



# IJIE

Iberoamerican Journal of Industrial Engineering  
Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial  
Revista Iberoamericana de Ingeniería Industrial

Periódico da área de Engenharia Industrial e áreas correlatas  
Editor responsável: Nelson Casarotto Filho, Prof. Dr.  
Organização responsável: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Processo de avaliação de artigos por pares  
Periodicidade: Semestral  
Florianópolis, SC, Vol. 2, n. 2, p. 90 - 112, Dez. 2010  
Artigo recebido em 30/07/2010 e aceito para publicação em 11/09/2010.  
**ISSN 2175-8018**

---

## MODELO MATEMÁTICO PARA LA PLANIFICACIÓN AGREGADA DE LA PRODUCCIÓN DE IMPSA

## MATHEMATICAL MODEL TO AGGREGATE PLANNING PRODUCTION OF IMPSA

**Orlando Dante Boiteux**

Industrias Metalúrgicas Pescarmona  
Universidad Nacional de Cuyo  
Centro de Estudios y Aplicaciones Logísticas  
(IMPISA/CEAL – UNCuyo),  
E-mail: [orlando.boiteux@impsa.com](mailto:orlando.boiteux@impsa.com)

**Raymundo Forradella**

Centro de Estudios y Aplicaciones Logísticas  
Universidad Nacional de Cuyo  
(CEAL - UNCuyo)  
E-mail: [kike@uncu.edu.ar](mailto:kike@uncu.edu.ar)

**Ricardo Palma**

Centro de Estudios y Aplicaciones Logísticas  
Universidad Nacional de Cuyo  
(CEAL - UNCuyo)  
E-mail: [rpalma@uncu.edu.ar](mailto:rpalma@uncu.edu.ar)

**Hernán Guiñazu**

Industrias Metalúrgicas Pescarmona (IMPISA)  
E-mail: [hernan.guinazu@impsa.com](mailto:hernan.guinazu@impsa.com)

**RESUMEN:** La planificación agregada (PA) se refiere a la determinación de un plan de producción con la posible integración de decisiones de las demás áreas funcionales de una empresa. Cada proceso o recurso de IMPSA se caracteriza por una capacidad de producción y disponibilidades, tamaños de plantilla para alcanzar niveles de rendimiento de producción requeridos, tiempos de trabajo y subcontrataciones de producción. Se ha desarrollado un modelo matemático en Programación Lineal para representar y simular la PA de esta compañía. Para ello se ha tomado como base los trabajos de Boiteux, 2009; Boiteux *et al.* 2009, Corominas *et al.* 2007, entre otros. Este modelo ha sido programado y simulado en el software ILOG-OPLStudio, de forma tal de obtener la planificación con resultados óptimos en función de ciertos criterios.

**Palabras clave:** Planificación agregada. Planificación integral. Planificación de la producción. Programación lineal.

**ABSTRACT:** The aggregate planning (AP) refers to determination of a production plan with the possible integration decisions of the other functional areas a company. Each process or IMPSA resource is characterized by production capacity and availability, size of staff to reach production levels of performance required, times and outsourcing of production. To have developed a mathematical model, linear programming to represent and simulate the AP this company. To this we have relied upon the work of Boiteux 2009, Boiteux *et al.* 2009, Corominas *et al.* 2007, among others. This model has been programmed and simulated in software ILOG-OPLStudio, so planning to get the best results based on certain criteria.

**Keywords:** Aggregate planning. Integral planning. Production planning. Linear programming.

## 1 INTRODUCCIÓN

El concepto de PA aparece por primera vez, hasta donde alcanza nuestra información, en Rathenau (1918), citado en Urwich y Brech (1984), donde dice: “todo el que esté familiarizado con la industria apreciará la enorme ventaja que se obtiene de un análisis de las necesidades, si es posible, para todo el año. Cuando uno conoce, a intervalos regulares, la cantidad y la actualidad de los carriles, hilados, cadenas [...] que serán demandadas, es posible redactar programas de alto alcance para fabricar y distribuir el trabajo, con el resultado de que todas las fábricas trabajen permanentemente a pleno rendimiento, la producción se abarate enormemente, que no sean necesarios por más tiempo los grandes almacenes [...] y que, en general, aumente la eficacia”.

Es decir, se trata de prever con antelación suficiente las necesidades de recursos para poder tomar en el momento oportuno las decisiones adecuadas para tenerlos a su debido tiempo y todo ello con la mayor eficiencia posible.

Posteriormente, el concepto se encuentra incluso en unos de los primeros manuales profesionales (ALFORD, 1945), pero los trabajos que se consideran seminales en cuanto a la formalización de la PA son los de Holt, Modigliani, Muth y Simon (HOLT *et al.*, 1955, 1956, 1960), a partir de los cuales el tema se incluye en los libros de textos en materia de dirección de operaciones (BUFFA, 1968; HAX, 1978) y proliferan artículos que proponen modelos o que describen aplicaciones de la PA. La PA aparece como el instrumento principal del proceso que se ha dado en denominar S&OP (*Sales and Operations Planning*), cuyo concepto se remonta al menos a Ling y Goddard (1988) y que recientemente se ha puesto de actualidad por la promoción de que ha sido objeto por parte de alguna consultora y de APICS (*American Production and Inventory Control Society*).

Habitualmente el proceso de planificación de actividades se lleva a cabo de una forma jerárquica: en el nivel de planificación estratégica se adoptan, entre otras, las decisiones de inversión relativas a la capacidad productiva; el nivel siguiente, la planificación agregada, corresponde al medio plazo (un año, por ejemplo) dividido en períodos (meses o tal vez semanas) y en que se trabaja con agregados de productos y de recursos. La planificación estratégica corresponde a la dirección general y la PA y los niveles que se sitúan por debajo de la misma se inscriben en el área de producción, la cual recibe, procedente del área comercial, una previsión de demanda a la que intenta ajustar la producción con el menor coste posible, considerando como variable, generalmente, la dimensión de la plantilla, las horas extras y los niveles de producción y de inventarios en cada período; el resultado afecta al área de personal y a la de tesorería y finanzas.

Esta forma de implantar la PA es coherente con el título del libro de Holt, Modigliani, Muth y Simon (Holt *et al.*, 1960), que se refiere a la planificación de la producción, los inventarios y la plantilla, y ha configurado la visión predominante de la planificación agregada, denominada incluso “planificación agregada de la producción” en muchos libros de texto, con un enfoque, por consiguiente, de alcance limitado a esta área funcional. Por ejemplo, en un libro de amplia difusión (HEIZER; RENDER, 2001) se define la PA como “un método para determinar la cantidad de producción y su desarrollo en el tiempo a medio plazo.

Pese a esta vinculación preferente con el área de producción, el proceso de elaboración de la planificación agregada obliga a poner en contacto a responsables de las áreas de aprovisionamiento, comercial, producción, personal, tesorería y finanzas y a armonizar las decisiones correspondientes a las mismas. De hecho, Singhal y Singhal (2006) indican que la PA puede cumplir una función de coordinación de las decisiones tácticas correspondientes a las diversas áreas funcionales de la empresa.

Pero por lo dicho, la PA sólo cumple esta función de forma limitada, ya que las decisiones correspondientes a las diversas áreas funcionales no se determinan simultáneamente, sino que se parte de la previsión de demanda para tomar las decisiones sobre producción y tiempo de trabajo que finalmente repercuten en aprovisionamiento, en personal y en finanzas.

La preocupación por integrar en la PA áreas distintas de la producción no es nueva. Charnes *et al.* (1959) mencionan una posible integración de la planificación de la producción y de las finanzas. Damon y Scharmm (1972) extienden el modelo de Holt, Modigliani, Muth y Simon incorporando variables que representan al área comercial y a la gestión financiera, para integrar las decisiones de producción y de finanzas. Chien y Cunningham (2000) proponen un procedimiento basado en hojas de cálculo para integrar decisiones de diversas áreas funcionales de la empresa. Pero todas estas propuestas han tenido poca repercusión.

Las limitaciones en el enfoque de la PA pueden explicarse por la escasa eficacia de los medios de cálculo disponibles en la época en que se estableció el concepto de la misma. La integración en un solo proceso de las decisiones correspondientes a todas las áreas funcionales de la empresa quedaba claramente fuera y muy lejos del alcance de dichos medios. Así se explica también, en parte, la jerarquización rígida del proceso de planificación y la agregación muy acusada de productos, recursos e intervalos temporales.

Pero enormes progresos que han tenido lugar en los medios de cálculo (algoritmos, hardware y software) permiten ahora la resolución eficiente de modelos que integren las decisiones de áreas, con una agregación mucho menor que la tradicional (por ejemplo:

períodos de semanas, y no de meses) e incluso incorporando algunas decisiones que se suelen considerar propias de otros niveles en la jerarquía de planes.

Por otra parte, los modelos que se han ido transmitiendo desde hace décadas en los libros de texto responden a supuestos específicos que muchas veces no reflejan modalidades de gestión que actualmente son habituales. Por ejemplo, la consideración de las horas extras como única posibilidad de disponer de tiempo de trabajo de forma flexible, sin tener en cuenta modalidades como la anualización de jornada o las bolsas o cuentas de horas.

## **2 FIGURAS, TABLAS Y ECUACIONES. INSTRUMENTOS PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES AGREGADOS**

Los instrumentos para la elaboración de planes agregados pueden clasificarse en tres grupos, a saber, gráficos y hojas de cálculo para comparar alternativas; reglas de decisión y programación matemática.

- Gráficos y hojas de cálculo pueden utilizarse para generar planes alternativos y seleccionar uno en función de uno o más criterios. Alford (1945) presenta ya un método gráfico para planificar la producción a nivel agregado; los libros de texto suelen incluir presentaciones análogas.
- Los métodos con reglas de decisión proporcionan un plan agregado a partir de los datos (pronósticos de demanda, costes, stock actuales, etc.), mediante un conjunto de expresiones matemáticas. Holt *et al.* (1955) formalizan la PA mediante el método de la regla de decisión lineal (LDR), el cual se basa en el desarrollo de una función cuadrática de los costes, de la cual se obtienen, derivando e igualando a cero para minimizar el coste total, dos reglas de decisión lineales para calcular el nivel de producción y el tamaño de la plantilla del siguiente período, usando pronósticos agregados de ventas. El procedimiento proporciona resultados óptimos para funciones de costes cuadráticas y sin presencia de restricciones, supuestos que pueden estar alejados de la realidad en muchos casos. El modelo de Holt, Modigliani, Muth y Simon (HMMS) dio lugar a extensiones, como el modelo LDR y la capacidad de la planta (SYPKENS, 1967), el método SDR o de la regla de decisión por búsqueda (TAUBERT, 1968) o el método LDR con múltiples productos y ciclos largos de producción (CHANG; JONES, 1970). Por otra parte, en Bowman (1963) se propone el denominado modelo de los coeficientes de la dirección.
- El primer modelo de programación matemática para PA es el de Bowman (1956), en el que se asimila la PA a un problema de transporte. Hanssmann y Hess (1960) construyen

un modelo de programación lineal para la planificación agregada que es equivalente al modelo LDR en su estructura general. Para la PA se han propuesto numerosos modelos de programación matemática: de programación lineal (PL), de programación lineal entera mixta (PLEM) y de programación no lineal (PNL).

En el estado del arte desarrollado en Boiteux *et al.* (2007) se indica que después de la década de los 70s no se han publicado enfoques esencialmente nuevos para la PA, pero han tenido lugar progresos muy importantes en las técnicas de programación matemática, gracias a los cuales es posible actualmente resolver de forma eficiente modelos que hace unas décadas se consideraban inabordables.

### **3 COMPAÑÍA MULTINACIONAL IMPSA *HYDRO***

IMPSA Hydro es una compañía multinacional con sede matriz en Argentina. Esta empresa trabaja en proyectos hidroeléctricos a nivel nacional e internacional, desarrollando la ingeniería, fabricación y montaje de los turbo grupos para la generación de energía eléctrica.

Esta empresa, por la naturaleza del producto que desarrolla y los procesos necesarios para este, trabaja según la filosofía de producción orientada a procesos, debido a que gestiona proyectos desde su etapa inicial. El proyecto pasa por distintas fases, entre ellas están; las licitaciones a cargo del área comercial, una vez ganada la licitación se procede al diseño del turbo grupo a cargo de ingeniería, debiendo cumplir con los requerimientos indicados por el cliente en la licitación, la tercera fase es la fabricación de cada una de las partes o piezas que conforman al turbo grupo, a estas partes se las denomina “Grupos de Fabricación” (GF), posterior al traslado de estas piezas ya fabricadas hasta el lugar donde se construye la usina, es decir la obra, finalmente se lleva a cabo una cuarta fase que es el montaje de cada GF.

Como se indicó anteriormente IMPSA *Hydro* posee una filosofía de fabricación orientada a procesos debido a la naturaleza de su producto, ya que cada proyecto se caracteriza por ser distinto de otros. Por esta razón no existen turbo grupos similares al de otros proyectos u obras, sin embargo existen algunas similitudes en cuanto a tamaños, peso y otras características de los GF para conformar cada turbo grupo, que son referencias para estimar los materiales necesarios y el tiempo que demandará en desarrollar el proyecto. Esto lleva a una compleja etapa de diseños, planificación y elaboración de cada proyecto, tratando de aprovechar las experiencias en proyectos anteriores ya finalizados.

En IMPSA *Hydro* hay un área denominada Planificación, quienes tienen una función fundamental desde que ingresa una licitación a ser estudiada para observar las disponibilidades de los distintos recursos (maquinaria, mano de obra, subcontratistas, entre otros) en el

horizonte temporal que durará el proyecto. Al ganar la licitación, el área de Planificación debe diseñar el cronograma que representa el desarrollo del proyecto en el tiempo, con todas las fechas de cumplimiento establecidas en el contrato. Otra de las funciones destacadas de Planificación es el seguimiento y control del cumplimiento de cada una de las etapas que conforman el proyecto en general, teniendo en cuenta las distintas áreas por donde se desarrolla el proyecto hasta alcanzar el cumplimiento final.

Uno de los sectores críticos en la cadena de suministro de *IMPSA Hydro* para el desarrollo del proyecto es el sector Industrial, donde se deben fabricar los distintos GF que conforman el turbo grupo, siguiendo el diseño propuesto por el área de Ingeniería. La fábrica tiene una capacidad instalada fija y limitada, en cuanto a maquinaria y a mano de obra disponible. Gran parte del personal de fabrica y la maquinaria requerida para el desarrollo de los procesos de fabricación de *IMPSA Hydro* es muy especializado por el tipo de producto que se elabora, la precisión y el poco margen de error permitido en la piezas, y los controles de calidad requeridos, estos requieren procesos muy especiales que al momento de plantear una subcontratación de la producción se debe analizar muy bien al subcontratista para determinar la idoneidad de estos y la posibilidad de que puedan cumplir con la calidad necesaria para este tipo de producto.

El proceso de fabricación consta de cuatro etapas de fabricación básicas, es decir cuatro sectores bien diferenciados por los cuales se desarrollará cada uno de los GF, según el orden en que se desarrollan los procesos estos sectores son; Trazado y Corte, Calderería, Mecanizados y el último es Ajuste. En Trazado y Corte ingresan las planchas de acero (globales de chapa) para realizar los cortes de las distintas posiciones o partes de cada GF que luego serán ensambladas, en este sector se trabaja con maquinaria de corte por control numérico de alta precisión. Posteriormente sigue el sector de Calderería donde se realiza el ensamblado y soldadura de las distintas posiciones para construir el GF, además se realizan amolados, terminaciones de pulidos y controles de calidad mediante procesos muy específicos. En tercer lugar en la cadena de procesos está el mecanizado de las grandes piezas o GF, en este sector se encuentran tornos y alezadoras de grandes dimensiones, especiales para piezas de hasta 20 metros de diámetro y 400 toneladas, por lo que se puede observar la maquinaria especializada utilizada por *IMPSA Hydro*. En el último sector, Ajuste, se realizan los ensambles de piezas móviles, buhonería, y ensayos de las piezas finalizadas para la aprobación final del departamento de Calidad, y de esta manera poder ser despachados hacia la obra para su posterior montaje.

Cada GF a fabricar en IMPSA *Hydro* tienen relacionado, dependiendo de la potencia que generará el turbo grupo, tamaños y pesos aproximados. Debido a esto, cuando se planifica la producción de estas piezas, se determinan los rendimientos de fabricación en cada sector y el de los procesos en máquinas y trabajos manuales, en función del peso del GF. La relación entre el rendimiento y el peso de las piezas es por el tiempo necesario para cortar las chapas de acero, luego hacer el montaje y la cantidad de soldadura necesaria para lograr las estructuras de los GF, el tiempo necesario para realizar los pulidos, la cantidad de materiales que debe extraerse con los tornos en mecanizado, y los tiempos demorados en el movimiento de un sector a otro de estas enormes piezas. Cada sector tiene estimado un rendimiento dado por el peso de las piezas que debe fabricar.

En IMPSA *Hydro* tienen un gran problema al momento de planificar su producción debido a la limitada disponibilidad de recursos de fabricación en el momento en que se superponen más de dos proyectos que compiten por los mismos recursos de Fábrica, y no disponen de una metodología para optimizar la toma de decisiones en cuanto a la subcontratación de piezas a fabricar. Al momento de subcontratar (tercerizar) procesos no realizan un análisis de idoneidad y disponibilidad de los terceros, por lo que en la planificación que ellos desarrollan no contemplan cual de los terceros están disponibles, cual es el más idóneo en el proceso que es necesario subcontratar, y tampoco analizan una optimización en los costos que tendrán cada uno de los terceros. Este problema les genera grandes pérdidas de tiempo y costos, reubicación de piezas a subcontratar a último momento, reparaciones de trabajos realizados por los terceros debido a que no cumplían con la calidad necesaria, entre otros grandes problemas.

Ante el conocimiento de este problema se propuso desarrollar un modelo matemático para la planificación agregada de la producción y abastecimiento de la empresa IMPSA *Hydro* con el objeto de optimizar el cronograma de planificación en la fabricación de los GF de cada proyecto. Este trabajo ha surgido como una aplicación específica del modelo matemático propuesto en Boiteux *et al.* (2008) y en la tesis doctoral de Boiteux (2009). A continuación se propone el modelo matemático desarrollado específicamente según las características de la compañía IMPSA *Hydro*, según el caso industrial propuesto por Corominas *et al.* (2008).

#### **4 MODELO DE PLANIFICACIÓN AGREGADA DE LA PRODUCCIÓN Y APROVISIONAMIENTO PARA IMPSA**

La planificación agregada o táctica, se refiere a la determinación de un plan de producción, con la posible integración de las decisiones de otras áreas funcionales de la



empresa, agregando en mayor o menor grado a los productos en familias de productos, los materiales en familias y los recursos o procesos en familias o conjuntos. Cada procesos o recurso (máquinas y equipos de trabajadores en procesos manuales) se caracteriza por una capacidad de producción y disponibilidad, un tamaño de plantilla involucrado para alcanzar ciertos niveles de rendimiento de producción, tiempos de trabajo regular y extras.

Para este modelo se propone trabajar con niveles de demanda conocidos (determinista), debido a que para realizar una oferta se conocen las características que tendrá el proyecto y en consecuencia las dimensiones de los turbo grupos que constituyen cada proyecto hidroeléctrico. La demanda se compone por el peso de los GF (kilogramos de material) que deben ser fabricados pasando por cada uno de los sectores indicados en ítem anterior, teniendo en cuenta, según la hojas de proceso diseñadas por el sector de Ingeniería de Fabricación, el flujo del proceso que deben seguir estos materiales para alcanzar la pieza final disponible para se trasladada posteriormente a la obra (pasando o no por todos los recursos), y el tiempo tabulado de duración de cada proceso en función de la disponibilidad de la capacidad de producción en cada recurso, dependiendo de los proyectos en desarrollo iniciados anteriormente que puedan competir por el mismo recurso.

Ingeniería de Fabricación desarrolla las hojas de procesos con los rendimientos de fabricación de cada GF en cada unos de los recursos de los sectores, desde estos rendimientos se determinan el peso y el tiempo que les demandará fabricar cada pieza en cada recurso.

Otros datos son obtenidos desde el área de Aprovisionamiento y también desde el área de Planeamiento y Control de Gestión, como pueden observarse en la nomenclatura de los datos.

Con este modelo se propone optimizar los costes de fabricación de los GF de cada proyecto, conociendo el tiempo de trabajo necesario y la tercerización de trabajos debido a la carga de trabajo que hay en fábrica. Además con este trabajo se logra organizar y tabular los datos desde un historial de trabajo que poseerá el área de Planificación.

Esta planificación agregada, dada para un horizonte temporal conocido que puede ser entre 2 a 4 años, deberá ser re-planificada periódicamente, es decir revisionada entre 3 a 6 meses, en función de ciertas variaciones que puedan ocurrir en el desarrollo del proyecto debido a demoras en la obra civil que puede retrasar las fechas de fabricación de los GF o postergaciones dadas por el cliente, manteniendo algunos valores fijos debido a que no conviene modificarlos ya que son resultados obtenidos por el plan ya cumplido desde que se inició la fabricación planificada.

A continuación se presenta el modelo matemático.

Conjunto de índices:

$T$ ; Conjunto de periodos que conforman el horizonte temporal en que se desarrollará el proyecto.

$P$ ; Conjunto de familias de productos o grupos a fabricar (GF).

$M$ ; Conjunto de familias de materiales necesarios para fabricar cada familia de producto o GF.

$R$ ; Conjunto de recursos o procesos que se tendrán en cuenta en el proyecto para fabricar todas las familias de productos o GF.

*Tercero*; Conjunto de terceros a los cuales se les puede tercerizar trabajos, estos pueden ser nacionales o internacionales.

Datos:

$\delta_{ri}$ ; Unidades de kilogramos por hora del producto  $i$  que se produce en el recurso  $r$  ( $\forall r \in R; \forall i \in P$ ). Este indica la relación de kilogramos por hora que se puede fabricar del producto  $i$  en el recurso  $r$ , con ello se podrá tabular los rendimientos de producción en cada recurso, teniendo en cuenta los datos de métodos y de historiales. También en estos datos pueden tenerse en cuenta posibles retrasos promedio ocurridos en proyectos anteriores, o niveles de incertidumbre. Este dato se obtiene desde el área de Ingeniería de Fabricación en la hoja de procesos.

$\Delta_{rit}$ ; Datos binarios que indican si se demanda o no un producto  $i$  en el recurso  $r$  en el periodo  $t$ . Es uno si se demanda (es decir si se debe producir al menos un kilogramos del producto  $i$  en el recurso  $r$  en el periodo  $t$ ) y cero lo contrario. ( $\forall r \in R; \forall i \in P; t \in T$ ). Este dato se determina analizando la hoja de proceso donde figuran los recursos por donde deberá pasar el producto o pieza a fabricar.

$\mathfrak{R}_{rt}$ ; Disponibilidad en porcentaje de la capacidad de producción en el proceso  $r$  en el periodo  $t$ , en función de los proyectos en desarrollo ( $\forall r \in R; \forall t \in T$ ). Esto es debido a los recursos finitos disponibles en fábrica, por las cargas de trabajo debidas a proyectos ya existentes. Este dato lo entrega Fábrica en la carga futura de recursos que debe entregar a la dirección cada mes.

$\delta_{\tau i}^{tercero}$ ; Unidades de kilogramos por hora del producto  $i$  que se produce en el proceso  $r$  de un tercero  $\tau$ . ( $\forall \tau \in Terceros; \forall r \in R; \forall i \in P$ ). Este dato lo entrega Ingeniería de fabricación.

- $\delta_{im}^{Mp}$ ; Cantidad de kilogramos de material  $m$  necesario para fabricar el producto  $i$ , ( $\forall i \in P; \forall m \in M$ ). Dato entregado por el área de Ingeniería en el diseño del turbo grupo.
- $q_{rt}^h$ ; Cantidad de horas regulares (contractuales) que la plantilla del recurso  $r$  hacen en el periodo  $t$ . ( $\forall r \in R; \forall t \in T$ ). Dato entregado por el área de Recursos Humanos de la compañía.
- $k_{rit}^{Pp}$ ; Cantidad de kilogramos a producir del producto  $i$  en el recurso o proceso  $r$  en el periodo  $t$ . ( $\forall r \in R; \forall i \in P; \forall t \in T$ ). Es una matriz de tres dimensiones en la que se deben colocar las cargas de trabajo necesario en cada recurso para cumplir con la fabricación de cada grupo que esta contemplado hacer en el proyecto. Dato que se debe obtener desde el área de Planificación.
- $Q^{he}$ ; Limite superior de horas extras que puede hacer un trabajador en un periodo. Dato entregado por Recursos Humanos.
- $c_{rit}^{Pp}$ ; Precio (o certificación) de un kilogramo del producto  $i$  que se procesa en el recurso  $r$  en el periodo  $t$ . ( $\forall r \in R; \forall i \in P; \forall t \in T$ ). Dato entregado por el área de Planeamiento y control de gestión.
- $c_{mt}^{Mr}$ ; Coste de comprar un kilogramo del material  $m$  en el periodo  $t$ . ( $\forall m \in M; \forall t \in T$ ). Dato entregado por el área de Aprovisionamientos.
- $c_{\tau t}^{htercero}$ ; Coste de contratar una hora del tercero  $\tau$  para hacer trabajos en el recurso  $r$  en el periodo  $t$ . ( $\forall \tau \in Terceros; \forall r \in R; \forall t \in T$ ). Dato entregado por el área de Planeamiento y control de gestión.
- $c_{\tau t}^{trans tercerc}$ ; Coste de transportar un kilogramo de producto a fabricar en el recurso  $r$  en el periodo  $t$  que se producirá en el tercero  $\tau$ . ( $\forall \tau \in Terceros; \forall r \in R; \forall t \in T$ ). Dato entregado por el área de Planeamiento y control de gestión.
- $c_{rt}^W$ ; Salario medio de un trabajador del recurso  $r$  en el periodo  $t$ . ( $\forall r \in R; \forall t \in T$ ). Dato entregado por el área de Planeamiento y control de gestión.
- $c_{rt}^{he}$ ; Coste medio de una hora extra de un trabajador del recurso  $r$  en el periodo  $t$ . ( $\forall r \in R; \forall t \in T$ ). Dato entregado por el área de Planeamiento y control de gestión.
- $O_{rt}^I$ ; Pagos de infraestructura en el recurso  $r$  en el periodo  $t$ . ( $\forall r \in R; \forall t \in T$ ). Dato entregado por el área de Planeamiento y control de gestión.

$c_{mt}^{Ms}$ ; Coste de mantener en stock un kilogramo de material  $m$  en el periodo  $t$ . ( $\forall m \in M; \forall t \in T$ ). Dato entregado por el área de Planeamiento y control de gestión.

$c_{rit}^S$ ; Costes de consumibles de fabricación para elaborar el producto  $i$  en el recurso  $r$  en el periodo  $t$ . ( $\forall r \in R; \forall i \in P; \forall t \in T$ ). Dato entregado por el área de Planeamiento y control de gestión.

$r^{IVA}$ ; Tipo impositivo utilizado en Argentina.

#### Variables:

$q_{rt}^{he}$ ; Cantidad de horas extras que deben realizar los trabajadores involucrados en el recurso  $r$  en el periodo  $t$ . ( $\forall r \in R; \forall t \in T$ )

$q_{\tau r t}^{htercero}$ ; Cantidad de horas contratadas al tercero  $\tau$  para trabajos en el recurso  $r$  en el periodo  $t$ . ( $\forall \tau \in Terceros; \forall r \in R; \forall t \in T$ )

$k_{mt}^{Ms}$ ; Cantidad de kilogramos de material  $m$  que se colocan en stock y están disponibles en el periodo  $t$ . ( $\forall m \in M; \forall t \in T$ )

$k_{mt}^{Mr}$ ; Cantidad de kilogramos de material  $m$  que se debe comprar para tenerlo disponible en el periodo  $t$ . ( $\forall m \in M; \forall t \in T$ )

$B^{IS}$ ; Beneficio obtenido al final del horizonte.

#### Función objetivo:

$$\max B^{IS} \quad (1)$$

Esta es la función objetivo, en que se propone maximizar el beneficio alcanzado al finalizar el proyecto.

#### Restricciones:

$$k_{rit}^{Pp} \leq (\delta_{ri} \cdot \Delta_{rit} \cdot \mathfrak{R}_{ri} \cdot (q_{rit}^{ht})) + \sum_{\tau \in Terceros} (\delta_{\tau ri}^{tercero} \cdot \Delta_{rit} \cdot q_{\tau rit}^{htercero}); \forall i \in P; \forall r \in R; \forall t \in T \quad (2)$$

$$q_{rt}^{he} = \sum_{i \in P} (q_{rit}^{ht}) - q_{ri}^h; \quad \forall r \in R; \forall t \in T \quad (3)$$

$$q_{\tau r t}^{htercero} = \sum_{i \in P} (q_{\tau rit}^{htercero});$$

$$\forall \tau \in Terceros; \forall r \in R; \forall t \in T \quad (4)$$

En los conjuntos de restricciones (2) a (4), en función de los niveles de producción demandados y de la disponibilidad de la capacidad de producción, se determina la cantidad de tiempo extra de trabajo que deberán realizar los trabajadores de la plantilla de fabrica en cada

recurso por periodo y la cantidad de horas de producción que deben derivarse a terceros de tareas del recurso  $r$  en el periodo  $t$ .

$$k_{mt}^{Mr} + k_{m,t-1}^{Ms} = \sum_{i \in P} (\delta_{im}^{Mp} \cdot k_{rit}^{Pp}) + k_{mt}^{Ms}; \quad \forall r \in R; \forall m \in M; \forall t \in T \quad (5)$$

En el quinto conjunto de restricciones se determinan las necesidades de materiales para fabricar los niveles de producción demandados, en función de las proporciones necesarias de los distintos materiales para cada uno de los distintos productos. Además en este conjunto de restricciones se tienen en cuenta los niveles de stock de materiales de los periodos anteriores, y se proponen niveles de stock para el siguiente periodo.

$$q_{rt}^{he} \leq Q^{he}; \quad \forall r \in R; \forall t \in T \quad (6)$$

En el sexto conjunto de restricciones se limita la cantidad de horas extras que los trabajadores de cada recurso pueden hacer por periodo.

$$\begin{aligned} B^S = & \sum_{r \in R} \sum_{i \in P} \sum_{t \in T} (c_{rit}^{Pp} \cdot k_{rit}^{Pp}) \cdot (1 - r^{IVA}) - \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} (c_{mt}^{Mr} \cdot k_{mt}^{Mr}) \cdot (1 - r^{IVA}) - \\ & \sum_{\tau \in \text{Terceros}} \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} (c_{\tau rt}^{htercero} \cdot q_{\tau rt}^{htercero}) - \\ & \sum_{\tau \in \text{Terceros}} \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} \left( c_{\tau rt}^{transtercero} \cdot \left( \sum_{i \in P} \delta_{\tau ri}^{tercero} \cdot \Delta_{rit} \right) \cdot q_{\tau rt}^{htercero} \right) - \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} (c_{rt}^W \cdot W_{rt}) - \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} (c_{rt}^{he} \cdot q_{rt}^{he}) - \\ & \sum_{r \in R} \sum_{t \in T} O_{rt}^I \cdot (1 - r^{IVA}) - \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} (c_{mt}^{Ms} \cdot k_{mt}^{Ms}) - \\ & \sum_{r \in R} \sum_{i \in P} \sum_{t \in T} (c_{rit}^S \cdot q_{rit}^{Pp}) \cdot (1 - r^{IVA}) - \text{Amortizaciones} \end{aligned} \quad (7)$$

En el conjunto de restricciones (7), se determina el beneficio final del proyecto, en el cual se tienen en cuenta como ingresos las certificaciones y como gastos la suma de los costes de los materiales adquiridos de los proveedores; los costes de las horas contratadas a terceros; los costes de transportes al tercerizar producción; los costes de los salarios de la plantilla; los costes de las horas extras realizadas por la plantilla; los costes de infraestructura conocidos por recurso y por periodo; los costes de mantener stock de materiales en cada periodo; los costes de consumibles de fabricación necesarios para fabricar una unidad de cada producto en cada recurso y periodo. Se tiene en cuenta el impuesto al valor agregado (IVA) en los ingresos y gastos que correspondan.

$$I_t^C = \sum_{r \in R} \sum_{i \in P} (c_{rit}^{Pp} \cdot k_{rit}^{Pp}); \quad \forall t \in T \quad (8)$$

El conjunto de restricciones (80), representa los cobros que se deben realizar por periodo dependiendo si se certifica o no la producción terminada.

$$\begin{aligned}
o_i^C = & \sum_{m \in M} (c_{mt}^{Mr} \cdot k_{mt}^{Mr}) + \sum_{\tau \in \text{Terceros}} \sum_{r \in R} (c_{\tau rt}^{\text{htercero}} \cdot q_{\tau rt}^{\text{htercero}}) + \\
& \sum_{\tau \in \text{Terceros}} \sum_{r \in R} \left( c_{\tau rt}^{\text{transtercero}} \cdot \left( \sum_{i \in P} \delta_{\tau ri}^{\text{tercero}} \cdot \Delta_{rit} \right) \cdot q_{\tau rt}^{\text{htercero}} \right) + \\
& \sum_{r \in R} (c_{rt}^W \cdot W_{rt}) + \sum_{r \in R} (c_{rt}^{he} \cdot q_{rt}^{he}) + \sum_{r \in R} O_{rt}^I + \sum_{m \in M} (c_{mt}^{Ms} \cdot k_{mt}^{Ms}) + \sum_{r \in R} \sum_{i \in P} (c_{rit}^S \cdot q_{rit}^{Pp}); \quad \forall t \in T \quad (9)
\end{aligned}$$

Con el conjunto de restricciones [9], se determinan los pagos debidos por periodo. Estos son por la compra de materiales, por las horas contratadas a terceros y el transporte de los kilos que se deben producir en terceros, los pagos del personal y las horas extras, pagos de infraestructura, costes de stock y pagos de los consumibles de fabricación necesarios.

## 5 METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL PLAN AGREGADO

En la carga de datos para la ejecución del modelo matemático es necesario, en función de la horas estimadas de fabricación de cada GF en cada recurso, determinar el rendimiento de fabricación dado por la relación kilogramos/hora, como se explico en el ítem 3, cuyos datos son proporcionados por Ingeniería de fabricación en las Hojas de procesos. Este rendimiento es particular para cada GF en cada recurso, cuyos valores pueden están tabulados por Ingeniería de fabricación. La estimación de los rendimientos son extraídos desde históricos, datos que son guardados y gestionados por el área de Planificación, es decir por la experiencia de fabricación de los GF con similares características que se hayan elaborado por proyectos anteriormente.

Se determinan las necesidades de cada uno de los materiales involucrado en la fabricación de los GF, indicados por el área de Ingeniería en el diseño del turbo grupo, y también es necesario determinar los consumibles (suministros extras de fabricación) por cada recurso para cada grupo de fabricación, datos proporcionados por Fábrica. Estos datos son recogidos por el área de Planificación, quienes los guardan y gestionan para ser cargado en el modelo matemático.

Para determinar los costes totales de fabricación son necesarios los costes de materiales desde los proveedores, entregados a planificación por el área de Aprovisionamientos. Ante la necesidad de tercerizar trabajos, se deben conocer los costes de terceros y la disponibilidad de estos, además se debe tener en cuenta el coste de transportar dichos productos desde la fabrica

a los terceros y viceversa. La informa sobre la disponibilidad de los terceros potenciales a subcontratar procesos es gestionada por una oficina perteneciente a la Dirección Industrial, denominada Subcontratos, quienes les entregan esa información actualizada mensualmente al área de Planificación para considerarla en los datos a introducir en el modelo, y para re-planificar según se explico en el ítem anterior. Todos los datos de costes y salarios son gestionados por el área de Planeamiento y control de gestión, quienes le entregan esa información al área de Planificación para el modelo matemático.

Desde el área de RRHH son proporcionados los datos de las horas regulares permitidas para trabajar, según los contratos a los trabajadores, y las cantidad de horas extras que pueden hacer los trabajadores por periodo de tiempo. También le proporcionan la información, al área de Planificación, de los tamaños de personal disponibles en cada sector que conforma la fábrica, según ítem 3.

Toda esta información es guardada, actualizada y gestionada por el área de Planificación. Dicha información estará contenida en una base de datos, desde donde el modelo subirá automáticamente los datos de entrada necesarios, observados en el ítem anterior, en el momento de ser ejecutado por el planificador.

Una vez ejecutado el modelo matemático propuesto en el ítem anterior, los resultados óptimos obtenidos por el modelo matemático, son extraídos y volcados automáticamente en una nueva base de datos que gestionará el área de Planificación, determinando el plan de fabricación para cada uno de los sectores pertenecientes a fabrica y las necesidades de los materiales para desarrollar la elaboración de cada uno de los GF en el tiempo indicado.

La necesidad de los materiales es tomada por el área de Aprovisionamiento para iniciar con anticipación las gestiones de compras de dichos materiales, con el objetivo de cumplir las fechas de necesidades de fábrica. Fábrica toma la planificación para anticiparse a las fechas necesarias de producción observando si realmente dispone de los recursos y materiales necesarios para cumplir con la planificación. La oficina de Subcontratos inicia las gestiones de subcontratar a los terceros indicados por el plan entregado por el modelo matemático, para las fechas necesarias, con el objetivo de asegurar la capacidad disponible contemplada por el modelo matemático. El área Financiera y Tesorería recibe la planificación con la idea de observar las fechas de pagos necesarios y las fechas de cobro, para gestionar el *cash flow* de la empresa de manera anticipada.

El área de Planificación será la encargada de velar por el cumplimiento del plan por parte de cada una de las áreas involucradas en el desarrollo de la fabricación de los GF, desde

que ingresan las hojas de procesos desde Ingeniería de fabricación a la Fábrica, hasta que estas piezas han superado las pruebas de Calidad y son despachados a la obra para su montaje.

## 6 EXPERIMENTO COMPUTACIONAL Y RESULTADOS

Por pedido de la compañía IMPSA en este artículo no se muestran todos los valores que constituyen esta planificación, pero si se ha permitido mostrar algunos de ellos, por lo cual estos resultados se pueden considerar representativos de los resultados obtenidos para la planificación agregada que se está desarrollando en el día de hoy, y como se mencionó anteriormente el área de Planificación es la encargada de hacerle el seguimiento, control y actualización de dicho plan.

Con la información disponible desde fabrica y planificación se ha determinado la matriz de rendimientos de fabricación de cada GF en cada sector. La matriz de demanda de producción de los grupos a fabricar en cada proyecto, se ha elaborado desde la información que se provee desde las áreas de Ingeniería e Ingeniería de fabricación, quienes indican la cantidad de kilogramos de cada GF que se debe fabricar y el tiempo requerido para su elaboración.

Se muestran sólo 7 grupos de fabricación denominados; *armado del rodete*; *alabes del rodete*; *cubo del rodete*; *ojiva*; *mecanismos internos*; *conexión rodete-eje*; y *el eje de turbina*. Los datos mostrados pertenecen al proyecto de Tocomá, cuya obra se encuentra en Venezuela. Tocomá es una obra que está constituida por diez turbo, e IMPSA *Hydro* debe fabricar los diez turbo grupos completos, y por contrato la entrega de cada máquina se debe hacer con un decalaje de 3 meses. Además en el ejemplo se ha propuesto un horizonte temporal para la fabricación de estos grupos de 48 meses.

Para determinar el plan agregado con el modelo matemático, se utiliza el software de optimización ILOG-OPLStudio que trabaja con librerías de ILOG-CPLEX, para ejecutar y observar el funcionamiento del modelo y poder analizar la coherencia de los resultados proporcionados por el plan óptimo obtenido desde el modelo matemático desarrollado. A continuación se muestran por un lado los niveles de kilogramos, correspondientes a los GF, demandados por el proyecto en cada uno de los recursos críticos de fábrica, siendo estos la entrada al modelo, y por otro lado se aprecian las salidas óptimas, entregadas por el modelo matemático, indicando la cantidad de horas extras que se deben hacer en cada uno de los recursos para cumplir con las horas demandadas.



En el caso de no poder cumplir con estos niveles demandados, se deberá tercerizar horas de trabajo, que también se pueden observar en las graficas conseguidas por las salidas del modelo matemático.

En la Figura 1, se aprecian los kilogramos de materiales de los 7 GF, que deben ser cortados en el recurso de Trazado y Corte. Con la capacidad disponible en este recurso se puede cumplir con lo demandado sin necesidad de recurrir a tiempo de trabajo extra y tampoco a subcontratar empresas terceras para realizar este proceso.

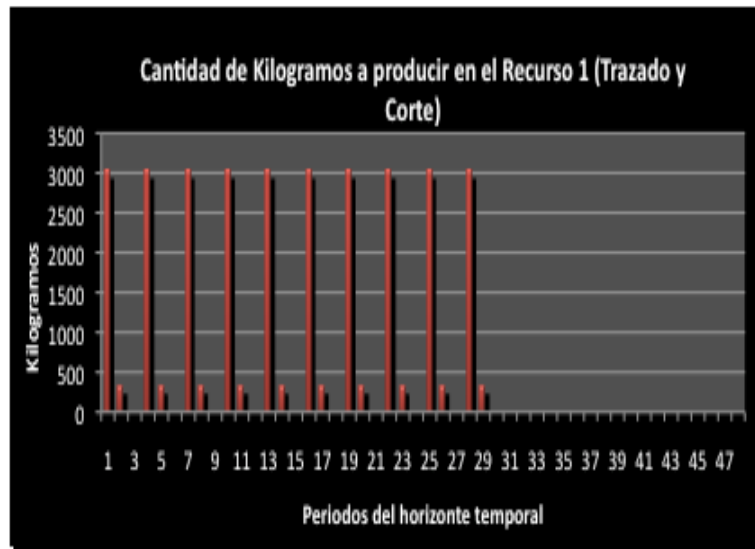


Figura 1 – Cantidad de kilogramos a cortar por periodo en el recurso de Trazado y Corte  
Fuente: Elaborada por los autores

En la Figura 2, se muestran las cantidades de kilogramos de material que deberán ser procesados en el recurso de Calderería en cada periodo del horizonte temporal.

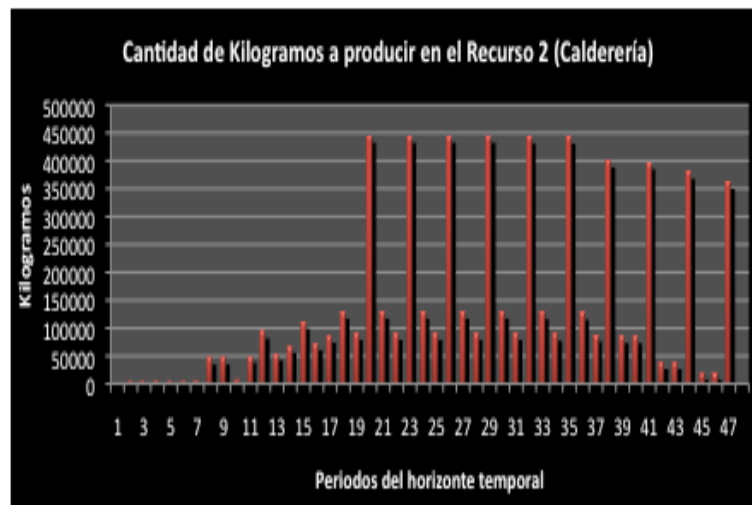


Figura 2 – Cantidad de kilogramos a procesar por periodo en el recurso de Calderería  
Fuente: Elaborada por los autores

Para este recurso la cantidad de trabajo que se debe realizar supera el tiempo de trabajo regular, por lo tanto se debe recurrir a tiempo de trabajo extra. Se debe destacar que este tiempo extra tiene un límite superior, que como se aprecia en la Figura 3, es alcanzado en casi todos los periodos, determinando que será necesario tercerizar algunos trabajos del recurso de Calderería.

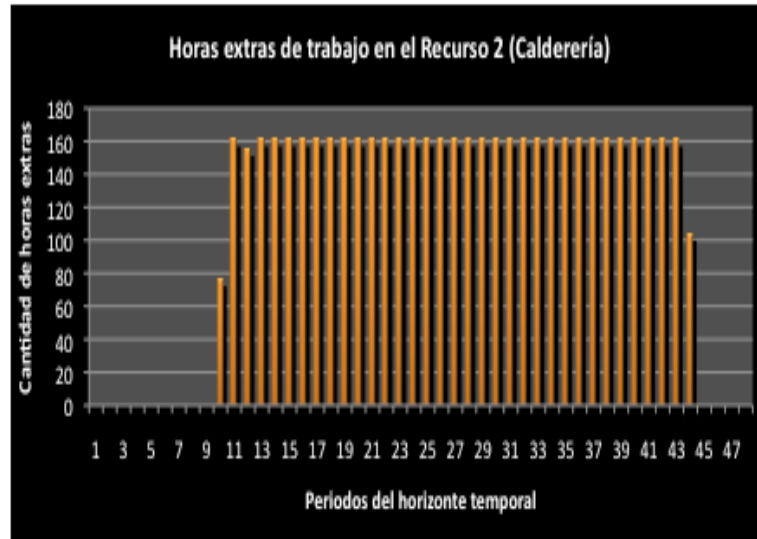


Figura 3 – Cantidades de horas extras necesarias en el recurso Calderería  
Fuente: Elaborada por los autores

Como se indicó es necesario tercerizar una gran cantidad de horas por periodo, como se puede apreciar en la Figura 4. Se proponen distintos terceros, cada uno con un coste asociado. En función de los costes y disponibilidades de estos terceros el modelo selecciona de manera óptima el conveniente.

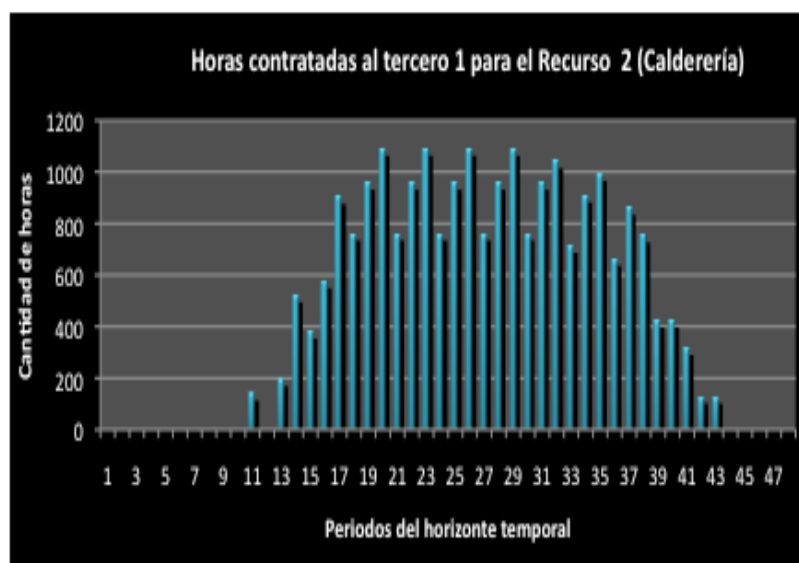


Figura 4 – Cantidades de horas de Calderería a subcontratar a un tercero  
Fuente: Elaborada por los autores

En la Figura 5, se aprecia las cantidades de kilogramos de material que deberán ser procesados en el recurso de Mecanizado en cada periodo del horizonte temporal.

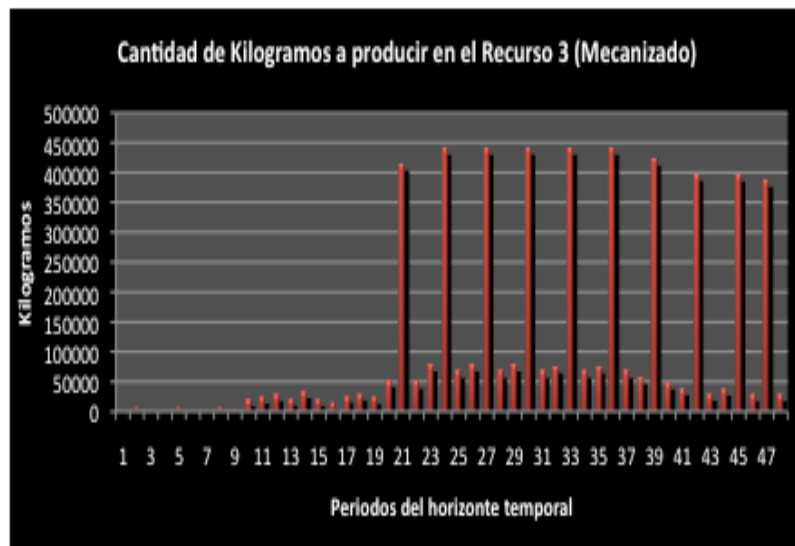


Figura 5 – Cantidad de kilogramos a procesar por periodo en el recurso de Mecanizado  
Fuente: Elaborada por los autores

Las horas demandadas superan las horas regulares de trabajo en el recurso de Mecanizados, por lo tanto se recurre a tiempo de trabajo extra como puede observarse en la Figura 6.



Figura 6 – Cantidades de horas extras necesarias en el recurso Mecanizado  
Fuente: Elaborada por los autores

No sólo se recurre al tiempo extra de trabajo, si no que también se debe tercerizar horas de trabajo, como se muestra en la Figura 7.

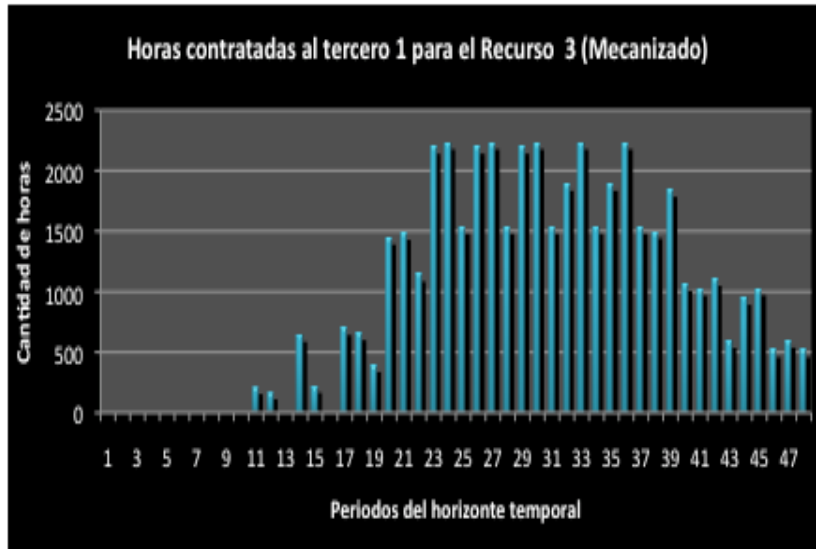


Figura 7 – Cantidades de horas de Mecanizado a subcontratar a un tercero  
Fuente: Elaborada por los autores

En la simulación se han tenido en cuenta más recursos que forman parte de la fabricación de los turbo grupos, pero por razones de privacidad de la compañía IMPSA sólo se muestran los resultados de los recursos observados en las Figuras 1 a 7. Estos resultados son una parte de la planificación determinada desde el modelo matemático presentado en el ítem 4.

## 7 CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un modelo matemático en programación lineal, en el que se puede incrementar el número de familias de productos (GF) y se puede incrementar o disminuir el grado de agregación de los grupos de trabajo en función del detalle necesario que demande el plan de producción de IMPSA *Hydro*.

Este modelo puede ser extendido a la integración de otras áreas que influyen en el cronograma de oferta. Esto se puede lograr contemplando las demás áreas como recursos, los que pueden representarse con un rendimiento de producción o productividad, por ejemplo; ingeniería está caracterizado por un rendimiento en planos de una determinada cantidad de kilogramos a diseñar por hora.

Se puede apreciar en parte de los resultados de la experiencia computacional la coherencia de los resultados con los datos de demanda de producción en función de las características del proyecto.

Es posible determinar por anticipado, y con la seguridad que se están optimizando los costes, la cantidad de trabajo que se debe tercerizar y a que tercero debe contratarse, además

se puede observar el tiempo extra de trabajo necesario para poder incrementar la capacidad de producción en la planta de IMPSA *Hydro* en función de la necesidad dada por la demanda.

Con este modelo se logra organizar de manera eficaz la información, es decir todos los datos necesarios para poder realizar los cronogramas de oferta, planificación agregada o también denominada táctica de los proyectos y programación de fábrica eficaces, con la garantía de alcanzar los beneficios óptimos para la compañía a medio o largo plazo.

Al momento de implementar los resultados proporcionados por el modelo se propone una frecuencia de re-planificación mediante un horizonte de planificación rodante, desde unos tres o cuatro meses, para reactualizar los plazos de entrega en función de los retrasos y/o actualizaciones de fechas por parte del cliente.

Al modelo matemático desarrollado en este trabajo de investigación se puede agregar los análisis financieros y de tesorería necesarios para modelar las necesidades de financiación y las posibilidades de inversiones en momentos de excedentes monetarios. También como se propone en el trabajo de Lusa et al. (2009), se puede estudiar la integración del marketing a la planificación agregada de la compañía.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALFORD, L. P. **Production Handbook**. The Ronald Press Co, 1945.

BOITEUX, O. D.; COROMINAS, A.; LUSA, A. **Estado del arte sobre planificación agregada de la producción**. Working Paper IOC-CT-P-2007-04. Universitat Politècnica de Catalunya, 2007.

BOITEUX, O. D.; COROMINAS, A.; LUSA, A.; MARTÍNEZ, C. **Modelo de planificación agregada de la producción, la plantilla, el tiempo de trabajo y la tesorería**. Working Paper IOC-DT-P-2008-6. Universidad Politècnica de Catalunya, 2008.

BOITEUX, O. D.; COROMINAS, A.; LUSA, A.; MARTÍNEZ, C. Planificación agregada de la producción, la plantilla, el tiempo de trabajo y la tesorería. **Intangible Capital**, v. 5, n. 3, p. 259-277, 2009.

BOITEUX, O. D. Planificación agregada de la producción, la plantilla, el tiempo de trabajo y la tesorería. **Tesis Doctoral**, Univesitat Politècnica de Catalunya, Barcelona – España, 2009.

BOWMAN, E. H. Production scheduling by the transportation method of linear programming. **Operations Research**, v. 4, p. 100-103, 1956.

BOWMAN, E. H. Consistency and optimality in managerial decision making. **Management Science**, v. 9, p. 310-321, 1963.

BUFFA, E. S. **Operations Management; Problems and models**. Jhon Wiley & Sons, 1968.

COROMINAS, A.; LUSA, A; PASTOR, R. Using a MILP model to establish a framework

for an annualized hours agreement. **European Journal of Operational Research**, v. 176, n. 1, p. 230-239, 2007.

COROMINAS, A.; LUSA, A.; OLIVELLA, J. Planificación del tiempo de trabajo con cuentas de horas: el caso industrial. **Dirección y Organización**, n. 35, p. 110-115, 2008.

CHANG, R. H.; JONES, C. M. Production and workforce scheduling extensions. **AIIE Transactions**, v. 2, n. 4, p. 326-333, 1970.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; MILLER, M. H. Application of linear programming to financial budgeting and the costing of funds. **Journal of Business**, v. 32, n. 1, p. 20-46, 1959.

CHIEN, Y. I.; CUNNINGHAM, W. H. I. Incorporating production planning in Business planning: a linked spreadsheet approach. **Production Planning & Control**, v. 11, n. 3, p. 299-307, 2000.

DAMON, W. W.; SCHRAMM, R. A simultaneous decision model for production, marketing and finance. **Management Science**, v. 9, n. 2, p. 161-172, 1972.

HANSSMANN, F.; HESS, S. W. A linear programming approach to production and employed scheduling. **Management Technology**, n. 1, p. 46-54, 1960.

HAX, A. C. **Handbook of operations research**. Models and applications. Litton Educational Publishing ed. 1978.

HEIZER, J.; RENDER, B. **Dirección de la producción y de Operaciones – Decisiones tácticas** (8ª edición). Pearson Educación, S.A, 2008.

HOLT, C. C.; MODIGLIANI, F.; MUTH, J. F. Derivation of a linear decision rule for production and employment. **Management Science**, v. 2, n. 2, p. 159-177, 1956.

HOLT, C.C.; MODIGLIANI, F.; MUTH, J. F.; SIMON, H. A. **Planning production, inventory and workforce**. New York: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1960.

HOLT, C. C.; MODIGLIANI, F.; SIMON, H. A. Linear decision rule for production and employment scheduling. **Management Science**, v. 2, p. 1-30, 1955.

LING, R.C.; GODBARD, W. E. **Orchestrating succes – Improve control of the Business with sales and operations planning**. New York: Wiley, 1988.

LUSA, A.; MARTÍNEZ, C.; MAS-MACHUCA, M. Integración de las decisiones de marketing y producción en la planificación agregada de la empresa: estado del arte y perspectivas. 3ª International Conference on Industrial Engineering and Management. **XIII Congreso de Ingeniería de Organización**, Barcelona-Terrassa, 1096-1104, 2009.

RATHENAU, W. **Die neue wirtschaft**. Berlin : Fischer, 1918.

SINGHAL, J.; SINGHAL, K. Holt, Modigliani, Muth and Simon's work and its role in the renaissance and evolution of operations Management. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 2, p. 300-309, 2007.

SYPKENS, W. H. **Planning of optimal plant capacity**. Tesis de Maestría inedita, Sloan

School of Management, MIT, 1967.

URWICK, L.; BRECH, E. F. L. La historia del Management. Orbis, 1984.

TAUBERT, W. H. A search decision rule for the aggregate scheduling problems. **Management Science**, v. 14, n. 6, p. 343-359, 1968.