

MODELO DE PLANIFICACIÓN AGREGADA PARA PROYECTOS DE FABRICACIÓN/INSTALACIÓN DE MUROS CORTINA

AGGREGATE PLANNING MODEL FOR PROJECTS OF MANUFACTURE/ INSTALLATION CURTAIN WALLS

Felipe T. Muñoz Valdés¹, Javier A. Henríquez Isla¹, Iván R. Santelices Malfanti¹

¹Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería. Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

RESUMEN

Este trabajo presenta un modelo de planificación agregada para la optimización de la producción e instalación de una empresa fabricante de Muros Cortina, también llamados Sistemas de Fachada Ligera. Este producto está compuesto por una estructura de aluminio que se ubica por delante de la estructura de los edificios, sobre la cual se acoplan cristales. El objetivo de este estudio es diseñar un modelo de planificación agregada, que le permita a la empresa alcanzar mejores rendimientos en su actividad y la elaboración de presupuestos de buena calidad. De tal manera que los presupuestos diseñados se ajusten a los costos y operaciones reales, entregando como resultado las decisiones operacionales que se deben tomar para alcanzar las metas de la empresa. Para determinar algunos parámetros del modelo se recurrió al estudio de tiempos con cronómetro. Gracias a la implementación del modelo propuesto, se mejoró la planificación de la producción y la calidad de los presupuestos para participar en licitaciones.

Palabras Clave: Estudio de tiempos, planificación agregada, producción, muro cortina.

ABSTRACT

This paper presents a model of aggregate planning for the optimization of production and installation of Curtain Walls in a manufacturing company. This product is made out by an aluminum structure with crystal that it is installed in front of the buildings. The objective of this study is to design a model of aggregate planning, that it allow finding better performances in the company activity, and allow elaborating good-quality budgets. In order that the designed budgets fit to the costs and real operations, giving up the operational decisions that should be done, in order to achieve the company goals. In order to determine some parameters of the model, times' study with chronometer was used. Thanks to the implementation of the proposed model, the planning of production and the quality of the budgets got better.

Key words: Time study, aggregate planning, production, curtain wall.

Autor para correspondencia: fmunoz@ubiobio.cl

Recibido: 17.11.2008 Aceptado: 06.04.2009

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta un modelo de planificación agregada para la optimización en la planificación de la producción e instalación de una empresa fabricante de Muros Cortina, también llamados Sistemas de Fachada Ligeras. Este producto está compuesto por una estructura de aluminio que se ubica por delante de la estructura de los edificios, sobre la cual se acoplan cristales.

Para la empresa es muy importante mejorar la planificación de su producción, ya que la forma en la cual se desempeña en el mercado es, en su mayoría, por concursos. De acuerdo a ello, es necesario que la empresa realice presupuestos atractivos para poder adjudicarse los proyectos.

Previo a la existencia de este modelo, los presupuestos se realizaban arbitrariamente, lo cual provocaba grandes problemas; entre ellos:

- No existía relación entre los presupuestos y las decisiones operacionales, lo que producía márgenes de utilidad diferentes a los estimados en el presupuesto.
- Cuando la empresa diseñaba un presupuesto para concursar por un nuevo proyecto, no podía evaluar el impacto en su actual capacidad productiva y proyectos en ejecución.
- La empresa no podía determinar qué decisiones se deberían tomar con respecto al manejo o ampliación de su capacidad productiva (mano de obra).
- Cuando la empresa presenta un presupuesto más costoso que el de sus competidores, no existen posibilidades de ganar los concursos.

Por lo anterior, es importante implementar un modelo que le permita a la empresa alcanzar mejores rendimientos de su actividad y afrontar de una forma cuantitativa los presupuestos, logrando el diseño de presupuestos ajustados a la realidad y características actuales de la empresa.

Algunos modelos clásicos pueden ser usados para la planificación agregada, como por ejemplo los propuestos en Chase *et al.* (2005), Heizer & Render (2001), Sipper & Bulfin (1998). Sin embargo, como la empresa en estudio tiene algunas características especiales en su operación, es necesario crear un modelo adecuado para la empresa.

Planteamiento del problema

La empresa se dedica a la fabricación e instalación de Muros Cortina, y su capacidad productiva está fuertemente relacionada con la disponibilidad de mano de obra, la cual se distribuye entre las actividades de fabricación e instalación del producto. La empresa tiene a su disposición una cantidad de personal fijo, pero puede ajustar su capacidad productiva por medio de la contratación de personal adicional durante tiempo limitado. Por lo tanto, es posible la contratación y despido de trabajadores, incurriendo en costos por contrato y despido. La empresa no considera la utilización de jornadas laborales en tiempo extra, ya que éstas tienen un costo más elevado que la jornada normal. Son difíciles de coordinar y controlar. Además, la empresa desea dejar esa opción como una alternativa para abordar posibles atrasos en la entrega e instalación del producto.

La empresa tiene habilitado un almacén de productos con capacidad limitada, cuya finalidad es poder adelantar la producción para períodos posteriores. La empresa, al trabajar por proyecto, tiene la opción de entregas parciales de producto durante el plazo de duración del mismo, existiendo un costo por incumplimiento de compromisos adquiridos. La empresa

desea determinar la cantidad de producto que debe fabricar e instalar en cada período para minimizar sus costos de mano de obra.

Dentro de los objetivos definidos por la empresa se consideran: minimizar costos de mano de obra, minimizar costos o perjuicios por inventarios y atrasos. Para lograr sus objetivos, la empresa debe tomar decisiones sobre la cantidad de trabajadores a mantener durante cada período dentro de la planificación, lo cual implica crear contratos por tiempo definido y determinar cuánto tiempo de mano de obra se destinará a fabricación e instalación. Además, la empresa puede instalar el producto en entregas parciales durante la duración del proyecto. Esto implica tomar decisiones sobre cómo utilizar su capacidad de almacenamiento para adelantar producción. También se permiten faltantes, es decir, atrasos con respecto a la planificación realizada con anterioridad, lo cual genera una multa por cada m² de producto con retraso.

METODOLOGÍA

Los parámetros necesarios para definir el modelo se pueden agrupar en tres categorías: parámetros de tiempo, parámetros de costo y parámetros que dependen de cada proyecto.

Parámetros de Tiempo

Dentro de esta categoría se encuentran: el tiempo fabricación del producto y el tiempo de instalación. Para determinar estos parámetros se realizó un análisis de los procesos de fabricación e instalación mediante un diagrama de actividades múltiples. Para realizar la toma de datos de los tiempos de fabricación se usó la técnica de estudio de tiempos con cronómetros, tomando los tiempos elementales directamente en el lugar de trabajo. El estudio se realizó durante la fabricación de prototipos de muro cortina. Durante el proceso se pudieron identificar las actividades, los problemas, condiciones y tiempos asociados a su fabricación; se logró programar la fabricación de 30 muestras, que permitieron la toma de datos necesarios para determinar el tiempo observado de fabricación. Las actividades del proceso de fabricación se dividieron en: corte de aluminio, armado de aluminio, acristalado, armado del sistema.

Posteriormente, según lo indicado en Chase & Aquilano (2002), se obtuvo el tiempo normal que se obtiene al multiplicar el tiempo observado por un estimador de velocidad (clasificación de desempeño). Este estimador lo asigna el investigador, y se determinó al analizar la fabricación de los prototipos. La Figura 1 describe el proceso para obtener el *tiempo normal* de la actividad.

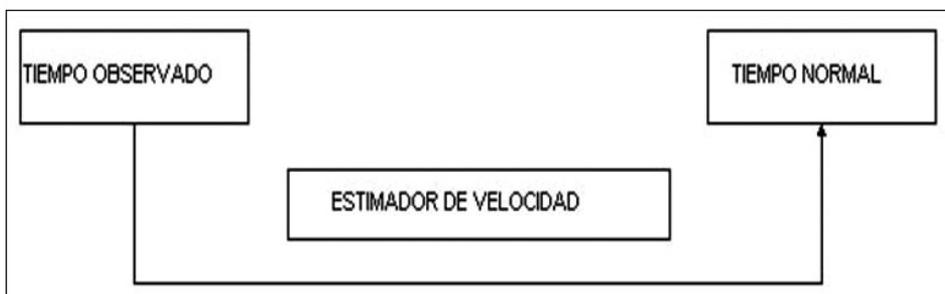


Figura 1: Obtención del *tiempo normal* de la actividad.

De acuerdo al procedimiento descrito en Chase & Aquilano (2002), después de haber determinado el tiempo normal se debe determinar el tiempo estándar. Esto consiste en agregar un factor de suplemento para considerar las muchas interrupciones, demoras y disminuciones en el ritmo de trabajo producido por la fatiga inherente a toda actividad. El factor de suplemento

contiene los suplementos de descensos constantes en el ritmo del trabajo, variable y especial, donde la inclusión de estos se encuentra en directa relación con las actividades estudiadas. Estos factores de suplemento se encuentran estandarizados, según las condiciones de la ejecución de la tarea específica (Niebel & Freivalds, 2001).

Para calcular el tiempo estándar se utiliza el *tiempo normal* y el *factor de suplemento*. La Figura 2 describe el proceso para obtener el tiempo estándar de la actividad. Luego de esto se puede definir el parámetro para el modelo propuesto (tasa de fabricación o tiempo de fabricación).

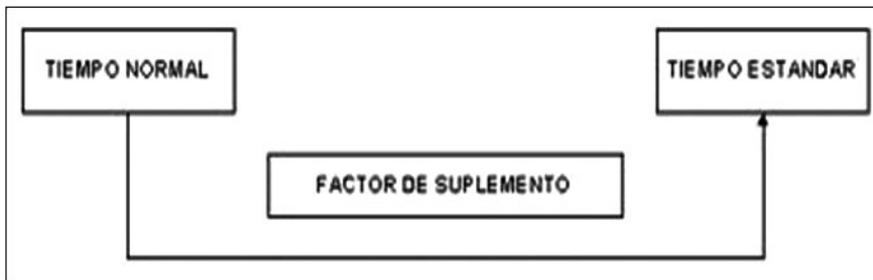


Figura 2: Obtención del *tiempo estándar*

Para determinar el tiempo de instalación (tasa de instalación), se recurrió a un muestreo en terreno, estimando este valor para un proyecto en particular. Sin embargo, es importante destacar que el tiempo de instalación depende mucho de las características del proyecto que se considera.

Parámetros de Costo

La información de costos que se usó en el modelo se obtuvo a través de la administración de la empresa, y algunos costos fueron calculados en función de los recursos utilizados. Para lograr una buena estimación de estos parámetros, es recomendable utilizar algún tipo de costeo basado en actividad, ya que refleja de mejor manera el costo de las operaciones.

Entre los costos necesarios para el funcionamiento del modelo se encuentran:

- Costo de fabricación de un m² de muro cortina
- Costo de instalación de un m² de muro cortina
- Sueldo mensual de cada trabajador
- Costo de contratar un trabajador
- Costo de despedir un trabajador
- Costo de mantener un m² de muro cortina en inventario
- Costo por m² de faltantes

Parámetros de los proyectos

Esta información se obtiene de las características de cada proyecto, planteadas en el llamado a concurso publicado. Entre los datos relevantes para el modelo se encuentran:

- Cantidad de m² de producto demandado
- Plazo para la completación del proyecto
- Cantidad de proyectos

Otros parámetros

- Capacidad de almacenamiento de la empresa
- Cantidad mínima de trabajadores a mantener en la empresa.
- Longitud del horizonte de planificación
- Duración de la jornada laboral

Modelo Matemático

Para el diseño del modelo matemático se considera que la unidad agregada de producción es el m² de Muro Cortina.

Dadas las características del modelo propuesto, es necesario considerar los siguientes parámetros:

- T : Longitud del horizonte de planificación.
 t : Índice de periodos.
 N : Cantidad de proyectos a realizar en el horizonte T .
 n : Índice de proyectos (se considera que término del proyecto j es previo al del proyecto $j+1$).
 D_n : Cantidad de m² de producto demandados por el proyecto n .
 f_n : Plazo de término del proyecto n .
 fab : Tasa de fabricación en m² por hora.
 ins : Tasa de instalación en m² por hora.
 C_t^p : Costo de fabricación de un m² en el periodo t .
 C_t^Q : Costo de instalación de un m² en el periodo t .
 C_t^W : Sueldo del trabajador en el periodo t .
 C_t^H : Costo de contratar un trabajador en el periodo t .
 C_t^L : Costo de despedir un trabajador en el periodo t .
 C_t^I : Costo de mantener un m² de producto en inventario durante el periodo t .
 C_t^B : Costo asociado al atraso en la entrega de un m² de producto durante el periodo t .
 hor : Duración de la jornada laboral en horas.
 inv : Cantidad de m² de producto que se pueden almacenar en la bodega.
 tra : Cantidad mínima de trabajadores que la empresa puede tener.

Las variables de decisión que se consideran en el modelo son:

- P_t : Cantidad de m² de producto que se deben fabricar en el periodo t .
 W_t : Cantidad de trabajadores disponibles durante el periodo t .
 H_t : Cantidad de trabajadores contratados al inicio del periodo t .
 L_t : Cantidad de trabajadores despedidos al inicio del periodo t .
 I_t : Cantidad de m² de producto almacenado al final del periodo t .
 B_t : Cantidad de m² de producto con atraso en la entrega al final del periodo t .
 Q_t : Cantidad de m² de producto comprometido para instalación en el periodo t .
 $HFAB_t$: horas de mano de obra destinadas a la fabricación de producto en el periodo t .
 $HINS_t$: horas de mano de obra destinadas a la instalación de producto en el periodo t .

Con las definiciones anteriores es posible formular el siguiente modelo de programación lineal:

$$\text{Minimizar } \sum_{t=1}^T (C_t^P P_t + C_t^Q Q_t + C_t^W W_t + C_t^H H_t + C_t^L L_t + C_t^I I_t + C_t^B B_t) \quad (1)$$

sujeto a :

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$HFAB_t + HINS_t \leq \text{jor } W_t \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$P_t \leq \text{fab } HFAB_t \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

$$Q_t \leq \text{ins } HINS_t \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (5)$$

$$I_{t-1} + P_t = Q_t + B_{t-1} + I_t - B_t \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (6)$$

$$I_t \leq \text{inv} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (7)$$

$$W_t \geq \text{tra} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (8)$$

$$\sum_{t=1}^{f_n} Q_t \geq \sum_{j=1}^n D_j \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (9)$$

$$P_t, I_t, B_t, Q_t, HINS_t, HFAB_t \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (10)$$

$$W_t, H_t, L_t \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (11)$$

La función objetivo (1) corresponde a la sumatoria de los costos asociados al problema, y considera costos de fabricación, instalación, sueldos, contratos, despido, almacenamiento y faltantes. En (2) se plantea el balance de trabajadores, considerando la contratación y despido de trabajadores. En (3) se restringe la cantidad de horas que la empresa destina a fabricación e instalación según la cantidad de mano de obra disponible. Las restricciones (4) y (5) limitan la cantidad de producto que se puede fabricar e instalar, respectivamente, de acuerdo a la cantidad de horas que se asigna a cada actividad. En (6) se plantea el balance de producto. La restricción (7) limita la cantidad de producto que se puede almacenar en inventario. En (8) se establece que la cantidad mínima de trabajadores se encuentra restringida por la cantidad de personal base. En (9) se establece que la empresa instala la cantidad de producto demandado por cada proyecto dentro de plazo establecido por los proyectos. En (10) y (11) se establece la no-negatividad e integralidad de las variables de decisión.

RESULTADOS

De acuerdo al estudio de tiempos realizado, se determinó que la tasa de fabricación de muro cortina de cada trabajador es de 1,6 m² por hora. También se determinó qué tasa de instalación del producto es de 2 m² por hora. Sin embargo, es necesario realizar un estudio más detallado para la tasa de instalación, ya que la instalación depende de las características del proyecto. Por ejemplo, instalar la fachada de una edificio alto toma más tiempo que en un edificio bajo.

Para verificar el funcionamiento del modelo se consideró un escenario pasado, donde la empresa pronosticaba la participación en tres proyectos en forma simultánea. En la Tabla N°1 se presenta un resumen de las características de cada proyecto. El proyecto 1 requiere 800 m² de producto en un plazo de 1 mes, el proyecto 2 requiere 1500 m² de producto en un plazo de 2 meses, el proyecto 3 requiere 4000 m² de producto en un plazo de 3 meses.

Los resultados entregados por el modelo fueron comparados con la planificación que realizaba el Departamento de producción, Gerente de negocios e Ingeniero de proyectos de la empresa. Dicha planificación se realizaba para cada proyecto por separado y no se consideraba el impacto de un proyecto sobre otro. En la Tabla N°1, se presenta un resumen de la planificación de cada proyecto con la cantidad de personal estimado requerido para cada mes.

El modelo permite considerar todos los proyectos en conjunto, e indica que se requiere menos personal para poder satisfacer las demandas de estos, lo cual implica una reducción de 54,6% en el costo de mano de obra. De acuerdo al modelo, es necesario contar con 14 trabajadores en el mes 1 y 15 trabajadores para el mes 2 y 3. Además, entrega las decisiones que se deben tomar con respecto a la producción e instalación del producto.

Tabla N°1: Información de Proyectos

Proyecto	m ²	Plazos (mes)	Personal estimado por el Dpto de Producción			Personal estimado por el modelo propuesto		
			mes 1	mes 2	mes 3	mes 1	mes 2	mes 3
1	800	1	10			14	15	15
2	1500	2	9	10				
3	4000	3	20	20	20			

CONCLUSIONES

Mediante la implementación del modelo propuesto se logró mejorar el funcionamiento de la empresa en dos aspectos muy importantes, permitiendo una minimización de los costos. El primero de ellos es la mejora en la planificación de la producción y la toma de decisiones, determinando para cada período las cantidades que se debe fabricar e instalar, la cantidad de mano de obra necesaria, y las decisiones de cómo abordar un proyecto. El segundo aspecto es que el modelo le permitió a la empresa diseñar presupuestos más ajustados a la realidad, y con ello la empresa mejoró su participación en las licitaciones y las posibilidades de adjudicarse los proyectos a los cuales concursaba.

REFERENCIAS

Chase, R., Jacobs, F. & Aquilano, N. (2005). Planeación Agregada de Operaciones. En: *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva*. 3ª ed., México: McGraw Hill Interamericana. pp. 572-603.

Chase, R. & Aquilano, N. (2002). Análisis del Proceso. En: *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva*. 3ª ed., México: McGraw Hill Interamericana. pp. 112-169.

Heizer, J. & Render, B. (2001). Planificación Agregada. En: *Dirección de la Producción. Decisiones tácticas*. 6ª ed., Prentice-Hall. Pp. 114-147.

Niebel, B. & Freivalds, A. (2001). Suplementos. En: *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajar*. 10ª ed., Editorial: Alfa-omega. pp. 410-444.

Sipper, D. & Bulfin, R. (1998). Planeación Agregada. En: *Planeación y control de la producción*. 1ª ed. Española, México: McGraw-Hill. pp. 175-217.