta de la línea, para poder permanecer en él. De allí que existan **cantidades mínimas** de producción de algunos productos, detalladas en la TABLA 4:

Productos	Medidas	Cantidad mínima a producir	
		Natural	Color
Ventana Corrediza VE	0.60 m x 0.50 m.	30	10
	0.80 m x 0.50 m.		
	1,50 m x 1.10 m.	80	20
	1,50 m x 1.50 m.		
Ventana Corrediza VR	Entre todas	---	100
Puertas	Única	---	35

TABLA 4

Todos los operarios trabajan de 8:00 a 12:00 hs. y de 14:00 a 18:00 hs. de lunes a viernes y de 8:00 a 13:00 hs. los sábados, día en el cual se efectúan tareas de mantenimiento preventivo de máquinas y equipos, limpieza de puestos de trabajo, abastecimiento de insumos y accesorios, y la limpieza integral de la fábrica, no realizándose fabricación de productos.

Se considera una merma del tiempo presencia de operario de un 5%, debido a descansos, preparación inicial ante de comenzar la jornada de trabajo en ambos turnos y necesidades normales, es decir que se cuenta con una **disponibilidad de tiempo** de 7h. 36' diarias por operario.

Además la empresa decide reservar un 20% de la capacidad total de operación para la fabricación de otros productos que completan la línea como: ventanas de abrir, postigos, guillotinas, rajas, proyectantes, puertas de dos o tres hojas y kit de guías y tapacintas.



Las **utilidades unitarias** de los productos considerados, expresados en moneda corriente, se detallan en la tabla siguiente (TABLA 5):

Producto	Medidas	Natural	Color
<b>Ventana Corrediza Vidrio Entero</b>	0.60 m x 0.50 m	5,70	7,00
	0.80 m x 0.50 m	6,30	7,70
	1,00 m x 0,90 m	9,50	10,40
	1.20 m x 0.90 m	10,50	12,60
	1,50 m x 1.10 m	13,10	17,30
	1,50 m x 1.50 m	16,00	21,20
<b>Ventana Corrediza Vidrio Repartido</b>	1.20 m x 0.90 m	---	18,90
	1.00 m x 1.10 m	---	20,50
	1.20 m x 1.50 m	---	26,70
	1.50 m x 1.50 m	---	35,30
<b>Puerta</b>	0.80 m x 2.00 m	---	35,50

TABLA 5

Estas utilidades resultan de la diferencia entre el precio de venta sin impuestos al distribuidor mayorista, y los costos debido a perfiles de aluminio, todos los accesorios correspondiente a cada abertura, costos de energía y la mano de obra directa.

Los costos fijos de la empresa, como los correspondientes a la mano de obra indirecta, amortizaciones, impuestos y tasas, así como los gastos de comercialización, se descuentan de la utilidad mensual, por lo cual, los mismos no han sido incluidos dentro del modelo de Programación Lineal.

Cabe aclarar que esta estructura de costos y utilidades, es la empleada actualmente por la empresa analizada.

El **objetivo** del problema consiste en determinar la combinación óptima de los productos mencionados, a fin de eficientizar el uso de los recursos, maximizando la utilidad mensual.

A tal fin, se planteó el problema bajo las condiciones de PL, y se resolvió mediante el uso del Solver®.

### Planteo del problema

Se utilizan como abreviaturas correspondiente a los tipos de productos: **VC**: Ventana Corrediza, **VE**: Vidrio Entero.; **VR**: Vidrio Repartido, **P**: Puerta..

La **X** se lee “Producción mensual de”, estableciendo la combinación con los correspondientes subíndices, la definición de la variable en sí.

Los subíndices de las variables expresan: **N**: Natural; **C**: Color; **I**: VC VE; **II**: VC VR; **III**: P; n° : **1, 2, 3, 4, 5** o **6** la medida; **m**: marco; **h**: hoja; **B**: empleado B; **D**: empleado D; **F**: empleado F.

Por ejemplo:

**X<sub>IN1Bm</sub>**: Producción mensual de marcos (**m**) de ventana corrediza vidrio entero (**I**), natural (**N**), de medidas 0.60m. x 0.50m. (1) fabricados por el empleado **B**.

**X<sub>IIC2Fh</sub>**: Producción mensual de hojas (**h**) de ventana corrediza vidrio repartido (**II**), color(**C**), de medidas 0.80m. x 0.50m. (2) fabricados por el empleado **F**.

### 1.- Variables de decisión:

$$X_{IN1} = \text{Producción mensual de VC VE N de 0.60 m. x 0.50 m.} = \\ = [(X_{IN1Bm} + X_{IN1Dm}) + (X_{IN1Bh} + X_{IN1Dh} + X_{IN1Fh})]/2$$

$$X_{IN2} = \text{Producción mensual de VC VE N de 0.80 m. x 0.50 m.} = \\ = [(X_{IN2Bm} + X_{IN2Dm}) + (X_{IN2Bh} + X_{IN2Dh} + X_{IN2Fh})]/2$$



$$X_{IN3} = \text{Producción mensual de VC VE N de 1.00 m. x 0.90 m.} = \\ = [(X_{IN3Bm} + X_{IN3Dm}) + (X_{IN3Bh} + X_{IN3Dh} + X_{IN3Fh})]/2$$

$$X_{IN4} = \text{Producción mensual de VC VE N de 1.20 m. x 0.90 m.} = \\ = [(X_{IN4Bm} + X_{IN4Dm}) + (X_{IN4Bh} + X_{IN4Dh} + X_{IN4Fh})]/2$$

$$X_{IN5} = \text{Producción mensual de VC VE N de 1.50 m. x 1.10 m.} = \\ = [(X_{IN5Bm} + X_{IN5Dm}) + (X_{IN5Bh} + X_{IN5Dh} + X_{IN5Fh})]/2$$

$$X_{IN6} = \text{Producción mensual de VC VE N de 1.50 m. x 1.50 m.} = \\ = [(X_{IN6Bm} + X_{IN6Dm}) + (X_{IN6Bh} + X_{IN6Dh} + X_{IN6Fh})]/2$$

$$X_{IC1} = \text{Producción mensual de VC VE C de 0.60 m. x 0.50 m.} = \\ = [(X_{IC1Bm} + X_{IC1Dm}) + (X_{IC1Bh} + X_{IC1Dh} + X_{IC1Fh})]/2$$

$$X_{IC2} = \text{Producción mensual de VC VE C de 0.80 m. x 0.50 m.} = \\ = [(X_{IC2Bm} + X_{IC2Dm}) + (X_{IC2Bh} + X_{IC2Dh} + X_{IC2Fh})]/2$$

$$X_{IC3} = \text{Producción mensual de VC VE C de 1.00 m. x 0.90 m.} = \\ = [(X_{IC3Bm} + X_{IC3Dm}) + (X_{IC3Bh} + X_{IC3Dh} + X_{IC3Fh})]/2$$

$$X_{IC4} = \text{Producción mensual de VC VE C de 1.20 m. x 0.90 m.} = \\ = [(X_{IC4Bm} + X_{IC4Dm}) + (X_{IC4Bh} + X_{IC4Dh} + X_{IC4Fh})]/2$$

$$X_{IC5} = \text{Producción mensual de VC VE C de 1.50 m. x 1.10 m.} = \\ = [(X_{IC5Bm} + X_{IC5Dm}) + (X_{IC5Bh} + X_{IC5Dh} + X_{IC5Fh})]/2$$

$$X_{IC6} = \text{Producción mensual de VC VE C de 1.50 m. x 1.50 m.} = \\ = [(X_{IC6Bm} + X_{IC6Dm}) + (X_{IC6Bh} + X_{IC6Dh} + X_{IC6Fh})]/2$$

$$X_{IIC1} = \text{Producción mensual de VC VR C de 1.20 m. x 0.90 m.} = \\ = [(X_{IIC1Bm} + X_{IIC1Dm}) + (X_{IIC1Bh} + X_{IIC1Dh} + X_{IIC1Fh})]/2$$

$$X_{IIC2} = \text{Producción mensual de VC VR C de 1.00 m. x 1.10 m.} = \\ = [(X_{IIC2Bm} + X_{IIC2Dm}) + (X_{IIC2Bh} + X_{IIC2Dh} + X_{IIC2Fh})]/2$$

$$X_{IIC3} = \text{Producción mensual de VC VR C de 1.20 m. x 1.50 m.} = \\ = [(X_{IIC3Bm} + X_{IIC3Dm}) + (X_{IIC3Bh} + X_{IIC3Dh} + X_{IIC3Fh})]/2$$

$$X_{IIC4} = \text{Producción mensual de VC VR C de 1.50 m. x 1.50 m.} = \\ = [(X_{IIC4Bm} + X_{IIC4Dm}) + (X_{IIC4Bh} + X_{IIC4Dh} + X_{IIC4Fh})]/2$$

Cabe aclarar que el número de ventanas, se ha expresado como la semisuma del número de marcos más el número de hojas.

$$X_{III} = \text{Producción mensual de P de 0.80 m. X 2.00 m.}$$



## 2.- Función objetivo:

### Maximizar:

$$Z = 5,70 X_{IN1} + 6,30 X_{IN2} + 9,50 X_{IN3} + 10,50 X_{IN4} + 13,10 X_{IN5} + 16,00 X_{IN6} + 7,00 X_{IC1} + 7,70 X_{IC2} + 10,40 X_{IC3} + 12,60 X_{IC4} + 17,30 X_{IC5} + 21,20 X_{IC6} + 18,90 X_{IIC1} + 20,50 X_{IIC2} + 26,70 X_{IIC3} + 35,30 X_{IIC4} + 35,50 X_{III}$$

## 3.- Restricciones:

**Disponibilidad de tiempo/hombre** (Los tiempos insumidos se expresan en minutos): 456 (minutos/día) x 20 (días/mes) x 0.80 = **7296** (minuto/mes).

Empleado **A** para corte y matrizado de perfiles de ventana, corte de palillos para vidrio repartido y de perfiles de puerta:

$$4,83 (X_{IN1} + X_{IN2} + X_{IN3} + X_{IN4} + X_{IN5} + X_{IN6} + X_{IC1} + X_{IC2} + X_{IC3} + X_{IC4} + X_{IC5} + X_{IC6} + X_{IIC1} + X_{IIC2} + X_{IIC3} + X_{IIC4}) + 0,70 X_{IIC1} + 0,90 X_{IIC2} + 1,25 X_{IIC3} + 1,58 X_{IIC4} + 5 X_{III} + 0,92 (X_{IN1} + X_{IN2} + X_{IN3} + X_{IN4} + X_{IN5} + X_{IN6} + X_{IC1} + X_{IC2} + X_{IC3} + X_{IC4} + X_{IC5} + X_{IC6} + X_{IIC1} + X_{IIC2} + X_{IIC3} + X_{IIC4}) \leq 7296'$$

Empleado **B** para armado de marcos y de hojas de ventanas:

$$5,66 (X_{IN1Bm} + X_{IN2Bm} + X_{IN3Bm} + X_{IN4Bm} + X_{IN5Bm} + X_{IN6Bm} + X_{IC1Bm} + X_{IC2Bm} + X_{IC3Bm} + X_{IC4Bm} + X_{IC5Bm} + X_{IC6Bm} + X_{IIC1Bm} + X_{IIC2Bm} + X_{IIC3Bm} + X_{IIC4Bm}) + 11,83 (X_{IN1Bh} + X_{IN2Bh} + X_{IN3Bh} + X_{IN4Bh} + X_{IN5Bh} + X_{IN6Bh} + X_{IC1Bh} + X_{IC2Bh} + X_{IC3Bh} + X_{IC4Bh} + X_{IC5Bh} + X_{IC6Bh} + X_{IIC1Bh} + X_{IIC2Bh} + X_{IIC3Bh} + X_{IIC4Bh}) \leq 7296'$$

Empleado **D** para armado de marcos y de hojas de ventanas.

$$5,66 (X_{IN1Dm} + X_{IN2Dm} + X_{IN3Dm} + X_{IN4Dm} + X_{IN5Dm} + X_{IN6Dm} + X_{IC1Dm} + X_{IC2Dm} + X_{IC3Dm} + X_{IC4Dm} + X_{IC5Dm} + X_{IC6Dm} + X_{IIC1Dm} + X_{IIC2Dm} + X_{IIC3Dm} + X_{IIC4Dm}) + 11,83 (X_{IN1Dh} + X_{IN2Dh} + X_{IN3Dh} + X_{IN4Dh} + X_{IN5Dh} + X_{IN6Dh} + X_{IC1Dh} + X_{IC2Dh} + X_{IC3Dh} + X_{IC4Dh} + X_{IC5Dh} + X_{IC6Dh} + X_{IIC1Dh} + X_{IIC2Dh} + X_{IIC3Dh} + X_{IIC4Dh}) \leq 7296'$$

Empleado **F** para armado de hojas de ventanas:

$$11,83 (X_{IN1Fh} + X_{IN2Fh} + X_{IN3Fh} + X_{IN4Fh} + X_{IN5Fh} + X_{IN6Fh} + X_{IC1Fh} + X_{IC2Fh} + X_{IC3Fh} + X_{IC4Fh} + X_{IC5Fh} + X_{IC6Fh} + X_{IIC1Fh} + X_{IIC2Fh} + X_{IIC3Fh} + X_{IIC4Fh}) \leq 7296'$$

Empleado **E** para mecanizado de perfiles de puerta y de palillos, y armado de puertas:

$$14,50 X_{III} + 12,50 X_{III} + 7,08 X_{IIC1} + 9,92 X_{IIC2} + 14,58 X_{IIC3} + 19,50 X_{IIC4} \leq 7296'$$

Empleado **C** para ensamble de ventanas e identificación y embalaje de productos:

$$2,25 (X_{IN1} + X_{IN2} + X_{IN3} + X_{IN4} + X_{IN5} + X_{IN6} + X_{IC1} + X_{IC2} + X_{IC3} + X_{IC4} + X_{IC5} + X_{IC6} + X_{IIC1} + X_{IIC2} + X_{IIC3} + X_{IIC4}) + 3,50 (X_{IN1} + X_{IN2} + X_{IN3} + X_{IN4} + X_{IN5} + X_{IN6} + X_{IC1} + X_{IC2} + X_{IC3} + X_{IC4} + X_{IC5} + X_{IC6} + X_{IIC1} + X_{IIC2} + X_{IIC3} + X_{IIC4} + X_{III}) \leq 7296'$$



**Ecuaciones de balance:**

La cantidad de marcos armados por el operario B más los armados por el operario D, menos la cantidad de hojas armadas por B, D, y F deben ser igual a cero, ya que la cantidad de marcos armados debe coincidir con la cantidad de pares de hojas armadas y por ende, con la cantidad de ventanas armadas.

- $X_{IN\ i\ Bm} + X_{IN\ i\ Dm} - X_{IN\ i\ Bh} - X_{IN\ i\ Dh} - X_{IN\ i\ Fh} = 0$  para  $i = 1; 2; 3; 4; 5$  y  $6$
- $X_{ICjBm} + X_{ICjDm} - X_{ICjBh} - X_{ICjDh} - X_{ICjFh} = 0$  para  $j = 1; 2; 3; 4; 5$  y  $6$
- $X_{IICkBm} + X_{IICkDm} - X_{IICkBh} - X_{IICkDh} - X_{IICkFh} = 0$  para  $k = 1; 2; 3; 4$

Debido a la utilización de recursos compartidos se deben plantear restricciones para los puestos de armado de marcos y armado de hojas, de forma tal que tenemos:

Empleados **B** y **D** realizan armado de marcos:

- $5,66 (X_{IN1Bm} + X_{IN2Bm} + X_{IN3Bm} + X_{IN4Bm} + X_{IN5Bm} + X_{IN6Bm} + X_{IC1Bm} + X_{IC2Bm} + X_{IC3Bm} + X_{IC4Bm} + X_{IC5Bm} + X_{IC6Bm} + X_{IIC1Bm} + X_{IIC2Bm} + X_{IIC3Bm} + X_{IIC4Bm}) + 5,66 (X_{IN1Dm} + X_{IN2Dm} + X_{IN3Dm} + X_{IN4Dm} + X_{IN5Dm} + X_{IN6Dm} + X_{IC1Dm} + X_{IC2Dm} + X_{IC3Dm} + X_{IC4Dm} + X_{IC5Dm} + X_{IC6Dm} + X_{IIC1Dm} + X_{IIC2Dm} + X_{IIC3Dm} + X_{IIC4Dm}) \leq 7296'$

Empleados **F**, **B** y **D** realizan armado de hojas:

- $11,83 (X_{IN1Fh} + X_{IN2Fh} + X_{IN3Fh} + X_{IN4Fh} + X_{IN5Fh} + X_{IN6Fh} + X_{IC1Fh} + X_{IC2Fh} + X_{IC3Fh} + X_{IC4Fh} + X_{IC5Fh} + X_{IC6Fh} + X_{IIC1Fh} + X_{IIC2Fh} + X_{IIC3Fh} + X_{IIC4Fh}) + 11,83 (X_{IN1Bh} + X_{IN2Bh} + X_{IN3Bh} + X_{IN4Bh} + X_{IN5Bh} + X_{IN6Bh} + X_{IC1Bh} + X_{IC2Bh} + X_{IC3Bh} + X_{IC4Bh} + X_{IC5Bh} + X_{IC6Bh} + X_{IIC1Bh} + X_{IIC2Bh} + X_{IIC3Bh} + X_{IIC4Bh}) + 11,83 (X_{IN1Dh} + X_{IN2Dh} + X_{IN3Dh} + X_{IN4Dh} + X_{IN5Dh} + X_{IN6Dh} + X_{IC1Dh} + X_{IC2Dh} + X_{IC3Dh} + X_{IC4Dh} + X_{IC5Dh} + X_{IC6Dh} + X_{IIC1Dh} + X_{IIC2Dh} + X_{IIC3Dh} + X_{IIC4Dh}) \leq 7296'$

**Cantidades máximas a producir:**

- $X_{IN1} \leq 35; X_{IN2} \leq 45; X_{IN3} \leq 135; X_{IN4} \leq 350; X_{IN5} \leq 90; X_{IN6} \leq 60$
- $X_{IC1} \leq 25; X_{IC2} \leq 30; X_{IC3} \leq 40; X_{IC4} \leq 80; X_{IC5} \leq 35; X_{IC6} \leq 20$
- $X_{IIC1} \leq 20; X_{IIC2} \leq 40; X_{IIC3} \leq 120; X_{IIC4} \leq 70$
- $X_{III} \leq 50$

**Cantidades mínimas requeridas de algunos productos:**

- $X_{IN1} + X_{IN2} \geq 30$
- $X_{IN5} + X_{IN6} \geq 80$
- $X_{IC1} + X_{IC2} \geq 10$
- $X_{IC5} + X_{IC6} \geq 20$
- $X_{IIC1} + X_{IIC2} + X_{IIC3} + X_{IIC4} \geq 100$
- $X_{III} \geq 35$

**Condición de no negatividad de variables:**

- $X_{INiBm} \geq 0; X_{INiDm} \geq 0; X_{INiBh} \geq 0; X_{INiDh} \geq 0; X_{INiFh} \geq 0; X_{ICiBm} \geq 0; X_{ICiDm} \geq 0; X_{ICiBh} \geq 0; X_{ICiDh} \geq 0; X_{ICiFh} \geq 0$ ; para toda  $i=1...6$ .
- $X_{IICiBm} \geq 0; X_{IICiDm} \geq 0; X_{IICiBh} \geq 0; X_{IICiDh} \geq 0; X_{IICiFh} \geq 0$ ; para toda  $i=1...4$ .
- $X_{IN1}, X_{IN2}, X_{IN3}, X_{IN4}, X_{IN5}, X_{IN6}, X_{IC1}, X_{IC2}, X_{IC3}, X_{IC4}, X_{IC5}, X_{IC6}, X_{IIC1}, X_{IIC2}, X_{IIC3}, X_{IIC4}, X_{III} \geq 0$





#### 4.- Resultados e interpretación de los mismos:

Con los recursos disponibles, la empresa alcanzaría la producción expresada en la TABLA 6:

Producto	Medida	Cantidad de unidades
VC VE N	0.80 m x 0.50 m	30
	1.20 m x 0.90 m	42
	1,50 m x 1.10 m	90
	1,50 m x 1.50 m	60
VC VE C	0.80 m x 0.50 m	10
	1.20 m x 0.90 m	80
	1,50 m x 1.10 m	35
	1,50 m x 1.50 m	20
VC VR C	1.20 m x 0.90 m	20
	1.00 m x 1.10 m	40
	1.20 m x 1.50 m	120
	1.50 m x 1.50 m	70
P	0.80 m x 2.00 m	70

TABLA 6

Como puede apreciarse, se lograrían las cantidades máximas a producir de las VC VR y P, y de las VC VE tanto N como C de las medidas mayores.

El total de ventanas a fabricar sería de 617 y de puertas, 70 unidades. Con dicho nivel de producción, se obtendría una Ganancia Mensual de \$14.238,74.

Dentro de este mix de producción, se encontrarían las VC VE N y las VC VE C de 0.80 m x 0.50 m, que serían fabricadas para poder alcanzar los mínimos requeridos en la TABLA 4, pero por cada unidad que se produjera de ellas, la empresa disminuiría sus ganancias en \$4.20 y \$2.80 respectivamente, lo que se traduciría en una disminución del funcional económico de \$154 (ya contemplado en la cifra mencionada como tal).

Respecto al uso de los recursos, se obtuvieron los siguientes resultados (TABLA 7):

Recursos	Disponibilidad en minutos	Uso en minutos	Sobrante en minutos	Precio Sombra
Empleado A	7296	4207	3089	---
Empleado B	7296	6897	398	---
Empleado D	7296	1641	5695	---
Empleado F	7296	2248	5048	---
Empleado E	7296	5543	1753	---
Empleado C	7296	3791	3505	---
Mesa Armado Hojas	7296	7296	---	0.887
Mesa Armado Marcos	7296	3491	3805	---

TABLA 7

La disponibilidad de la Mesa de Armado de Hojas, se encontraría saturada. Es de recordar que el lugar físico “Mesa de Armado de Hojas”, se comparte por tres empleados (B, D y F). Al ser el recurso más crítico y teniendo un Precio Sombra de \$0.887 por minuto, se decide analizar la posibilidad de incorporar una segunda Mesa de Armado de Hojas, y comparar los resultados obtenidos con los presentados recientemente como parte de un proceso de pos-optimización a la solución encontrada en primer instancia. Además la utilización de la Mano de Obra disponible alcanza solo al 55.57 % y existiendo 3805 minutos sobrantes de la Mesa de Marcos.



Llevando la disponibilidad de Mesa de Armado de Hojas, a 14592 minutos, se obtienen como resultados, los expresados en la TABLA 8:

Producto	Medida	Cantidad de unidades
VC VE N	0.80 m x 0.50 m	39
	1,00 m x 0,90 m	135
	1.20 m x 0.90 m	350
	1,50 m x 1.10 m	90
	1,50 m x 1.50 m	60
VC VE C	0.60 m x 0.50 m	25
	0.80 m x 0.50 m	30
	1,00 m x 0,90 m	40
	1.20 m x 0.90 m	80
	1,50 m x 1.10 m	35
	1,50 m x 1.50 m	20
VC VR C	1.20 m x 0.90 m	20
	1.00 m x 1.10 m	40
	1.20 m x 1.50 m	120
	1.50 m x 1.50 m	70
P	0.80 m x 2.00 m	70

TABLA 6

La totalidad de las ventanas fabricadas ascendería a 1153 unidades, alcanzando las cantidades máximas de producción de la mayoría de los productos analizados.

Podría decirse que se produciría un 46,50% de aumento en unidades, lo que se reflejaría en un incremento de \$5321 en las utilidades mensuales (de \$14.238,74 a \$19.559,59), respecto a la primer solución intentada. Cabe destacar que no se incluyó un análisis financiero por la incorporación de la mesa de armado, dado que la inversión necesaria es inferior a las utilidades que se generan en el primer mes (valor estimado de la mesa de armado con instalación incluida: \$3650).

Con esta nueva disponibilidad de recursos, el uso de los mismos cambiaría sustancialmente, según se muestra en la TABLA 9

Recursos	Disponibilidad en minutos	Uso en minutos	Sobranante en minutos	Precio Sombra
Empleado A	7296	7296	---	1.096
Empleado B	7296	7296	---	0
Empleado D	7296	7296	---	0
Empleado F	7296	5592	1704	---
Empleado E	7296	5543	1753	---
Empleado C	7296	6880	416	---
Mesa Armado Hojas	14592	13652	940	---
Mesa Armado Marcos	7296	6532	764	---

TABLA 9

Como ya se reflejara en la Figura 1, los empleados B y D, comparten el lugar de trabajo y la tarea asignada, por lo tanto es importante tener en cuenta las unidades de marcos y de pares de hojas que deberían armar cada uno, para que la optimización de sus tiempos se cumpla. Es así como B debería armar 729 marcos y 268 pares de hojas y D debería armar 425 marcos y 413 pares de hojas.

La disponibilidad de tiempo del empleado A, dedicado al corte y matrizado de perfiles, se saturaría, teniendo un Precio Sombra de \$1.096 por minuto. Lo mismo ocurriría con los tiempos de los empleados B y D, pero en este caso ambos constituyen valores alternativos. En esta alternativa la utilización total del tiempo de Mano de Obra disponible alcanza a un 91,15 %.



En este punto del análisis e interpretación de resultados, podría plantearse la alternativa de incorporar un Empleado más, con características similares a las del empleado A, ya que su Precio Sombra indica un aporte a las utilidades mensuales de \$1.096 por minuto incorporado. Existen razones para no incurrir en este análisis:

- 1.- El Empleado A trabaja con una cortadora doble cabezal. Incorporar otro empleado, significaría invertir en otra máquina.
- 2.- Con la segunda solución planteada, la empresa fabricaría el máximo de unidades estimadas, del 88% de los productos considerados (15 productos de un total de 17). El 22% restante, lo compondrían 41 ventanas, que de ser necesarias, podrían fabricarse sólo con algunas horas extras del empleado que posee saturada su disponibilidad de tiempo.

Por lo tanto, la solución alcanzada en esta segunda instancia, satisface plenamente las expectativas de la empresa, y significa para ella, un reordenamiento más eficiente de sus recursos, y la incorporación “física” de una Mesa de Armado de Hojas, cuya inversión es mínima.

## Conclusiones

Haber acercado a la I.O. a la empresa, demostró una vez más, que la utilización de los modelos y herramientas de esta disciplina, es no sólo importante, sino también indispensable, en contextos económicos como los que hoy nos rodean.

La utilización de una adecuada representación del proceso de fabricación, donde se indicaron los recursos disponibles (mano de obra y equipos o puestos de trabajo), resultó de gran utilidad a la hora de plantear el modelo. (Figura 1), esta representación facilitó el análisis de los puestos de trabajo compartidos, como así también, los empleados que cumplían más de una tarea.

Además, el conocimiento de los procesos realizados y sus interrelaciones, permitió plantear la alternativa de incorporar un recurso como fue la mesa de Armado de Hojas, y demostrarle al empresario, con resultados concretos, el beneficio adicional que dicha mesa proporciona, frente a la inversión que debía realizar (cerca del 50% de los propios beneficios adicionales de un mes).

Se puede enfatizar que:

- Es posible y factible utilizar **I.O.** en PyMEs.
- Es indispensable que para la aplicación de técnicas de optimización se conozca en detalle la situación a plantea dado que cualquier ecuación será resuelta por el software utilizado, pero las relaciones entre las variables consideradas, sólo las conoce el que plantea el problema.
- El software “arroja” resultados, pero no “sabe” de lo que “habla”. Es importante interpretar los resultados teniendo en cuenta la categoría de las variables, los tipos de restricciones planteadas, y sobretudo, si existen como en el caso presentado, puestos de trabajos compartidos y/o tareas realizadas por más de una persona.

Por todo lo mencionado, es que se puede afirmar que la Programación Lineal, es una herramienta más para hacerle frente a la competitividad.

## Bibliografía

- ACKOFF Russell – The future of Operation Research is Past – Journal of OR Society, Vol.30, N°2 – 1979.
- EPPEN, GOULD, SCHMIDT - Investigación de Operaciones en la Ciencia de la Administración - Printice Hall Hispanoamericana S.A. - 2001.
- FIGUERAS F.C - Control de Métodos y Tiempos - Editorial Marcombo S.A. - 1988.
- SOLANA Ricardo - Producción. Su organización y administración en el umbral del tercer milenio – Ediciones Interoceánicas S.A. – 1994.