



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES
UNIVERSIDAD PRIVADA

TESIS DE GRADO
EN INGENIERIA INDUSTRIAL

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACION DE PROCESOS

Autor: MEDAGLIA, Federico Augusto

Director de Tesis: Ing. MIRANDA, Lucas

2006

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

DEDICATORIA

Quisiera dedicar este trabajo a la memoria de mi mamá, Norma Nassif de Medaglia, la persona más importante en mi vida, la que más quiero, la que me cuidó siempre, la que me enseñó, junto con mi papá, las únicas cosas importantes en la vida, la que siempre va a estar en lo más profundo de mi corazón. Por todo esto, este trabajo mami, es para vos.

Federico Augusto Medaglia

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

RESUMEN EJECUTIVO

Rodam electroimanes no logra satisfacer el incremento de su demanda proyectada para los próximos tres años. Para solucionar esto se pensaron tres alternativas: la primera consiste en la optimización de la capacidad actual de la fábrica a través de una mejor programación de la producción eliminando la línea de bobinado; la segunda consiste en incorporar un nuevo turno de trabajo y la tercera en incorporar una nueva línea de mecanizado de mayor productividad en donde se encuentre el cuello de botella.

Este proyecto busca comparar alternativas de mejoras propuestas, analizar si optimizan la productividad y observar cual de ellas es la más económica. Para esto, se desarrollará un modelo de simulación que ofrece la ventaja de observar el funcionamiento de las alternativas antes de implementarlas y comparar así el costo beneficio y la productividad de cada una de ellas sin la necesidad de realizar inversión alguna.

El modelo medirá el desempeño de los procesos para luego saber sobre que proceso actuar y observar también si las alternativas son válidas.

En resumen, el proyecto se centrará en el análisis de cada uno de los procesos con el objetivo de optimizarlos y disminuir las colas de aquellos que son más críticos tratando de optimizar el uso de los recursos, contemplando al mismo tiempo la factibilidad de cada alternativa.

La simulación es muy adecuada para analizar este tipo de problemas, ya que realizar un análisis costo beneficio de las distintas alternativas si bien es factible, carece de la riqueza y dinamismo que ofrece un modelo de simulación. Además, el avance de los softwares de simulación hace que éstos sean cada vez más simples de usar, más accesibles, y más flexibles para modelizar distintos tipos de sistemas, ahorrando tiempo y recursos. La simulación permite describir y entender fácilmente el comportamiento del sistema, y evaluar diversos cambios sin que sea necesario implementarlos. Luego, en base a los resultados que arroja el modelo se efectúa un análisis de las alternativas y se obtienen conclusiones válidas acerca del sistema real. Se puede prever el impacto de los cambios y sus resultados, y seleccionar el mejor diseño.

En base a las experimentaciones efectuadas con el modelo de simulación, se recomienda invertir en la alternativa 3, la cual incorpora una nueva línea de mecanizado de mayor productividad en el área de electrosincado y anticorrosivo, el principal cuello de botella. Esta alternativa es la que genera la mayor utilidad y aumenta la productividad satisfaciendo así la demanda de los próximos tres años.

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

EXECUTIVE SUMMARY

Rodam electromagnets can't satisfy its projected demand increase for the next three years. To solve this, three alternatives are going to be analyzed: the first is to optimize the actual productivity of the plant, eliminating the winding, the second is to incorporate a new turn and the third one is to incorporate a new line where the bottle neck is found.

This project compares the alternatives that will give the best results, analyzing their productivity increase versus their cost. To do this, a simulation model will be made. This model will offer a sight at the results that the alternatives might give before they are implemented. With this analysis, there will be no risk of a bad inversion.

The model will measure the performance of the processes to gather the information necessary to know on which process to act. It will also validate the alternatives.

In summary, the project will center its analysis over each process with the goal of optimizing them and reduce the queue on those processes that are critical.

Simulation is a useful tool on this type of analysis, because even though a cost/benefit analysis of the alternatives could be made, it does not have the dynamism that a simulation model would give. Also, the advances of simulation software, make them simpler to use. With the simulation, one could describe and easily understand the behavior of the system and evaluate the changes and their results without the necessity of implementing them. Then, based on the results, an analysis of the alternatives is made and valid conclusions about the real system could be made. With this, the impact of the changes and their results could be anticipated to select the best alternative.

Based on the analysis made in the simulation model, the best alternative is the third one, which incorporates a new mechanized line of more production in the electrozincade and anticorrosive, the most important bottle neck. This alternative is the one that generates the best utility and improves the productivity satisfying this way the demand for the next three years.

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

DESCRIPTOR BIBLIOGRAFICO

El proyecto se centrará en el análisis de cada uno de los procesos con el objetivo de optimizarlos y disminuir las colas de aquellos que son más críticos, de forma tal de satisfacer la demanda creciente de productos.

La simulación es muy adecuada para analizar este tipo de problemas, ya que permite modelizar hasta los sistemas más complejos. El uso de softwares de simulación muy simples y accesibles permite ahorrar tiempo y recursos. El modelo de simulación describe el comportamiento del sistema y mide el desempeño de los procesos mediante indicadores. En base a los resultados que arroja el modelo, se puede prever el impacto de los cambios en el modelo y sus resultados sobre el sistema real. Esta metodología permite así identificar qué acciones pueden mejorar los resultados operativos de la fábrica de electroimanes. El objetivo del proyecto se centra en encontrar la alternativa más beneficiosa cumpliendo con la demanda y la disminución de las colas de los procesos más críticos. Gracias a un proyecto como este se pueden generar excelentes resultados con una inversión mínima.

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a toda mi familia y a mi novia, quienes me brindaron su apoyo y cariño en todo momento.

En segundo lugar quisiera agradecer a mi tutor, el Ingeniero Lucas Miranda, sin su ayuda y buena predisposición este trabajo no hubiese sido posible.

Por último, a mis amigos Sebastián Pizarro y Manuel Ocantos, quienes estuvieron siempre que los necesité.

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCION	15
FORMULACION DEL PROBLEMA	16
MODELO CONCEPTUAL	18
Propósito del modelo	18
Modelo argumental	18
Contexto	18
Límite	19
Estructura y Funciones	19
Fuentes de incertidumbre	20
MODELO DE DATOS	22
Análisis de la demanda	23
Datos de cada uno de los procesos	30
MODELO OPERACIONAL	33
Descripción del proceso en ARENA	34
CODIFICACIÓN	38
DISEÑO EXPERIMENTAL	40
RESULTADOS	41
Análisis de Resultados	42
Análisis de alternativas	44
CONCLUSIONES	48
ANEXOS	49
Valores cargados en la matriz de pedidos del ARENA	49
Codificación en el ARENA	51
Análisis del Ruido con el Input Analyzer	53

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

INTRODUCCION

Rodam es una fábrica de electroimanes. Sus principales clientes son (en orden de importancia):

- Fábricas de lavarropas industriales.
- Fábricas de automatización de portones eléctricos.
- Fábricas de frenos eléctricos para montacargas.
- Fábricas que hacen carrocerías para camiones blindados.

Rodam fabrica 4 tipos de electroimanes (difieren únicamente en el bobinado):

- Serie 220V
- Serie 380V
- Serie 12V
- Serie 110V

Cada uno de los productos se encuentra conformado básicamente por los mismos componentes, en lo único que cambian es en el bobinado.

Actualmente, Rodam viene recuperando su nivel de actividad productiva y opera prácticamente 2 turnos/día de trabajo.

Dato importante: No resulta claro cuál es el cuello de botella productivo.

Se prevé que para los próximos 3 años las ventas continúen creciendo.

El siguiente informe describe el modelo utilizado para la elección del plan de ampliación de capacidad productiva que resulta más conveniente para que la fábrica pueda responder a la demanda creciente.

Se espera como resultado localizar y reducir los cuellos de botella en la línea de operaciones, evaluando diferentes alternativas de mejora en la misma.

Se diseña un sistema que le permita a la fábrica de electroimanes determinar la opción más beneficiosa.

FORMULACION DEL PROBLEMA

Problema

Hallar el plan de ampliación de capacidad productiva más conveniente, mediante el análisis de 3 alternativas:

- a) Optimización de la capacidad actual operando 2 turnos a través de una mejor programación de la producción eliminando la línea de bobinado.
- b) Incorporar un nuevo turno de trabajo
- c) Incorporar una nueva línea de mecanizado de mayor productividad

Enfoque

“Minimizar los cuellos de botella en los procesos críticos, mejorar la productividad y así poder satisfacer la demanda creciente de productos”

Los parámetros que se consideran como básicos e indispensables para el análisis de la función objetivo son:

- ✓ Política de Stocks
- ✓ Mano de obra
- ✓ Procesos en la Línea de mecanizado

Alcance

Todos los sectores productivos de la fábrica tienen un horizonte de proyección de 3 años.

Indicadores de performance

Los indicadores de performance se evalúan en dos etapas:

- I. Estudio de los cuellos de botella en los distintos procesos productivos
- II. Estudio de las alternativas con criterio económico - financiero

Etapas

En esta etapa se estudian los indicadores propuestos en el modelo conceptual:

- Longitud de la cola en operación (L_c): permite visualizar con el modelo funcionando la ubicación de los cuellos de botella en los procesos al observar la cola de mayor tamaño. No puede ser usado caso de haber batch previos a un proceso (Ejemplo: Ensamblado)

- Tiempo medio en operación (W_i): una vez corrido el modelo y conociendo los procesos donde la longitud de la cola es la mayor, el tiempo medio de permanencia de cada unidad resulta de importancia para ubicar aquellos procesos donde W_i sea máximo
- Utilización de recursos: con el objetivo de detectar que recursos están saturados y cuales no.

Etapa 2

Se considera que con 1 indicador integral es suficiente para analizar la conveniencia de las alternativas a evaluar.

El mismo confrontará la utilidad con cada una de las propuestas analizadas.

Áreas involucradas (ver Modelo de Datos)

- Abastecimiento
- Control de Calidad
- Operaciones
- Mantenimiento
- Ingeniería

MODELO CONCEPTUAL

En esta etapa se describirá el modelo abstracto que intenta representar la problemática planteada anteriormente.

Propósito del modelo

Simular la operación completa de armado de los electroimanes y las 3 alternativas propuestas para conocer cual de ellas es la más beneficiosa.

Modelo argumental

La producción depende de la demanda del mercado, el cual es fluctuante y depende de la evolución económica del país. A su vez, la velocidad de producción depende de la capacidad instalada de las máquinas con las que se opera, y de la línea de operación determinada por producto.

Asimismo, se deben contemplar retrasos durante los traslados a las diferentes estaciones como los productos que queden fuera de especificación.

Contexto

La capacidad actual de la línea no puede afrontar el crecimiento de la demanda pronosticado para los próximos 3 años.

Para el abastecimiento de MP se tienen dos proveedores.

Los paneles de chapa con lo que se fabrican los electroimanes se pueden comprar en medidas comerciales a distribuidores o a fábrica.

En el caso de distribuidores:

- i. El precio se incrementa un 15 %
- ii. No hay lote mínimo de compra
- iii. El tiempo de reposición es de 15 días

En el caso de fábrica:

- i. El tiempo de reposición varía de 3 a 6 meses

Límite

El contexto físico es la planta de producción de Rodam, el análisis se realiza hasta la obtención del producto terminado, no se considera la distribución de los mismos a los clientes finales.

Estructura y Funciones

Suposiciones

- Tanto las estaciones de trabajo como los tiempos de traslados entre las mismas, representan OPERACIONES. Así, se tendrá una Operación CORTE, REMACHADO, BOBINADO, TRASLADO A..., etc. El objetivo que se persigue con esta consideración, es la de medir el tiempo que la pieza se encuentra en ese sistema (W) y de esa manera, determinar cuál es la que está consumiendo más tiempo en la línea de producción. Es decir, localizar el cuello de botella.
- Los tiempos de proceso de cada máquina dependen del fabricante y no pueden ser modificados.
- Los operarios tienen un rendimiento constante a través de los años, por lo tanto, no se está considerando que puedan recibir una capacitación para mejorar sus habilidades.
- Se desprecia la amortización de las máquinas utilizadas en la línea de producción (no se contempla amortización ni cambio de las mismas)
- El proveedor de MP “es perfecto”
- En este modelo no se consideran los stocks de seguridad.
- Según datos proporcionados por el Área de Marketing de Rodam, en líneas generales, la demanda para cada uno de los electroimanes queda definida de la siguiente manera:

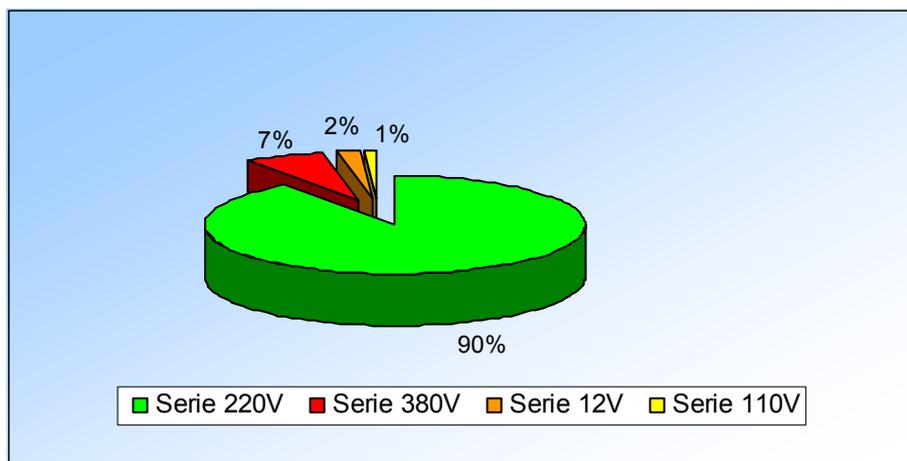


Figura 1: Porcentaje de la demanda para cada tipo de electroimán

- Continuidad del funcionamiento del centro de mecanizado. No se consideran:
 - Feriados, vacaciones, licencias
 - Bajas en el staff original de operarios (por despidos, renunciaciones, accidentes, muerte)

- Efecto de la curva de aprendizaje.
- El esquema temporal de trabajo se define como:
 - Turno = 8 hs
 - Días laborables en la semana = 5
 - Semanas laborables en el año = 52

Fuentes de incertidumbre

Consideradas en el modelo:

- Nivel de rechazo: material rechazado/scrap (probabilidad asociada)
- Demanda

Otras fuentes existentes, pero no consideradas:

- Tiempos de descanso de los operarios
- Ausentismo
- Accidentes
- Reposición de máquinas: por roturas, fin de vida útil
- Performance de proveedores: cumplimiento en tiempo y forma de las entregas
- Corte de suministro de energía
- Siniestros
- Valor del dinero en el tiempo

Variables definidas en el modelo

Variable de entrada

DEMANDA : Su análisis se realiza en la etapa de Modelo de Datos

Variables de control

Fueron definidas como tales, los elementos que componen las diferentes alternativas a analizar:

1) Optimización de la capacidad actual operando 2 turnos a través de una mejor programación de la producción e inversiones moderadas eliminando la línea de Bobinado del carretel.

Variables:

- Rediseño de la línea de producción: evaluación conveniencia de comprar el carretel ya bobinado (hay un fuerte incremento de la materia prima)

2) Incorporar un nuevo turno de trabajo

Variables:

- Operarios por estación

3) Incorporar una nueva línea de mecanizado de mayor productividad en donde se encuentre el principal cuello de botella

Variables:

- Cantidad de máquinas por estación

MODELO DE DATOS

El modelo de datos es la estructura definitiva de aquellos datos de entrada que sirven para llevar adelante la simulación. Busca generar con la mayor fidelidad posible los datos de entrada.

Los datos solicitados fueron los siguientes:

Marketing:

- La demanda histórica mensual de cada uno de los productos, para establecer tendencias y estacionalidades. Los valores deben ser de los últimos 2 años, periodo en que se verifica una recuperación de la actividad productiva para el mercado de los electroimanes.

Ingeniería:

Para cada máquina se pidió conocer:

- Cantidad de productos (mix)
- Productividad
- Tiempo de Set-Up
- Producto asociado
- Operarios a cargo

Con estos parámetros se van cargar los datos en el ARENA, para saber la demora y los recursos que se deben utilizar en cada proceso, para medir las diferencias entre las 3 alternativas

En cuanto al tratamiento térmico en el proceso de bobinado:

- Capacidad del horno: útil para conocer la cantidad máxima de productos que pueden entrar en el mismo.
- Tiempo de set-up del horno para cada tipo de electroimán, sirve para conocer si conviene mandar más de un producto a la vez (en forma de batch) o mandarlos en forma aleatoria.

Los tiempos de set-up se pidieron para verificar si es posible la suposición de despreciarlos en la elaboración del modelo operacional.

Operaciones:

- Método de producción: ¿todos los productos a la vez o producción por lote?

Mantenimiento:

- Conocer qué máquinas reciben mantenimiento. De ser así, el momento elegido para realizarlo (turno extra, sábados y domingos, detención de la producción) y su frecuencia

Los datos obtenidos por las personas de las diferentes direcciones:

- Demanda
- Layout planta
- Especificaciones técnicas de los tubos
- Detalle de la línea de producción Rodam.

Análisis de la demanda

Se estudiaron los valores históricos mensuales para los años 2004 y 2005. El estudio se hizo para todos los productos.

Al tratarse de una serie de tiempo se analiza:

- **Estacionalidad:** El comportamiento es periódico para cada año
- **Tendencia:** la tendencia lineal se estima con el Excel mediante el método de mínimos cuadrados
- **Ruido:** Mediante el Input Analyzer del ARENA se estima la distribución de probabilidades que más se adecua al histograma de datos. Si bien en todos los casos la distribución que más se adecua resultó ser la función Beta, se ajustó con una distribución Normal.

Proyección de la demanda

El pronóstico de acuerdo al método empleado es el de ADITIVIDAD:

Pronóstico = Tendencia proyectada + Estacionalidad + Ruido

Con los valores de la demanda histórica (años 2004 y 2005) se calcula la tendencia lineal con el método de mínimos cuadrados.

Una vez eliminada la tendencia, se define con los valores restantes la amplitud y frecuencia para estudiar la estacionalidad.

Finalmente, con los valores restantes (Demanda – Tendencia – Estacionalidad) se estudia la distribución del ruido en un histograma de frecuencias.

Se proyectaron los valores de la demanda mensual para los años 2005, 2006 y 2007 para el número total de electroimanes.

Estudio de la demanda

A continuación se describe el método utilizado para realizar la estimación de la demanda total de electroimanes para los años 2006, 2007 y 2008.

Paso 1: Demanda histórica

Se realizó una tabla con los valores históricos de los años 2004 y 2005, proporcionados por Rodam.

Producto	Mercado	Año	Número	Total
Electroimán	Argentina	2004	1	2,497
Electroimán	Argentina	2004	2	1,543
Electroimán	Argentina	2004	3	2,030
Electroimán	Argentina	2004	4	2,192
Electroimán	Argentina	2004	5	3,086
Electroimán	Argentina	2004	6	3,553
Electroimán	Argentina	2004	7	3,857
Electroimán	Argentina	2004	8	3,674
Electroimán	Argentina	2004	9	3,695
Electroimán	Argentina	2004	10	3,715
Electroimán	Argentina	2004	11	3,796
Electroimán	Argentina	2004	12	3,553
Electroimán	Argentina	2005	13	3,471
Electroimán	Argentina	2005	14	3,532
Electroimán	Argentina	2005	15	3,593
Electroimán	Argentina	2005	16	4,222
Electroimán	Argentina	2005	17	5,116
Electroimán	Argentina	2005	18	6,252
Electroimán	Argentina	2005	19	5,684
Electroimán	Argentina	2005	20	5,907
Electroimán	Argentina	2005	21	5,603
Electroimán	Argentina	2005	22	4,730
Electroimán	Argentina	2005	23	5,481
Electroimán	Argentina	2005	24	4,994

Tabla 1: Demanda Histórica

Paso 2: Generación de ruido

En este paso se requieren los datos arrojados por el Input Analyzer (del ARENA), el cual arroja que el ruido tiene una distribución con media -0,0833 y un desvío Standard de 476 unidades. Esto verifica los datos que arroja el excel en un escenario ideal el cual da que la media es cero y el desvío std 486; esto valida los datos ya que los datos arrojados por el Input Analyzer deben ser similares a los arrojados por el excel.

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

Se emplea el método directo

EL RUIDO TIENE UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL CON MEDIA 0 Y DESVÍO ESTÁNDAR 476 UNIDADES

Generación del ruido para los electroimanes												
Mes	Número	r1	r2	r1	r2	Z1	Z2	Z1	Z2	X1	X2	X promedio
Enero	0	0.45	0.97	0.45	0.67	-1.09	-0.63	-1.09	-0.63	-520	-300	-410
Febrero	1	0.72	0.24	0.71	0.51	-0.06	-0.83	-0.06	-0.83	-28	-396	-212
Marzo	2	0.49	0.48	0.93	0.35	0.30	-0.21	0.30	-0.21	144	-101	22
Abril	3	0.95	0.31	0.58	0.93	-0.47	0.92	-0.47	0.92	-223	440	109
Mayo	4	0.54	0.22	0.07	0.08	1.09	2.00	1.09	2.00	520	952	736
Junio	5	0.44	0.96	0.27	0.42	0.81	-1.40	0.81	-1.40	384	-665	-141
Julio	6	0.79	0.13	0.32	0.12	1.01	1.13	1.01	1.13	483	537	510
Agosto	7	0.38	0.84	0.79	0.42	0.31	-0.60	0.31	-0.60	149	-288	-69
Septiembre	8	0.43	0.71	0.74	0.80	-0.73	0.26	-0.73	0.26	-349	122	-113
Octubre	9	0.60	0.64	0.61	0.63	-0.74	-0.66	-0.74	-0.66	-352	-313	-332
Noviembre	10	0.18	0.44	0.25	0.01	0.08	1.67	0.08	1.67	37	796	416
Diciembre	11	0.66	0.03	0.70	0.11	0.54	0.66	0.54	0.66	256	313	284
Enero	12	0.83	0.71	0.47	0.48	0.14	-1.22	0.14	-1.22	66	-580	-257
Febrero	13	0.31	0.91	0.92	0.16	0.33	0.22	0.33	0.22	159	105	132
Marzo	14	0.40	0.83	0.49	0.02	0.12	1.19	0.12	1.19	56	566	311
Abril	15	0.27	0.39	0.50	0.51	-0.08	-1.18	-0.08	-1.18	-36	-563	-300
Mayo	16	0.68	0.75	0.72	0.08	0.40	0.71	0.40	0.71	190	338	264
Junio	17	0.05	0.37	0.35	0.81	-1.34	0.56	-1.34	0.56	-638	268	-185
Julio	18	0.02	0.73	0.89	0.60	-0.28	-0.38	-0.28	-0.38	-133	-180	-157
Agosto	19	0.53	0.42	0.53	0.54	-0.30	-1.08	-0.30	-1.08	-143	-514	-329
Septiembre	20	0.10	0.62	0.73	0.91	-0.42	0.67	-0.42	0.67	-199	320	60
Octubre	21	0.19	0.78	0.42	0.65	-1.07	-0.78	-1.07	-0.78	-509	-370	-440
Noviembre	22	0.68	0.68	0.99	0.39	0.09	-0.11	0.09	-0.11	42	-53	-6
Diciembre	23	0.49	0.04	0.72	0.04	0.18	0.80	0.18	0.80	88	380	234
Enero	24	0.03	0.27	0.04	0.50	0.02	-2.49	0.02	-2.49	8	-1186	-589
Febrero	25	0.51	0.42	0.71	0.16	0.70	0.43	0.70	0.43	335	206	270
Marzo	26	0.32	0.09	0.98	0.39	0.11	-0.14	0.11	-0.14	54	-68	-7
Abril	27	0.06	0.68	0.16	0.67	-1.69	-0.87	-1.69	-0.87	-804	-416	-610
Mayo	28	0.04	0.95	0.76	0.34	0.64	-0.39	0.64	-0.39	303	-188	58
Junio	29	0.13	0.28	0.30	0.87	-1.12	1.07	-1.12	1.07	-533	510	-12
Julio	30	0.67	0.77	0.09	0.90	-1.31	1.78	-1.31	1.78	-625	845	110
Agosto	31	0.53	0.82	0.10	0.55	-0.65	-2.06	-0.65	-2.06	-309	-981	-645
Septiembre	32	0.27	0.16	0.61	0.94	-0.38	0.92	-0.38	0.92	-181	436	128
Octubre	33	0.73	0.42	0.80	0.28	0.65	-0.13	0.65	-0.13	310	-61	124
Noviembre	34	0.43	0.90	0.82	0.10	0.38	0.50	0.38	0.50	180	238	209
Diciembre	35	0.89	0.63	0.37	0.05	0.42	1.34	0.42	1.34	198	640	419

Tabla 2: Generación de Ruido

Paso 3: Análisis

Se analiza en el excel la tendencia, estacionalidad y el ruido.

Se calcula la recta de regresión que se emplea para pronosticar la demanda de los próximos 3 años

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

Producto		Electroimanes			Pronóstico = Tendencia proyectada + Estacionalidad + Ruido		Fórmula estacionalidad	
Mercado		Argentina			Ecuación tendencia		Amplitud	
					y = 157 x + 2186		Máximo (mes)	
					Tendencia a eliminar		Sin tendencia	
					Valor según ecuación		Estacionalidad	
					Valor restante		Sin Estacionalidad ni Tendencia	
Año	Mes	Mes (Nº)	Total	Valor según ecuación	Valor restante	Valor según ecuación	Valor restante	
2004	Enero	0	2,497	2,186	311	-1,100	1,411	
	Febrero	1	1,543	2,343	-800	-953	153	
	Marzo	2	2,030	2,500	-470	-550	80	
	Abril	3	2,192	2,657	-464	0	-464	
	Mayo	4	3,086	2,814	272	550	-278	
	Junio	5	3,553	2,970	582	953	-371	
	Julio	6	3,857	3,127	730	1,100	-371	
	Agosto	7	3,674	3,284	390	953	-563	
	Septiembre	8	3,695	3,441	253	550	-297	
	Octubre	9	3,715	3,598	117	0	117	
	Noviembre	10	3,796	3,755	41	-550	591	
	Diciembre	11	3,553	3,912	-360	-953	593	
2005	Enero	12	3,471	4,069	-598	-1,100	502	
	Febrero	13	3,532	4,226	-694	-953	259	
	Marzo	14	3,593	4,383	-790	-550	-240	
	Abril	15	4,222	4,540	-318	0	-318	
	Mayo	16	5,116	4,697	419	550	-131	
	Junio	17	6,252	4,854	1,399	953	446	
	Julio	18	5,684	5,011	673	1,100	-427	
	Agosto	19	5,907	5,168	740	953	-213	
	Septiembre	20	5,603	5,325	278	550	-272	
	Octubre	21	4,730	5,482	-752	0	-752	
	Noviembre	22	5,481	5,639	-158	-550	392	
	Diciembre	23	4,994	5,796	-802	-953	151	
Total general			95,775					

Recta de regresión	
a (pendiente)	b(ordenada)
157	2186

Ruido	
Media	0.0
Desvío	486.60

Tabla 3: Análisis de la tendencia y estacionalidad

El Ruido se analiza con el Input Analyzer (ver en el Anexo)

Paso 4: Tendencia

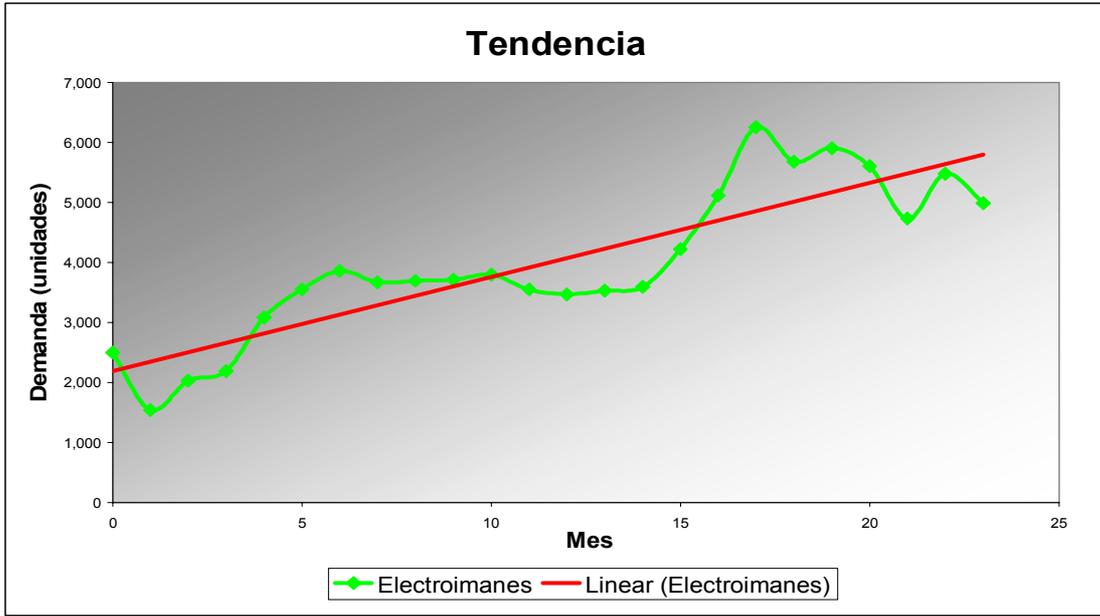


Figura 2: Gráfico de Tendencia

Paso 5: Estacionalidad

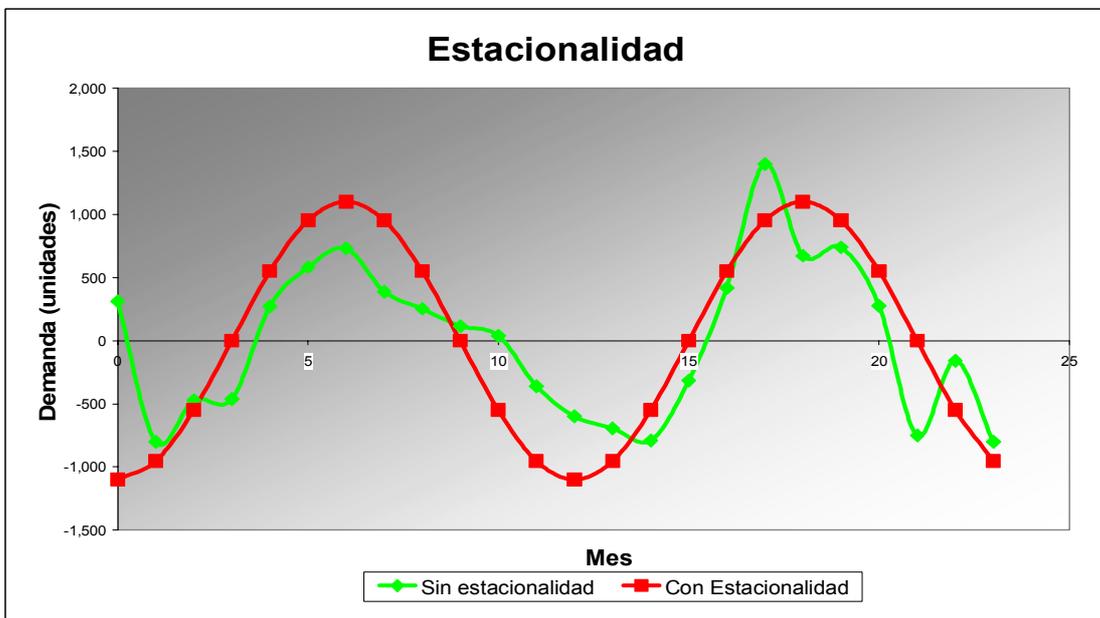


Figura 3: Gráfico de estacionalidad

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

Paso 6: Pronóstico

Este es el paso final en donde se calcula la demanda proyectada con y sin ruido.

Producto	Mercado	Año	Mes	Número	Total sin ruido	Mes	Pronóstico
Electroimán	Argentina	2006	Enero	0	4,852	24	4,442
Electroimán	Argentina	2006	Febrero	1	5,157	25	4,944
Electroimán	Argentina	2006	Marzo	2	5,716	26	5,738
Electroimán	Argentina	2006	Abril	3	6,423	27	6,532
Electroimán	Argentina	2006	Mayo	4	7,130	28	7,867
Electroimán	Argentina	2006	Junio	5	7,690	29	7,549
Electroimán	Argentina	2006	Julio	6	7,994	30	8,504
Electroimán	Argentina	2006	Agosto	7	8,004	31	7,935
Electroimán	Argentina	2006	Septiembre	8	7,758	32	7,645
Electroimán	Argentina	2006	Octubre	9	7,365	33	7,033
Electroimán	Argentina	2006	Noviembre	10	6,972	34	7,388
Electroimán	Argentina	2006	Diciembre	11	6,726	35	7,010
Electroimán	Argentina	2007	Enero	12	6,736	36	6,479
Electroimán	Argentina	2007	Febrero	13	7,040	37	7,172
Electroimán	Argentina	2007	Marzo	14	7,600	38	7,911
Electroimán	Argentina	2007	Abril	15	8,307	39	8,007
Electroimán	Argentina	2007	Mayo	16	9,014	40	9,278
Electroimán	Argentina	2007	Junio	17	9,573	41	9,389
Electroimán	Argentina	2007	Julio	18	9,878	42	9,721
Electroimán	Argentina	2007	Agosto	19	9,887	43	9,559
Electroimán	Argentina	2007	Septiembre	20	9,641	44	9,702
Electroimán	Argentina	2007	Octubre	21	9,248	45	8,809
Electroimán	Argentina	2007	Noviembre	22	8,855	46	8,850
Electroimán	Argentina	2007	Diciembre	23	8,609	47	8,843
Electroimán	Argentina	2008	Enero	24	8,619	48	8,030
Electroimán	Argentina	2008	Febrero	25	8,923	49	9,194
Electroimán	Argentina	2008	Marzo	26	9,483	50	9,476
Electroimán	Argentina	2008	Abril	27	10,190	51	9,580
Electroimán	Argentina	2008	Mayo	28	10,897	52	10,955
Electroimán	Argentina	2008	Junio	29	11,457	53	11,445
Electroimán	Argentina	2008	Julio	30	11,761	54	11,871
Electroimán	Argentina	2008	Agosto	31	11,771	55	11,126
Electroimán	Argentina	2008	Septiembre	32	11,525	56	11,653
Electroimán	Argentina	2008	Octubre	33	11,132	57	11,256
Electroimán	Argentina	2008	Noviembre	34	10,739	58	10,948
Electroimán	Argentina	2008	Diciembre	35	10,493	59	10,911

Año	Total Pronosticado
2006	82,587
2007	103,717
2008	126,444

El Input Analyzer del Arena arroja:	
Media	0
Desvío Std	476
Distribución Normal	

Tabla 4: Pronósticos

El siguiente gráfico muestra la proyección para los años 2006, 2007 y 2008. En el mismo se puede apreciar la tendencia y estacionalidad, sin incluir el ruido.

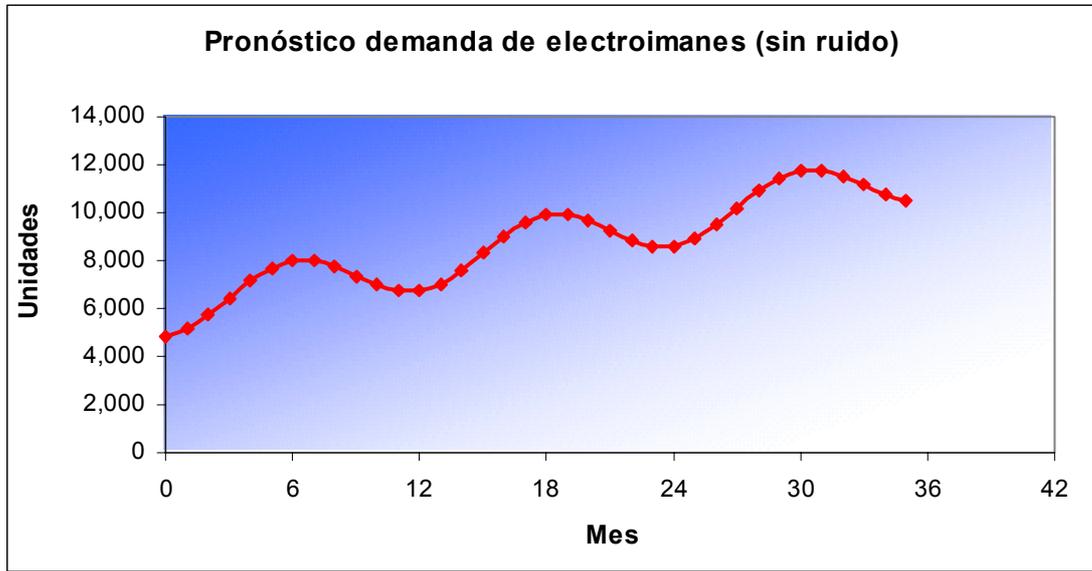


Figura 4: Gráfico del pronóstico sin ruido

El siguiente gráfico muestra la proyección para los años 2006, 2007 y 2008. En el mismo se puede apreciar la tendencia, estacionalidad y el ruido. El ruido se cargó en el ARENA, dado que al hacerse varias corridas con la distribución Normal, para cada corrida el mismo puede variar.

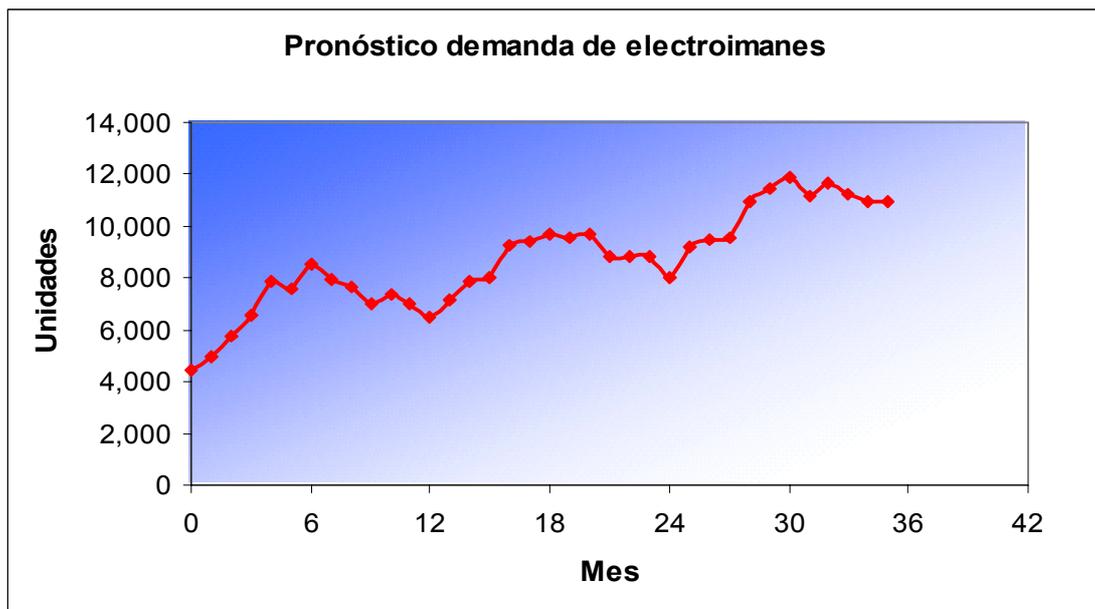


Figura 5: Gráfico del pronóstico con ruido

Datos de cada uno de los procesos:

➤ **Cortado:**

- ❖ Perfiles T:
 - ✓ Máquina: Balancín 1
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Constante 30 segundos

- ❖ Guías y escuadras:
 - ✓ Máquina: Balancín 1
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Constante 1 segundos

- ❖ Perfiles U:
 - ✓ Máquina: Balancín 2
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Constante 30 segundos

- ❖ Refuerzos:
 - ✓ Máquina: Balancín 3
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Constante 2 segundos

- ❖ Aritos y Terminales:
 - ✓ Máquina: Balancín 6
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Constante 2 segundos

➤ **Doblado:**

- ❖ Escuadras:
 - ✓ Máquina: Balancín 4
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Constante 2 segundos

- ❖ Perfil T:
 - ✓ Máquina: Balancín 5
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Constante 2 segundos

- ❖ Terminales:
 - ✓ Máquina: Prensa Neumática
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Constante 2 segundos

➤ ***Armado y Pesado: (Perfiles T y U)***

- ❖ Pesado:
 - ✓ Máquina: Balanza
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Función Triangular: 18 seg, 20 seg, 22 seg

- ❖ Remachado a mano:
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Función Triangular: 12 seg, 15 seg, 18 seg

- ❖ Prensado hidraulico
 - ✓ Máquina: Prensado hidraulico y remachado automático:
 - ✓ Tiempo: Función triangular: 25 seg, 30 seg, 35 seg

➤ ***Bobinado (el carretel)***

- ❖ Pastillado:
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Constante 5 segundos

- ❖ Prensado:
 - ✓ Máquina: Prensa de inyección
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Función Triangular: 2,5 min, 3 min, 3,5 min

- ❖ Bobinado:
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: según el tipo de electroimán
 - 220V: Tiempo: Constante 2 minutos
 - 380V: Tiempo: Función Triangular: 1,8 min, 2 min, 2,2 min
 - 12V: Tiempo: Constante: 5 minutos
 - 110V: Tiempo: Constante: Función Triangular: 1,6 min, 2 min, 2,4 min

- ❖ Encintado y Colocación de Terminales:
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Función Triangular: 48 seg, 50 seg, 52 seg

- ❖ Horneado (1 y 2) y Barnizado
 - ✓ Máquina: Hornos y Barnizadora
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempos:
 - Horneado1: Constante: 80 minutos
 - Barnizado: Constante 50 minutos
 - Horneado 2: Constante 90 min

- ***Electrosincado y Anticorrosivo: (Perfiles T, U y escuadras)***
 - ❖ Máquina: Electrosincado y Anticorrosivo
 - ❖ Tiempo: Constante 140 minutos

- ***Ensamblado:***
 - ❖ 1 operario
 - ❖ Tiempo: Función Triangular: 2,5 min, 3 min, 3,5 min

- ***Control de Calidad:***
 - ❖ Eliminación de ruidos:
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Función Triangular: 8 seg, 10 seg, 12 seg

 - ❖ Prueba Final:
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Constante 5 seg

 - ❖ Despacho:
 - ✓ 1 operario
 - ✓ Tiempo: Función Triangular: 17 seg, 20 seg, 23 seg

Nota: todos los datos fueron proporcionados por Rodam

MODELO OPERACIONAL

El modelo operacional describe la lógica del proceso a simular. En este caso, se describirá la lógica seguida por los productos a través de la línea de producción.

A continuación se presenta el diagrama de flujo que representa a dicha situación:

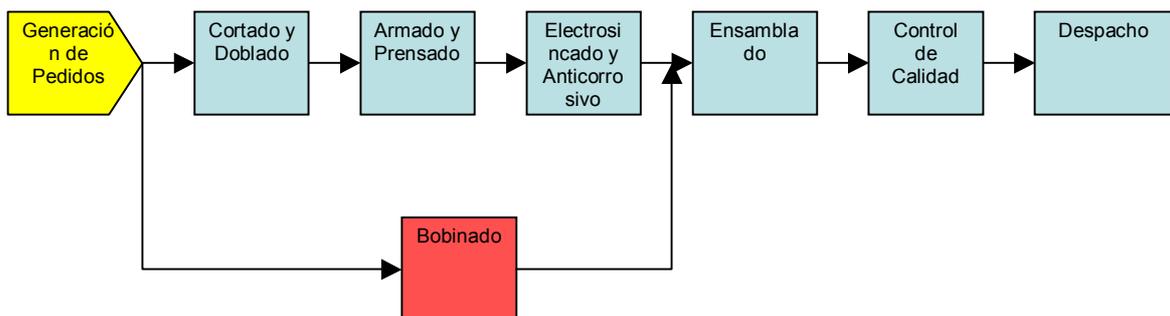


Figura 6: Flujograma del Modelo Operacional

Elección del software

Para la elección del software, se tuvieron en cuenta tres aspectos fundamentales:

- Input
- Procesamiento
- Output

Input

El Arena tiene una herramienta llamada Input Analyzer que se utiliza para realizar el análisis estadístico de los datos de entrada.

El Input Analyzer es útil para determinar una apropiada distribución de entrada a un modelo de Arena. Permite tomar datos relevados y determinar el ajuste a una determinada distribución estadística, pudiendo incorporarse directamente en el modelo.

Procesamiento

Tiene como ventaja que es intuitivo a la hora de modelizar el sistema basándose en un diagrama de flujo lógico del proceso total.

La velocidad de procesamiento es un factor clave, debido a que se trabaja con una cantidad de entidades importantes, debido a que la cantidad de entidades en el sistema estará directamente relacionada con la demanda. La capacidad de procesamiento también será importante por lo anteriormente dicho, aunque en algunos casos, si la cantidad de entidades es demasiado grande, la limitante podrá ser la capacidad del computador donde se realice la simulación y no el software en si.

Si bien hay otros programas que ofrecen un medio más “realista” gracias a un entorno gráfico mejor desarrollado, se considera que debido al tipo de problema que se analiza, con el entorno del Arena será suficiente para la simulación.

Output

Los datos que se entregan a la salida de la simulación, serán algunos de los que deberán ser controlados para lograr los objetivos fijados. Como se desea abordar el análisis de los cuellos de botella, será fundamental que en el reporte final se pueda ver el tamaño de la cola y el tiempo de ésta para cada uno de los procesos involucrados en el sistema. Con el Arena esto es fácil de hallar.

Sobre la base de estos tres aspectos, finalmente se decidió utilizar el Arena para modelizar el sistema.

Descripción del proceso en ARENA

El proceso de modelizado en Arena está basado en el Diagrama flujo antes mencionado.

Se realizaron adaptaciones a este diagrama para lograr adaptar el modelo lo más cercano a la realidad. A continuación se explica como se modelizó en Arena cada parte del modelo:

Demanda

Se supuso como simplificación que todos los meses tienen una duración de 20 días y que se hacen 4 pedidos por mes, lo que significa que se reciben pedidos cada 5 días. Esto significa que en un año se hacen 48 pedidos y que al final de los tres años se habrán recibido 144 pedidos.

Para cargar estos valores en el ARENA se utilizan los datos del pronóstico mensual sin ruido y a éstos se lo dividió por 4, de forma tal de obtener la demanda por pedido y a éstos valores se le carga también el ruido hallado con el Input Analyzer. Ambos valores son cargados como una expresión en forma de una matriz con una columna y una cantidad de filas fijada por la cantidad de pedidos que hay para 3 años (que en total suman 144 pedidos), que fue el horizonte para el cual se estimó la demanda.

Una vez que los valores de demanda por día fueron cargados, se utiliza un módulo CREATE para cada una de las demandas. La tasa de arribos es constante cada 5 días. Aquí es importante aclarar que solo llega una entidad que luego será dividida en la cantidad deseada. Esta división se realiza mediante un módulo SEPARATE, donde el valor que toma la cantidad de entidades a la que será separado, está determinado por los valores cargados anteriormente en la expresión.

Finalmente de este módulo SEPARATE saldrá la cantidad de piezas demandadas para cada tipo de producto.

En el Anexo se muestran los valores cargados en la matriz de pedidos mencionada anteriormente.

Asignación de propiedades

Una vez que se tiene la cantidad de piezas demandadas, se deberán cargar los datos a cada entidad. Estos datos serán:

- Tipo
- Diámetro
- Superficie Externa
- Superficie Interna
- Prioridad

El Tipo se refiere a que es la entidad. En este caso se diferencian por el tipo de bobinado (220V, 380V, 12V y 110V).

Diámetro, Superficie Externa y Superficie interna, serán las medidas que tendrá la pieza, y se cargan inicialmente con datos proporcionados por Rodam en una variable dimensional (matriz). Luego para la asignación de cada medida se recurre a esta matriz directamente.

Finalmente, la prioridad estará determinada por la contribución marginal de cada producto.

Modelo del proceso

Finalmente una vez que se tiene la cantidad de piezas demandadas, se modeliza cada uno de los procesos que formarán parte del proceso final. Para realizar esto se partió del modelo lógico antes mostrado. Cada uno de los macroprocesos fueron planteados como sub-modelos, donde dentro hay otros procesos, mientras que que dentro de esos sub-modelos están los rombos de decisión que determinarán para donde irá cada producto de acuerdo a los procesos a los que se los deben someter.

A continuación se realiza una breve descripción de los sub-modelos que presentaron puntos interesantes a la hora de ser cargados en el Arena.

Cortado

El proceso de cortado se realiza mediante 5 máquinas diferentes. Este proceso se realiza en máquinas llamadas balancines. A continuación se muestra en que balancín se realiza el cortado de cada uno de los elementos constitutivos de un electroimán:

- Perfil T, guías y escuadras: proceso de cortado en el balancín 1.
- Perfil U: proceso de cortado en el balancín 2.
- Refuerzos: proceso de cortado en el balancín 3.
- Guías: proceso de cortado en balancín 5.
- Aritos y terminales: proceso de cortado en el balancín 6.

Doblado:

El doblado se realiza en 2 máquinas distintas: balancín 4 y prensa neumática, según el tipo de elemento constitutivo en cuestión.

- Escuadras: proceso de doblado en el balancín 4.
- Terminales: proceso de doblado en la prensa neumática.

Armado y prensado:

El armado y prensado consta de cuatro etapas: Pesado, Control de calidad, Remachado a mano y Prensado hidráulico (más remachado automático). Estos procesos se le aplican únicamente a los perfiles U y perfiles T.

Bobinado:

Este proceso está formado por 8 subprocesos:

- Pastillado
- Prensado (con una prensa inyectora)
- Bobinado (el tiempo de este proceso difiere según la voltaje del electroimán a bobinar)
- Encintado
- Colocación de terminales
- Horneado en el horno 1
- Barnizado
- Horneado en el horno 2

Electrosincado y Anticorrosivo:

Este proceso es uno de los que más tiempo demanda. Se realiza en dos máquinas: una para el electrosincado y otra en la cual se le agrega a algunos elementos constitutivos del electroimán una película que los protege de la corrosión.

Ensamble

Para modelizar esta etapa del proceso, se dividió inicialmente en 2 líneas: una por donde vienen los bobinados de los cuatro tipos de electroimanes y otra por donde vienen los demás elementos constitutivos. A partir de acá se utilizaron tres tipos de módulos en el ARENA: BATCH, MATCH Y ASSIGN. En este último ya quedan definidos los cuatro tipos de electroimanes.

Control de Calidad:

Este proceso consta de tres subprocesos: Eliminación de ruidos, Prueba final y Scrap. Rodam ha proporcionado el dato de que el 2% del total de los electroimanes van a Scrap.

Despacho:

Este es el proceso en el cual un operario lleva los electroimanes que ya pasaron por el último control de calidad hacia el almacén de productos terminados.

Dispose final y Medición

Para la disposición final, se separaron los módulos DISPOSE según el tipo de electroimán, definido por el ASIGN al final del proceso de ensamble. Esto permite una medición de cual es la cantidad de piezas que se producen de cada tipo.

El modelo operacional del sistema se puede observar en el modelo codificado en Arena que se encuentra en el CD adosado a este informe con el nombre “electroimanes actual.doe” como así también cada una de las tres alternativas, llamadas “Alternativa 1.doe”, “Alternativa 2.doe” y “Alternativa 3.doe”.

CODIFICACIÓN

Para diseñar la codificación del modelo, se debe comprender la utilidad de todo lo que se efectuó hasta el momento, y es por esto que a continuación se hace un repaso de lo hecho. Lo primero es describir el sistema tal como se hizo en el Modelo conceptual, donde se establecieron los flujos, los procesos, las variables, los parámetros y las simplificaciones necesarias. Una vez que el sistema se encuentra bien definido, se efectúa el relevamiento y el análisis de los datos empíricos, y se genera el modelo de datos del sistema, tal como se hizo en el Modelo de datos. Entonces se puede diseñar el diagrama que describe con precisión la secuencia de operaciones a realizarse. Dicho diagrama se mencionó en el Modelo operacional, y es el que se encuentra en el modelo codificado. En la parte de la codificación se trata de introducir el modelo conceptual, el modelo operacional y el modelo de datos en un software de simulación. En este caso se empleará el Arena.

La codificación del modelo se arma mediante la utilización de los siguientes módulos:

- **Create:**
 - ❖ Representa el inicio del proceso de flujo.
 - ❖ Las entidades entran por este módulo a la simulación.

- **Dispose:**
 - ❖ Representa el final del proceso de flujo.
 - ❖ Las entidades son removidas de la simulación por este método.

- **Process:**
 - ❖ Representa una actividad, usualmente llevada a cabo por uno o más recursos y que requiere determinado tiempo para completarse.

- **Decide:**
 - ❖ Representa una bifurcación en el proceso de flujo.
 - ❖ Solamente una rama puede tomarse.

- **Batch:**
 - ❖ Junta un número de entidades antes de que puedan continuar el proceso.

- **Separate:**
 - ❖ Duplica entidades para procesamiento concurrente o paralelo.
 - ❖ Además puede separar batchs de entidades que se habían armado previamente.

➤ ***Assign:***

- ❖ Cambia el valor de algún parámetro (durante la simulación) como el tipo de entidad o una variable del modelo.

El modelo codificado en Arena se encuentra en el CD adosado a este informe con el nombre “electroimanes actual.doe”. En el mismo se puede ver la codificación del modelo y de cada una de las alternativas funcionando.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Cálculo del número de corridas

En primera instancia, se hacen 20 corridas para una duración de 1 año (52 semanas de 5 días cada una). La contribución marginal de cada producto es la siguiente:

Serie	Margen
220V	80%
380V	20%
12V	60%
110V	40%

Tabla 5: Margen de utilidad para cada tipo de electroimán

Al realizar las 20 corridas arrojó los siguientes resultados:

Demanda media (Number In) = 82587 unidades

Producción media (Number Out) = 81401 unidades

Half With (HW_0) = 590.15

Desvío estandar muestral (S_0) = 3.6

Se observa que **el intervalo de confianza ($2 * HW_0$) es un 1,45% de la Producción media**, valor que parece aceptable.

Se busca un mayor nivel de precisión fijando un $HW = 1$ unidad. Suponiendo una distribución normal para los datos de salida y un nivel de confianza del 5 %:

$$HW = 1 = Z * S_0 / \text{SQRT}(N)$$

Siendo $Z_a = 1,96$; $S_0 = 3.6$

$$N = (Z * S_0 / HW)^2$$

Lo que da un total de 50 corridas

RESULTADOS

A modo de recapitulación, en la etapa de formulación del problema, se definió que la empresa Rodam deseaba hallar el plan de ampliación de la capacidad productiva efectiva más conveniente, mediante la evaluación de las siguientes alternativas posibles:

- 1) Optimización de la capacidad actual operando 2 turnos a través de una mejor programación de la producción eliminando la línea de bobinado.
- 2) Incorporar un nuevo turno de trabajo
- 3) Incorporar una nueva línea de mecanizado de mayor productividad donde se encuentre el cuello de botella.

La duración de cada corrida será de 3 años. Este valor representa la demanda (ya pronosticada en el modelo de Datos) de los años 2006, 2007 y 2008.

El indicador utilizado es la utilidad para cada alternativa. Para ello se calculan los costos unitarios variables por unidad producida.

Es necesario aclarar que la utilidad se calcula en función del Margen, debido a que éste fue el dato suministrado por Rodam (no así el precio ni los costos variables).

Utilidad = (Precio – Costo) x Unidad - Gastos Fijos

Se sabe además que

$\text{Margen} = (\text{Precio} - \text{Costo}) / \text{Costo}$

Entonces,

Utilidad = Margen x Costo x Unidad – Gastos Fijos

Para esto se deben calcular los costos unitarios y la cantidad de unidades producidas. Las unidades producidas son halladas mediante el modelo de Arena. El costo unitario se calcula con la incidencia de la mano de obra sobre las piezas producidas. Se vio el reporte final del Arena el tiempo promedio de uso de recursos (Tabla Resource – Utilization) y la cantidad de veces (Tabla Resource – Number of times used) que los recursos fueron usados durante los 3 años.

Para el costo de materia prima, se consideró a falta de datos, que representa un 20% del costo de mano de obra.

A continuación se detalla la estructura de costos de Mano de obra de la situación actual. Luego se realizará un análisis idéntico para cada una de las alternativas que se planteen.

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

Recurso	Tiempo (hs)	cant usado	Tiempo Total	Costos (\$/h)	Costo Total (\$)
Cortador balancín 1	0.78	13571	10567.74	7	\$ 73,974.16
Cortador balancín 2	0.01	86891	673.63	7	\$ 4,715.38
Cortador balancín 3	0.02	8538	148.70	7	\$ 1,040.90
Doblador balancín 4	0.17	57187	9881.91	7	\$ 69,173.40
Cortador balancín 5	1.00	18196	18150.51	7	\$ 127,053.57
Op. Armado y doblado	0.03	14368	467.92	7	\$ 3,275.43
Op. Pastillado y Prensado a inyección	1.00	7354	7354.00	8	\$ 58,832.00
Op. Bobinado, Encintado y coloc. Terminales	0.12	112718	13357.08	8	\$ 106,856.66
Op. Barnizado y Hornos	0.44	1282	558.95	7	\$ 3,912.66
Op. Eliminación de Ruidos	1.00	17868	17868.00	8	\$ 142,944.00
Op. Prueba final de calidad	0.21	15256	3266.31	8	\$ 26,130.48
Op. Despacho	0.00	86891	283.08	7	\$ 1,981.54

Tabla 6: Costos de la Mano de obra

Análisis de Resultados

Los procesos que fueron identificados como críticos fueron:

- Horno 1
- Barnizado
- Horno 2
- Electrosincado y Anticorrosivo

De estos cuatro procesos, el cuello de botella mas importante es el de Electrosincado y Anticorrosivo.

Situación Actual	
Serie	Pedidos (unidades)
220V	281,473
380V	21,892
12V	6,255
110V	3,127
Total	312,748

Tabla 7: Cantidad de pedidos (unidades pedidas a Rodam) para los próximos 3 años

Es necesario aclarar que los pedidos son el Number In que arroja el reporte del Arena cuando finaliza la simulación.

La utilidad para la situación actual fue:

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

Recurso	Tiempo (hs)	cant usado	Tiempo Total	Costos (\$/h)	Costo Total (\$)
Cortador balancín 1	0.78	13571	10567.74	7	\$ 73,974.16
Cortador balancín 2	0.01	86891	673.63	7	\$ 4,715.38
Cortador balancín 3	0.02	8538	148.70	7	\$ 1,040.90
Doblador balancín 4	0.17	57187	9881.91	7	\$ 69,173.40
Cortador balancín 5	1.00	18196	18150.51	7	\$ 127,053.57
Op. Armado y doblado	0.03	14368	467.92	7	\$ 3,275.43
Op. Pastillado y Prensado a inyección	1.00	7354	7354.00	8	\$ 58,832.00
Op. Bobinado, Encintado y coloc. Terminales	0.12	112718	13357.08	8	\$ 106,856.66
Op. Barnizado y Hornos	0.44	1282	558.95	7	\$ 3,912.66
Op. Eliminación de Ruidos	1.00	17868	17868.00	8	\$ 142,944.00
Op. Prueba final de calidad	0.21	15256	3266.31	8	\$ 26,130.48
Op. Despacho	0.00	86891	283.08	7	\$ 1,981.54

Unidades Totales	206413	MO	\$ 619,890.18
Costo variable (\$/u)	3.60	Costo MP	\$ 123,978.04
		Total	\$ 743,868.22

Situación Actual			
Tipo	DEMANDA	Margen	Utilidad
220V	185,772	0.8	\$ 535,585.98
380V	14,449	0.2	\$ 10,414.22
12V	4,128	0.6	\$ 8,925.86
110V	2,064	0.4	\$ 2,975.29

Utilidad Total	\$ 557,901.34
-----------------------	----------------------

Tabla 8: Utilidad proyectada para la situación actual

Es necesario aclarar que la demanda es el Number Out que arroja el reporte del Arena cuando termina la simulación.

Como la demanda es inferior al número de pedidos, **no se logra satisfacer el incremento de la demanda proyectada para los próximos 3 años.**

Análisis de alternativas

1) Eliminar la línea de Bobinado

En esta alternativa se analiza comprar el carretel completo, es decir, el carretel ya bobinado listo para ensamblar con los otros elementos constitutivos del electroimán y de esta manera ahorrarse el proceso de bobinado. El conjunto de todas las máquinas necesarias para realizar este proceso se venderá a un precio residual de \$25.000. También se supone que el costo de la materia prima en este caso será mayor en un 50%.

Los resultados obtenidos fueron:

Recurso	Tiempo (hs)	cant usado	Tiempo Total	Costos (\$/h)	Costo Total (\$)
Cortador balancín 1	0.78	13571	10581.31	7	\$ 74,069.16
Cortador balancín 2	0.01	86891	673.63	7	\$ 4,715.38
Cortador balancín 3	0.02	8538	148.70	7	\$ 1,040.90
Doblador balancín 4	0.17	57187	9881.91	7	\$ 69,173.40
Cortador balancín 5	1.00	18196	18150.51	7	\$ 127,053.57
Op. Armado y doblado	0.03	14368	467.92	7	\$ 3,275.43
Op. Pastillado y Prensado a inyección	0.00	0	0.00	8	\$ 0.00
Op. Bobinado, Encintado y coloc. Terminales	0.00	0	0.00	8	\$ 0.00
Op. Barnizado y Hornos	0.00	0	0.00	7	\$ 0.00
Op. Eliminación de Ruidos	1.00	17868	17868.00	8	\$ 142,944.00
Op. Prueba final de calidad	0.21	15256	3266.31	8	\$ 26,130.48
Op. Despacho	0.00	86891	283.08	7	\$ 1,981.54

Unidades Totales	259582	MO	\$ 450,383.85
Costo variable (\$/u)	2.95	Costo MP	\$ 315,268.70
		Total	\$ 765,652.55

Alternativa 1: Eliminar la línea de Bobinado			
Tipo	DEMANDA	Margen	Utilidad
220V	233,623	0.8	\$ 551,267.95
380V	18,171	0.2	\$ 10,719.29
12V	5,192	0.6	\$ 9,188.47
110V	2,596	0.4	\$ 3,062.82

Utilidad Total	\$ 599,238.53
-----------------------	----------------------

Tabla 9: Utilidad proyectada para la alternativa 1

Esta alternativa no logra satisfacer el incremento de la demanda proyectada para los próximos 3 años, dado que la demanda es inferior al número de pedidos.

2) Incorporar un nuevo turno de trabajo

A continuación se detallan los costos de incorporar un tercer turno durante 3 años considerando un costo de mano de obra por hora un 50 % superior al detallado:

Recurso	Tiempo (hs)	cant usado	Tiempo Total	Costos (\$/h)	Costo Total (\$)
Cortador balancín 1	0.57	15036	8538.94	7	\$ 59,772.61
Cortador balancín 2	0.01	86849	449.46	7	\$ 3,146.24
Cortador balancín 3	0.02	12807	223.05	7	\$ 1,561.35
Doblador balancín 4	0.15	72036	10452.42	7	\$ 73,166.97
Cortador balancín 5	0.72	19104	13779.72	7	\$ 96,458.01
Op. Armado y doblado	0.02	16244	398.70	7	\$ 2,790.93
Op. Pastillado y Prensado a inyección	1.00	11031	11031.00	8	\$ 88,248.00
Op. Bobinado, Encintado y coloc. Terminales	0.08	113165	8932.75	8	\$ 71,462.03
Op. Barnizado y Hornos	0.44	1945	857.36	7	\$ 6,001.49
Op. Eliminación de Ruidos	0.96	25417	24352.03	8	\$ 194,816.22
Op. Prueba final de calidad	0.15	15761	2425.62	8	\$ 19,404.94
Op. Despacho	0.00	86891	188.53	7	\$ 1,319.70

Unidades Totales	290856
Costo variable (\$/u)	2.90

MO	\$ 618,148.49
Costo MP	\$ 123,629.70
Total	\$ 844,802.94

Alternativa 2: Incorporar un nuevo turno de trabajo			
Tipo	DEMANDA	Margen	Utilidad
220V	261,770	0.8	\$ 608,257.18
380V	20,360	0.2	\$ 11,827.29
12V	5,817	0.6	\$ 10,137.43
110V	2,909	0.4	\$ 3,379.72

Utilidad Total	\$ 633,601.62
-----------------------	----------------------

Tabla 10: Utilidad proyectada para la alternativa 2

Esta alternativa no logra satisfacer el incremento de la demanda proyectada para los próximos 3 años, dado que la demanda sigue siendo inferior a los pedidos.

3) Incorporar una nueva línea de mecanizado de mayor productividad

En este caso se analiza incorporar una máquina en el proceso más crítico del sistema. El proceso identificado como cuello de botella, sobre el que se va a agregar la nueva línea, fue el de electrosincado y anticorrosión. También se agregaron dos operarios para la utilización de las nuevas máquinas.

Recurso	Tiempo (hs)	cant usado	Tiempo Total	Costos (\$/h)	Costo Total (\$)
Cortador balancín 1	0.79	13754	10860.16	7	\$ 76,021.11
Cortador balancín 2	0.01	86854	673.34	7	\$ 4,713.37
Cortador balancín 3	0.03	15853	512.60	7	\$ 3,588.17
Doblador balancín 4	0.17	57221	9893.51	7	\$ 69,254.58
Cortador balancín 5	1.00	18200	18158.14	7	\$ 127,106.98
Op. Armado y doblado	0.03	14377	468.47	7	\$ 3,279.30
Op. Pastillado y Prensado a inyección	1.16	14707	17060.12	8	\$ 136,480.96
Op. Bobinado, Encintado y coloc. Terminales	0.11	112669	12713.57	8	\$ 101,708.56
Op. Barnizado y Hornos	0.44	1283	559.77	7	\$ 3,918.41
Op. Eliminación de Ruidos	1.00	17876	17876.00	8	\$ 143,008.00
Op. Prueba final de calidad	0.26	15254	4031.63	8	\$ 32,253.06
Op. Despacho	0.01	86855	803.89	7	\$ 5,627.21

Unidades Totales	325258	MO	\$ 706,959.71
Costo variable (\$/u)	2.97	Costo MP	\$ 141,391.94
		Total	\$ 966,178.27

Alternativa 3: Incorporar una nueva línea de mayor productividad (Electrosincado y anticorrosivo)			
Tipo	DEMANDA	Margen	Utilidad
220V	292,732	0.8	\$ 695,647.88
380V	22,768	0.2	\$ 13,526.46
12V	6,505	0.6	\$ 11,593.85
110V	3,253	0.4	\$ 3,865.21

Utilidad Total	\$ 689,633.41
-----------------------	----------------------

Tabla 11: Utilidad proyectada para la alternativa 3

Esta alternativa es la única de las tres analizadas que logra satisfacer el incremento de la demanda proyectada para los próximos tres años.

Cuadro Comparativo de las distintas alternativas:

Con los datos obtenidos, se obtiene el siguiente gráfico, donde el objetivo es mediante la utilidad de cada una de las alternativas y mediante el cumplimiento o no del incremento de la demanda proyectada para los próximos tres años, detectar la opción más conveniente:

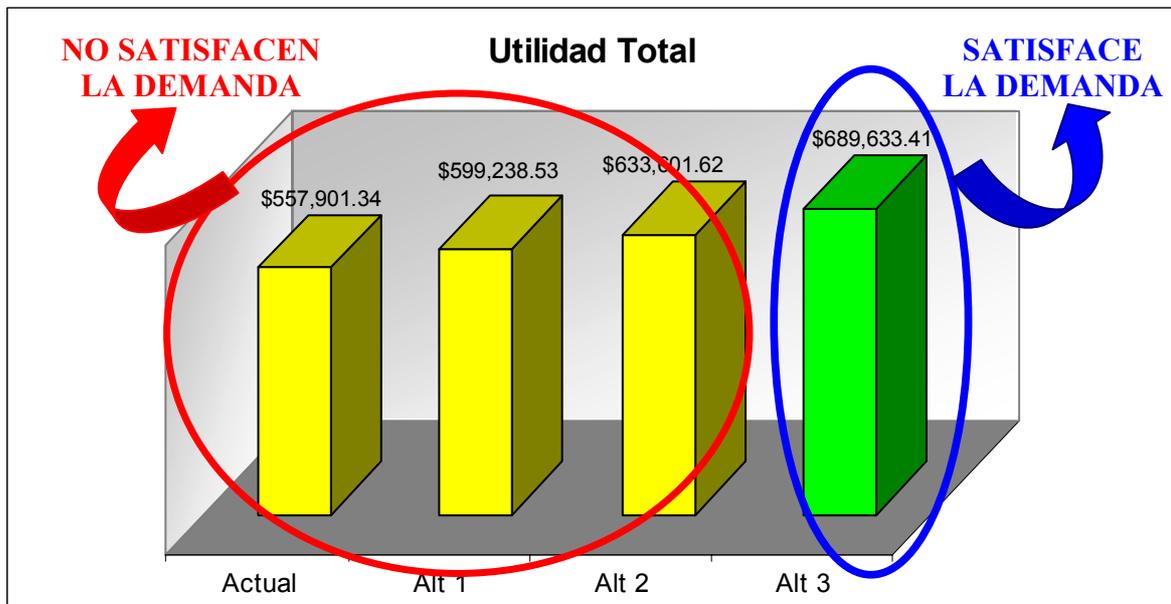


Figura 7: Resultados análisis de alternativas

Se observa que la alternativa más conveniente es la 3) Incorporar una nueva línea de mecanizado de mayor productividad de Electrosincado y Anticorrosivo.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se detecta que la alternativa que mejor se adapta a las necesidades de Rodam es la de atacar los cuellos de botella mediante la incorporación de una nueva línea de Electrosincado y Anti-Corrosión (con respecto a su antecesora).

Las ventajas de esta opción resultan bastante claras:

- **Logra satisfacer el incremento de la demanda proyectada para los próximos tres años**
- **Mayor Utilidad**
- Rápida implementación
- No se requieren tiempos muy largos de inducción en comparación con la capacitación que debería brindarle a los nuevos operarios en el caso de adoptar un nuevo turno de trabajo. Además, se requiere menor dependencia del factor humano, lo que se traduce en un menor riesgo de accidentes.
- No se terceriza una parte muy importante en lo que hace a la empresa, como es el bobinado (el corazón del producto), en comparación con la alternativa de comprar el carretel ya bobinado.

Si bien se detectan como desventajas:

- **Mayor Inversión Inicial**
Para llevar adelante esta alternativa, es necesario hacer una fuerte inversión inicial, y hay que contemplar el riesgo asociado que ello implica, al invertir en un país como Argentina.
- **Precio elevado de los repuestos**
Si bien en el modelo no se contempla que las máquinas se rompan, este es un factor clave, debido a que estas máquinas de electrosincado y anticorrosivo son importadas y el precio de los repuestos es en dólares.
- **Lead time de los repuestos**
Debido a que los repuestos son importados, van a demorar más tiempo en llegar.
- **Mantenimiento de los equipos**

ANEXOS

Valores cargados en la matriz de pedidos del ARENA

Mes	Demanda Mensual (unidades)	Pedidos por mes	Datos a ingresar en el ARENA	
			Total sin Ruido	Ruido
1	4,852	Pedido 1	1,213	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,213	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,213	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,213	+ NORM(-0.0833, 476)
2	5,157	Pedido 1	1,289	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,289	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,289	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,289	+ NORM(-0.0833, 476)
3	5,716	Pedido 1	1,429	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,429	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,429	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,429	+ NORM(-0.0833, 476)
4	6,423	Pedido 1	1,606	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,606	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,606	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,606	+ NORM(-0.0833, 476)
5	7,130	Pedido 1	1,783	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,783	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,783	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,783	+ NORM(-0.0833, 476)
6	7,690	Pedido 1	1,922	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,922	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,922	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,922	+ NORM(-0.0833, 476)
7	7,994	Pedido 1	1,999	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,999	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,999	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,999	+ NORM(-0.0833, 476)
8	8,004	Pedido 1	2,001	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,001	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,001	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,001	+ NORM(-0.0833, 476)
9	7,758	Pedido 1	1,940	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,940	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,940	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,940	+ NORM(-0.0833, 476)
10	7,365	Pedido 1	1,841	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,841	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,841	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,841	+ NORM(-0.0833, 476)
11	6,972	Pedido 1	1,743	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,743	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,743	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,743	+ NORM(-0.0833, 476)
12	6,726	Pedido 1	1,682	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,682	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,682	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,682	+ NORM(-0.0833, 476)
13	6,736	Pedido 1	1,684	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,684	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,684	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,684	+ NORM(-0.0833, 476)
14	7,040	Pedido 1	1,760	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,760	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,760	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,760	+ NORM(-0.0833, 476)
15	7,600	Pedido 1	1,900	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	1,900	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	1,900	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	1,900	+ NORM(-0.0833, 476)
16	8,307	Pedido 1	2,077	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,077	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,077	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,077	+ NORM(-0.0833, 476)
17	9,014	Pedido 1	2,253	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,253	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,253	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,253	+ NORM(-0.0833, 476)

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

18	9,573	Pedido 1	2,393	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,393	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,393	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,393	+ NORM(-0.0833, 476)
19	9,878	Pedido 1	2,469	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,469	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,469	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,469	+ NORM(-0.0833, 476)
20	9,887	Pedido 1	2,472	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,472	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,472	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,472	+ NORM(-0.0833, 476)
21	9,641	Pedido 1	2,410	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,410	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,410	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,410	+ NORM(-0.0833, 476)
22	9,248	Pedido 1	2,312	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,312	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,312	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,312	+ NORM(-0.0833, 476)
23	8,855	Pedido 1	2,214	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,214	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,214	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,214	+ NORM(-0.0833, 476)
24	8,609	Pedido 1	2,152	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,152	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,152	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,152	+ NORM(-0.0833, 476)
25	8,619	Pedido 1	2,155	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,155	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,155	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,155	+ NORM(-0.0833, 476)
26	8,923	Pedido 1	2,231	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,231	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,231	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,231	+ NORM(-0.0833, 476)
27	9,483	Pedido 1	2,371	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,371	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,371	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,371	+ NORM(-0.0833, 476)
28	10,190	Pedido 1	2,547	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,547	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,547	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,547	+ NORM(-0.0833, 476)
29	10,897	Pedido 1	2,724	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,724	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,724	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,724	+ NORM(-0.0833, 476)
30	11,457	Pedido 1	2,864	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,864	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,864	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,864	+ NORM(-0.0833, 476)
31	11,761	Pedido 1	2,940	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,940	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,940	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,940	+ NORM(-0.0833, 476)
32	11,771	Pedido 1	2,943	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,943	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,943	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,943	+ NORM(-0.0833, 476)
33	11,525	Pedido 1	2,881	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,881	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,881	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,881	+ NORM(-0.0833, 476)
34	11,132	Pedido 1	2,783	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,783	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,783	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,783	+ NORM(-0.0833, 476)
35	10,739	Pedido 1	2,685	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,685	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,685	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,685	+ NORM(-0.0833, 476)
36	10,493	Pedido 1	2,623	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 2	2,623	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 3	2,623	+ NORM(-0.0833, 476)
		Pedido 4	2,623	+ NORM(-0.0833, 476)

Tabla 12: Valores cargados en la matriz de pedidos en el Arena

Codificación en el ARENA

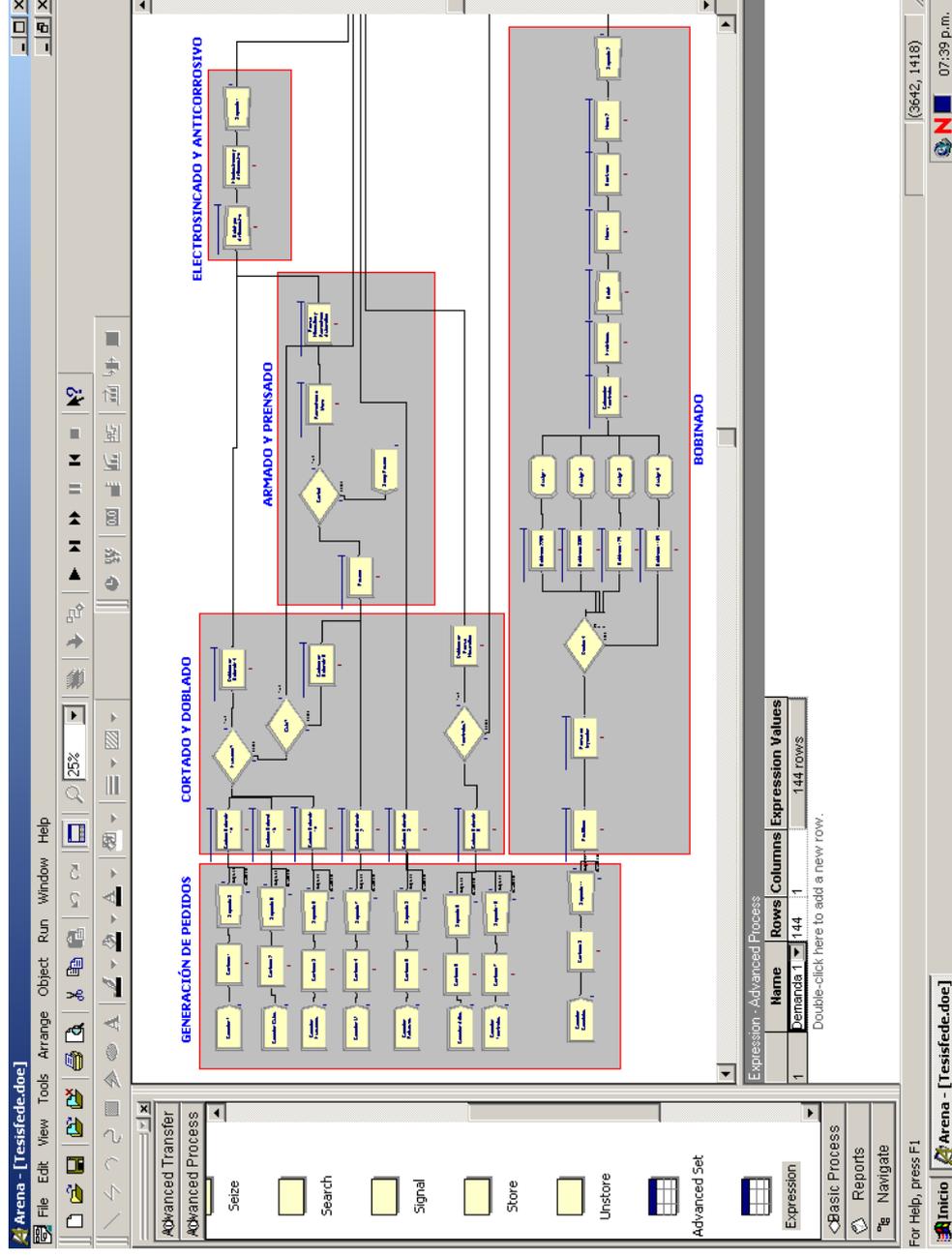
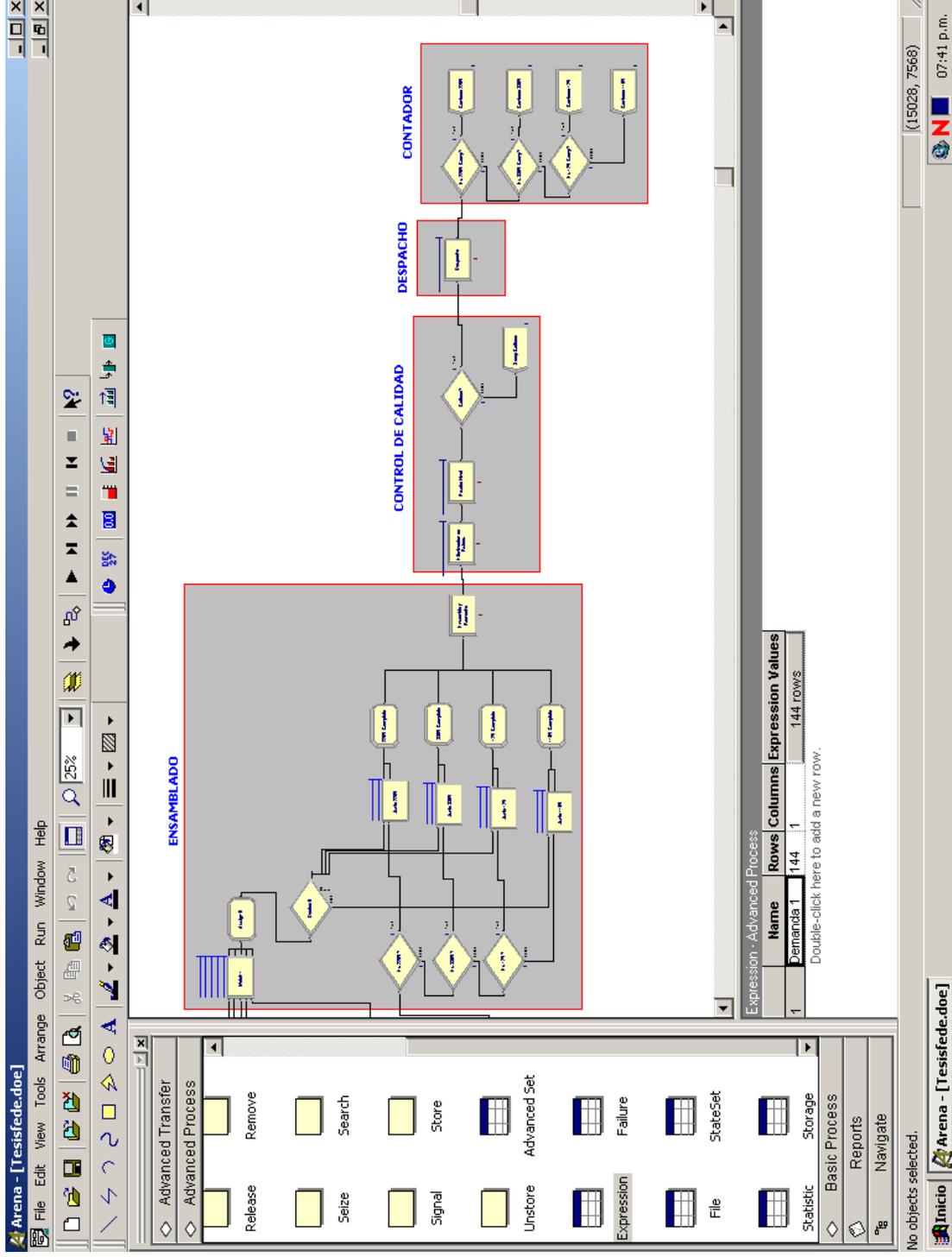


Figura 8: Codificación del modelo

FÁBRICA DE ELECTROIMANES:
SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS



Análisis del Ruido con el Input Analyzer:

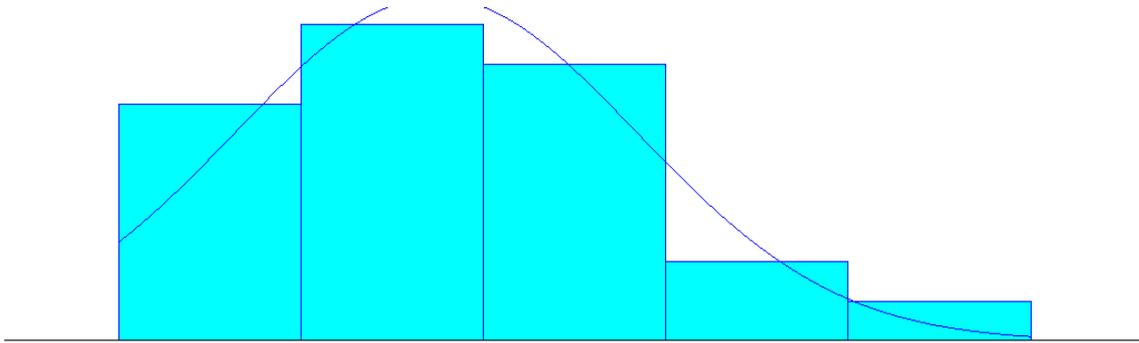


Figura 9: Histograma de frecuencias

Análisis arrojado luego de aproximar el histograma de frecuencias a una distribución normal (con la opción Fit – Fit Normal)

Distribution Summary

Distribution Summary

Distribution: Normal
Expression: NORM(-0.0833, 476)
Square Error: 0.004395

Chi Square Test

Number of intervals = 2
Degrees of freedom = -1
Test Statistic = 0.117
Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.23
Corresponding p-value = 0.138

Data Summary

Number of Data Points = 24
Min Data Value = -752
Max Data Value = 1.41e+003
Sample Mean = -0.0833
Sample Std Dev = 487

Histogram Summary

Histogram Range = -752 to 1.41e+003
Number of Intervals = 5