



Quaglino, Marta

Pagura, José Alberto

Dianda, Daniela

Lupachini, Evangelina

Instituto de Investigaciones Teóricas y Aplicadas de la Escuela de Estadística

MÉTODOS ESTADÍSTICOS APLICADOS PARA LA MEJORA DE PROCESOS. Experiencia en una PYME del Gran Rosario.

1.- INTRODUCCIÓN

Dentro de los objetivos planteados en los Proyectos vinculados al estudio y desarrollo de Métodos Estadísticos Aplicados en la Industria, que se desarrollan en el IITAE, se planteó el colaborar con empresas del medio en la implementación de procesos de mejora de calidad, basados en la incorporación de estos métodos. En ese marco, durante el año 2006, se estableció un Convenio de Cooperación con una empresa metalúrgica del Gran Rosario, identificando en sucesivas reuniones, varios temas puntuales sobre los que la organización de información y el uso de métodos estadísticos para su análisis, podían aportar para obtener alguna mejora en los procesos.

Uno de los problemas planteados, fue obtener una estimación precisa del tiempo de entrega de los pedidos de ciertos productos. La empresa, que puede ser categorizada dentro del rubro de "medianas empresas", ofrece una amplísima variedad de productos, y su producción no es en serie, sino por pedidos. Esta característica dificulta en sí, las tareas de organización del trabajo de operarios, uso de maquinarias, acopio de materia prima, etc. La necesidad de adaptación permanente de las tareas de producción a las ventas que se van realizando, dificulta la posibilidad de dar al cliente una estimación cierta del tiempo de entrega del producto, con las consecuentes pérdidas económicas o de imagen (marketing).

A partir de sucesivas reuniones en donde se expusieron las particularidades de funcionamiento de la empresa y a la vez se explicaron las posibilidades de algunos métodos estadísticos tanto para diseñar la recolección de los datos necesarios, así como para obtener información útil a partir de su análisis, pudieron concretarse algunos estudios que han permitido aprender más de los procesos y plantear acciones de mejora.

En este trabajo se presenta información parcial sobre dos de los procesos estudiados, man-



teniendo la confidencialidad de la información al utilizar nombres ficticios en los productos y nombre de los procesos.

2.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La fabricación de cada artículo de los que ofrece la empresa, se realiza a través de múltiples subprocesos encadenados: corte de una barra de acero, doblado, tratamiento del trozo de materia prima con distintos tornos, cepillado, forjado, laminado, etc., etc. Cada pieza requiere de distinto número y tipo de operaciones y para fabricar cualquiera de ellas las tareas necesarias combinan el uso automático de maquinarias y la intervención de operarios especializados, probablemente con distinto grado de capacitación, según el procedimiento que debe aplicarse. Es decir, ninguna de las piezas fabricadas, son producto de un proceso totalmente automatizado.

Esta característica dificulta la estimación de los tiempos para su fabricación, dado que en el proceso total, intervienen varias tareas que dependen del trabajo de un operario y están sujetas a una gran variabilidad. Inclusive, suelen utilizarse distintas máquinas para el mismo procedimiento, que son de distintos modelos y antigüedad, por lo cual trabajan con distintos rendimientos. A más de esto, frecuentemente hay tiempos muertos en la cadena de subprocesos, porque las maquinarias están ocupadas en la fabricación de otras piezas, los cuales son difíciles de prever y de medir.

El punto de partida para dar respuesta al problema planteado de estimación del tiempo de entrega de un pedido de mercadería, fue evaluar si dentro de los registros estándares de la empresa, existía información histórica acerca de cada proceso. Efectivamente, la fabricación de cada pedido, es acompañada por lo que se denomina una "hoja de ruta", donde están enumerados todos los subprocesos por los que debe pasar el artículo, con columnas vacías para que se completen datos como: fecha del pedido, la cantidad de piezas encargadas, fecha de realización de cada subproceso, el nombre del operario que realizó el subproceso y cuánto tiempo le tomó hacerlo. También se reserva un espacio para observaciones, donde se puede anotar si tuvo algún inconveniente, si hubo desperdicio de piezas por haber ocurrido algún problema durante la tarea, si fueron utilizadas algunas piezas que estuvieran en stock (finalizadas o "a mitad" de proceso) o cualquier otra particularidad importante y no prevista, ocurrida durante el proceso. Una hoja de ruta, es llenada habitualmente por distintas personas (según el operario que realice la tarea) y va acompañando a la fabricación del pedido, por el todo el trayecto que éste siga en el espacio físico de los talleres. Las "hojas de ruta" son archivadas en papel consecutivamente, por tiempo de producción, pero sin ser clasificadas por artículo.



Por lo tanto el procedimiento que se siguió para recoger información fue:

- 1) determinar el conjunto de artículos para los cuales se haría inicialmente el estudio, a fin de proponer a posteriori una metodología de análisis que pudiera aplicarse a cualquiera de los productos. Esta selección se planteó en una primera instancia, en base a aquellos artículos más vendidos durante el último año
- 2) realizar una búsqueda en los archivos, de todas la hojas de ruta de los últimos 12 meses, correspondientes a la fabricación de pedidos de dichos artículos
- 3) volcar en planilla de cálculo los datos de las hojas de ruta
- 4) transformar los datos referidos a "tiempo de ejecución invertido en un subproceso" a una medida comparable, que se decidió que fuera: tiempo unitario por pieza para realizar el subproceso"

De este modo se generaron las bases de datos históricas con las cuales se comenzó el análisis estadístico. Este ordenamiento también puso de manifiesto las imprecisiones con es recogida la información habitualmente y motivó a la empresa a iniciar una campaña de concientización acerca del valor de la fidelidad de la información primaria que se recoge, para poder construir una imagen real del funcionamiento de los procesos y posibilitar el planteo de mejoras. También se estableció comenzar luego con una etapa de recolección prospectiva, a fin de evaluar los cambios logrados. Estas tareas están acorde con la política iniciada por la gerencia, de adherir a los criterios de calidad establecidos por normas internacionales.

3.- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA SOBRE EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DISTINTOS ARTÍCULOS

Para el presente trabajo, se han elegido dos artículos que presentaron distintas particularidades en los resultados obtenidos. En ambos casos, la medición de interés prioritario (variable respuesta) fue:

- ***Tiempo unitario empleado en uno de los subprocesos de fabricación.***

Simultáneamente, fue importante considerar otras características que podían incidir en la variabilidad de esta medición (variables explicativas) como:

- ***Subproceso***
- ***Cantidad de piezas producidas en el pedido***
- ***Nombre del operario***
- ***Mes de fabricación***

Las medidas resumen que se consideraron importantes para el estudio fueron:

- Tiempo promedio



- Variabilidad de los tiempos (desvío estándar y coeficiente de variación)
- Tiempo máximo

En esta primera etapa los procedimientos de síntesis y análisis consistieron en la elaboración de cuadros y gráficos que evidenciaran características sobresalientes de los procesos; y algunos test de hipótesis para probar si las variables explicativas introducían variabilidad significativa. Inicialmente se plantearon realizar análisis de repetitividad y reproducibilidad de las medidas para el caso de mediciones asimétricas, pero a causa de los problemas de medición encontrados, ellos fueron pospuestos para el análisis de la información prospectiva. La información también podrá luego ser utilizada para realizar distintos análisis de capacidad de los procesos, en función de algunos parámetros definidos como objetivos por la empresa.

3.1- Resultados para la Pieza A

Esta Pieza A es una de las que llevan menor cantidad de subprocesos en su fabricación. En la Tabla 1 se enumeran estos subprocesos y se dan los tiempos medios, desvíos estándar, coeficientes de variación, tiempos máximos empleados para producir una unidad del artículo y el total de piezas producidas, durante el período Abril 2005-Marzo 2006. La cantidad de operaciones, se refiere al número de veces que se realizó el subproceso, ya que es posible que para completar el trabajo, se requieran varias tandas de producción.

Tabla I: Medidas descriptivas⁽¹⁾ de los tiempos unitarios por subproceso (en minutos)

MEDIDAS DESCRIPTIVAS	SUBPROCESOS			
	Serrucho	Rebaba	Laminado	Doblado
Tiempo Medio ± Desvío	0,78 ± 0,15	0,84 ± 0,18	0,70 ± 0,13	0,58 ± 0,22
Coeficientes de variación	0,19	0,19	0,19	0,38
Tiempo máximo	1	1,25	1,06	1,11
Total de piezas	6169	4885	5524	5348
Cantidad de operaciones	22	19	16	18
Total de pedidos	12 pedidos en un año			
Tiempo total por pieza	Promedio: 2,9 minutos Máximo : 4,42 minutos			

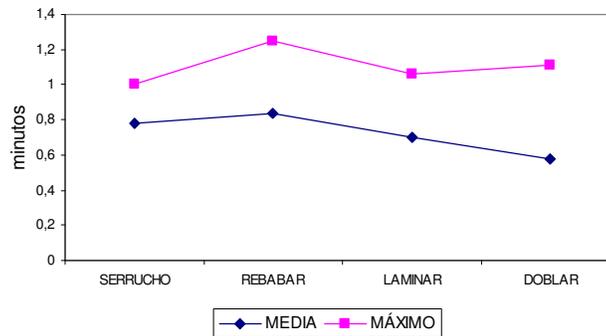
(1)Fuente: datos registrados en la empresa durante el período Abril 2005-Marzo 2006

En la Tabla 1, se observa que el número de piezas sometidas a los distintos subprocesos varía y a su vez no coincide con el número total de piezas del pedido indicado en la hoja de ruta. Esto podría deberse a distintas causas, entre ellas, existencia de piezas en stock semi-procesadas, producción en exceso para almacenar, inconsistencias en las anotaciones, etc.



Otro dato interesante que se desprende de los Coeficientes de Variación es que el subproceso Doblado presenta tiempos más variables y sería el más susceptible para plantear mejoras. Estas particularidades se destacan mejor visualmente en el Gráfico 1.

Gráfico 1: *Tiempos unitarios medios y máximos de producción según subproceso*



En las Tablas II y III siguientes, se analizan las mismas medidas descriptivas, tiempo promedio y tiempo máximo, teniendo en cuenta el tamaño del pedido. Estos últimos fueron agrupados en cuatro categorías, teniendo en cuenta sus frecuencias de aparición. Las variantes de tamaño de pedidos en el período considerado, se muestran en el diagrama de puntos del Gráfico 2.

Gráfico 2: *Tamaño de los pedidos de la pieza A en el período Abril 2005-Marzo 2006*

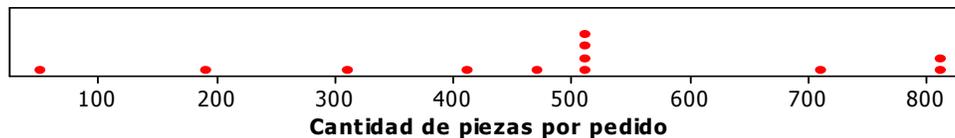




Tabla II: Tiempo unitario medio de producción (en minutos), desvío estándar y coeficiente de variación, según la cantidad de piezas producidas

SUBPROCESOS	CANTIDAD DE PIEZAS PROCESADAS			
	Menos de 150	Desde 150 hasta 300	Desde 300 hasta 450	De 450 o más
Serrucho	0,86 ± 0,16 CV=0,19	0,76 ± 0,17 CV=0,22	0,76 ± 0,06 CV=0,08	0,74 ± 0,19 CV=0,26
Rebaba	0,86 ± 0,15 CV=0,17	0,87 ± 0,18 CV=0,21	0,75 ± 0,22 CV=0,29	0,82 ± 0,25 CV=0,30
Laminado	0,70 ± 0,09 CV=0,13	0,66 ± 0,07 CV=0,11	0,73 ± 0,16 CV=0,22	0,70 ± 0,18 CV=0,26
Doblado	0,61 ± 0,28 CV=0,46	0,74 ± 0,16 CV=0,22	0,59 ± 0,05 CV=0,08	0,58 ± 0,07 CV=0,12

En el Gráfico 3 se han acumulado los tiempos medios de cada proceso que lleva la pieza. Por lo tanto la línea superior (celeste) está marcando el tiempo total para producir una pieza, según el tamaño del pedido.

Gráfico 3: Tiempos unitarios promedio por subproceso según cantidad de piezas producidas.

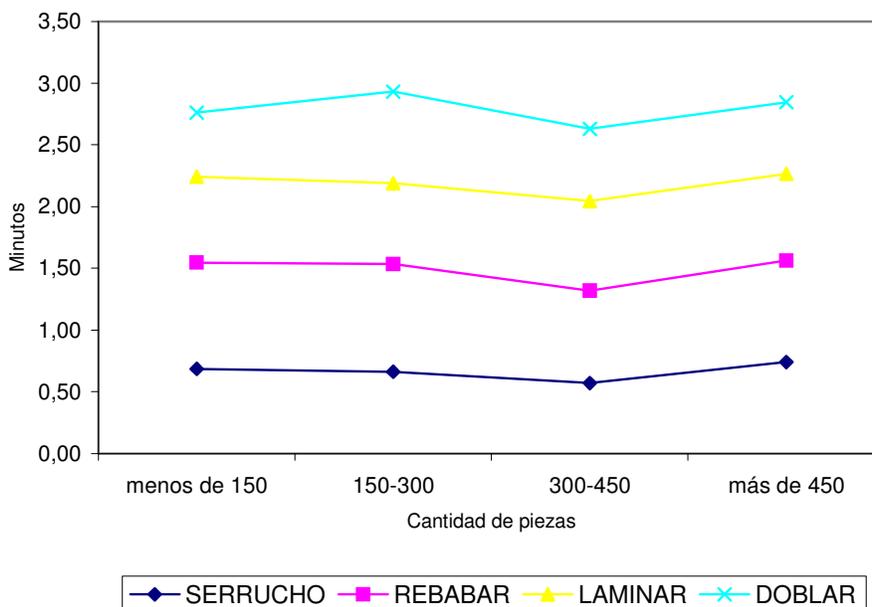




Tabla III: *Tiempo unitario máximo de producción (en minutos) en el período, según la cantidad de piezas producidas*

SUBPROCESO	CANTIDAD DE PIEZAS DEL PEDIDO			
	Menos de 150	Desde 150 hasta 300	Desde 300 hasta 450	De 450 o más
Serrucho	1,00	0,98	0,83	0,88
Rebaba	1,00	1,25	0,99	1,00
Laminado	0,80	0,73	0,94	1,06
Doblado	1,11	0,85	0,66	0,67

Otra medición que se utilizó para cruzar con la información de los tiempos unitarios de producción, fue el mes del año en que se había fabricado el producto. Esa información temporal, pudo ser analizada por la empresa desde el conocimiento de las particularidades de operarios, turnos, modalidades de trabajo, etc. que según su conocimiento se produjeron. A su vez estas tablas permiten apreciar la existencia de alguna variación temporal en la demanda del producto. Una particularidad que se destaca con este artículo es que su demanda no es constante y que hay meses en los que no hubo producción. En la Tabla III se presentan desagregados por mes los promedios de los tiempos de producción. En varios períodos hubo una sola tanda de producción, por lo cual no se tiene información sobre variabilidad.

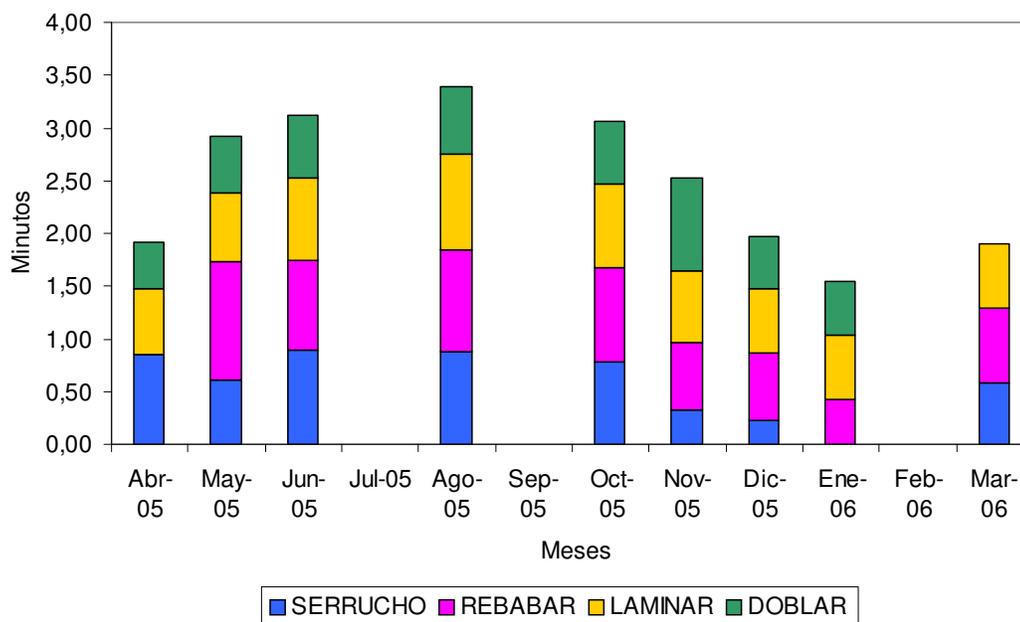
Tabla IV: *Promedio de los tiempos unitarios de producción (en minutos) según el mes*

MES de PRODUCCION	SUBPROCESOS			
	Serrucho	Rebaba	Laminado	Doblado
abr-05	0,85		0,62	0,45
may-05	0,61	1,12	0,65	0,54
jun-05	0,89	0,85	0,78	0,6
ago-05	0,88	0,97	0,9	0,64
oct-05	0,78	0,9	0,79	0,6
nov-05	0,33	0,64	0,67	0,89
dic-05	0,22	0,65	0,6	0,5
ene-06		0,42	0,62	0,51
mar-06	0,58	0,71	0,61	



En la Tabla IV se observa una gran variabilidad entre los tiempos requeridos para cada sub-proceso a través de los distintos meses de producción. Esta característica se destaca en el Gráfico 4, donde además se han acumulado los tiempos de los subprocesos, apilándolos en las barras, a fin de que el nivel superior muestre el tiempo total requerido para producir una pieza del artículo A, en los distintos meses.

Gráfico 4: *Tiempo unitario promedio total y por subproceso, según mes de producción*



A partir del análisis de toda la información expuesta para este artículo, se calcularon intervalos de confianza y test de hipótesis, cuyos resultados pueden resumirse como sigue:

- El tiempo medio para fabricar una sola pieza del artículo A, en las condiciones actuales de fabricación, es de 2,9 minutos. Con un 95% de confianza, puede esperarse que este tiempo medio esté entre 2,75 y 3,05 minutos.
- Los tiempos medios esperados, empleados para cada subproceso que lleva la fabricación de la pieza con sus Intervalos del 95% de confianza son:
 - Serrucho: 0,78 minutos, con un intervalo de confianza de (0,72 ; 0,84)
 - Rebaba: 0,84 minutos, con un intervalo de confianza de (0,76 ; 0,92)
 - Laminado: 0,70 con un intervalo de confianza de (0,62 ; 0,76)
 - Doblado: 0,58 con un intervalo de confianza de (0,48 ; 0,68)
- El subproceso con mayor variabilidad relativa es el de doblado



- En ninguno de los subprocesos se encuentran diferencias significativas en los tiempos unitarios de procesamiento de cada pieza, según el tamaño del lote producido. (los p-value de los test ANOVA fueron: 0,54; 0,65; 0,85 y 0,87 respectivamente para cada subproceso)
- Los tiempos unitarios de fabricación de la pieza A fueron muy diferentes entre los meses observados. Esta observación sólo se hace en forma descriptiva dado que no hay información suficiente para realizar una prueba de hipótesis.

3.2- Resultados para la pieza B

El otro artículo elegido para mostrar resultados fue uno que lleva una gran cantidad de subprocesos y para el cual la información histórica que se recogió fue mas completa. Otra diferencia que presenta con la pieza A es que la cantidad de piezas producidas por operación fue más pequeña y uniforme.

Los resultados se muestran en una secuencia de tablas y gráficos similar a la del apartado 3.1.

Tabla V: Medidas descriptivas⁽¹⁾ de los tiempos unitarios por subproceso (en minutos)

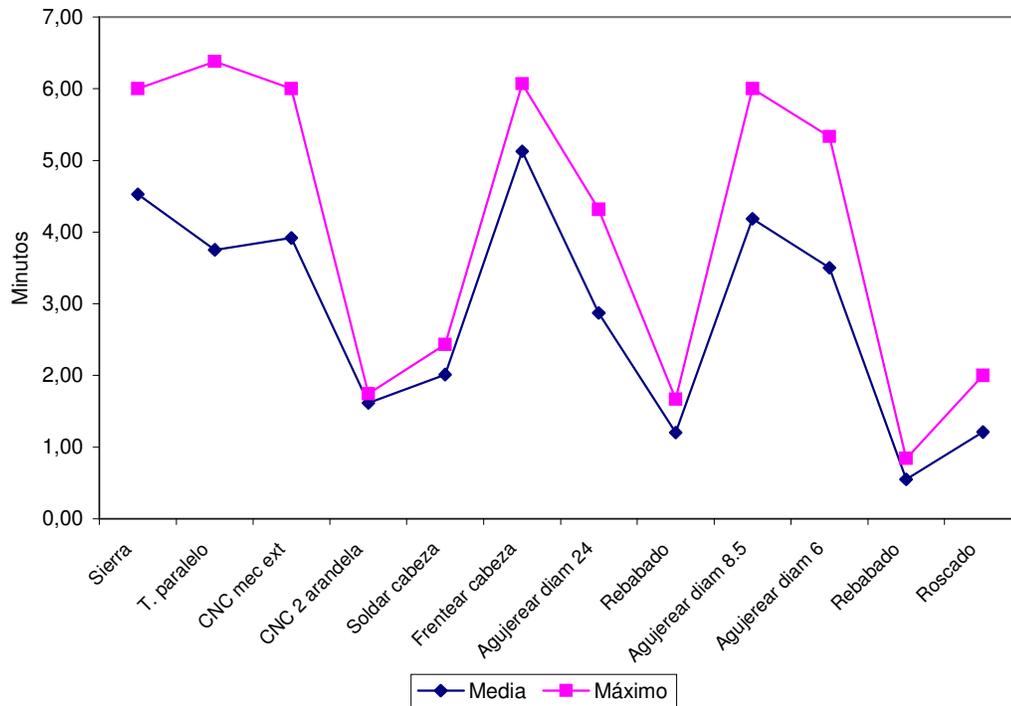
SUBPROCESO	MEDIDAS DESCRIPTIVAS				
	Tiempo Medio ± Desvío	Coficiente de variación	Tiempo máximo	Total de piezas	Cantidad de operaciones
Sierra	4,53 ± 1,00	0,22	6,00	610	11
T. paralelo	3,75 ± 1,46	0,39	6,38	848	8
CNC mec ext	3,92 ± 1,24	0,32	6,00	860	17
CNC 2 arandela	1,62 ± 0,09	0,06	1,74	531	7
Soldar cabeza	2,01 ± 0,29	0,14	2,43	563	11
Frentear cabeza	5,13 ± 1,57	0,31	6,07	541	6
Agujerear diam 24	2,88 ± 0,83	0,29	4,32	437	10
Rebabado	1,20 ± 0,45	0,38	1,67	231	4
Agujerear diam 8.5	4,19 ± 1,70	0,41	6,00	1118	8
Agujerear diam 6	3,50 ± 0,80	0,23	5,33	591	14
Rebabado	0,55 ± 0,23	0,42	0,84	290	4
Roscado	1,21 ± 0,37	0,31	2,00	460	9
Total de pedidos	11 pedidos en un año				
Tiempo total por pieza	Promedio: 34.49 minutos Máximo : 48.78 minutos				

(1) Fuente: datos registrados en la empresa durante el período Abril 2005-Marzo 2006



Una característica diferente para esta pieza está dada por la gran diferencia en los tiempos medios requeridos por cada subproceso, lo cual se evidencia claramente en el Gráfico siguiente, que sintetiza algunos de los datos de la Tabla V.

Gráfico 6: *Tiempos unitarios medios y máximos de producción según subproceso*



El diagrama de puntos (Gráfico 7) con los tamaños de los pedidos fabricados en el período estudiado, condujo en este caso a una clasificación de los lotes en dos grupos, según fueran de menos o de más de 50 piezas.

Gráfico 1: *Diagrama de puntos de los tamaños de pedidos de la pieza B en el período Abril 2005-Marzo 2006*





La Tabla VI presenta las medidas características de los tiempos unitarios de producción diferenciadas por tamaño de los lotes. En lamisca se observa la falta de algunos desvíos estándar y coeficientes de variación que no pudieron ser calculados por falta de información suficiente.

Tabla VI: *Tiempo unitario medio de producción (en minutos), desvío estándar y coeficiente de variación, según la cantidad de piezas producidas*

SUBPROCESO	CANTIDAD DE PIEZAS PROCESADAS	
	0-50	Más de 50
Sierra	4,99 ± 0,83 CV=0,17	3,97 ± 0,98 CV=0,25
T. paralelo	1,78	4,04 ± 1,32 CV=0,33
CNC mec ext	4,24 ± 1,08 CV=0,42	3,63 ± 1,36 CV=0,37
CNC 2 arandela	1,50	1,64 ± 0,08 CV=0,05
Soldar cabeza	1,90 ± 0,29 CV=0,15	2,20 ± 0,20 CV=0,09
Frentear cabeza	5,58 ± 0,18 CV=0,03	4,90 ± 1,97 CV=0,40
Agujerear diam 24	2,89 ± 1,01 CV=0,35	2,85 ± 0,30 CV=0,11
Rebabado	1,41 ± 0,23 CV=0,16	0,59
Agujerear diam 8.5	4,61 ± 1,05 CV=0,23	3,49 ± 2,59 CV=0,74
Agujerear diam 6	3,72 ± 0,86 CV=0,23	2,97 ± 0,21 CV=0,07
Rebabado	0,30	0,63 ± 0,18 CV=0,29
Roscado	1,36 ± 0,44 CV=0,32	1,09 ± 0,30 CV=0,28

Para apreciar simultáneamente el tiempo requerido de una pieza por cada subproceso y a su vez el tiempo total, ellos se acumulan línea sobre línea en el Gráfico siguiente. La línea superior indica el tiempo medio total para producir un artículo B. Estos tiempos se mantienen relativamente estables para los distintos tamaños de lotes. Las variantes más pronun-



ciadas se dan para las tareas de "sierra, roscado y rebabado" que disminuyen cuando se producen más piezas y el de T paralelo que aumenta con la mayor cantidad de piezas.

Gráfico 7: *Tiempos acumulados unitarios promedio, por subproceso según cantidad de piezas producidas.*

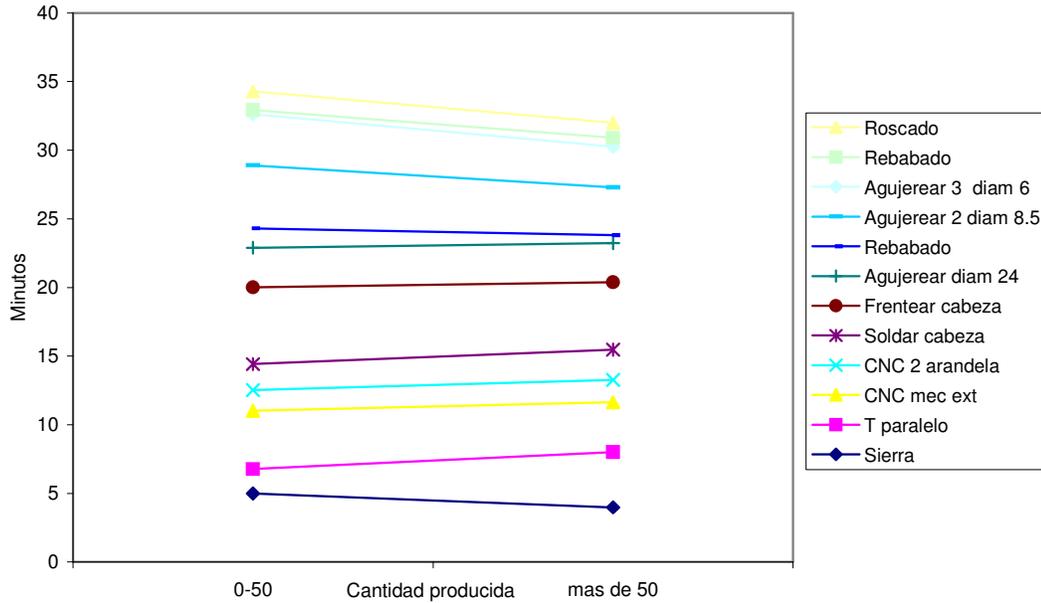


Tabla VII: *Tiempo unitario máximo de producción (en minutos) en el período, según la cantidad de piezas producidas*

SUBPROCESO	CANTIDAD DE PIEZAS	
	0-50	Más de 50
Sierra	6,00	5,63
T. paralelo	1,78	6,38
CNC mec ext	6,00	5,11
CNC 2 arandela	1,50	1,74
Soldar cabeza	2,19	2,43
Frentear cabeza	5,71	6,07
Agujerear diam 24	4,32	3,19
Rebabado	1,67	0,59
Agujerear diam 8.5	6,00	5,09
Agujerear diam 6	5,33	3,27
Rebabado	0,30	0,84
Roscado	2,00	1,41



Tabla VIII: Promedio de los tiempos unitarios de producción (en minutos) según el mes

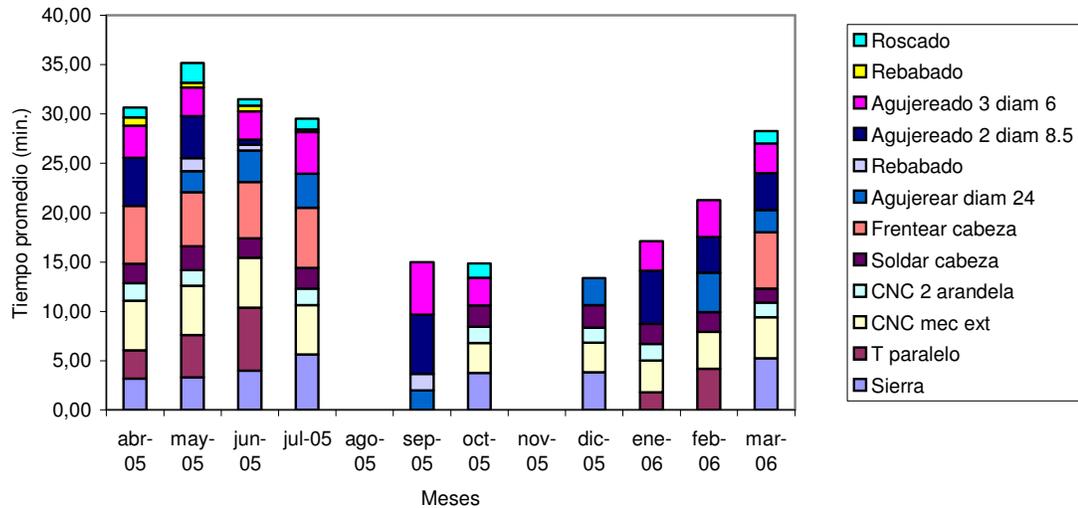
SUBPROCESO	MESES				
	abr-05	may-05	jun-05	jul-05	sep-05
Sierra	3,19	3,29	3,96	5,63	
T. paralelo	2,86	4,31	6,38		
CNC mec ext	5,05	5,00	5,11	5,00	
CNC 2 arandela	1,74	1,58		1,67	
Soldar cabeza	1,96	2,43	1,96	2,12	
Frentear cabeza	5,87	5,45	5,71	6,07	
Agujerear diam 24		2,14	3,19	3,46	2,00
Rebabado		1,31	0,59		1,67
Agujerear diam 8.5	4,88	4,29	0,49		6,00
Agujerear diam 6	3,27	2,92	2,88	4,20	5,33
Rebabado	0,84	0,49	0,57	0,30	
Roscado	1,02	2,00	0,64	1,08	

Tabla VIII. (continuación)

SUBPROCESO	MESES				
	oct-05	dic-05	ene-06	feb-06	mar-06
Sierra	3,75	3,81			5,25
T. paralelo			1,78	4,19	
CNC mec ext	3,05	3,00	3,26	3,75	4,13
CNC 2 arandela	1,64	1,53	1,67		1,50
Soldar cabeza	2,17	2,29	2,00	2,00	1,43
Frentear cabeza					5,71
Agujerear diam 24		2,71		4,00	2,25
Rebabado					
Agujerear diam 8.5			5,40	3,60	3,75
Agujerear diam 6	2,81		3,00	3,75	3,00
Rebabado					
Roscado	1,41				1,25

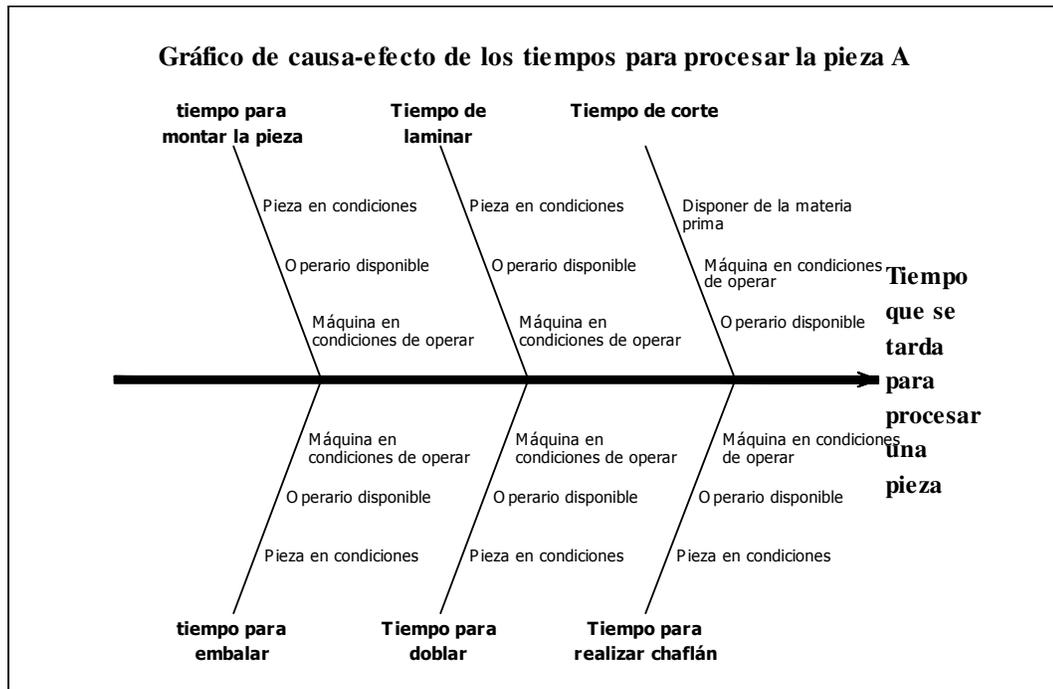


Gráfico 8: *Tiempos promedios unitarios de producción acumulados según mes*



5.- DIAGRAMAS DE CAUSA-EFECTO

A lo largo del estudio completo realizado, que es similar al presentado, pero sobre una variedad más amplia de artículos diferentes (los que cubren sólo una pequeña cantidad de la serie de completa de artículos ofrecidos por la empresa), surgieron una serie de inquietudes acerca de las posibles formas de mejorar la estimación de los tiempos de completado de pedidos, incorporando los tiempos entre subprocesos, los tiempos de espera hasta la compra y entrega de materia prima, los tiempos de embalaje, etc., etc. Como estos temas están en una etapa inicial de discusión en la empresa, se elaboraron para iniciar el estudio, diagramas de espina de pescado con el planteo de causas principales y secundarias que podían incorporar demoras en el tiempo total. A modo de ejemplo se muestra en la página siguiente uno de los diagramas generados para el caso particular de la pieza A.



4.- CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS

El trabajo realizado constituye un avance en un aspecto particular de colaboración entre la universidad y empresas de producción. Las empresas pequeñas o medianas generalmente dirigen sus acciones de crecimiento y desarrollo sin emplear métodos científicos. Las presiones actuales hacia una producción de calidad competitiva están forzando a la puesta en marcha de procesos de mejora, muchos de los cuales requieren del manejo de información cuantitativa y de la implementación de estrategias de control basadas en métodos estadísticos. Muchas veces la ausencia de personal capacitado, hace que esta implementación sea, sino imposible, al menos muy difícil. La interacción mencionada permite acercar la capacitación requerida y a la vez formar a los profesionales, en este caso de la estadística, en la solución de problemas concretos, generando a su vez conocimientos, a partir de la búsqueda de soluciones a tales problemas.

Si bien el problema planteado no está resuelto todavía, se ha realizado un avance importante al establecer pautas para la recolección de información y métodos de análisis no estándares para procesarla, como los estudios de R y R para variables no normales.

El tratamiento de la información recolectada permitió identificar las principales fuentes de variabilidad de cada proceso y dar una estimación de tiempos promedio para cada subpro-



ceso, y para el proceso completo de fabricación, teniendo medidas de variabilidad que permiten calcular la precisión de estas estimaciones. También se dieron estimaciones de tiempos máximos en que la empresa podía cumplir con la entrega de los pedidos. Se identificaron claramente cuáles eran los subprocesos más variables y sobre los cuáles se deben enfocar las acciones de mejora y se encararon actividades concretas para tener disponibles datos más confiables, que permitirán a su vez calcular estimaciones más precisas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Joglekar, Anand. (2003). "Statistical Methods for Six Sigma in R&D and Manufacturing". Editorial Wiley Inters-Science
- Kiemele, M.; Schmidt, S. and Berdine, R. (1999). "Basic Statistics. Tools for Continuous Improvement". Air. Academic Press.
- Lamprechet, J. (2005). "Applied data Analysis for Process Improvement". ASQ Quality Press.
- Montgomery, D. (2005). "Introduction to Statistical Quality Control". Editorial Wiley.
- Pagura, J. y Quaglino, M. (2006). "Métodos estadísticos utilizando MINITAB" (en prensa)
- Peck, R.; Haugh, L. and Goodman, A. (1998). "Statistical Case Studies. A collaboration Between Academe and Industry". SIAM-ASA
- Villafranca, R. y Zúnica, L. (2004) "Métodos Estadísticos en Ingeniería". Ed. Univ. Politécnica de Valencia. España