

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Propuesta para la Planeación Táctica y Operativa del
Departamento de Producción de Urbano Express**

Santiago Meneses Parra

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniería Industrial

Quito, julio 2009

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Propuesta para la Planeación Táctica y Operativa del
Departamento de Producción de Urbano Express**

Santiago Meneses Parra

Héctor Andrés Vergara, M.Sc.
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

.....

Ximena Córdova, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

.....

Verónica León, M.Sc.
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fernando Romo, M.Sc.
Decano del Colegio Politécnico

.....

Quito, julio 2009

© Derechos de autor
Santiago Meneses Parra
2009

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó un levantamiento de los procesos que se llevan a cabo en el Departamento de Producción de Urbano Express. Las actividades analizadas a partir del levantamiento, luego son utilizadas como los elementos para los cuales se realiza un estudio de tiempos con el fin de establecer tiempos estándares de producción para los productos de la Empresa. A continuación, se propone una metodología para realizar la planificación táctica y operativa para el Departamento de Producción de la Empresa. Esta metodología toma en cuenta la información del estudio de tiempos y la realización de pronósticos de la demanda para desarrollar un plan agregado y una programación maestra de la producción. En base a estas se logra determinar la cantidad de fuerza laboral regular requerida y establece, asumiendo las condiciones operativas de la Empresa, la programación de los horarios de trabajo de los empleados, garantizando sus días libres obligatorios.

ABSTRACT

This project starts with an analysis of the processes that are performed in the Production Department of the delivery company Urbano Express. The operations and activities identified are then used to perform a time study which is carried out in order to establish standard times for the production of several important products made by the Company. Then, a methodology to make the tactical and operative planning for the Production Department of Urbano Express is determined. This methodology takes into account information from the time study and forecasts of future demand to develop an aggregate plan of production and a master production schedule. Later, based on the results from the aggregate plan and the master production schedule, the required amount of regular workforce is determined. Finally, an operative schedule is determined for the workers that guarantees their mandatory days off by using the Burns and Carter algorithm and considering the operative conditions imposed by the Company.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción de la Empresa Urbano Express	1
1.2. Descripción del Problema	2
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Metas	4
1.5. Organización del Documento.....	4
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Análisis de Procesos.....	6
2.1.1. Fase 1, Preparación para el Mejoramiento de los Procesos de Negocio.....	7
2.1.1.1. Identificar los Procesos Críticos del Negocio.....	7
2.1.1.2. Seleccionar Procesos para Mejora.....	7
2.1.1.3. Enfoque a la Selección de Procesos por la Gerencia.....	8
2.1.1.4. Plan Inicial	8
2.1.1.5. Herramientas Fundamentales del BPI.....	9
2.1.1.6. Entendiendo el Trabajo a Realizar	9
2.1.1.7. Límites Finales de los Procesos	9
2.1.2. Fase 2, Entendimiento del Proceso	10
2.1.2.1. Diagramas de Bloque (Flujogramas).....	10
2.1.2.2. Efectividad del Proceso	11
2.1.2.3. Eficiencia del Proceso	12
2.1.3. Fase 3, Modernización.....	12
2.1.3.1. Estandarización de Procesos	12
2.2. Estudio de Tiempos	13
2.2.1. Propósito del Estudio de Medición de Trabajo.....	14
2.2.2. Calificación del Desempeño del Trabajo (Job Rating)	14
2.2.3. Tolerancias (Por Motivos Personales, Fatiga y Atrasos)	15
2.2.4. Cálculo del Tiempo Estándar (ST).....	15
2.2.5. Realización del Estudio de Tiempos	16
2.2.6. Análisis por Elementos	18
2.2.7. Posibles Dificultades en la Recolección de Información	19

TABLA DE CONTENIDOS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
2.2.8. Determinación de Resultados del Estudio de Tiempos.....	20
2.3. Plan Agregado de Producción (APP).....	20
2.3.1. Estrategias del Plan Agregado.....	21
2.3.1.1. Estrategias Puras	21
2.3.2. Información Necesaria para el Plan Agregado	22
2.3.3. Modelo del Plan Agregado.....	23
2.4. Pronósticos	24
2.4.1. Precisión de los Pronósticos	24
2.4.2. Modelos de Pronóstico de Series de Tiempo	24
2.4.2.1. Promedio Móvil Ponderado	25
2.4.2.2. Suavizamiento Exponencial Simple.....	25
2.4.2.3. Modelo de Tendencias de Holt.....	26
2.4.2.4. Suavizamiento Exponencial Ajustado Estacionalmente y Modelo de Winters Completo	27
2.5. Programa Maestro de Producción (MPS)	28
2.5.1. Planeación de los Periodos	29
2.5.2. Modelo Matemático para el Programa Maestro	29
2.5.3. Mantenimiento del Plan Maestro.....	32
2.6. Programación de la Fuerza Laboral.....	32
2.6.1. Suposiciones del Algoritmo de Burns y Carter.....	33
2.6.2. Determinación de los Límites Inferiores de Fuerza Laboral.....	33
2.6.3. Algoritmo de Burns y Carter.....	34
3. LEVANTAMIENTO Y DOCUMENTACIÓN DE LOS PROCESOS DE ENSOBRADO	38
3.1. Fase 1, Preparación para el Mejoramiento de los Procesos de Negocio. 38	
3.1.1. Suposiciones de Operación	40
3.1.2. Entrevistar a los Supervisores de los Procesos	40
3.1.3. Desarrollar la Misión del PIT	40
3.1.4. Seleccionar los Límites de los Procesos.....	40
3.2. Fase 2, Entendimiento de los Procesos.....	41
3.2.1. Procesos y Operaciones Productivas de Urbano Express.....	41

TABLA DE CONTENIDOS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
3.2.2. Diagramas de Flujo de los Procesos de Urbano Express.....	47
4. ESTUDIO DE TIEMPOS DEL PROCESO DE ENSOBRADO	51
4.1. Estudio de Tiempos	51
4.2. Medición de los Tiempos	53
4.3. Tiempos Estándares.....	55
4.4. Análisis de los Datos.....	55
5. METODOLOGÍA PARA LA PLANEACIÓN TÁCTICA Y OPERATIVA DE URBANO EXPRESS.....	58
5.1. Pronóstico de la Demanda de los Productos Representativos de Urbano Express.....	59
5.1.1. Levantamiento de Demandas de los Productos Críticos Seleccionados.....	60
5.1.2. Determinación y Aplicación de los Métodos de Pronósticos.....	62
5.1.2.1. Pronóstico de la Demanda 2009 para el Producto Diners EC ...	63
5.1.3. Pronóstico de la Demanda de los Productos Críticos Seleccionados	66
6. PLAN AGREGADO DE LA PRODUCCIÓN DE URBANO EXPRESS	68
6.1. Estrategia de Planificación Agregada	68
6.2. Información para el Plan Agregado	69
6.2.1. Horizonte de Planeación para la Planificación Agregada en Urbano Express.....	69
6.2.2. Pronóstico de los Productos Seleccionados para el Plan Agregado en Urbano Express	69
6.2.3. Costos Relacionados con Producción y Capacidad de Urbano Express.....	70
6.2.4. Tiempos de Procesamiento de los Productos de Urbano Express .	71
6.2.5. Tasa de Producción	72
6.3. Programación Lineal para el Plan Agregado de Producción.....	73
6.3.1. Formulación del Modelo de Planificación Agregada de la Producción	73
6.3.1.1. Establecimiento de las Variables de Decisión	73

TABLA DE CONTENIDOS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
6.3.1.2. Función Objetivo.....	74
6.3.1.3. Restricciones	77
6.3.1.4. Modelo del Plan Agregado de Producción	79
6.4. Solución del Plan Agregado de Producción.....	80
6.4.1. Resultados de la Planificación Agregada de Producción.....	81
6.4.2. Análisis de la Solución del Plan Agregado de Producción.....	82
7. PROGRAMA MAESTRO DE LA PRODUCCIÓN DE URBANO EXPRESS....	83
7.1. Información para el Programa Maestro de Producción.....	83
7.1.1. Horizonte de Planeación para la Programación Maestra de la Producción en Urbano Express	83
7.1.2. Pronóstico de los Productos Seleccionados para el Programa Maestro de Producción	84
7.1.3. Costos Relacionados con la Producción y la Capacidad de Urbano Express.....	84
7.1.4. Tiempos de Procesamiento de los Productos de Urbano Express .	85
7.1.5. Tasa de Producción	85
7.1.6. Tamaño de la Fuerza Laboral Regular	86
7.2. Programación Lineal para el Programa Maestro de Producción.....	86
7.2.1. Formulación del Modelo de Programación Maestra de la Producción	87
7.2.1.1. Establecimiento de los Parámetros y Variables de Decisión del Modelo.....	87
7.2.1.2. Función Objetivo.....	88
7.2.1.3. Restricciones	89
7.2.1.4. Modelo del Programa Maestro de la Producción.....	91
7.3. Solución del Programa Maestro de la Producción	93
7.3.1. Resultados del Programa Maestro de la Producción del Primer Trimestre 2009.....	93
8. PROGRAMACIÓN DE LOS EMPLEADOS DE PLANTA DE URBANO EXPRESS.....	97

TABLA DE CONTENIDOS (CONTINUACIÓN)

	Pág.
8.1. Determinación de los Requerimientos de Capacidad Diaria de la FLR del Día y de la Noche	97
8.2. Aplicación del Algoritmo de Burns y Carter para la Programación de la Fuerza Laboral Regular	98
8.2.1. Programación de la Fuerza Laboral Regular del Día	98
8.2.2. Programación de la Fuerza Laboral Regular de la Noche	100
8.3. Modelo Matemático para la Determinación de los Horarios de Trabajo de la Fuerza Laboral Regular	101
8.3.1. Formulación del Modelo Matemático para la FLR del Día	101
8.3.2. Formulación del Modelo para la FLR de la Noche	103
8.3.3. Resolución de los Modelos Matemáticos de Programación del Personal.....	104
9. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN Y SOFTWARE UTILIZADO EN EL ESTUDIO REALIZADO EN URBANO EXPRESS.....	107
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
10.1. Conclusiones	109
10.2. Recomendaciones	110
ANEXOS	113
Anexo A. PRODUCTOS MÁS REPRESENTATIVOS DESCRITOS POR OPERACIONES Y ACTIVIDADES	114
Anexo B. TIEMPOS ESTÁNDAR DE LOS PRODUCTOS MÁS REPRESENTATIVOS POR OPERACIONES.....	119
Anexo C. MODELOS PARA LA PROGRAMACIÓN DE LA FUERZA LABORAL REGULAR.....	122
C.1. Formulación del Modelo para la FLR del Día.....	122
C.2. Formulación del Modelo para la FLR de la Noche	129

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1. Diagrama de Bloque del Proceso General para la Acción Gerencial Necesaria para Obtener la Aprobación de un Empleado	11
Figura 2. Diagrama de Flujo de las Operaciones para el Producto Diners EC....	48
Figura 3. Diagrama de Flujo de las Actividades para el Producto Diners EC.....	49
Figura 4. Análisis de Pareto de las Demandas de los PCS para el Año 2008.....	61
Figura 5. Análisis de Pareto de las Demandas de los PCS Representativos para el Año 2008	62
Figura 6. Serie de Tiempo de la Demanda de Diners EC 2008.....	64
Figura 7. Análisis de Tendencia para Datos de Demanda de Diners EC 2008 ...	64
Figura 8. Pronóstico 2009 del Producto Diners EC	65

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1. Tabla de Datos y Observaciones General.....	17
Tabla 2. Número de Ciclos de Observación Recomendados.....	18
Tabla 3. Tipos de Empleados y su Distribución de Días Libres	36
Tabla 4. Productos Críticos Seleccionados.....	39
Tabla 5. Procesos Productivos de Urbano Express.....	42
Tabla 6. Operaciones Productivas	43
Tabla 7. Descripción de las Operaciones Productivas	44
Tabla 8. Productos Críticos Seleccionados y sus Operaciones Productivas.....	46
Tabla 9. Tabla de Datos y Observaciones para el Estudio de Tiempos.....	52
Tabla 10. Tabla de Datos y Observaciones del Producto Diners EC.....	54
Tabla 11. Tiempos Estándar de la Operaciones Productivas	56
Tabla 12. Tiempos Estándar por Producto.....	57
Tabla 13. Demanda de Productos Críticos Seleccionados en el Año 2008	61
Tabla 14. Demanda de Diners EC en el Año 2008	63
Tabla 15. Pronóstico 2009 Diners EC.....	66
Tabla 16. Pronósticos del Año 2009 (Parte 1).....	67
Tabla 17. Pronósticos del Año 2009 (Parte 2).....	67
Tabla 18. Demanda Agregada de Urbano Express.....	70
Tabla 19. Costos Relacionados con la Fuerza Laboral de Urbano Express	71
Tabla 20. Tiempo de Proceso por Unidad de Demanda Agregada.....	72
Tabla 21. Tasa de Producción en Urbano Express.....	72
Tabla 22. Resultados del Plan Agregado de Producción	81
Tabla 23. Tiempo de Producción de los Productos Seleccionados.....	85
Tabla 24. Tasa de Producción por Producto.....	86
Tabla 25. Resultados del Programa Maestro de la Producción	94
Tabla 26. Requerimientos Diarios de la FLR del Día y de la Noche	98
Tabla 27. Valores para la Aplicación del Algoritmo de Burns y Carter (FLR del Día)	99
Tabla 28. Determinación de los Pares n de Días Libres	99
Tabla 29. Horarios de Trabajo de la FLR del Día en Semana 1.....	100

LISTA DE TABLAS (CONTINUACIÓN)

Tabla	Pág.
Tabla 30. Valores para la Aplicación del Algoritmo de Burns y Carter (FLR de la Noche).....	101
Tabla 31. Horarios de Trabajo de la FLR de la Noche en Semana 1	101
Tabla 32. Horarios de Trabajo de la Fuerza Laboral Regular del Día en el Primer Mes	105
Tabla 33. Horarios de Trabajo de la Fuerza Laboral Regular de la Noche en el Primer Mes	105
Tabla 34. Gantt de las Actividades para la Implementación de la Propuesta	108
Tabla 35. Producto Diners EC por Operaciones y Actividades	114
Tabla 36. Producto Banco Pichincha Visa EC por Operaciones y Actividades..	114
Tabla 37. Producto Etafashion EC por Operaciones y Actividades.....	115
Tabla 38. Producto Diners Revista por Operaciones y Actividades	115
Tabla 39. Producto Diners Notas por Operaciones y Actividades.....	116
Tabla 40. Producto Fybeca Individual EC por Operaciones y Actividades.....	116
Tabla 41. Producto Banco de Guayaquil AmEx EC por Operaciones y Actividades	117
Tabla 42. Producto Sukasa EC por Operaciones y Actividades.....	118
Tabla 43. Tiempos Estándar del Producto Diners EC.....	119
Tabla 44. Tiempos Estándar del Producto Banco Pichincha Visa EC.....	119
Tabla 45. Tiempos Estándar del Producto Etafashion EC	119
Tabla 46. Tiempos Estándar del Producto Diners Revista	120
Tabla 47. Tiempos Estándar del Producto Diners Notas	120
Tabla 48. Tiempos Estándar del Producto Fybeca Individual EC	120
Tabla 49. Tiempos Estándar del Producto	120
Tabla 50. Tiempos Estándar del Producto Sukasa EC	121

GLOSARIO

UE	Urbano Express
BPI	Mejoramiento de los Procesos de Negocios
PIT	Equipo de Mejoramiento de Procesos
ETI	Equipo Ejecutivo de Mejora
ST	Tiempo Estándar
APP	Plan Agregado de la Producción
MPS	Programa Maestro de la Producción
PCS	Productos Críticos Seleccionados
PP's	Procesos Productivos
OP's	Operaciones Productivas
FLR	Fuerza Laboral Regular
FLE	Fuerza Laboral Extra
EC	Estado de Cuenta
CC	Cuenta Corriente
FF	Facturas

PROPUESTA PARA LA PLANEACIÓN TÁCTICA Y OPERATIVA DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN DE URBANO EXPRESS

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción de la Empresa Urbano Express

Urbano Express Holdings, LLC, es una empresa multinacional registrada en Estados Unidos con operaciones en Argentina, Chile, Ecuador, El Salvador, Perú y Venezuela, especializada en la distribución de correspondencia masiva para grandes clientes (www.urbanoexpress.com).

El principal servicio de la Empresa es la distribución de correspondencia con información de entregas disponible overnight, al día siguiente, en la plataforma del cliente y en la página Web de Urbano (www.urbanoexpress.com). Entre los productos que Urbano Express distribuye se incluyen:

- Estados de Cuenta
- Tarjetas de Crédito y Chequeras
- Facturas y otro tipo de correspondencia
- Volanteo
- Ensobrado y Etiquetado
- Impresión
- Corrección de Bases de Datos
- Verificación y localización de direcciones erradas
- Actualización de registros
- Administración de mailroom
- Servicio internacional

Urbano logra sus objetivos mediante:

- Total compromiso del equipo humano.
- La más alta tecnología.
- Optimización y actualización de la información de sus clientes.
- Procesos establecidos cliente por cliente, siguiendo los formatos ISO 9002 - 2000.

- Riguroso proceso de selección, tanto de los empleados como de los clientes.

Urbano Express posee mapas digitalizados de varias ciudades en cada país, que sirven para el proceso de zonificación y ruteo de cada uno de sus couriers y la optimización de recursos, permitiéndoles niveles de productividad muy superiores a los de otras empresas.

Adicionalmente, se manejan mapas de densidad, geocodificando la base de datos del cliente, y ubicando los clientes en relación con puntos estratégicos de servicio.

Finalmente, una parte importante del proceso es la utilización de Códigos de Barras, el cual debe ser coordinado con el cliente para efectos de control y seguimiento de los envíos, así como la entrega de la Base de Datos con nombre, dirección, ciudad, teléfono y el número de identificador único del cliente (los código de barras y toda la información mencionada se imprime en una etiqueta denominada "label"). Urbano Express maneja los más altos niveles de confidencialidad y seguridad para proteger esta información a través de la encriptación de las misma (www.urbanoexpress.com).

1.2. Descripción del Problema

El presente estudio se enfoca en un problema reconocido por la Gerencia General de Urbano Express en Quito, Ecuador. El problema se encuentra en el Departamento de Producción local y tiene una relación directa con las operaciones de ensobrado y la planificación de los procesos operativos (Gerente General, Entrevista Personal, Junio 2008).

Existen varios síntomas del problema, cuya gravedad no puede ser medida directamente por falta de datos en la actualidad, estos son:

- Entrega de producto terminado fuera del tiempo acordado con los clientes.
- Reproceso de productos.
- Inadecuada asignación de fuerza laboral necesaria para satisfacer la demanda de productos, lo que provoca retrasos en la terminación de los procesos debido a la falta de capacidad.

Adicionalmente a los síntomas presentados, se ha determinado que no existe una planificación adecuada de los niveles de capacidad de planta que se necesitan para satisfacer la demanda.

Por otro lado, un indicador muy importante para reconocer la existencia de un problema son los altos costos de operación que enfrenta la Empresa. Se ha observado que en las operaciones de ensobrado del Departamento de Producción (Área de Ensobrado), existe una alta variación en los costos mensuales de operación a pesar de que no existe una variación significativa en la demanda producida.

1.3. Objetivos

Los objetivos del presente estudio con respecto al problema identificado en Urbano Express son:

- Entender, levantar y describir los procesos de ensobrado de Urbano Express.
- Realizar un estudio de tiempos de los procesos de ensobrado de Urbano Express.
- Desarrollar y proponer una metodología para la creación del Plan Agregado de Producción para la contratación de personal de planta y personal extra en los procesos de ensobrado, con el fin de satisfacer la demanda de Urbano Express a tiempo y con el menor costo.
- Desarrollar y proponer una metodología para la creación del Plan Maestro de Producción para determinar el programa de producción en el proceso de ensobrado, con el fin de satisfacer la demanda de Urbano Express a tiempo y con el menor costo.
- Desarrollar y proponer una metodología para la Programación de Horarios de Trabajo de los Empleados de Planta del Área de Ensobrado tomando en cuenta las diferentes cargas de trabajo en cada mes y sus días libres obligatorios.

1.4. Metas

Las metas planteadas para la elaboración de este trabajo se presentan a continuación:

- Conocer los procesos de los productos más representativos de Urbano Express y elaborar un estudio de tiempos de los mismos (determinar cómo se realizan y cuánto tiempo duran los procesos de ensobrado).
- Implementar un modelo matemático en MS Excel® que permita realizar la Planificación Agregada de la Producción de Urbano Express.
- Implementar un modelo matemático en MS Excel® que permita realizar el Programa Maestro de la Producción de Urbano Express.
- Implementar un modelo matemático en LINDO® que permita asignar los horarios de trabajo al personal de planta del Área de Ensobrado de Urbano Express.

1.5. Organización del Documento

En el Capítulo 2 se presenta una revisión del marco teórico que se va a aplicar en el presente trabajo, haciendo énfasis en las principales herramientas a utilizar. A continuación, en el Capítulo 3 se describe el análisis de los procesos de los productos más representativos del Área de Ensobrado de la Empresa, lo cual representa un paso muy importante para la determinación de los Tiempos Estándar de las operaciones en el Área de Ensobrado, lo que se presenta en el Capítulo 4.

Luego, en el Capítulo 5 se propone una metodología para la planificación táctica y operativa del Departamento de Producción, la cual utiliza la información del levantamiento de los Procesos y Estudio de Tiempos como entrada. En el Capítulo 6 se desarrolla a través de un ejemplo la metodología para la aplicación de un Plan Agregado de Producción en la Empresa. Mientras que en el Capítulo 7 se realiza de la misma forma el desarrollo de la metodología propuesta para la elaboración del Programa Maestro de Producción. La propuesta para el diseño de los horarios de trabajo de los empleados de planta de Urbano Express se presenta en el Capítulo 8.

En el Capítulo 9 se encuentra la propuesta de implementación del estudio realizado donde se especifican las distintas actividades que Urbano Express debería llevar a cabo y las herramientas de software que deberían utilizarse para aplicar en la práctica las diferentes técnicas utilizadas en el presente estudio. Finalmente, en el Capítulo 10 se presentan las conclusiones y recomendaciones que surgen a partir del estudio realizado en la Empresa.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Análisis de Procesos

Para el Análisis de Procesos, primero se debe definir qué es un proceso para luego entender cómo se aplicarán las fases del Mejoramiento de Procesos de un Negocio (BPI, por sus siglas en inglés). Un proceso es cualquier actividad o grupo de actividades que toman una entrada (como materia prima en el caso de un proceso productivo o información en el caso de un proceso de negocios), le agrega valor, y devuelve una salida (como un producto terminado o un servicio entregado) a un cliente interno o externo (Harrington 6). Los procesos usan los recursos de la empresa y proveen resultados definitivos.

Según Harrington, el Mejoramiento de los Procesos de un Negocio es una metodología sistemática desarrollada para realizar avances significativos en la forma de operación de los procesos de un negocio. Provee un sistema que simplifica y moderniza las operaciones, mientras se asegura que los clientes internos y externos reciban una salida adecuada. El BPI asegura que los procesos de un negocio deben (21):

- Eliminar errores
- Minimizar retrasos
- Maximizar el uso de recursos
- Promover el entendimiento
- Facilitar el uso
- Ser adaptables a los cambios en las necesidades de los clientes; y,
- Proveer a la organización una ventaja competitiva

Harrington puntualiza 5 fases para la exitosa realización del BPI, que son las siguientes (21):

- Organizar la Mejora
- Entender el Proceso
- Modernización
- Mediciones y Controles
- Mejoramiento Continuo

2.1.1. Fase 1, Preparación para el Mejoramiento de los Procesos de Negocio

Harrington dice que “el objetivo de esta fase es asegurar el éxito en el Análisis de Procesos a través de la creación de liderazgo en la toma de decisiones, entendimiento de la situación y compromiso” (21).

2.1.1.1. Identificar los Procesos Críticos del Negocio

Dado que el primer paso es identificar los procesos críticos del negocio, se debe formar un Equipo Ejecutivo de Mejora (EIT) que estará compuesto por 4 personas, una en representación de la gerencia, el administrador del Área a ser investigada, una persona de la supervisión de las operaciones de planta y una persona que posea conocimiento en BPI. Este equipo tiene por objetivo encontrar el problema o problemas más significativos de la Empresa, los procesos críticos de la Empresa y plantear los objetivos del estudio (Harrington 35).

Para reconocer estos procesos, Harrington sugiere responder a las preguntas, ¿Qué hacemos nosotros como Empresa? y ¿Cómo lo hacemos? (35).

Harrington menciona dos tipos de procesos, los procesos simples o subprocesos que realizan operaciones simples (como enviar un fax) y los procesos cross-funcionales que tienen un objetivo de mayor importancia para una empresa y que están compuestos de uno o varios subprocesos (35).

2.1.1.2. Seleccionar Procesos para Mejora

La selección de los procesos a mejorar es una etapa crítica a la que se le debe dar mucha importancia para no seleccionar procesos equivocados o duplicados (los procesos duplicados, son aquellos que realizan de la misma forma pero que tienen un nombre diferente o se lo aplica para un producto diferente) (Harrington 35).

Para seleccionar los procesos a trabajar existen 5 cosas que se deben tener presentes (Harrington 36):

- Impacto al consumidor: ¿Cuánto le importa al consumidor?
- Posibilidad de cambio: ¿Puede ser reparado?
- Estado de desempeño: ¿En qué tan mal estado está?

Impacto en la empresa: ¿Cuán importante es para la empresa?

Impacto en el trabajo: ¿Qué recursos están a disposición?

Harrington recomienda limitar el número de procesos críticos a 20 pero también afirma que existen compañías que han tenido éxito mejorando un número mayor de procesos críticos simultáneamente (36).

2.1.1.3. Enfoque a la Selección de Procesos por la Gerencia

En este enfoque es común que la Gerencia reconozca y concentre los esfuerzos en los procesos críticos para el futuro de la Empresa o en los procesos que mayores problemas han presentado durante su operación (Harrington 37).

Basándose en la lista de procesos escogidos por Gerencia, el EIT escoge los procesos con mayores problemas en la organización y al cliente.

2.1.1.4. Plan Inicial

Para trabajar en la mejora de los procesos seleccionados se debe formar un Equipo de Mejoramiento de Procesos (PIT) a cargo, este equipo está conformado por una persona con conocimiento en BPI y una persona de cada departamento involucrado en la mejora, el plan del PIT empieza por definir las actividades y los itinerarios hasta el punto en que los límites finales sean establecidos. Las actividades a realizarse son (Harrington 52):

- Definir límites preliminares
- Realiza diagramas de bloque para los procesos
- Actualizar las suposiciones de operación
- Entrevistar a los supervisores envueltos en los procesos
- Desarrollar la misión de PIT
- Seleccionar los límites finales de los procesos

Harrington enfatiza que es de gran importancia el apoyo y compromiso de Gerencia y de los supervisores ya que todo el personal debe estar enterado y en conocimiento del Mejoramiento de los Procesos del Negocio (56).

2.1.1.5. Herramientas Fundamentales del BPI

Para llegar al BPI existen diferentes tipos de herramientas destinadas a analizar, sistematizar y simplificar los procesos críticos escogidos tomando en cuenta las diferentes situaciones de operación de las empresas (Harrington 67).

Las herramientas fundamentales del BPI son (Harrington 67):

- Conceptos sobre BPI
- Diagramas de flujo
- Técnicas de entrevista
- Métodos de medición del BPI (Costo, Tiempo de ciclo, Eficiencia, Efectividad y Adaptabilidad)
- Eliminación de actividades que no agregan valor
- Métodos de eliminación de burocracia
- Técnicas de simplificación de procesos y papeleo
- Métodos y análisis para un leguaje simple
- Métodos para concretar procesos
- Análisis de costos y tiempos de ciclo

2.1.1.6. Entendiendo el Trabajo a Realizar

Para tener éxito en la mejora, el PIT debe tener claro y entendido lo siguiente (Harrington 68):

- Los objetivos del BPI proveídos por EIT
- Suposiciones de operación
- Límites preliminares de los procesos (proporcionados por el propietario)
- Establecer la misión del proceso
- Límites finales de los procesos

2.1.1.7. Límites Finales de los Procesos

Harrington define los límites finales de los procesos como los puntos en los que un proceso inicia y termina, para definir estos límites se debe evaluar los límites iniciales preestablecidos por la Gerencia, estos límites están definidos por (69):

- ¿Qué está incluido en el proceso?
- ¿Qué no está incluido?
- ¿Cuáles son las salidas del proceso?
- ¿Cuáles son las entradas de procesos?
- ¿Qué departamentos están envueltos en el proceso?

2.1.2. Fase 2, Entendimiento del Proceso

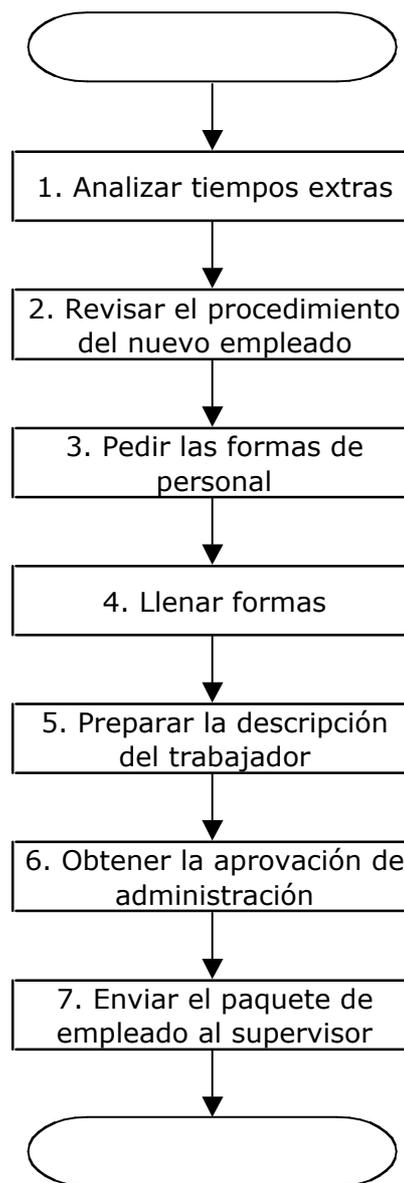
Harrington dice que “el objetivo de la fase 2 es entender todos los factores relacionados con los procesos del Negocio” (22).

2.1.2.1. Diagramas de Bloque (Flujogramas)

Proporcionan una visión fácil de entender de un proceso, es simple y el tipo de diagrama de flujo más utilizado. Los símbolos más utilizados en el diagrama de bloque son rectángulos y líneas con flechas. Los rectángulos representan operaciones y las líneas y flechas conectan los rectángulos indicando la dirección del flujo de información, trabajo o materiales. Para reconocer de forma clara el comienzo y fin de un proceso se utilizan elipses o círculos (Harrington 88).

Con el fin de ejemplificar la utilización de los diagramas de bloque, se mostrará la diagramación de un proceso genérico para la aprobación de la contratación de un empleado. Para la realización del diagrama se deben utilizar nombres cortos para describir las actividades como se muestra en la Figura 1.

En el caso de procesos complejos, para un mejor entendimiento de los procesos descritos a manera de Diagrama de Bloques, se debe describir cada operación al detalle requerido por la necesidad del proceso (Harrington 88).



Fuente: Harrington (91).

Figura 1. Diagrama de Bloque del Proceso General para la Acción Gerencial Necesaria para Obtener la Aprobación de un Empleado

2.1.2.2. Efectividad del Proceso

La efectividad de un proceso se observa en que tan bien el proceso satisface los requerimientos de su cliente final. Para reconocer la efectividad de un proceso Harrington dice que existen indicadores que miden cuan bien funciona un proceso. Los indicadores típicos de falta de efectividad son (122):

- Producto o servicio inaceptable
- Quejas de los clientes

- Altos costos en garantías
- Retrasos (Backlogs)
- Reprocesos
- Rechazar el producto final
- Producto final con atrasos
- Producto final incompleto

2.1.2.3. Eficiencia del Proceso

La eficiencia esta enfocada al beneficio del dueño de los procesos. Las características típicas de eficiencia son (Harrington 123):

- Tiempo de ciclo por unidad
- Recursos por unidad producida
- Porcentaje de costo del verdadero valor agregado del total de los costos de procesamiento
- Costos de mala calidad por unidad producida
- Tiempo de espera por unidad

2.1.3. Fase 3, Modernización

Harrington dice que “el objetivo de esta fase es mejorar la eficiencia, efectividad y adaptabilidad de los procesos de un Negocio” (22).

2.1.3.1. Estandarización de Procesos

Para realizar la estandarización de procesos, Harrington dice que se debe documentar los procesos de la siguiente manera (154):

- Realizar un listado de todos los materiales a utilizar
- Realizar un manual de procedimientos llamado “Instrucciones de Trabajo” que especifique paso por paso en la secuencia exacta que se deben realizar las operación de un proceso en una estación de trabajo, máquina y área de la empresa
- Determinar instrucciones para la inspección de los productos durante operaciones específicas del proceso

- Realizar un plan de inducción para trabajadores nuevos en la realización de procesos

Los manuales de procedimientos deben ser (Harrington 154):

- Realistas
- Mostrar responsabilidades claras
- Establecer límites de autoridad
- Cubrir situaciones de emergencia
- No estar abiertos a diferentes interpretaciones
- Fáciles de entender
- Definir requerimientos para inducción
- Definir estándares mínimos de desempeño

Para un mejor entendimiento de las Instrucciones de Trabajo se utilizan dibujos o fotografías de las operaciones a realizar además de las instrucciones escritas.

2.2. Estudio de Tiempos

El estudio de tiempos es una de las herramientas más antiguas de la Ingeniería Industrial después del Estudio de Base de Datos Histórica y como cita Aft un elevado porcentaje de las empresas que realizan Medición del Trabajo utilizan Estudios de Tiempos (148).

Aft plantea un método para realizar Estudios de Tiempos que toma en cuenta factores muy importantes como son el ritmo de trabajo y las pérdidas de tiempo normales de un trabajador al realizar su trabajo durante el día (148).

Los Estudios de Tiempos no son necesariamente aplicados sólo a los trabajadores de producción sino también al personal de mantenimiento, operarios de vehículos de transporte de materiales, supervisores, ingenieros, técnicos y analistas de Estudios de Tiempos (Aft 148).

2.2.1. Propósito del Estudio de Medición de Trabajo

El objetivo de medir el trabajo es encontrar el Tiempo Estándar (ST). El ST es una pieza fundamental de información gerencial. El ST tiene usos críticos para la operación de cualquier empresa como son (Aft 148):

- Desarrollo de horarios del personal de producción
- Determinación de los planes de pagos de salarios
- Estimación de costos de manufactura
- Proveer una base para estimar los incrementos de productividad
- Identificar las necesidades de capacitación de los empleados
- Reconocer el desempeño de los empleados
- Justificación del aumento en la capacidad de producción

De acuerdo con Aft, el Tiempo Estándar (ST) se define como el tiempo requerido por un empleado promedio para realizar una tarea específica usando un método predefinido mientras éste trabaja a un ritmo normal. Para no caer en ambigüedades con la frase “empleado promedio”, se lo define como un empleado típico que represente el desempeño normal de todos los trabajadores (148).

Este empleado debe ser experimentado en la operación bajo investigación, y para su selección es necesario tomar en cuenta los conocimientos del supervisor sobre los trabajadores (Aft 149).

El ritmo normal debe ser consistente en los diferentes trabajos a medir. Ritmo normal significa que las operaciones realizadas por el trabajador deben mantener el mismo ritmo durante todo un turno de trabajo, por lo que ritmo normal es cuánto se debería desempeñar y no cuánto se está desempeñando (Aft 149).

2.2.2. Calificación del Desempeño del Trabajo (Job Rating)

Aft dice que calificar el desempeño es el proceso de comparar el trabajo realizado con el concepto analítico de ritmo normal, y evaluar el desempeño observado cuantitativamente. Cabe tomar en cuenta que ningún individuo puede mantener un trabajo consistentemente a un ritmo normal durante todo un turno de trabajo (151).

La calificación del desempeño establece para el ritmo normal un valor de 100%. Un trabajador desempeñándose a un ritmo 20% más rápido que el concepto de ritmo normal debe ser calificado con 120%, y de la misma forma si un trabajador se está desempeñando a un ritmo $\frac{3}{4}$ del ritmo normal debe ser calificado con 75% (Aft 151).

Para conseguir la calificación del desempeño efectiva, el analista debe ser capaz de comparar la actividad observada con el concepto predeterminado de ritmo estándar o normal. La consistencia es gran importancia. Todos los trabajos en una organización deben ser comparados con el mismo concepto de desempeño normal. Y por último, hay que tener mucho cuidado en que se califique el trabajo y no el trabajador (Aft 151).

2.2.3. Tolerancias (Por Motivos Personales, Fatiga y Atrasos)

Aparte de la posible variación de velocidad en el trabajo diferente al ritmo normal, se debe tomar en cuenta que los trabajadores no pueden trabajar todo un turno sin ningún descanso (Aft 152).

Según Aft, los descansos pueden ser causados cuando el trabajador va al baño o al bebedero, también puede ser causado por razones incontrolables para el trabajador como el retraso en el arribo de materia prima o por la rotura de una pieza de un máquina, y además se debe tomar en cuenta que mientras transcurre el día los trabajadores se cansan y bajan su ritmo de trabajo (152). El ST debe ser ajustado para reflejar estos factores personales, de fatiga y de retrasos.

Las tolerancias se expresan como un porcentaje del ST y se suman al tiempo permitido para realizar la tarea particular analizada. El porcentaje actual de tolerancia varía entre compañías desde un nivel bajo de 5% a un nivel alto de 30% (Aft 152).

2.2.4. Cálculo del Tiempo Estándar (ST)

El ST es el producto de tres factores: el Tiempo Observado (OT), la Calificación del Desempeño (R) y las Tolerancias (T). Una vez recogida esta información el ST se calcula de la siguiente forma (Aft 152):

$$ST = (OT)(R) + (OT)(R)(T) \quad (2.1)$$

Una vez entendido cómo se deben calcular los tiempos estándar (objetivo del Estudio de Tiempos), se está listo para examinar el procedimiento que se requiere para el Estudio de Tiempos.

2.2.5. Realización del Estudio de Tiempos

Aft propone que para realizar este Estudio de Tiempos se necesitan los siguientes materiales (154):

- Dispositivos cronométricos: Cronómetro con opción para registrar el tiempo actual transcurrido y mantener corriendo un nuevo cronómetro sin perder milésimas de segundo (Regresos a Cero).
- Tabla con pinza: Tabla con pinza para adjuntar hojas correspondientes al estudio.
- Hojas con Tabla de Datos y Observaciones: Las hojas correspondientes a las tablas de Tiempos Observados y las observaciones encontradas por el analista (Tabla 1).

Para llevar a cabo el estudio, el analista debe conocer todo lo que sea posible acerca del desempeño del trabajo que se está realizando actualmente, incluyendo la información histórica disponible, las hojas de instrucciones de los procesos; y, llevando a cabo conversaciones con los supervisores, ingenieros y técnicos que están familiarizados con el trabajo en análisis. El analista debe tomar en cuenta (Aft 156):

- Método del proceso
- Layout de lugar de trabajo
- Equipo de producción
- Velocidades y flexibilidad de la maquinaria (si es aplicable)
- Equipo de inspección (si es aplicable)
- Condiciones del ambiente laboral

Esta información debe ser documentada en la Tabla de Datos y Observaciones. La Tabla 1 muestra una Tabla de Datos y Observaciones General para el estudio (Aft 156).

De acuerdo a Niebel, General Electric Co. tomó en cuenta el tiempo de ciclo de observación para crear una tabla con el número recomendado de ciclos de observación que deberían realizarse (Tabla 2) (393).

Tabla 2. Número de Ciclos de Observación Recomendados

Tiempo de Ciclo (minutos)	Número de Ciclos Recomendado
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00 - 5.00	15
5.00 - 10.00	10
10.00 - 20.00	8
20.00 - 40.00	5
40.00 - más	3

Fuente: Citado en Niebel (393), tomado de Time Study Manual de los Erie Works en GE Co.

Conociendo el número de ciclos, se procede a la recolección de datos para calcular los Tiempos Estándares, las Tolerancias y la Calificación del Desempeño, los cuales deben ser tomados simultáneamente para el empleado escogido por su ritmo normal (Aft 159).

Los Tiempos Estándares de Proceso pueden ser utilizados como (Aft 160):

- Una base para medir el aumento en productividad
- Una herramienta para desarrollar estándares de otros procesos similares a los estudiados
- Una base para un sistema de incentivos pagados
- Una herramienta para planeación de producción
- Una auditoria para asegurar que un Estándar está correcto

2.2.6. Análisis por Elementos

El análisis por elementos es el proceso de dividir el trabajo en estudio en Elementos (actividades). Los Elementos deben ser lógicamente divididos

identificando puntos de inicio y fin. Los elementos pueden ser relativamente de corta o larga duración (Aft 160).

Existen 3 características que se deben tomar en cuenta en cualquier trabajo dividido en Elementos (Aft 160):

- Los elementos deben tener un punto de inicio y fin.
- No puede haber discontinuidad entre elementos. El instante donde un elemento termina y en el que el siguiente comienza se llama punto de quiebre.
- La frecuencia relativa de cada elemento debe ser incluida en la descripción del elemento (la calificación del desempeño mide la frecuencia relativa).

Aft explica dos métodos de recolección de datos:

Método Continuo: Al iniciar el cronómetro, el analista lo deja correr hasta el final del proceso y se va tomando nota del tiempo en cada punto de quiebre de elementos hasta el final del proceso. Posteriormente, para conocer el tiempo de cada elemento se restan las mediciones realizadas desde el final hasta el inicio (165).

Método de Regresos a Cero: El analista inicia el cronómetro al inicio del proceso y lo regresa a cero (resetea) en cada punto de quiebre de elementos. Este tiempo corresponde al tiempo del elemento (167).

2.2.7. Posibles Dificultades en la Recolección de Información

Aft considera que un analista debe tomar en cuenta las siguientes dificultades posibles (180):

- Elementos externos, son elementos que ocurren en un trabajo pero que no forman parte del proceso que se está realizando (la caída al piso de una herramienta).
- Elementos perdidos, son puntos de quiebre que no se alcanzaron a medir por varias razones como una distracción o un ruido.

- Elementos fuera de secuencia, son operaciones realizadas fuera de orden en relación al método prescrito.
- Elementos no cíclicos, son partes necesarias de un trabajo que no se realizan cada vez que una unidad de trabajo se lleva a cabo (como el esperar la llegada de un lote de materia prima). Los tiempos de setup son considerados elementos no cíclicos.

2.2.8. Determinación de Resultados del Estudio de Tiempos

Para encontrar el número de horas que se necesita para realizar trabajo por unidad producida se calcula lo siguiente (Aft 187):

$$(ST) \left(\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} \right) = ST \text{ en horas } \text{ó} ST \text{ en horas/unidad} \quad (2.2)$$

Para conocer el tiempo de proceso para n unidades se calcula (Aft 189):

$$(n)(ST \text{ horas}) = \text{Tiempo de proceso para } n \text{ unidades} \quad (2.3)$$

Para conocer el número de unidades procesadas en un espacio n de tiempo en horas se calcula (Aft 189):

$$\frac{(n \text{ horas})}{(ST \text{ horas/unidades})} = \# \text{ de unidades producidas en el tiempo } n \quad (2.4)$$

2.3. Plan Agregado de Producción (APP)

Narasimhan describe el APP como una herramienta utilizada para tomar decisiones Gerenciales con respecto al nivel de capacidad de planta, nivel de inventarios, nivel de subcontratación e influencia en la demanda causados por la fluctuación de la demanda a través del tiempo (255).

En la mayor parte de sistemas productivos es necesario la programación del equipo y fuerza de trabajo, además del manejo de inventario. Conociendo la proyección de ventas, la capacidad de la fábrica, los niveles de inventario agregado y el tamaño de la fuerza laboral, el Gerente debe decidir el índice de producción en el que debe operar la planta a mediano plazo. La planeación a mediano plazo se llama Planeación Agregada (Narasimhan 256).

2.3.1. Estrategias del Plan Agregado

El Plan Agregado cuenta con cuatro estrategias que pueden ser utilizadas solas o combinadas (Narasimhan 257). Las estrategias realizan cambios en los inventarios, el índice de producción, la necesidad de fuerza de trabajo, la capacidad y otras variables controlables dependiendo de su utilización.

2.3.1.1. Estrategias Puras

Cambio en los niveles de inventario: Narasimhan dice que el costo por mantener inventarios durante los periodos inactivos de demanda aumentarán el capital laboral y los costos relacionados con obsolescencia, almacenamiento, seguros y manejo. Y que por el contrario, en el periodo de aumento de demanda, los cambios de nivel de inventario pueden resultar en un inadecuado servicio al cliente, tiempos de entrega prolongados, posibles ventas perdidas y potencial entrada de competencia en el mercado (257).

Cambios en los niveles de fuerza laboral: Se puede alcanzar una mayor o menor capacidad realizando despidos y contrataciones, pero tomando en cuenta la disminución de la productividad causada por la desmotivación grupal de equipo de producción y por la capacitación de un empleado nuevo respectivamente. También los incentivos y pagos por horas extras son una forma de realizar los cambios pero tomando en cuenta límites apropiados (Narasimhan 257).

Subcontratación: Para cubrir la capacidad faltante en periodos altos de demanda, se puede utilizar la subcontratación en inventario o capacidad laboral (Narasimhan 257).

Influencia en la demanda: Es posible influir en la demanda mediante promociones en los productos por temporadas ó en periodos específicos (Narasimhan 257).

2.3.2. Información Necesaria para el Plan Agregado

Un modelo de APP efectivo puede constar de toda o parte de la siguiente información clasificada en Demanda, Costos y Personal e Inventario. Chopra y Meindl señalan que el horizonte de planeación del Plan Agregado es de 3 a 18 meses (220).

Información sobre la Demanda (Chopra y Meindl 220):

- Pronóstico de la Demanda por t periodos correspondientes al análisis con fundamento en una base histórica de la demanda de los productos de una empresa.

Información sobre Costos y Personal (Chopra y Meindl 220):

- Costo de un recurso de planta al mes o por quincena (\$/hora) y su costo en tiempo extra (\$/hora)
- Costo de un recurso de apoyo por turno de trabajo (\$/unid o \$/hora)
- Costos de contratación de un empleado de planta (\$/trabajador)
- Costos de despido de un empleado de planta (\$/trabajador)
- Número de recursos de planta disponibles al mes para el día y para la velada
- Número de turnos al mes o a la quincena que un recurso del día esta disponible
- Número de turnos al mes o a la quincena que un recurso de la velada esta disponible
- Número de horas correspondiente a cada turno
- Límite de tiempo extra
- Límite de despidos
- Límite de capital disponible
- Límite de desabastecimiento y retrasos
- Restricciones de los proveedores o clientes a la empresa

Información sobre Inventario (Chopra y Meindl 220):

- Costo de mantener el inventario de una carga unitaria de cualquier producto por turno (\$/unid/periodo)
- Costo de desabastecimiento y retrasos (\$/unid/periodo)

2.3.3. Modelo del Plan Agregado

Narasimhan presenta un modelo matemático general de programación lineal en el cual la función objetivo y las restricciones están enfocadas en minimizar los costos totales de producción, contratación, despido, tiempo extra, tiempo inactivo e inventario, satisfaciendo toda la demanda pronosticada (273):

Minimizar:

$$C = r \sum_{t=1}^k P_t + h \sum_{t=1}^k A_t + f \sum_{t=1}^k R_t + v \sum_{t=1}^k O_t + c \sum_{t=1}^k I_t \quad (2.5)$$

C = Producción (P) + Contratación (C) + Despido (R) + Tiempo Extra (O)
+ Inventario (I)

Sujeto a las restricciones:

$$P_t \leq M_t; \quad t = 1, 2, \dots, k \quad (2.6)$$

$$O_t \leq Y_t; \quad t = 1, 2, \dots, k \quad (2.7)$$

$$I_t = I_{t-1} + P_t + O_t - D_t; \quad t = 1, 2, \dots, k \quad (2.8)$$

$$A_t \geq P_t - P_{t-1}; \quad t = 1, 2, \dots, k \quad (2.9)$$

$$R_t \geq P_{t-1} - P_t; \quad t = 1, 2, \dots, k \quad (2.10)$$

y todos

$$A_t, R_t, I_t, P_t, O_t \geq 0; \quad t = 1, 2, \dots, k \quad (2.11)$$

Donde:

r, v = costo/unidad producidos durante el tiempo regular y tiempo extra, en orden respectivo

P_t, O_t = unidades producidas durante el tiempo regular y el tiempo estándar, respectivamente

h, f = costos por unidad de la contratación y el despido, en orden respectivo

A_t, R_t = cantidad de unidades que se aumentan o reducen, respectivamente, durante t periodos

c = costos de inventario por unidad de periodo

D_t = pronósticos de demanda

Las restricciones (2.6) y (2.7) implican que la producción máxima durante el tiempo regular P_t y el tiempo extra O_t no pueden exceder las capacidades disponibles M_t y Y_t , respectivamente. La restricción (2.8) expresa el equilibrio del inventario en cada periodo (en una política sin devoluciones). Las restricciones (2.9) y (2.10) representan las contrataciones y despidos cuando la tasa de producción incrementa o se reduce en t periodos. Y la restricción (2.11) es de no negatividad en todas las variables (Narasimhan 274).

2.4. Pronósticos

Pronosticar es el arte de especificar información significativa acerca del futuro con base en información presente y/o pasada (Narasimhan 26). La utilización de pronósticos es de gran variedad ya que existen desde pronósticos financieros hasta pronósticos de la demanda de un producto.

En el presente proyecto, se van a utilizar pronósticos con el objetivo de crear t periodos de demanda correspondientes al horizonte de planeación del Plan Agregado.

2.4.1. Precisión de los Pronósticos

Narasimhan puntualiza que los pronósticos jamás son perfectos. Los pronósticos al estar basados en información previa se vuelven menos confiables mientras el periodo pronosticado sea mayor (27).

Los pronósticos para grupos de productos son más precisos que los pronósticos para artículos por separado dado que la desviación estándar del error inherente de un pronóstico para un grupo de productos es menor que en el caso de un pronóstico para un producto individual (Narasimhan 27).

2.4.2. Modelos de Pronóstico de Series de Tiempo

Los modelos de pronósticos de series de tiempos son modelos matemáticos creados para ajustarse a los diferentes cambios, tendencias y ciclos

estacionales de la demanda correspondientes a los diferentes productos existentes en el mercado (Narasimhan 28).

2.4.2.1. Promedio Móvil Ponderado

El promedio móvil utiliza la demanda pasada y permite dar diferentes pesos de interés del analista a la demanda pasada. El promedio móvil ponderado para un periodo n es el siguiente (Narasimhan 30):

$$\text{Promedio Móvil Ponderado (WMA)} = \sum_{t=1}^n C_t D_t \quad (2.12)$$

donde

$$0 \leq C_t \leq 1$$

El modelo asigna mayor peso a la demanda más reciente, por lo que este método descarta el valor de la información anterior, realizando un pronóstico con mayor capacidad de respuesta a los cambios de la demanda (Narasimhan 30).

2.4.2.2. Suavizamiento Exponencial Simple

El suavizamiento exponencial simple es el modelo más adecuado cuando la demanda consta de dos partes, una media constante μ (factor sistemático) y un factor ε_t (factor aleatorio) que se distribuye normalmente con media cero, de donde se obtiene (Narasimhan 31):

$$D_t = \mu + \varepsilon_t \quad (2.13)$$

La información necesaria para la aplicación de esta técnica es (Narasimhan 31):

- La demanda real del periodo más reciente
- El pronóstico (promedio exponencial) más reciente

Según Narasimhan, al utilizar el promedio exponencial de un periodo como pronóstico para el periodo siguiente se produce un proceso que permite revisar el promedio de forma ascendente o descendente dependiendo del error, si el error

es negativo se revisa el promedio en forma descendente y si el error es positivo se realiza la revisión del promedio en forma ascendente (32).

La ecuación del suavizamiento exponencial simple es (Narasimhan 32):

$$F_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)F_{t-1} \quad (2.14)$$

Donde: F_t es el promedio exponencial en el periodo t , D_t es la demanda real en el periodo t y α es una constante de suavizamiento entre cero y uno.

La ecuación para encontrar el error es (Narasimhan 32):

$$e_t = D_t - F_{t-1} \quad (2.15)$$

Donde: e_t es el error en el periodo t y F_{t-1} es el pronóstico de un periodo anterior al periodo presente (Narasimhan 32).

2.4.2.3. Modelo de Tendencias de Holt

Este modelo realiza pronósticos tomando en cuenta la tendencia de la demanda que puede ser de aumento progresivo o aumento constante a través de los periodos. La tendencia se estima de la siguiente manera (Narasimhan 34):

$$T_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (2.16)$$

Donde: β es una fracción, T_t es el estimado correspondiente a la tendencia en el periodo t y F_t es el promedio exponencial en el momento t (Narasimhan 34).

Para calcular cada periodo t del pronóstico se necesita sumar la tendencia de la ecuación (2.16) al promedio exponencial como se muestra a continuación (Narasimhan 35):

$$f_t = F_{t-1} + T_{t-1} \quad (2.17)$$

Sustituyendo este pronóstico que toma en cuenta la tendencia en la ecuación (2.14) del suavizamiento exponencial simple se obtiene la ecuación del Modelo de Tendencias de Winters (Narasimhan 35):

$$F_t = \alpha D_t + (1 - \alpha)(F_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2.18)$$

Primero se debe calcular F_t a partir de la ecuación (2.18), después se calcula T_t con la ecuación (2.16), a continuación se encuentra el pronóstico ajustado mediante la ecuación (2.17) y finalmente se crea el pronóstico final del periodo t para el periodo $t+1$ así (Narasimhan 35):

$$f_{t+1} = F_t + T_t \quad (2.19)$$

2.4.2.4. Suavizamiento Exponencial Ajustado Estacionalmente y Modelo de Winters Completo

Estos modelos son capaces de reconocer sólo los patrones estacionales existentes en la demanda y también los patrones estacionales más la tendencia respectivamente. Los patrones estacionales típicos son crecimientos de la demanda en ciertos periodos de tiempo como la estación navideña o disminuciones de la demanda en periodos de inactividad como el verano (Narasimhan 36).

Una demanda estacional utilizada para la creación de estos pronósticos consta de 3 partes; una demanda media constante μ , multiplicada a un factor δ_t de estacionalidad y este producto sumado al factor ε_t que se distribuye normalmente con media cero, de donde se obtiene (Narasimhan 36):

$$D_t = \mu * \delta_t + \varepsilon_t \quad (2.20)$$

Para encontrar el pronóstico de una demanda que sólo muestra patrones de estacionalidad se utiliza la ecuación (2.14) del suavizamiento exponencial simple como base, pero en lugar de la demanda en el periodo t (D_t) se toma en cuenta la forma de la demanda de la ecuación (2.20) estimando δ_t mediante un indicador $I_t = D_t / F_t$ (Narasimhan 36).

Reemplazando I_t en la ecuación (2.14) resulta la ecuación del suavizamiento exponencial ajustado estacionalmente (Narasimhan 36):

$$F_t = \alpha \frac{D_t}{I_{t-m}} + (1 - \alpha) F_{t-1} \quad (21)$$

Donde: I_{t-m} es el índice calculado $m=12$ meses atrás para pronósticos mensuales, o $m=52$ semanas atrás para pronósticos semanales (Narasimhan 36).

A continuación, una vez encontrado F_t es posible calcular el índice estacional necesario para el promedio exponencial del siguiente periodo. Narasimhan plantea el índice siguiente (36):

$$I_t = \gamma \frac{D_t}{F_t} + (1 - \gamma)I_{t-m} \quad (2.22)$$

Donde: γ es una constante de suavizamiento exponencial que casi siempre se establece como $\gamma \leq 0.05$ (Narasimhan 36).

El pronóstico creado del periodo t para el periodo $t+1$ es (Narasimhan 36):

$$f_{t+1} = F_t * I_{t+1-m} \quad (2.23)$$

El Modelo de Winters Completo utiliza como base las ecuaciones del suavizamiento exponencial ajustado estacionalmente pero se sustituye el término F_t del promedio exponencial de un periodo anterior por el término $(F_t + T_{t-1})$ que es capaz de tomar en cuenta las tendencias al realizar los pronósticos. Las ecuaciones son (Narasimhan 37):

$$F_t = \alpha \frac{D_t}{I_{t-m}} + (1 - \alpha)(F_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2.24)$$

$$T_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (2.25)$$

$$I_t = \gamma \frac{D_t}{F_t} + (1 - \gamma)I_{t-m} \quad (2.26)$$

$$f_{t+1} = (F_t + T_t) * I_{t+1-m} \quad (2.27)$$

Winters Completo es un modelo de series de tiempo comprensivo para realizar pronósticos ya que toma en cuenta cambios en la demanda, tendencias y patrones estacionales (Narasimhan 37).

2.5. Programa Maestro de Producción (MPS)

El MPS es un plan de fabricación factible que “toma en cuenta los cambios de la capacidad o las cargas, los cambios de inventario terminado y las fluctuaciones de la demanda” (Narasimhan 302).

De acuerdo con Narasimhan, el Programa Maestro de Producción debe ser consistente con el Plan Agregado de Producción del que se deriva y también debe utilizar las mismas unidades de medida. El APP es una base para la toma de decisiones con respecto a las fechas de producción específicas, la capacidad disponible, la demanda total, el tiempo de entrega y las restricciones de inventario. A pesar que esta información es necesaria, no es suficiente para el funcionamiento efectivo de una empresa. El MPS establece qué productos específicos se producirán en cantidades determinadas para fechas predeterminadas (302).

2.5.1. Planeación de los Periodos

Para facilitar el proceso de producción, la planeación tiene que tomar en cuenta intervalos de tiempo específicos conocidos como periodos. La duración de los periodos es cuestión de conveniencia y compromiso. Los periodos más reducidos facilitan un programa preciso de producción pero se incurre en un costo elevado de procesamiento de datos. Los costos de computarizar datos son más económicos para los periodos más prolongados, aunque se considera una pérdida de precisión (Narasimhan 306).

Los periodos varían dependiendo de las necesidades de las empresas, una ensambladora automotriz plantea periodos de un turno de producción por la elevada carga de pedidos y cantidades a procesar, mientras que por otro lado una fabrica de aviones utiliza periodos de un mes por la magnitud de este ensamblaje (Narasimhan 306).

2.5.2. Modelo Matemático para el Programa Maestro

El modelo matemático de programación lineal para el MPS aplica una técnica de descomposición o desagregación de la demanda donde “se especifica el tamaño y la programación de las órdenes de producción por lotes específicos, la secuencia de trabajos individuales y la asignación a corto plazo de los recursos a las actividades individuales y la operación” (Narasimhan 324).

El modelo de descomposición general que se presenta minimiza los costos totales de producción, subcontratación, inventario, contratación, despido, tiempo extra y salarios durante t periodos (Narasimhan 326).

Minimizar:

$$Z = \sum_t \sum_i [C_1 X_{it} + C_2 S_{it} + C_3 I_{it} + C_4 B_{it} + C_5 H_{jt} + C_6 F_{jt} + C_7 O_{jt} + C_8 W_{jt}] \quad (2.28)$$

Sujeto a las restricciones:

$$X_{it} + I_{i,t-1} - I_{it} + S_{it} + B_{it} - B_{i,t-1} = D_{it} \quad \text{para toda } i \in L \quad (2.29)$$

$$\sum_{m=1}^{l_i} [r_{imj} X_{i,t+m} + r'_{imj} \phi_{i,t+m}] = P_{ijt} \quad \text{para toda } i \in N \text{ y } j \in J \quad (2.30)$$

$$\sum_{i \in L} P_{ijt} - W_{jt} - O_{jt} \leq 0 \quad (2.31)$$

$$W_{jt} - W_{j,t-1} - H_{jt} + F_{jt} = 0 \quad (2.32)$$

$$O_{jt} - \theta W_{jt} \leq 0 \quad (2.33)$$

$$\phi_{it} = \begin{cases} 1 & \text{si } X_{it} > 0 \\ 0 & \text{si } X_{it} = 0 \end{cases} \quad \text{para toda } i \in L \quad (2.34)$$

Donde:

C_i = costos asociados con las variables

X_{it} = producción para producto (o servicio) i en el periodo t

I_{it} = nivel de inventario disponible de producto i en el periodo t

S_{it} = producción subcontratada del producto i en el periodo t

D_{it} = requerimientos del mercado para el producto i en el periodo t

l_i = tiempo de entrega de producción para el producto i (en los escenarios de servicio, por lo general, l sería igual a un periodo)

B_{it} = cantidad de producto pendiente en el periodo t

r_{imj} = cantidad de horas/hombre que se requiere por unidad de producto i en la operación j durante el m -ésimo periodo antes que termine la producción de i (en los escenarios de servicio, por lo regular, r_{imj} es 0 o 1 para cada i, m, j , ya que casi siempre la producción se mide en horas/hombre)

r'_{imj} = tiempo de inicio total que requiere el producto i en la operación j durante el m -ésimo periodo antes de terminar la producción de i (en los escenarios de servicios, r'_{imj} es 0 para cada i, m, j)

- ϕ_{it} = variable binaria que asigna un tiempo de preparación para el producto i siempre que $X_{it} > 0$
- P_{ijt} = resultado de la producción del producto i en la operación j durante el periodo t expresado en horas/hombre
- W_{jt} = horas/hombre regular que se asignan a la operación j durante el periodo t
- O_{jt} = horas/hombre de tiempo extra que se asignan a la operación j durante el periodo t
- H_{jt} = horas/hombre de mano de obra que se contratan para la operación j al inicio del periodo t
- F_{jt} = horas/hombre de mano de obra que se dejan fuera de la operación j al inicio del periodo t
- θ = proporción de la fuerza laboral de tiempo regular que se puede utilizar en el tiempo extra
- L = conjunto de todos los productos terminados que se deben controlar (en escenarios de fabricación)
- T = longitud del horizonte de planeación
- J = conjunto de todas las operaciones en las cuales se supone que hay un solo tipo de habilidad en cada operación
- N_j = conjunto de todos los productos que requieren de recursos en la operación

La ecuación (2.29) define la producción en términos del producto o servicio i en la operación j durante el periodo t (en un escenario de fabricación la ecuación (2.29) representa la relación de equilibrio entre inventario y demanda). La ecuación (2.31) asegura que el trabajo que se plantea para la operación j durante el periodo t no excede la capacidad de personal que se plantea para el departamento j durante el periodo t . La ecuación (2.32) representa contratación y despido del personal. La cantidad de tiempo extra θ como una fracción de las horas/hombre de tiempo regular se presenta en la ecuación (2.33). En la ecuaciones (2.30) y (2.34) el termino ϕ_{it} es una variable binaria (si es necesaria una proyección, $\phi_{it} = 1$; de otra manera es 0) (Narasimhan 329).

Narasimhan explica que en servicios, las variables como X_{it} , B_{it} y S_{it} se expresan en términos de horas/hombres en lugar de unidades de productos. En un escenario de fabricación los valores de X_{it} determinan la producción planeada productos específicos a partir de programa maestro en toda la producción de los componentes, junto con las capacidades del personal para respaldar estos programas. Tomar en cuenta que en un escenario de servicios, estos valores representan la producción planeada de cada servicio. La selección de las capacidades del personal se convierte en una premisa (329).

2.5.3. Mantenimiento del Plan Maestro

Es necesario la supervisión y revisiones periódicas para tomar en cuenta pedidos, problemas y decisiones nuevas. Se recomienda realizar dos tipos de revisiones, una cada periodo corto de tiempo para mantener conocimiento continuo de los posibles cambios en el MPS (diaria, semanal, mensual o trimestral) y otra tomando en cuenta un periodo de tiempo mayor a la revisión corta para implementar los cambios ocurridos en dicho periodo.

2.6. Programación de la Fuerza Laboral

Realizar la programación de los horarios de la fuerza laboral de las empresas que operan siete días a la semana constituye un reto, porque los trabajadores por contrato deben trabajar cinco días y descansar dos días a la semana, además de existir una variación diaria de la demanda. Generalmente, la demanda de estas operaciones se satisface en su totalidad con trabajadores de planta y de apoyo (Burns y Carter 599).

El algoritmo de Burns y Carter resuelve cualquier caso de programación de personal para empresas que operan siete días de la semana, cuya demanda varía de un día para otro, en un ciclo semanal. Cada trabajador recibirá por lo menos A fines de semanas libres de un ciclo de B semanas trabajadas, y durante las $(B-A)$ semanas cada trabajador recibirá dos días libres de la semana laboral (de Lunes a Viernes), aunque los dos días no sean necesariamente consecutivos (Burns y Carter 599).

2.6.1. Suposiciones del Algoritmo de Burns y Carter

Para encontrar el número mínimo de empleados necesarios para trabajar en una empresa que opera siete días a la semana deben satisfacerse las siguientes suposiciones (Burns y Carter 600):

- La demanda diaria n_j , $j = 1, 2, 3, \dots, 7$; n_1 es la demanda del Domingo.
- Cada empleado obtiene por lo menos A fines de semana libres por cada B fines de semana transcurridos.
- Cada empleado trabaja exactamente 5 de 7 días.
- Cada empleado no trabaja más de 6 días consecutivos.

2.6.2. Determinación de los Límites Inferiores de Fuerza Laboral

Existen tres límites inferiores definidos para el presente algoritmo. El estudio de Burns y Carter demuestra que los límites inferiores no son sólo necesarios sino también suficientes para desarrollar el algoritmo que crea los horarios para cada turno (Burns y Carter 600).

Al final, el límite inferior escogido se denomina Fuerza Laboral (W), y es la cantidad más alta obtenida del cálculo de los tres límites inferiores (Burns y Carter 600).

Los límites inferiores para minimizar el tamaño de la fuerza laboral son (Burns y Carter 600):

- **Restricción de la demanda de fin de semana (L_1)**, el número promedio de empleados disponibles cada fin de semana es suficiente para cubrir la demanda máxima del fin de semana.
- **Restricción de la demanda total (L_2)**, el número de trabajadores diarios por semana es suficiente para cubrir la demanda total semanal.
- **Restricción de la demanda diaria máxima (L_3)**, el número de empleados diarios es suficiente para cubrir la demanda en cualquier día.

Para obtener los límites inferiores se debe determinar el número mínimo de trabajadores requeridos para satisfacer una determinada demanda semanal. El máximo de los 3 límites siguientes (ecuaciones 2.35, 2.37 y 2.38) determina el tamaño de la fuerza laboral (Burns y Carter 600):

L_1 : Restricción de la demanda de fin de semana

$$\frac{(B-A)}{B} * W \geq n \quad o \quad W \geq \frac{Bn}{(B-A)} \quad (2.35)$$

Donde:

$$n = \text{Max}(n_1, n_7) \quad (2.36)$$

y W es un entero redondeado

L_2 : Restricción de la demanda total (cada empleado trabaja 5 días a la semana)

$$5W \geq \sum_{j=1}^7 n_j \quad o \quad W \geq \frac{1}{5} \sum_{j=1}^7 n_j \quad (2.37)$$

L_3 : Restricción de la demanda diaria máxima

$$W \geq \text{Max}_j(n_j) \quad j = 1, 2, \dots, 7 \quad (2.38)$$

El tamaño de la fuerza de trabajo

$$W = \text{Max}(L_1, L_2, L_3) \quad (2.39)$$

2.6.3. Algoritmo de Burns y Carter

El algoritmo desarrollado por Burns y Carter tiene cuatro pasos:

Primer paso (calcular la fuerza laboral mínima): calcular los límites L_1 , L_2 y L_3 y determinar el mayor de los límites como W (Burns y Carter 601).

Segundo paso (programar los fines de semana libres): por conveniencia, se enumeran los empleados de 1 a W ; luego tomando en cuenta que se necesitan n empleados para que trabajen al menos un día en cada fin de semana, a los $(W-n)$ empleados restantes se les puede asignar el primer fin de semana libre. De la misma manera, se le puede asignar el siguiente fin de semana libre a los

siguientes ($W-n$) empleados, y así sucesivamente de manera cíclica (Burns y Carter 601).

Tercer paso (determinar los pares de días libres adicionales): identificar pares de días n en los que se les puede conceder días libres en cada semana a los trabajadores (n pares de días libres) (Burns y Carter 601).

Calcular la holgura diaria de los días hábiles (de Lunes a Viernes) (Burns y Carter 601):

$$S_j = W - n \quad \text{para cada } j = 1, 2, \dots, 6 \quad (2.40)$$

Calcular la holgura de fin de semana (Sábado y Domingo) (Burns 601):

$$S_j = W - n_j - (W - n) \quad \text{para cada } j = 1 \text{ y } 7 \quad (2.41)$$

Realizar el siguiente procedimiento iterativo para construir una lista de n pares de días libres (Burns y Carter 601):

- Escoger el día k donde $S_k = \max(S_j)$
- Escoger cualquier $j \neq k$ en el que $S_j > 0$. Si $S_j = 0$ para todos los $j \neq k$ utilizar $j = k$
- Aumentar el par (k, j) a la lista a disminuir S_j y S_k en 1
- Repetir el proceso n veces

Los pares (k, k) formados se llaman “no distintos”, y son pares de días libres y siempre se los debe poner al final de la lista (Burns y Carter 601).

Cuarto paso (asignar los pares de días libres en la semana 1): asegura que cada trabajador reciba dos días libres durante cualquier periodo semanal determinado. Cada empleado puede clasificarse en uno de los siguientes cuatro tipos (Tabla 3) para determinar sus días libres en fechas determinadas (Burns y Carter 601).

Tabla 3. Tipos de Empleados y su Distribución de Días Libres

Tipo	Fin de semana 1	Semana 1	Fin de semana 2
T1	Libre	No se necesita días libres	Libre
T2	Libre	Se necesita un día libre	Hábil
T3	Hábil	Se necesita un día libre	Libre
T4	Hábil	No se necesita días libres	Hábil

Fuente: Burns y Carter 601.

Primero se asigna un par de días para cada tipo T4, porque estos empleados están programados para trabajar en ambos fines de semana. Los pares se dividen después entre los tipos T2 y T3 de manera que T3 tenga el primer día y T2 tenga el segundo día del par, para completar 2 días libres a la semana. Adviértase que el tipo T1 no necesita ningún día libre porque tales empleados ya tiene libres dos fines de semana consecutivos. El algoritmo asegura que cada trabajador llegue a tener dos días libres durante cada periodo de una semana, además de la restricción de que se les dará A fines de semana libres durante un periodo de B fines de semana (Burns y Carter 601).

Si pares no distintos se forman, siempre deben ser signados al personal de tipo T3 y luego dividido para que ningún empleado tenga sus dos días libres en el mismo día (Burns y Carter 602).

Quinto paso (asignar los pares de días libres en la semana i ($i \neq 1$)): asumir que se han calculado los horarios de la semana 1 hasta la semana ($i-1$), y que los empleados se encuentran categorizados por tipo, de acuerdo a la Tabla 3 (Burns y Carter 602).

Este paso asegura que cada empleado no trabaje más de 6 días seguidos. Los días libres asignados para la semana i presenta dos posibles casos (Burns y Carter 602):

Caso 1, si en la lista de pares de días libres cualquier par no distinto de forma (k, k) aparece para un día k , entonces a la semana i se le da el mismo horario que se le da a la semana 1, asignando el par de días libres del comienzo de la lista a los empleados de tipo T4. Las únicas veces en las que el trabajo semanal de un empleado supera los 5 días es cuando pares no distintos aparecen.

Caso 2, si todos los pares de días libres son distintos de forma (j, k) donde $j \neq k$, entonces todos los empleados T3 y T4 en la semana i obtendrían el mismo par de días libres que recibieron en la semana $(i-1)$. Los empleados T4 reciben dos días libres, mientras que a T3 le queda un día de trabajo antes de lo previsto del par repetido en las dos semanas. Los empleados T2 obtienen los pares T3 de los días que quedan. De esta manera, la mayor cantidad de trabajo semanal que se puede asignar a un empleado es de máximo 5 días consecutivos.

3. LEVANTAMIENTO Y DOCUMENTACIÓN DE LOS PROCESOS DE ENSOBRADO

En el presente estudio se aplicarán las fases uno y dos de la metodología del Mejoramiento de los Procesos de un Negocio (sección 2.1).

El objetivo del levantamiento de procesos es obtener las operaciones de los procesos seleccionados, y a su vez identificar las actividades que luego se utilizan como los Elementos de los procesos para la realización del Estudio de Tiempos (sección 2.2).

3.1. Fase 1, Preparación para el Mejoramiento de los Procesos de Negocio

Para identificar los procesos críticos, se debe formar un Equipo Ejecutivo de Mejora (ETI) conformado por el Jefe de Producción en representación de este Departamento y de la Gerencia General, los Supervisores de los Procesos de Ensobrado, y el Autor del presente documento.

El ETI está encargado de encontrar el principal problema que enfrenta la Empresa. Como se explicó anteriormente en el Capítulo 1, la Gerencia General de Urbano Express sugirió la necesidad de realizar mejoras en el Departamento de Producción con respecto a la planificación de los procesos de ensobrado de los productos. Ante esto, el Jefe de Producción se encargó de realizar una lista de los productos más representativos para la Empresa en el Área de Ensobrado. Los Productos Críticos Seleccionados (PCS) requieren de todos los procesos de ensobrado que realiza Urbano Express.

Además, se debe tomar en cuenta que los clientes que contratan los servicios de Urbano Express requieren el procesamiento de uno o varios productos. Existen más de 31 tipos de ensobrado, pero los 31 Productos Críticos Seleccionados que se encuentran en la Tabla 4 contienen todas las operaciones necesarias para llevar a cabo todos los tipos de ensobrado realizados en Urbano Express (Jefe de Producción, Entrevista Personal, Septiembre 2008). Varios clientes utilizan los mismos procesos de ensobrado para sus productos, lo que implica que existan distintos productos que son resultado de los mismos procesos. Los productos en la Tabla 4 están enumerados tomando en cuenta su orden alfabético.

Tabla 4. Productos Críticos Seleccionados

#	Nombres de los Productos Críticos Seleccionados
1	Andinatel Diners Club FF
2	Banco de Guayaquil AmEx EC
3	Banco de Guayaquil CC
4	Banco de Guayaquil Establecimientos
5	Banco Pichincha Visa EC
6	Datafast Papelería
7	Datafast Rollos
8	Diners Comprobantes de Pago
9	Diners Corporativo
10	Diners EC
11	Diners Notas
12	Diners Revista
13	DirecTV EC
14	Etafashion EC
15	Fybeca Charlas Bebitos
16	Fybeca Convenios EC
17	Fybeca Empresarial EC
18	Fybeca Individual EC
19	Fybeca Invitaciones Bebitos
20	Fybeca Revista Bebitos
21	Fybeca Tarjetas Cumpleaños
22	Interactive Factura
23	Mailings Todo Hogar
24	Mailings Todo Hogar
25	Mailings Etafashion
26	Mutualista Pichincha
27	Pacificard Cartas Mora
28	Pacificard Revista
29	Publipromueve
30	Salud EC
31	Sukasa EC

Fuente: Generación Propia.

Una vez conocidos los productos a estudiar, se debe formar el Equipo de Mejoramiento de Procesos (PIT) que consta del Jefe de Producción, los supervisores de ensobrado y el autor del presente trabajo. El PIT debe definir las siguientes actividades a realizar:

- Suposiciones de operación
- Entrevistar a los supervisores envueltos en los procesos
- Desarrollar la misión de PIT
- Seleccionar los límites de los procesos

3.1.1. Suposiciones de Operación

Las suposiciones de operación forman parte de las políticas de la Empresa y son (Jefe de Producción, Entrevista Personal, Septiembre del 2008):

- Hora de entrada y de salida de cada turno (turno del día de 8:00 a 17:00 y turno de velada de 20:00 a 4:00)
- Tres atrasos se consideran una falta
- Una falta injustificada se considera con dos faltas

3.1.2. Entrevistar a los Supervisores de los Procesos

Primero se realizó una entrevista con el Supervisor General para determinar los límites inicial y final de los procesos.

Para llegar a completar el levantamiento de todos los procesos, se llevaron a cabo 31 entrevistas a los supervisores de turno (uno por cada proceso). Cada vez que se producía un producto en la planta de producción de UE, se entrevistó al supervisor de turno, con el fin de conocer de antemano y de acuerdo a su nivel máximo de conocimiento acerca del proceso. Posteriormente, se realizó el levantamiento de los procesos para cada producto por operación y actividad.

Finalmente, se realizó una última entrevista más larga con el Supervisor General para comprobar que todos los procesos levantados estén correctos en procedimiento, según su experiencia y conocimiento de los mismos.

3.1.3. Desarrollar la Misión del PIT

La misión del PIT es realizar el levantamiento de los PCS para comprobar que la información de operaciones y actividades sobre los procesos sean reales y detalladas al nivel de requerido. Para esto, PIT debe realizar las Fases 1 y 2 del BPI propuesto por Harrington, que consiste en documentar y describir los procesos bajo estudio.

3.1.4. Seleccionar los Límites de los Procesos

Los límites de los procesos son (Harrington 69):

Límite inicial, es el momento en que un trabajador se encuentra sentado en su estación de trabajo y empieza a realizar una unidad del producto asignado.

Límite final, es el momento en que un trabajador termina de realizar una unidad de producto o una unidad de la parte de un producto asignado a procesar.

Toda la producción se realiza en posición sentado. Por lo que todos los trabajadores no realizan cambios de lugar durante a realización de los procesos, tampoco requieren movimientos extras a los procesos para alimentarse de materia prima ya que es proporcionada por los Supervisores.

3.2. Fase 2, Entendimiento de los Procesos

Como se indicó en la sección 2.1, el PIT debe entender todos los factores relacionados con los procesos mediante el levantamiento de los Procesos Productivos por operaciones y actividades.

3.2.1. Procesos y Operaciones Productivas de Urbano Express

Para el análisis de los Procesos Productivos (PP's) de Urbano Express, primero se debe tomar en cuenta que existen muchas operaciones que se repiten en varios de los productos; por lo tanto, se debe poner mucha atención a las operaciones mientras se realiza el levantamiento de procesos, para que de esta manera se puedan obtener las descripciones específicas de las operaciones y los procesos por sus actividades (Harrington 22).

Para obtener los procesos, sus operaciones y sus actividades, se necesitó observar todos los procesos hasta tomar nota de los procedimientos realizados. De esta manera, se logran separar todas las operaciones necesarias para realizar los procesos productivos. Los PP's son 11 y se encuentran en la Tabla 5.

Durante la recolección de procesos en los diferentes productos se encontró que los mismos procesos se realizan de diferente forma en varios productos, esto creó la necesidad de dividir los procesos en operaciones.

Los procesos productivos contiene todas las operaciones y actividades correspondiente a los PCS y en general a todos los productos realizados en UE. Los procesos se encuentran descritos de manera general, cada proceso se encuentra dividido en operaciones que describen específicamente las operaciones

a realizar en cada proceso. Y las operaciones se encuentran divididas en actividades descritas con detalle para cada operación de cada proceso (el levantamiento de las actividades no va a ser descrito en este Capítulo, ya que forma parte del Estudio de Tiempos realizado en el Capítulo siguiente).

Tabla 5. Procesos Productivos de Urbano Express

Procesos Productivos	
Siglas	Descripción
A	Agrupar sobres
C	Clasificar sobres por zona y por provincia
CO	Contar sobres
D	Doblar hojas a mano y a máquina
GR	Grapar hojas dobladas y anexos a hojas
E	Ensobrar EC's, hojas dobladas, hojas grapadas y cartas
EN	Enfundar sobres y revistas
I	Insertar tarjetas y publicidades en sobres
L	Pegar label simple y personalizado
SD	Sacar dobles doblando y cortando con guillotina
T	Tarjar

Fuente: Generación Propia.

Los procesos y las operaciones obtenidos, fueron validados por el Supervisor General, quien conoce con precisión todos los procesos productivos debido a que además de supervisar el avance de los procesos, éste designa el trabajo de cada día al personal de producción, explica las instrucciones de ensobrado a los trabajadores para que puedan realizar las operaciones; y, él mismo ensobra algunos productos en días de baja producción. Todas las operaciones en el Departamento de Producción se encuentran listadas en la Tabla 6 por sus nombres y siglas respectivas.

La descripción de las operaciones productivas necesarias para realizar todos los productos de Urbano Express están en la Tabla 7, donde existen dos columnas; la primera lista las operaciones por su sigla respectiva, y la segunda es una descripción de cada operación.

Los Procesos Productivos y las Operaciones Productivas (OP's) se muestran en siglas para su rápido manejo al momento de escribir los productos por procesos u operaciones en las hojas de control o tablas de operación de los productos.

Tabla 6. Operaciones Productivas

Operaciones Productivas	
Siglas	Nombre
#I	Aumentar número de publicidades en ensobrado o enfundado
A	Agrupar por empresa
C1	Clasificar por provincia
C2	Clasificar por zona
C3	Clasificar por zona cuando viene ordenado
CAyR	Clasificar por actualizaciones y retenciones
CCyG	Clasificar por Classic y Gold
CO	Contar sobres para verificar cantidad
D1	Doblar a máquina
D2	Doblar a mano
E	Ensobrar; seleccionar producto e inserto si hay, ensobrar producto, doblar la tapa del sobre y sellar el sobre con cinta adhesiva o label
EN	Enfundar; insertar publicidad en revista si hay, enfundar producto e inserto si hay y sellar funda con cinta adhesiva o label
I3T	Insertar 3 tarjetas
I4TA	Insertar 4 tarjetas en una agenda
IG	Igualar
G	Guillotinar por lotes de 500 hojas
GR	Grapar un hoja doblada en 3 partes iguales
GRA	Grapar anexos
L1	Pegar label
L2	Sellar con label
LP1	Pegar label personalizado
LP2	Sellar con label personalizado
SM	Sacar marcas (retenciones y actualizaciones) con listado
SD1	Sacar dobles 1; doblar en máquina y grapar segundas hojas
SD2	Sacar dobles 2; doblar en máquina y agrupar segundas hojas
SD3	Sacar dobles 3; guillotinar y grapar segundas hojas
SD4	Sacar dobles 4; guillotinar y agrupar segundas hojas
SD5	Sacar dobles 5; cortar a mano las hojas y grapar las segundas hojas
SD6	Sacar dobles 6; cortar a mano anexos, grapar anexos y cortar a mano hojas grapadas anexos
T	Tarjar; leer código en lista, clasificar por retenciones y poner visto en el listado

Nota: Label significa etiqueta, pero en la empresa se utiliza el termino label.

Fuente: Generación Propia.

Las descripciones de las OP's se obtuvieron a partir de observar todos los PCS, anotando la descripción de cada operación de los productos. Al tener todos los productos definidos por operación se procedió a ver cuantas operaciones existen derivadas de cada proceso realizado en cada producto. De donde se obtuvo que en los 31 productos críticos seleccionados existen 11 PP's distintos y 32 OP's diferentes.

Tabla 7. Descripción de las Operaciones Productivas

Operaciones Productivas	
Siglas	Descripción
#I	Aumentar el número de insertos a colocar en el sobre o funda.
A	Agrupar sobres o fundas por empresa.
C1	Clasificar los sobres por provincia para enligar por lotes de 50 o de la cantidad de una provincia si es menor a 50, tomando en cuenta el número indicado en el label (si las provincias tienen menos de 50 sobres, los lotes son menores a 50; y, si las provincias tienen un número mayor a 50 sobres, se enliga por lotes de 50 pero se mantienen juntos los lotes de una misma provincia. Por lo general, las provincias tienen un número mayor a 50 sobres).
C2	Clasificar los sobres por zona para enligar por lotes de 50 o del tamaño de una zona si es menor a 50, tomando en cuenta una o varias letras indicadas en el label (si las zonas tienen menos de 50 sobres, los lotes son menores a 50; y, si las zonas tienen un número mayor a 50 sobres, se enliga por lotes de 50 manteniendo juntos los lotes de una misma zona. Por lo general, las zonas tienen menos de 50 sobres).
C3	Clasificar los sobres separadamente para enligar por zona, tomando en cuenta una o varias letras indicadas en el label (si las zonas tienen menos de 50 sobres, se enliga lotes menores a 50; y, si las zonas tienen un número mayor a 50 sobres, se enliga por lotes de 50 manteniendo juntos los lotes de una misma zona. Por lo general, las zonas tienen menos de 50 sobres).
CAyR	Clasificar por actualizaciones y retenciones, y enligar en lotes de 50.
CCyG	Clasificar por Classic y Gold y enligar en lotes de 50.
CO	Contar los sobres para revisar que no falta ninguno.
D1	Alimentar la máquina dobladora con lotes de 50 hojas y doblarlas en 2 o 3 partes.
D2	Doblar a mano.
E	Seleccionar producto (EC o carta) e inserto, si hay, ensobrar producto, doblar la tapa del sobre y sellar el sobre con cinta adhesiva o label.
EN	Insertar publicidad en revista, si hay, enfundar producto (revista o sobre) e inserto, si hay, y sellar funda con cinta adhesiva o label.
I3T	Insertar 3 tarjetas.
I4TA	Insertar 4 tarjetas en una Agenda.
IG	Pre-ensobrar un mínimo de 2 insertos o el número de insertos asignado a un producto que sea de gran volumen (Igualeda), y enligar en lotes de 50.
G	Seleccionar lote de 500 hojas que contienen 1000 EC y guillotinar.
GR	Grapar una hoja doblada en 3 partes iguales.
GRA	Grapar anexos.
L1	Pegar label (despegar 4 labels a la vez en 4 dedos de una mano para pegarlos en el sobre).
L2	Sellar con label (despegar 4 labels a la vez en 4 dedos de una mano para luego pegar cada label).
LP1	Validar label con producto, pegar label personalizado y enligar en lotes de 100 para no perder el orden.
LP2	Validar label con producto, sellar con label personalizado y enligar en lotes de 100 para no perder el orden.
SM	Sacar las diferentes marcas como retenciones, actualizaciones.
SD1	Seleccionar lotes de 100 EC's, doblar EC en máquina dobladora, revisar los EC's para grapar los EC's que tengan más de una hoja, para luego enligar en lotes de 50 y poner en una bandeja.
SD2	Seleccionar lotes de 100 EC's, doblar EC's en máquina dobladora, revisar los EC's para agrupar los EC's que tengan más de una hoja, para luego enligar en lotes de 50 y poner en una bandeja.

Fuente: Generación Propia.

Tabla 7. Descripción de las Operaciones Productivas (Continuación)

SD3	Seleccionar lotes de 500 hojas que contienen 1000 EC's, guillotinar lote, revisar los EC's que están separados en 2 lotes de 500 EC's como resultado del guillotinado previo, luego grapar los EC's (el número de hojas del EC que pueden ser hasta 8) correspondientes al mismo usuario del cliente, para luego enlazarlos en lotes de 50 o en el tamaño de provincia o zona si es menor a 50 EC's, para luego poner en bandeja.
SD4	Seleccionar lotes de 500 hojas que contienen 1000 EC's, guillotinar lote, revisar los EC's que están separados en 2 lotes de 500 EC's como resultado del guillotinado previo, luego agrupar los EC's (el número de hojas del EC que pueden ser hasta 8) correspondientes al mismo usuario del cliente, para luego enlazarlos en lotes de 50 o en el tamaño de provincia o zona si es menor a 50 EC's, para luego poner en una bandeja.
SD5	Cortar con la mano las hojas que no correspondan al mismo EC, grapar las terceras hojas correspondientes al mismo EC (la segunda no hay necesidad de grapar porque si hay 2 hojas juntas del mismo EC no se cortan) y enlazar en lotes de 50 o en el tamaño de provincia o zona si es menor a 50 EC para luego poner en una bandeja.
SD6	Corta a mano todos los anexos (vienen dos anexos por hoja), grapar anexos a cada EC (en una hoja viene 2 EC's), colocar los EC's grapados en columnas de 100 hojas, cortar a mano los EC's grapados con anexos en lotes de 15 hojas.
T	Tarjar consiste en comprobar nombre o número del producto con una lista, clasificar, enlazar en lotes de 50 y poner revisado o no en la lista.

Fuente: Generación Propia.

Una vez definidos todos los procesos y operaciones existentes para realizar cualquier producto de UE, se procedió a describir cada PCS por sus operaciones obviando una descripción de cada producto por proceso ya que no proporciona información significativa.

La Tabla 8 muestra los PCS definidos por operaciones en su secuencia de respectiva de realización. Las OP's de cada proceso y su orden de realización respectivo se encuentran validados por el Supervisor General.

Durante el levantamiento de las operaciones y procesos se encontró un desglose más fino de las operaciones productivas en Actividades (Elementos), que son necesarias para realizar el Estudio de Tiempos por Elementos.

Para el mejor entendimiento del procedimiento de los productos se creó una tabla para cada producto, en las cuales se nombra el producto con sus OP's y sus Actividades (las Actividades describen cada operación con mayor precisión que sus descripciones mostradas en la Tabla 7, dividiendo a las operaciones en los Elementos utilizados para la realización del Estudio de Tiempos). Las tablas de todos los productos críticos seleccionados por OP's y Actividades fueron entregadas a Urbano Express. A manera de ejemplo se encuentran las tablas de

OP's y Actividades de los 8 productos más importantes para la Empresa en el Anexo A.

Tabla 8. Productos Críticos Seleccionados y sus Operaciones Productivas

#	Productos Críticos Seleccionados	Operaciones Productivas
1	Andinatel Diners Club FF	LP1 D1 GR C1 C2
2	Banco de Guayaquil AmEx EC	SD6 CO SM E CO T
3	Banco de Guayaquil CC	CO SM T C2
4	Banco de Guayaquil E	D2 E L1 C1
5	Banco Pichincha Visa EC	SD3 E C3 CO
6	Datafast Papelería	EN L1
7	Datafast Rollos	EN L1
8	Diners Comprobantes de Pago	SD5
9	Diners Corporativo	SD2 E CO
10	Diners EC	SD2 E C3
11	Diners Notas	CAyR C1 D1 C2
12	Diners Revista	EN L1
13	DirectTV EC	T C3
14	Etafashion EC	T C3
15	Fybeca Charlas Bebidos	E EN LP2 C1 C2
16	Fybeca Convenios EC	SD2 E L1 C1 C2
17	Fybeca Empresarial EC	SD3 ERloE A C1
18	Fybeca Individual EC	SD3 EIRoE L1 C1 C2
19	Fybeca Invitaciones Bebidos	E EN LP2 C1 C2
20	Fybeca Revista Bebidos	EN L2 C1 C2
21	Fybeca Tarjetas Cumpleaños	I3T EoEN L C1 C2
22	Interactive Factura	LP1 C1 C2
23	Mailings Todo Hogar	L1
24	Mailings Todo Hogar	EN L2
25	Mailings Etafashion	L1 EN
26	Mutualista Pichincha	C1 C2
27	Pacificard Cartas Mora	D2 E LP1 C1 C2
28	Pacificard Revista	EN L1 C3
29	Publipromueve	I3TA 2I E L2
30	Salud EC	SM C1 C2 CO
31	Sukasa EC	SD1 E LP1 C1 C2

Fuente: Generación Propia.

Generalmente los productos se realizan en un solo turno de trabajo. Existen productos que se procesan en cantidades pequeñas (1000 unidades al mes) y otros que se procesan en cantidades muy grandes (90000 unidades al mes), lo que ha causado que los productos de gran volumen se dividan en procesos para realizarlos en más de un turno de trabajo. Sólo los productos para los cuales se realiza el proceso de Sacada de Dobles son producidos en diferentes turnos (si su volumen lo amerita), es decir que si llega la materia prima para el producto Diners EC, primero se asigna un grupo trabajadores de

ensobrado para realizar la Sacada de Dobles en el primer turno de procesamiento del producto y en el siguiente turno se termina el proceso de este producto al realizar el Ensobrado y Clasificación del producto en proceso.

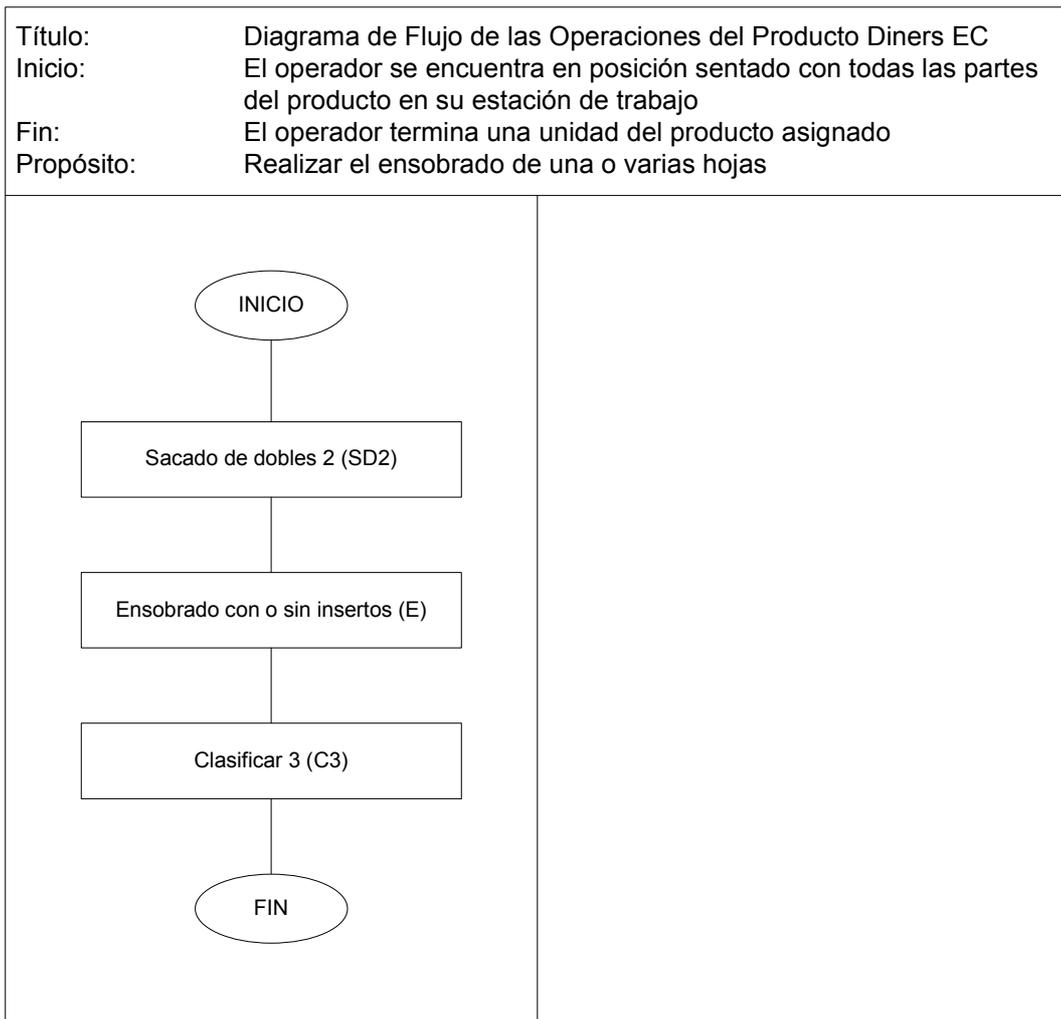
Si existe demasiado volumen del producto se sigue realizando Sacada de Dobles mientras se Ensobra y Clasifica en el mismo turno hasta terminar el proceso, es decir el mismo producto está siendo procesado simultáneamente por dos grupos diferentes de trabajadores para obtener el procesamiento de los productos en menor tiempo posible. Si el grupo de trabajadores que Saca Dobles termina sus tareas, debe ayudar a terminar el producto Ensobrando o Clasificando antes de continuar con el procesamiento de otro producto.

Existe una operación extra que no es parte de ningún proceso en especial, esta operación es la Igualada (IG) pero sólo se realiza cuando existe un volumen muy grande de un producto o cuando el producto tiene un número mayor a 2 insertos generales que se deben ensobrar en todos los sobres.

Es importante tomar en cuenta que los productos realizados no se almacenan en Inventario debido a que apenas está listo un producto es enviado al usuario (cliente final) del cliente de Urbano Express.

3.2.2. Diagramas de Flujo de los Procesos de Urbano Express

A partir del análisis previo, se procedió con la elaboración de los diagramas de flujo de los procesos que se desarrollan en Urbano Express. A manera de ejemplo, a continuación se presenta un diagrama de flujo sencillo para el proceso a nivel de operaciones que se lleva a cabo para la elaboración del producto más importante de Urbano Express dado su volumen y regularidad que es Diners EC (Figura 2). Adicionalmente, también se realizó un diagrama de flujo para el proceso de este mismo producto pero al nivel de sus actividades (Figura 3).



Fuente: Generación Propia.

Figura 2. Diagrama de Flujo de las Operaciones para el Producto Diners EC

Entradas para el proceso del producto Diners EC:

- Sobres
- Estados de cuenta
- Insertos (publicidades)

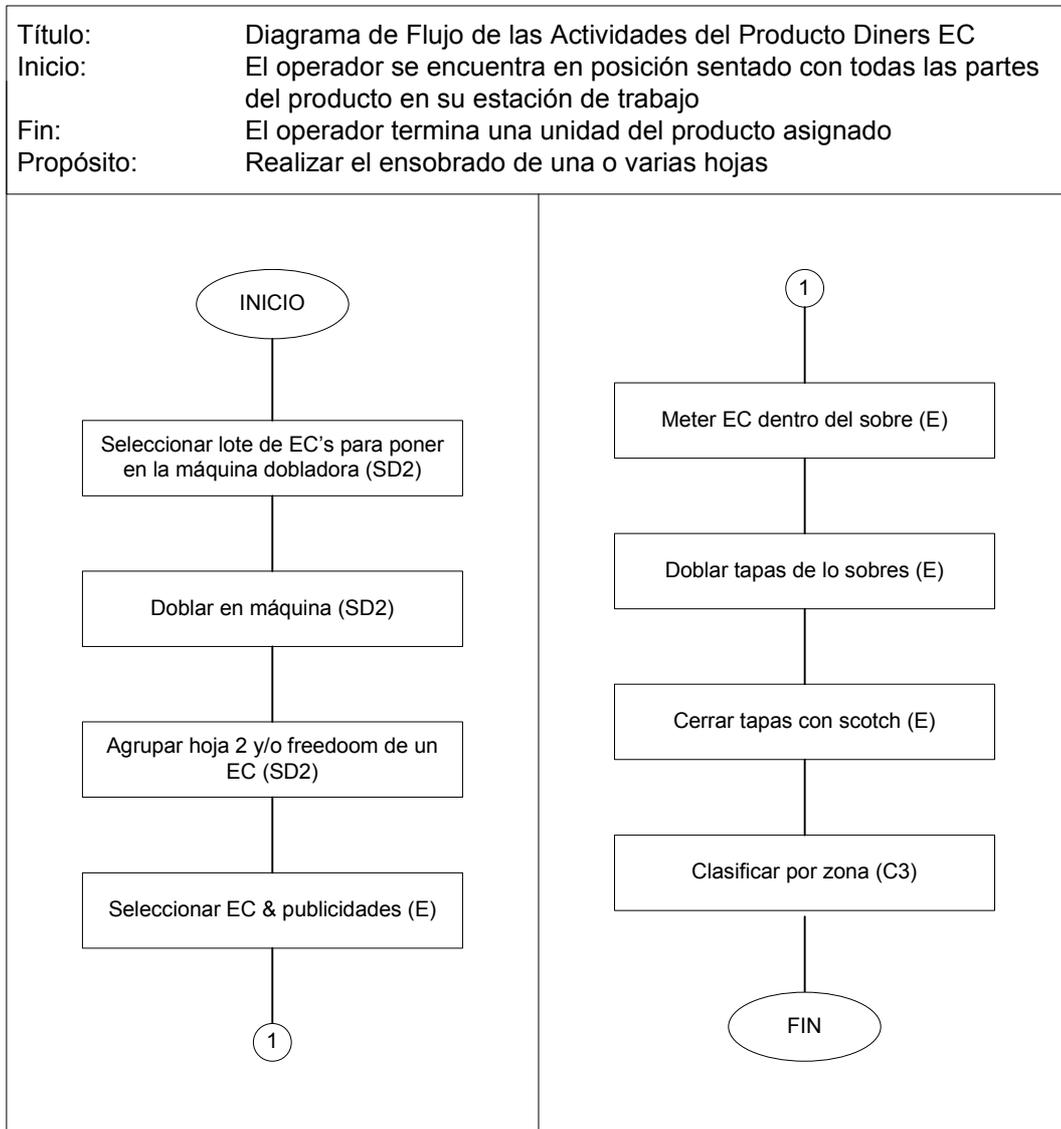
Salidas del proceso del producto Diners EC:

- Lotes de Estados de cuenta ensobrados y clasificados listos para ser entregados

Materiales para el proceso del producto Diners EC:

- Grapadora
- Grapas
- Cinta adhesiva
- Dispensador de cinta adhesiva

- Ligas
- Bandejas o cajas
- Cera para contar hojas



Fuente: Generación Propia.

Figura 3. Diagrama de Flujo de las Actividades para el Producto Diners EC

El área a cargo de este proceso es el Área de Ensobrado de Urbano Express, y los áreas que se ven afectadas por el incorrecto funcionamiento del mismo (demoras no programadas durante el procesamiento) son el Área de Bodega y de Despachos, ya que en el primero se acumula materia prima por la indebida planificación de la producción mientras que el segundo no puede realizar las entregas de producto terminado a tiempo. Además, el Área de Servicio al

Cliente también recibe multas por parte de los clientes si sus productos no son entregados a tiempo.

4. ESTUDIO DE TIEMPOS DEL PROCESO DE ENSOBRADO

El objetivo del Estudio de Tiempos es encontrar los Tiempos Estándar de todas las Operaciones Productivas de los Productos Críticos Seleccionados por la Gerencia de Urbano Express.

4.1. Estudio de Tiempos

Para encontrar los Tiempos Estándares de las Operaciones de los PCS se deben medir los tiempos de las actividades de estos productos, tomando en cuenta la Calificación del Desempeño y las Tolerancias indicadas por Aft y que se resumen en la Sección 2.2. En esa misma sección, se estableció que las actividades de los Productos Críticos Seleccionados (PCS) se llaman Elementos para el estudio de tiempos.

Entre los materiales utilizados para el estudio de tiempos se cuentan:

- Un cronometro digital con opción de Regresos a Cero para realizar las mediciones de tiempos de las actividades.
- Una tabla con pinza para asentar la hoja impresa con la Tabla de Datos y Observaciones correspondiente a cada producto bajo estudio (la tabla de datos creada para el presente estudio se encuentra en la Tabla 9).

Tomando en cuenta que es de gran importancia la selección del trabajador con ritmo normal, se utilizó el conocimiento de los Supervisores de Producción para identificarlos.

Los productos seleccionados para el estudio no siempre son realizados por el mismo trabajador con ritmo normal por motivos de demanda y horarios, por esto, para el primer producto estudiado se seleccionó un trabajador con ritmo normal (el cual se determinó mediante una serie de observaciones realizadas por el autor del presente estudio y por el Supervisor General), y de la misma manera para el resto de productos en orden de estudio, si el trabajador con ritmo normal seleccionado previamente se encuentra presente al momento de realizar una nueva toma de tiempos, se lo escoge para la medición; caso contrario, se escoge un nuevo trabajador con ritmo normal que también será tomado en cuenta para futuras mediciones de tiempo.

Tabla 9. Tabla de Datos y Observaciones para el Estudio de Tiempos

Proceso:	Nombre del proceso				
Fecha:	1. Elemento	2. Elemento	3. Elemento	4. Elemento	5. Elemento
Turno:					
Trabajador Típico:					
Analista:					
Estudio #:					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
...					
197					
198					
199					
200					

Elementos no cíclicos					
Descripción					

Elemento	Suma	Promedio	Desv. Estánd.	Calificación del desempeño	Tolerancs. PFD	Setup	Tiempo Estánd. (seg.)
1	0.00	0	0			0.00	0.00
2	0.00	0	0			0.00	0.00
3	0.00	0	0			0.00	0.00
4	0.00	0	0			0.00	0.00
5	0.00	0	0			0.00	0.00

Fuente: Generación Propia.

Para encontrar el tamaño de muestra correspondiente al número de ciclos (tiempos) a tomar de todos los Elementos de cada producto seleccionado, se utilizó la Tabla 2 (Sección 2.2). Al inicio del estudio de tiempos no se conocía de manera cierta el tiempo de los Elementos, ya que nunca se había realizado un estudio de tiempos anteriormente en la Empresa.

Para establecer una estimación del tiempo promedio de los Elementos, se realizó la medición de los tiempos de proceso del producto más importante para la Empresa (Diners EC) con una muestra de 25 ciclos. El resultado de esta medición de tiempos mostró que el Elemento de menor duración para el producto Diners EC es de 0.004 minutos (0.25 segundos). Se toma este tiempo para establecer el tamaño de la muestra para el estudio de tiempos de todas las actividades para este producto debido a que este tamaño de muestra proporcionará una mayor precisión para el resto de los Elementos de mayor duración. De esta manera, utilizando la Tabla 2 se obtiene que se deben realizar 200 observaciones (ciclos) de cada Elemento para el producto Diners EC.

De manera similar, se determinó que el tiempo mínimo de cualquiera de las actividades para la realización del resto de Productos Críticos Seleccionados es de 0.003 minutos (0.20 segundos), por lo que nuevamente aplicando la Tabla 2 se estableció que el tamaño de muestra general para el estudio de tiempos sea de 200 observaciones (ciclos) por Elemento para cada PCS.

4.2. Medición de los Tiempos

Las Tablas de Datos y Observaciones se completaron para todos los productos del estudio (31 productos en total). Una vez obtenidos los materiales y datos necesarios para la toma de tiempos, se midieron los tiempos de los Elementos de cada producto, y se tomó nota simultáneamente de la Calificación del Desempeño y de la cuantificación de las Tolerancias.

Con el fin de ilustrar el procedimiento utilizado para realizar las mediciones de los tiempos de cada producto del estudio, se muestra la Tabla de Datos y Observaciones del producto Diners EC en la Tabla 10. Esta tabla es una versión reducida de la tabla original ya que muestra 15 mediciones por Elemento en lugar de las 200 mediciones realizadas.

Tabla 10. Tabla de Datos y Observaciones del Producto Diners EC

Proceso:	Diners EC						
Fecha: 29/06/08	1 Doblar en máquina	2 Adjuntar hoja 2 y/o Freedom de un EC	3 Seleccionar EC e inserto (si hay)	4 Ensobrar el EC e inserto (si hay)	5 Doblar tapa	6 Sellar con cinta adhesiva	7 Clasificar separando por zona porque viene en orden
Turno: Día							
Estudio #: 29							
Analista: Santiago Meneses							
Trabajador: César							
	SD2	SD2	E	E	E	E	C3
1	0.25	1.08	6.11	2.25	0.56	1.04	1.08
2	0.24	0.79	5.76	6.58	0.65	0.88	1.28
3	0.25	0.74	3.89	5.96	0.62	1.16	1.37
4	0.25	3.10	2.40	3.50	0.52	1.09	0.77
5	0.27	1.17	1.71	3.64	0.53	0.93	1.18
6	0.26	0.56	3.60	6.55	0.61	1.14	1.30
7	0.27	3.55	5.52	12.65	0.58	0.91	2.05
8	0.27	1.13	9.94	6.95	0.50	0.95	0.82
9	0.27	0.72	3.50	6.13	0.53	2.05	1.62
10	0.27	0.85	2.22	4.50	0.48	0.94	0.91
...
197	0.27	1.15	6.76	2.50	1.47	1.57	1.52
198	0.26	0.80	3.77	5.87	1.02	2.55	1.38
199	0.26	0.79	8.78	3.34	0.41	0.69	1.43
200	0.25	0.23	5.59	5.32	1.00	1.77	1.57

ENC	43.21	16.89			21.93		27.45
Descripción	Seleccionar lote de 100 EC's para poner en máquina dobladora y enlazar 50 ECs y Freedom doblados	Enlazar lotes de 50 EC's y poner en bandeja			Doblar 25 tapas de sobres a la vez		Enlazar lotes de 50 EC's y poner en bandeja

Elemento	Suma	Promedio	Desv. Estánd.	Rating	Toler.	ENC	ST (seg.)
1	52.32	0.26	0.01	1.00	0.20	0.43	0.75
2	229.17	1.15	0.72	0.95	0.15	0.34	1.57
3	949.52	4.75	2.25	1.00	0.15	0.00	5.46
4	842.05	4.21	2.39	1.00	0.30	0.00	5.47
5	198.72	0.99	0.52	1.00	0.10	0.80	1.89
6	232.68	1.16	0.57	1.00	0.30	0.00	1.51
7	231.59	1.16	0.62	1.00	0.15	0.59	1.92

Fuente: Generación Propia.

4.3. Tiempos Estándares

A través de la fórmula del Tiempo Estándar (Ecuación 1), se obtienen los ST's de todos los procesos tomando en cuenta la muestra de tiempos de cada Elemento, su Calificación de Desempeño, su Tolerancia, y Elementos No Cíclicos si los tuvieren, tal como se presenta en la Tabla 10 de la sección anterior.

4.4. Análisis de los Datos

Los Tiempos Estándares de los Elementos fueron agrupados de tal forma que se puedan establecer tiempos estándares por operaciones y tiempos estándares por productos.

Como parte del análisis de datos, se realizó una tabla de cada producto que permite una precisa visualización y manejo de los Tiempos Estándares de cada una de sus operaciones. En el Anexo B se encuentra, a manera de ejemplo, los Tiempos Estándar por operaciones y por producto para los ocho productos más importantes para la Empresa.

La Tabla 11 muestra los Tiempos Estándares por operación obtenidos en el Estudio de Tiempos. Estos se determinaron a partir de promediar los tiempos estándares obtenidos para las operaciones que se repiten a través de distintos productos que se incluyeron en el análisis (31 productos). Utilizando los Tiempos Estándares de las operaciones, es posible calcular el Tiempo Estándar para cualquier producto que Urbano Express está en capacidad de realizar. En la Tabla 12 se encuentran los Tiempos Estándares por Producto obtenidos en el estudio.

Tabla 11. Tiempos Estándar de la Operaciones Productivas

OP's	ST (seg.)
#I (1 o 2I's E)	2.00
#I (1 o 2I's EN)	3.00
A	2.11
C1	2.31
C2	1.74
C3	1.82
CAyR	2.02
CCyG	1.74
CO	1.15
D1	0.89
D2	3.09
E	11.83
EN	10.33
EN IR	17.48
I3T	15.27
I4TA	19.63
IG	10.93
G	0.27
GR	1.20
GRA	2.18
L1	6.15
L2	9.26
LP1	6.51
LP2	10.40
SM	1.11
SD1	3.19
SD2	2.68
SD3	2.31
SD4	2.76
SD5	4.07
SD6	3.96
T	8.20

Fuente: Generación Propia.

Tabla 12. Tiempos Estándar por Producto

Productos Críticos Seleccionados	ST (seg.)
Andinatel Diners Club FF	13.01
Banco de Guayaquil AmEx EC	25.51
Banco de Guayaquil CC	12.02
Banco de Guayaquil E	34.57
Banco Pichincha Visa EC	24.27
Datafast Papelería	32.69
Datafast Rollos	94.76
Diners Comprobantes de Pago	10.18
Diners Corporativo	16.05
Diners EC	18.51
Diners Notas	5.12
Diners Revista	37.48
DirectTV EC	10.25
Etafashion EC	9.91
Fybeca Charlas Bebidos	33.42
Fybeca Convenios EC	23.73
Fybeca Empresarial EC	22.03
Fybeca Individual EC	27.75
Fybeca Invitaciones Bebidos	62.56
Fybeca Revista Bebidos	49.91
Fybeca Tarjetas Cumpleaños	32.28
Interactive FF	8.57
Mailings Todo Hogar	5.56
Mailings Todo Hogar	19.10
Mailings Etafashion	34.67
Mutualista Pichincha	5.62
Pacificard Cartas Mora	26.77
Pacificard Revista	15.49
Publipromueve	54.54
Salud EC	6.32
Sukasa EC	27.74

Fuente: Generación Propia.

5. METODOLOGÍA PARA LA PLANEACIÓN TÁCTICA Y OPERATIVA DE URBANO EXPRESS

El objetivo principal de la presente tesis es desarrollar una metodología que pueda ser aplicada por Urbano Express para la planeación táctica y operativa de su Departamento de Producción. Con este objetivo en mente se propone hacer uso de las siguientes herramientas que permitirán a la Empresa llevar a cabo su planificación de una manera más técnica y organizada.

Paso 1: Desarrollar Pronósticos de la Demanda Futura de sus Productos más representativos.

Paso 2: Desarrollar y Resolver un Modelo Matemático de Planificación Agregada de la Producción que tome en cuenta los Pronósticos de la Demanda Futura.

Paso 3: Desarrollar y Resolver un Modelo Matemático de Planificación Desagregada de la Producción (Programa Maestro de Producción) a partir del Plan Agregado.

Paso 4: Desarrollar y Resolver un Modelo Matemático de Programación del Personal de Producción que tome en cuenta los Requerimientos de Producción y las Políticas de Rotación del Personal de Urbano Express.

El primer paso en la planeación táctica y operativa del Departamento de Producción de UE requiere determinar los pronósticos de la demanda futura en base a la demanda actual de los productos de mayor volumen de producción (más representativos). La determinación de los productos más representativos para la Empresa se puede llevar a cabo a partir de la aplicación de un análisis de Pareto a su universo de producción. Los pronósticos realizados luego serán utilizados como entradas para la realización del Plan Agregado de Producción y del Programa Maestro de Producción. Es necesario mencionar que los Tiempos Estándares que se determinaron en el presente estudio pueden ser utilizados en la implementación del APP y del MPS para establecer los tiempos de procesamiento de los productos demandados y la tasa de producción de los mismos.

Para ilustrar la metodología propuesta en la presente tesis, se van a desarrollar los Pronósticos, el Plan Agregado de Producción, el Programa Maestro

de Producción, y la Calendarización de los Trabajadores del Departamento de Producción de Urbano Express tomando en cuenta únicamente los Productos Críticos Seleccionados que se realizan en el Área de Ensobrado del Departamento de Producción de Urbano Express. Los PCS representan los 31 productos de mayor volumen de producción para Urbano Express.

La estrategia del Plan Agregado de Producción y las restricciones del Programa Maestro de Producción y de la Programación del Personal han sido ajustadas para cumplir con los objetivos de la Empresa (en este caso minimizar los costos) y a la vez respetar la legislación laboral de la República del Ecuador.

En el caso en que Urbano Express llegue a implementar la metodología propuesta para su planeación táctica y operativa, se deberían considerar todos los productos realizados en Área de Ensobrado para determinar los productos más representativos, y en base a ellos desarrollar el procedimiento (en lugar de considerar únicamente los PCS utilizados para la demostración de la metodología).

A continuación, en el presente Capítulo se presenta la metodología a realizar con el fin de obtener pronósticos de la demanda futura junto con una aplicación de la misma. Posteriormente, en los siguientes Capítulos 6, 7 y 8, se muestra el resto de la metodología a seguir para llevar a cabo la planeación táctica y operativa de Urbano Express.

5.1. Pronóstico de la Demanda de los Productos Representativos de Urbano Express

El objetivo de este primer punto en la metodología es utilizar la demanda pasada de los Productos Críticos Seleccionados de Urbano Express con el fin de pronosticar la demanda futura de los mismos, y poder llevar a cabo la planificación táctica y operativa para la Empresa. A manera de ejemplo en este caso, se utilizará la demanda del año 2008 de los PCS para pronosticar la demanda del año 2009. Los pronósticos de demanda para el año 2009 servirán como información necesaria para realizar el Plan Agregado de la Producción que se desarrollará más adelante en el Capítulo 6.

5.1.1. Levantamiento de Demandas de los Productos Críticos Seleccionados

La información correspondiente a las demandas de los Productos Críticos Seleccionados del año 2008 se obtuvo de la base de datos del Área de Despacho de Urbano Express, con la debida autorización del Gerente General y del Jefe del Departamento de Producción.

Durante la recolección de las demandas de los productos se presentó la novedad de que sólo se encuentran registradas 23 demandas del año 2008 de las 31 demandas correspondientes a los PCS.

La Tabla 13 muestra los 23 productos encontrados en la base de datos con su demanda total, aquí los productos están ordenados de mayor a menor por la cantidad total anual de producto procesado.

Para conocer cómo se encuentra distribuido el total de las demandas del año 2008 en relación al número de productos encontrados, se decidió realizar dos análisis de Pareto consecutivos (utilizando el programa Minitab®), el primero con todos los productos encontrados y el segundo con los productos (ocho productos) que representan el 80% del total de la demanda total (resultado del primer Pareto).

El análisis de Pareto de las 23 demandas que se poseen de los productos en el año 2008, indica que ocho de ellos representan aproximadamente el 80% del total procesado en el año (productos marcados con color rojo y amarillo en la Tabla 13). El Diagrama de Pareto se presenta en la Figura 4. En la aplicación del ejemplo de Planificación Agregada más adelante, se tomarán en cuenta únicamente estos ocho productos.

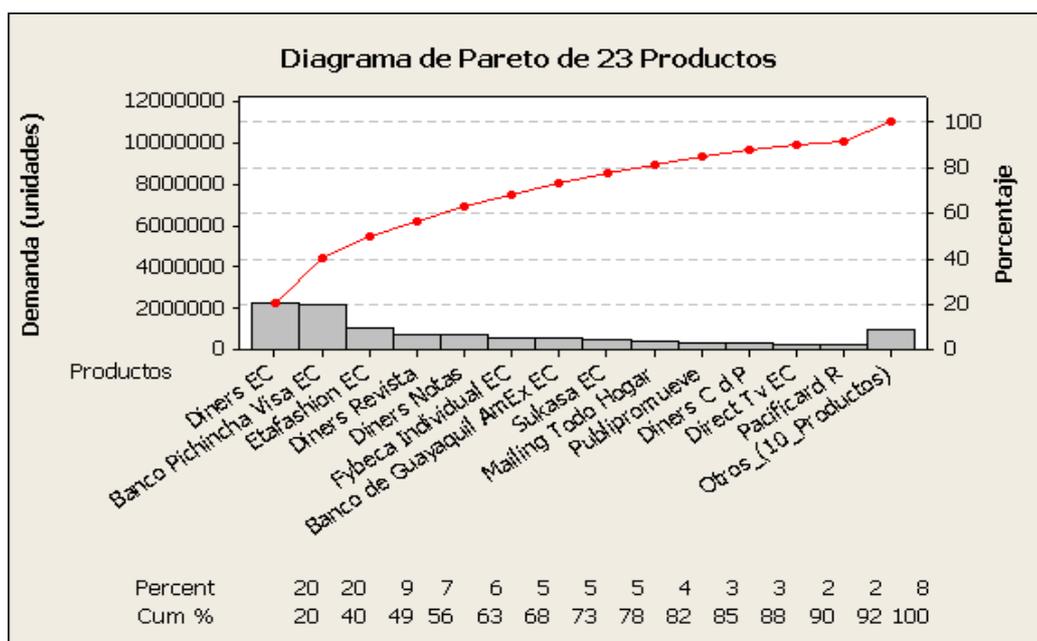
Posteriormente, un nuevo análisis de Pareto de las ocho demandas más representativas del año 2008 muestra que el 52% de la demanda total del año 2008 se encuentra acumulada en los dos primeros productos (productos con color rojo en la Tabla 13). Este segundo Pareto se muestra en la Figura 5. De aquí se puede concluir que los productos Diners EC y Banco Pichincha Visa EC son los más representativos en volumen de producción para Urbano Express, confirmando lo indicado anteriormente por la Gerencia General.

Para presentar a continuación la aplicación de la metodología de pronósticos, se va a utilizar el producto Diners EC.

Tabla 13. Demanda de Productos Críticos Seleccionados en el Año 2008

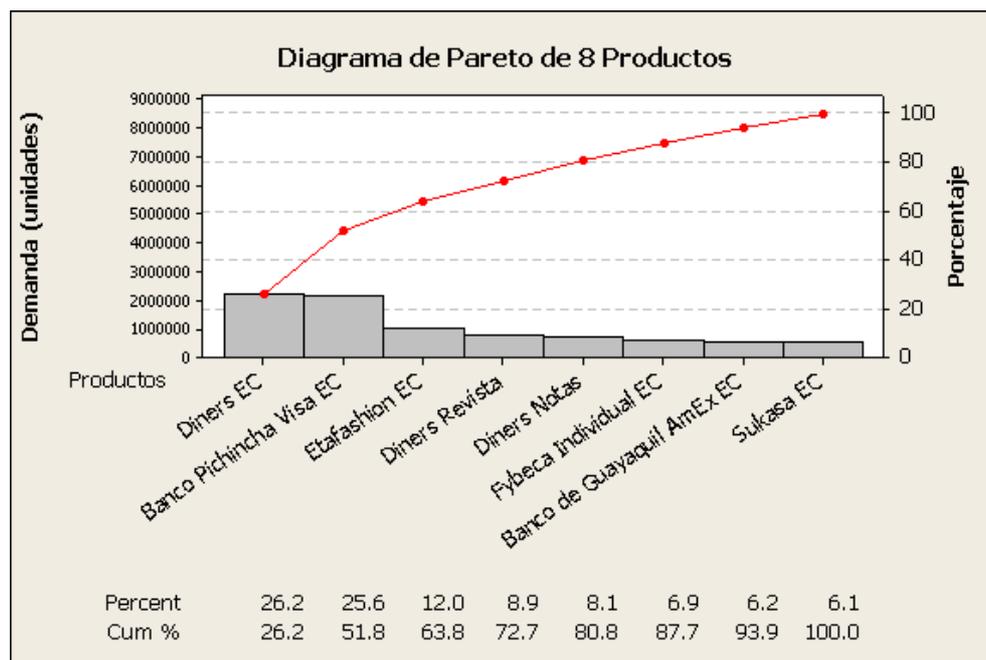
#	Productos Seleccionados en Base de Datos	Demanda Total Anual (unidades)
1	<i>Diners EC</i>	2,233,535
2	<i>Banco Pichincha Visa EC</i>	2,178,739
3	<i>Etafashion EC</i>	1,026,851
4	<i>Diners Revista</i>	761,462
5	<i>Diners Notas</i>	689,491
6	<i>Fybeca Individual EC</i>	590,512
7	<i>Banco de Guayaquil AmEx EC</i>	526,859
8	<i>Sukasa EC</i>	517,518
9	<i>Mailing Todo Hogar</i>	437,188
10	<i>Publipromueve</i>	345,903
11	<i>Diners Comprobante de Pago</i>	316,011
12	<i>DirectTV EC</i>	226,419
13	<i>Pacificard Revistas</i>	211,091
14	<i>Pacificard Cartas Mora</i>	209,517
15	<i>Andinatel Diners FF</i>	201,707
16	<i>Banco de Guayaquil CC</i>	130,986
17	<i>Mutualista Pichincha</i>	100,449
18	<i>Banco de Guayaquil Establecimientos</i>	88,445
19	<i>Salud EC</i>	81,440
20	<i>Interactive FF</i>	57,114
21	<i>Diners Corporativo</i>	23,325
22	<i>Fybeca Empresarial EC</i>	19,416
23	<i>Fybeca Convenios EC</i>	17,712

Fuente: Generación Propia.



Fuente: Generación Propia.

Figura 4. Análisis de Pareto de las Demandas de los PCS para el Año 2008



Fuente: Referencia o Generación Propia.

Figura 5. Análisis de Pareto de las Demandas de los PCS Representativos para el Año 2008

5.1.2. Determinación y Aplicación de los Métodos de Pronósticos

Para determinar qué método de pronóstico se debe utilizar para cada producto, primero se debería graficar la demanda del producto en función del tiempo (12 meses) con el fin de poder visualizar fácilmente tendencias o ciclos estacionales. Después, basándose en el gráfico de la demanda se debe realizar un análisis de sólo tendencia, de sólo estacionalidad o de tendencia y estacionalidad dependiendo del caso. En base a lo que se determina en el análisis previo, se debe realizar el pronóstico utilizando el método más adecuado para el tipo de demanda descrito por el análisis. Para este último punto, se pueden realizar varios pronósticos asignando diferentes valores a las variables controlables (α , β , y γ) de cada método de pronóstico utilizado, escogiendo siempre el pronóstico que tenga el menor error (MAD y MAPE).

Para ilustrar la aplicación de este procedimiento se ha escogido el producto Diners EC en representación de todos los productos que maneja Urbano Express debido a su mayor volumen de producción al año, como se demostró anteriormente.

5.1.2.1. Pronóstico de la Demanda 2009 para el Producto Diners EC

Para realizar el pronóstico del año 2009 para el producto Diners EC, se utiliza la demanda mensual en el año 2008 para este producto (Tabla 14) con el propósito de crear una serie de tiempo de esta demanda (Figura 6).

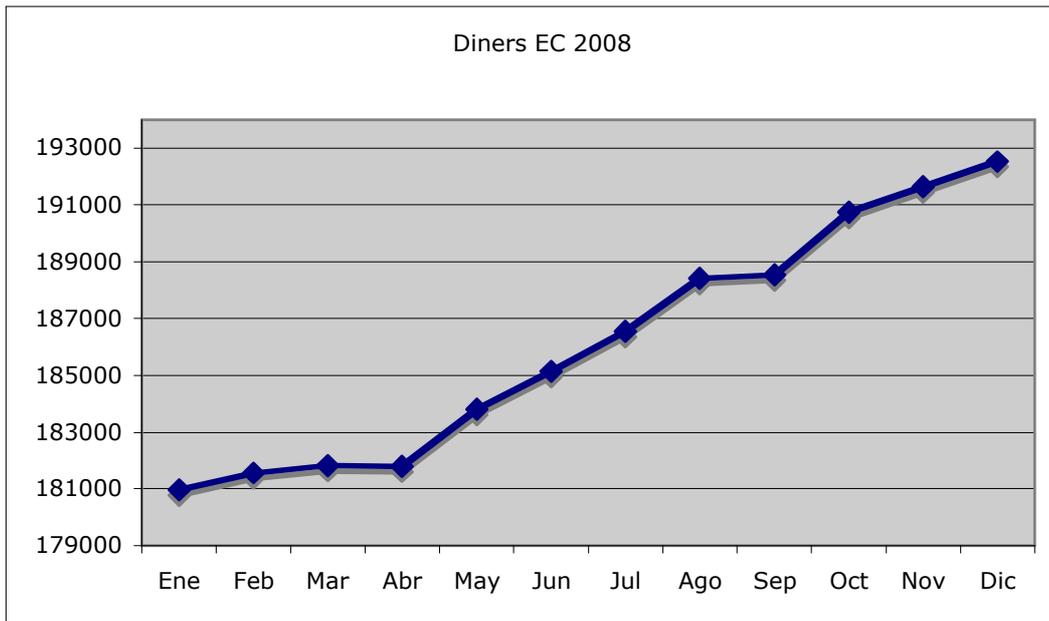
Esta serie de tiempo muestra una clara tendencia ascendente, ya que se observa que cada mes del año, a partir de febrero, tiene una demanda mayor a la demanda inicial (enero) y a la demanda del mes anterior, sin embargo no se logra observar ningún ciclo estacional debido a que no existen patrones cíclicos observados al agrupar los 12 puntos de la demanda de Diners EC en los posibles patrones cíclicos de 4 grupos de 3 puntos, 3 grupos de 4 puntos y 2 grupos de 6 puntos.

Tomando en cuenta la serie de tiempo de la Demanda de Diners EC del año 2008 (Figura 6), se decide realizar el análisis de tendencia. El análisis de tendencia realizado en el software estadístico Minitab® se presenta en la Figura 7.

Tabla 14. Demanda de Diners EC en el Año 2008

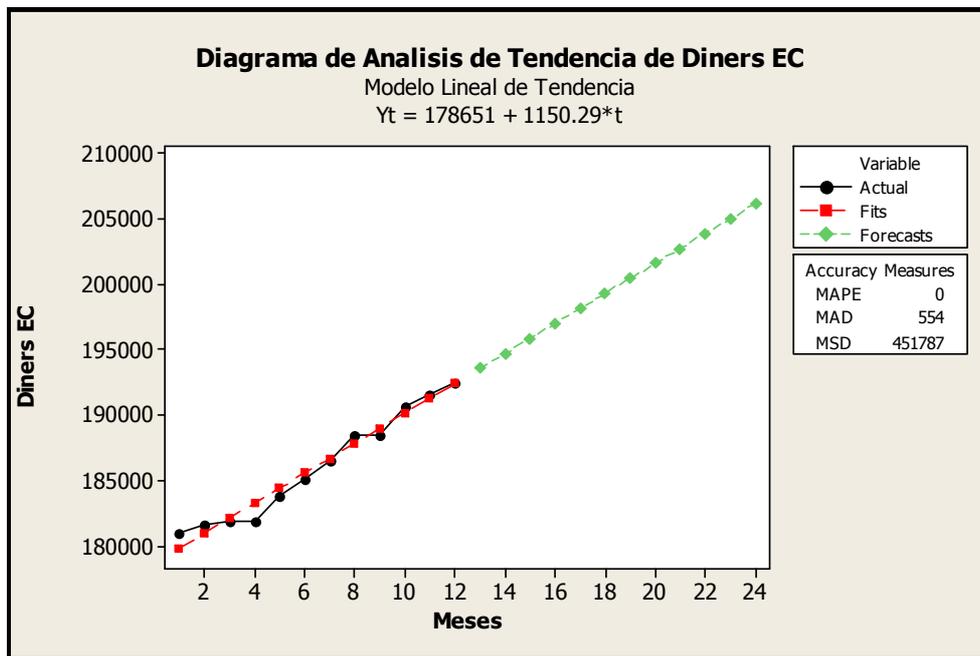
Periodos	<i>Diners EC</i>
Mes	Demanda (unidades)
Enero	180,961
Febrero	181,567
Marzo	181,838
Abril	181,798
Mayo	183,824
Junio	185,147
Julio	186,554
Agosto	188,420
Septiembre	188,530
Octubre	190,729
Noviembre	191,636
Diciembre	192,531

Fuente: Generación Propia.



Fuente: Generación Propia.

Figura 6. Serie de Tiempo de la Demanda de Diners EC 2008

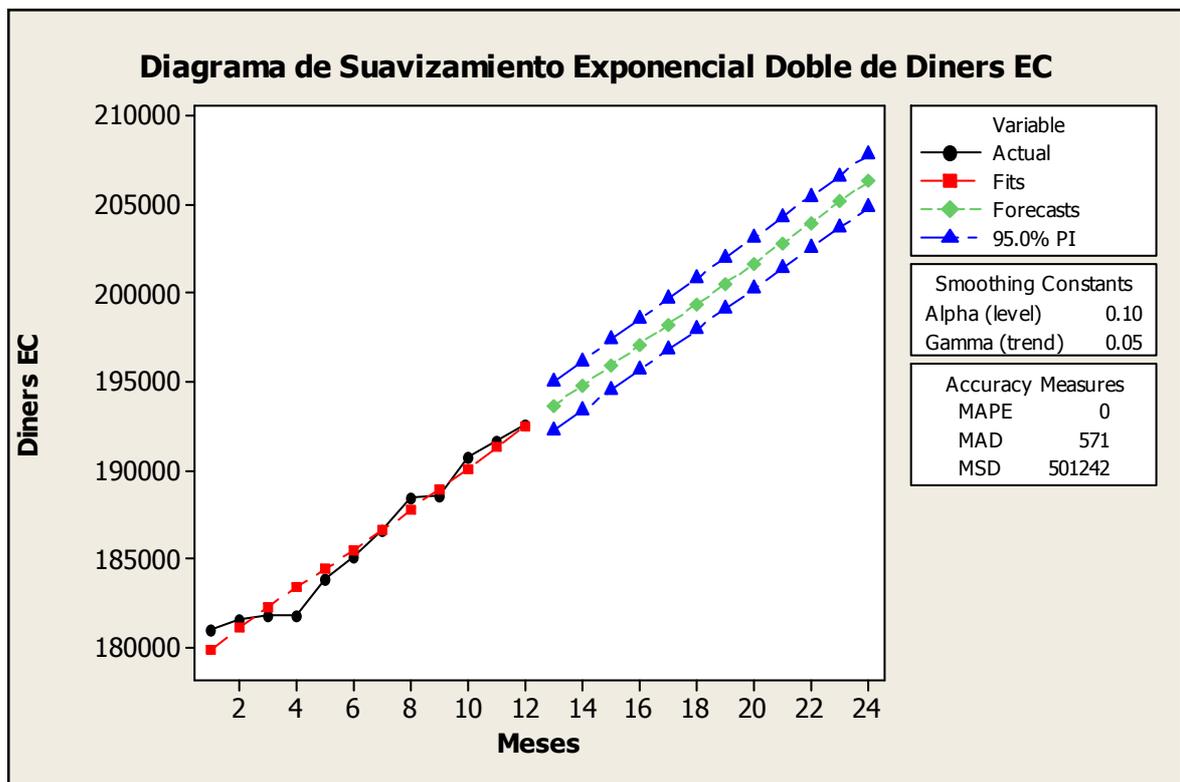


Fuente: Generación Propia.

Figura 7. Análisis de Tendencia para Datos de Demanda de Diners EC 2008

La Figura 7 muestra que sí existe una tendencia lineal creciente en la demanda del producto Diners EC lo que se comprueba con un porcentaje de error absoluto medio pequeño (MAPE = 0%). De esta manera se determina que el método más apropiado a utilizar para encontrar el pronóstico de este producto es el Método de Holt como se describió en el marco teórico (Capítulo 2).

Por lo tanto, una vez que se conoce que el método de pronóstico a utilizar para el producto Diners EC es el Método de Holt, se debe hacer uso de algún paquete comercial estadístico para realizar el pronóstico. En este caso se utilizó el software Minitab®, con el cual se determinó que el pronóstico para el año 2009, con el menor error calculado de manera automática, es el que se presenta en la Figura 8 y Tabla 15, el cual utiliza los parámetros $\alpha=0.1$ y $\beta=0.05$.



Fuente: Generación Propia.

Figura 8. Pronóstico 2009 del Producto Diners EC

Tabla 15. Pronóstico 2009 Diners EC

Periodos	<i>Diners EC</i>
Mes	Pronóstico (unidades)
Enero	192,004
Febrero	192,399
Marzo	192,634
Abril	192,547
Mayo	194,971
Junio	196,255
Julio	197,742
Agosto	199,764
Septiembre	199,624
Octubre	202,232
Noviembre	202,995
Diciembre	203,931

Fuente: Generación Propia.

De la misma manera se debería se debería llevar a cabo el procedimiento para la obtención de los pronósticos para los demás PCS de Urbano Express.

5.1.3. Pronóstico de la Demanda de los Productos Críticos Seleccionados

Los pronósticos de la demanda para el año 2009 de los ocho productos más representativos para Urbano Express se encuentran en las Tablas 16 y 17. Estos pronósticos se obtuvieron utilizando el procedimiento ilustrado en la sección 5.1.2. Los pronósticos de la demanda para el año 2009 de las Tablas 16 y 17 son una entrada fundamental del Plan Agregado de Producción y del Programa Maestro que se desarrollan en los siguientes capítulos, parte de la metodología planteada para la planificación táctica y operativa de Urbano Express.

Tabla 16. Pronósticos del Año 2009 (Parte 1)

Periodos	Diners EC	Banco Pichincha Visa EC	Etafashion EC	Diners Revista
Mes	Pronóstico (unidades)	Pronóstico (unidades)	Pronóstico (unidades)	Pronóstico (unidades)
Enero	192,004	191,925	98,192	78,340
Febrero	192,399	143,273	75,829	30,108
Marzo	192,634	197,778	87,167	42,974
Abril	192,547	194,280	84,823	80,316
Mayo	194,971	195,756	86,873	119,343
Junio	196,255	197,968	87,556	59,381
Julio	197,742	198,718	77,304	26,480
Agosto	199,764	200,424	97,509	100,954
Septiembre	199,624	201,562	73,870	54,832
Octubre	202,232	202,969	94,693	58,286
Noviembre	202,995	205,671	72,177	57,653
Diciembre	203,931	205,821	99,370	55,236

Fuente: Generación Propia.

Tabla 17. Pronósticos del Año 2009 (Parte 2)

Periodos	Diners Notas	Fybeca Individual EC	Banco de Guayaquil AmEx EC	Sukasa EC
Mes	Pronóstico (unidades)	Pronóstico (unidades)	Pronóstico (unidades)	Pronóstico (unidades)
Enero	61,638	74,291	43,337	46,621
Febrero	57,024	16,139	44,075	22,086
Marzo	63,196	47,677	44,146	48,325
Abril	65,935	81,512	44,821	45,350
Mayo	63,756	40,475	43,380	45,805
Junio	63,647	43,516	45,835	21,647
Julio	68,724	78,975	45,828	76,961
Agosto	73,441	40,440	45,946	44,200
Septiembre	63,250	44,512	47,142	47,767
Octubre	71,910	45,555	41,531	48,389
Noviembre	69,585	45,907	52,403	48,648
Diciembre	71,354	45,337	55,253	50,059

Fuente: Generación Propia.

6. PLAN AGREGADO DE LA PRODUCCIÓN DE URBANO EXPRESS

El objetivo de realizar el Plan Agregado de la Producción (APP) es, mediante la utilización de los Pronósticos de la demanda futura de los productos más representativos realizados en el Departamento de Producción de Urbano Express, conocer los niveles adecuados de capacidad y producción para cada periodo a través de un horizonte de planeación específico (Chopra y Meindl 220).

A continuación, se muestra a detalle la metodología que Urbano Express debería seguir para desarrollar un Plan Agregado de Producción que tome en cuenta sus productos más representativos con el fin de poder tomar decisiones tácticas futuras sobre el aumento o disminución de la capacidad de planta en un horizonte de planeación establecido, siempre considerando las restricciones impuestas por el Código de Trabajo del Ecuador.

6.1. Estrategia de Planificación Agregada

Para la aplicación en Urbano Express se va a utilizar una combinación de dos estrategias de la APP, que son: el cambio de la capacidad de fuerza laboral (estrategia de seguir la demanda) y el cambio de la utilización de la planta (estrategia de flexibilidad de tiempo) (Chopra y Meindl 221).

La estrategia de cambiar la capacidad de fuerza laboral toma en cuenta el cambio del nivel de la fuerza laboral regular (FLR), y el cambio del nivel de la fuerza laboral extra (FLE).

La estrategia de flexibilidad de tiempo toma en cuenta la cantidad de tiempo extra utilizado por encima de la jornada regular de trabajo de la Empresa en el Departamento de Producción.

En primer lugar hay que reconocer que en el caso de Urbano Express no se mantienen inventarios de productos terminados ya que estos se despachan inmediatamente después de ser producidos; y, adicionalmente, no se realizan productos por subcontratación. Por lo tanto, una estrategia que tome en consideración el cambio en los niveles de inventario que se mantienen y uso de subcontratación para cubrir la demanda no es aplicable en la presente implementación de un APP.

6.2. Información para el Plan Agregado

De manera general, las entradas de un modelo APP están divididas en cuatro partes: los pronósticos agregados de los productos (Demanda), los costos relacionados con la producción y la capacidad, los tiempos de operación, y la tasa de producción (Chopra y Meindl 223).

En el caso de Urbano Express, los productos son realizados por dos tipos de fuerza laboral. La Fuerza Laboral Regular (FLR) del día y de la noche posee un contrato a plazo fijo en la Empresa. Por otro lado, la Fuerza Laboral Extra (FLE) se contrata por obra cierta para producir según la necesidad impuesta por la demanda de productos que no se puede satisfacer por la FLR. El personal extra recibe un pago por la cantidad de trabajo realizado en un turno (Jefe de Producción, Entrevista Personal, Enero del 2009).

6.2.1. Horizonte de Planeación para la Planificación Agregada en Urbano Express

Chopra y Meindl señalan que un APP debería tener un horizonte de planeación de 3 a 18 meses (mediano plazo) (220).

Analizando la situación y el negocio de la Empresa, el horizonte de planeación más adecuado para la realización de la Planificación Agregada de la Producción en Urbano Express es de un año, con 12 periodos mensuales. Esto se debe a que un año es el espacio de tiempo en el que la Empresa comienza y termina un ciclo económico y legal (con respecto a la declaración de impuestos y entrega de utilidades) que se repite cada año; mientras que los 12 periodos mensuales se ajustan a los ciclos de pago de los empleados y a los ciclos de las demandas de los clientes.

6.2.2. Pronóstico de los Productos Seleccionados para el Plan Agregado en Urbano Express

Los Pronósticos de la Demanda de Urbano Express que se realizaron en el capítulo anterior (para el año 2009), representan la Demanda para los Periodos t correspondientes al horizonte de planeación del Plan Agregado de Producción.

Para esta aplicación se utilizan los ocho productos más representativos para la Empresa de acuerdo al análisis que se mostró anteriormente.

Como se mencionó en el marco teórico (Sección 2.3), el APP es una herramienta que sirve para tomar decisiones acertadas con respecto a los niveles generales de capacidad y producción que se requieren en una Empresa. Para lograr este objetivo, es necesario agregar las demandas de los productos que van a ser tomados en cuenta en el APP. Esto requiere sumar las demandas para cada periodo (mes) de los ocho productos seleccionados para la aplicación (Tabla 16 y Tabla 17). La demanda agregada por periodos mensuales para el año 2009 se encuentra a continuación en la Tabla 18.

Tabla 18. Demanda Agregada de Urbano Express

Periodos	Demanda Agregada
Mes (t)	Pronóstico (D_t) (unidades)
Enero	786,348
Febrero	580,933
Marzo	723,898
Abril	789,584
Mayo	790,359
Junio	715,805
Julio	770,731
Agosto	802,677
Septiembre	732,559
Octubre	765,564
Noviembre	755,039
Diciembre	786,361

Fuente: Generación Propia.

6.2.3. Costos Relacionados con Producción y Capacidad de Urbano Express

Los costos relacionados con la producción y la capacidad que se necesitan para la aplicación del APP se presentan a continuación. Los costos relacionados con la fuerza laboral fueron proporcionados por el Departamento de Recursos Humanos de Urbano Express tomando en cuenta el Código de Contratos del Ecuador, y corresponden a los costos por hora regular y hora extra trabajadas durante los turnos del día y de la noche de los empleados regulares y extras, además de los costos de contratación y despido que considera la Empresa. La

fuerza laboral regular pertenece a un contrato a plazo fijo y la fuerza laboral extra pertenece a un contrato por obra cierta (en el que se contrata a los trabajadores por el número de piezas realizadas, equivalente al número de piezas producidas en turno de trabajo de 8 horas). Los contratos que establece la Empresa con su fuerza laboral cumplen con el Código de Trabajo de Ecuador. En la Tabla 19 se presentan estos costos.

Tabla 19. Costos Relacionados con la Fuerza Laboral de Urbano Express

Costos de Fuerza Laboral de Urbano Express	US\$
Costo/hora empleado regular del día	1.81
Costo/hora empleado regular de la noche	2.27
Hora extra empleado regular del día	2.72
Hora extra empleado regular de la noche	3.41
Costo/hora empleado extra del día	1.54
Costo/hora empleado extra de la noche	1.93
Hora extra empleado extra del día	2.31
Hora extra empleado extra de la noche	2.90
Costo de contratación empleado regular (selección/reclutamiento y uniforme)	92.00
Costo de despido empleado regular (uno o menos años de trabajo)	943.00

Fuente: Generación Propia.

Por otro lado, los costos unitarios de los insumos y materiales para la producción son bajos, pero son representativos debido al gran volumen de procesamiento. De manera general, los materiales utilizados por Urbano Express por unidad de producto son: cinta adhesiva, etiquetas, toner para la impresión de etiquetas, ligas, y grapas; el resto de materiales los proporcionan los mismos clientes. De esta manera, el costo promedio de materiales para cualquier unidad producida por UE es de 0.0047 dólares.

6.2.4. Tiempos de Procesamiento de los Productos de Urbano Express

Para realizar el APP, también es necesario conocer el tiempo requerido para procesar una unidad de producto. En realidad, lo que se requiere es un valor esperado de los tiempos de proceso de los productos que van a formar parte de la

demanda agregada que se utiliza en la aplicación del Plan Agregado de Producción (Chopra y Meindl 220).

Para conocer el tiempo de proceso por unidad de demanda agregada, se estableció el valor esperado de producción a partir de los tiempos estándares obtenidos en el capítulo 4 y la proporción en el volumen de producción de los ocho productos más representativos de Urbano Express (Diners EC, Banco Pichincha Visa EC, Etafashion EC, Diners Revista, Diners Notas, Fybeca Individual EC, Banco de Guayaquil AmEx EC y Sukasa EC). El tiempo de proceso por unidad de demanda agregada se encuentra en la Tabla 20.

Tabla 20. Tiempo de Proceso por Unidad de Demanda Agregada

ST	Unidades
19.23	segundos/unidad
0.0053	horas/unidad

Fuente: Generación Propia.

Este tiempo de proceso se asume constante ya sea que las actividades se lleven a cabo por la Fuerza Laboral Regular o por la Fuerza Laboral Extra, asumiendo que tienen la misma capacitación.

6.2.5. Tasa de Producción

La aplicación del Plan Agregado de Producción también requiere la cantidad de unidades de demanda agregada procesadas en distintas unidades de tiempo: una hora, un turno y un mes de trabajo.

Por este motivo, a partir de la Tabla 20 se puede obtener la tasa de producción por hora; y, a partir de este valor, obtener la tasa de producción por turno de trabajo (considerando las 8 horas de trabajo de un turno) y la tasa de producción mensual (considerando los 20 días laborables al mes). Esta información se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Tasa de Producción en Urbano Express

Tasa de Producción por Hora (unidades/hora)	Tasa de Producción por Turno de Trabajo (unidades/turno)	Tasa de Producción Mensual (unidades/mes)
187	1,495	29,908

Fuente: Generación Propia.

6.3. Programación Lineal para el Plan Agregado de Producción

Para la formulación del modelo del Plan Agregado de Producción, se utiliza un modelo de programación lineal cuyo objetivo es maximizar la rentabilidad de la Empresa al minimizar los costos de producción, satisfaciendo la demanda existente y tomando en cuenta las restricciones de operación de Urbano Express (Chopra y Meindl 222).

6.3.1. Formulación del Modelo de Planificación Agregada de la Producción

La formulación del modelo de la APP está dividida en: Establecimiento de la Variables de Decisión, Establecimiento de la Función Objetivo, y Establecimiento de las Restricciones.

Para la presente formulación, se toman en cuenta como condiciones iniciales al tamaño actual de la FLR del día y de la noche de Urbano Express (Jefe de Producción, Entrevista Personal, Enero del 2009).

6.3.1.1. Establecimiento de las Variables de Decisión

Siendo D_t la Demanda agregada de los productos más representativos en el mes t , para $t=1, \dots, 12$, las variables de decisión para la formulación del modelo de Planificación Agregada de Producción de Urbano Express son:

FD_t = Tamaño de la fuerza laboral regular del día del mes t , $t=1, \dots, 12$

FN_t = Tamaño de la fuerza laboral regular de la noche del mes t ,
 $t=1, \dots, 12$

- ED_t = Número de horas extras de la fuerza laboral regular del día del mes $t, t=1, \dots, 12$
- EN_t = Número de horas extras de la fuerza laboral regular de la noche del mes $t, t=1, \dots, 12$
- HD_t = Número de empleados regulares contratados para el turno del día al comienzo del mes $t, t=1, \dots, 12$
- HN_t = Número de empleados regulares contratados para el turno de la noche al comienzo del mes $t, t=1, \dots, 12$
- LD_t = Número de empleados regulares despedidos del turno del día al comienzo del mes $t, t=1, \dots, 12$
- LN_t = Número de empleados regulares despedidos del turno de la noche al comienzo del mes $t, t=1, \dots, 12$
- FED_t = Tamaño de la fuerza laboral extra del turno del día del mes $t, t=1, \dots, 12$
- FEN_t = Tamaño de la fuerza laboral extra del turno de la noche del mes $t, t=1, \dots, 12$
- EED_t = Número de horas extras de la fuerza laboral extra del día del mes $t, t=1, \dots, 12$
- EEN_t = Número de horas extras de la fuerza laboral extra de la noche del mes $t, t=1, \dots, 12$
- PD_t = Número de unidades producidas por la fuerza laboral regular del turno del día en el mes $t, t=1, \dots, 12$
- PN_t = Número de unidades producidas por la fuerza laboral regular del turno de la noche en el mes $t, t=1, \dots, 12$
- SD_t = Número de unidades producidas por la fuerza laboral extra del turno del día en el mes $t, t=1, \dots, 12$
- SN_t = Número de unidades producidas por la fuerza laboral extra del turno de la noche en el mes $t, t=1, \dots, 12$

6.3.1.2. Función Objetivo

La función objetivo para la Planificación Agregada de la Producción de Urbano Express considera la minimización de los costos relacionados con la producción, los cuales se describen a continuación:

Costo anual de la fuerza laboral regular del día, el salario de cada trabajador en tiempo regular del día es de \$290.28/mes (\$1.81/hora X 8 horas/día X 20 días/mes).

$$\text{Costo anual de fuerza laboral regular del día} = \sum_{t=1}^{12} 290.28FD_t \quad (6.1)$$

Costo anual de la fuerza laboral regular de la noche, el salario de cada trabajador en tiempo regular de la noche es de \$363.85/mes (\$2.27/hora X 8 horas/día X 20 días/mes).

$$\text{Costo anual de la fuerza laboral regular de la noche} = \sum_{t=1}^{12} 362.85FN_t \quad (6.2)$$

Costo anual de horas extras de la fuerza laboral regular del día, el costo de una hora extra de trabajo del día es \$2.72 por hora.

$$\text{Costo anual de horas extras de la FLR del día} = \sum_{t=1}^{12} 2.72ED_t \quad (6.3)$$

Costo anual de horas extras de la fuerza laboral regular de la noche, el costo de una hora extra de trabajo de la noche es \$3.41 por hora.

$$\text{Costo anual de horas extras de la FLR de la noche} = \sum_{t=1}^{12} 3.41EN_t \quad (6.4)$$

Costo anual de contratar y despedir trabajadores regulares, el costo de contratar un trabajador es de \$92 y el costo de despedir un trabajador es de \$943.

$$\text{Costo anual de contratar y despedir} = \sum_{t=1}^{12} 92(HD_t + HN_t) + \sum_{t=1}^{12} 943(LD_t + LN_t) \quad (6.5)$$

Costo anual de la fuerza laboral extra del día en tiempo regular, los empleados de FLE son contratados por la cantidad de producción que equivaldría a un turno de trabajo regular, por lo que el jornal de cada trabajador extra en tiempo regular del día es \$12.00/turno (\$1.54/hora X 8 horas).

$$\text{Costo anual de la FLE del día en tiempo regular} = \sum_{t=1}^{12} 12.00FED_t \quad (6.6)$$

Costo anual de la fuerza laboral extra de la noche en tiempo regular, los empleados de FLE son contratados por la cantidad de producción que equivaldría a un turno de trabajo regular, por lo que el jornal de cada trabajador extra en tiempo regular de la noche es \$15.00/turno (\$1.93/hora X 8 horas).

$$\text{Costo anual de la FLE de la noche en tiempo regular} = \sum_{t=1}^{12} 15.00FEN_t \quad (6.7)$$

Costo anual de las horas extras de la fuerza laboral extra del día, el costo de una hora extra de trabajo de la FLE del día es \$2.31 por hora.

$$\text{Costo anual de las horas extras de la FLE del día} = \sum_{t=1}^{12} 2.31EED_t \quad (6.8)$$

Costo anual de las horas extras de la fuerza laboral extra de la noche, el costo de una hora extra de trabajo de la FLE de la noche es \$2.90 por hora.

$$\text{Costo anual de las horas extras de la FLE de la noche} = \sum_{t=1}^{12} 2.90EEN_t \quad (6.9)$$

Costo anual de materiales, el costo por unidad de demanda agregada producida es de \$0.0047

$$\text{Costo anual de materiales} = \sum_{t=1}^{12} 0.0047(PD_t + PN_t + SD_t + SN_t) \quad (6.10)$$

Los costos totales de producción de Urbano Express se encuentran a continuación en la Función Objetivo.

$$\begin{aligned} \text{Min} = & \sum_{t=1}^{12} 290.28FD_t + \sum_{t=1}^{12} 363.85FN_t + \sum_{t=1}^{12} 2.72ED_t + \sum_{t=1}^{12} 3.41EN_t \\ & + \sum_{t=1}^{12} 92(HD_t + HN_t) + \sum_{t=1}^{12} 943(LD_t + LN_t) \\ & + \sum_{t=1}^{12} 12FED_t + \sum_{t=1}^{12} 15FEN_t + \sum_{t=1}^{12} 2.31EED_t + \sum_{t=1}^{12} 2.90EEN_t \\ & + \sum_{t=1}^{12} 0.0047(PD_t + PN_t + SD_t + SN_t) \end{aligned} \quad (6.11)$$

6.3.1.3. Restricciones

Restricción de Balance de la Fuerza Laboral Regular del día, la Fuerza Laboral Regular del día inicial es $FD_0= 15$.

$$FD_t = FD_{t-1} + HD_t - LD_t \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.12)$$

Restricción de Balance de la Fuerza Laboral Regular de la noche, la Fuerza Laboral Regular de la noche inicial es $FN_0= 10$.

$$FN_t = FN_{t-1} + HN_t - LN_t \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.13)$$

Restricciones de Capacidad para la FLR, en cada periodo la producción de la planta no puede superar su capacidad. Para la producción de los turnos del día y de la noche se debe tomar en cuenta que cada trabajador produce una cantidad de unidades al mes en tiempo regular (Tabla 21) y que cada producto realizado en tiempo extra tiene un tiempo de producción en horas por unidad (Tabla 20).

$$PD_t \leq 29908FD_t + \frac{ED_t}{0.0053} \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.14)$$

$$PN_t \leq 29908FN_t + \frac{EN_t}{0.0053} \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.15)$$

Restricciones de Tiempo Extra para la FLR, Urbano Express mediante sus políticas operativas requiere que los trabajadores regulares del día no trabajen más de 40 horas extras al mes (2 horas extras en cada turno del día por 20 días laborales al mes), y que los trabajadores regulares de la noche no trabajen más de 60 horas extras al mes (3 horas extras en cada turno de la noche por 20 días laborales al mes) (Jefe de Producción, Entrevista Personal, Enero del 2009).

$$ED_t \leq 40FD_t \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.16)$$

$$EN_t \leq 60FN_t \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.17)$$

Restricciones de Capacidad para la FLE, en cada periodo la producción de la fuerza laboral extra no puede superar su capacidad. Para la producción de los turnos del día y de la noche se debe tomar en cuenta que cada trabajador produce una cantidad de unidades al día en tiempo regular (Tabla 21) y que cada

producto realizado en tiempo extra tiene un tiempo de producción en horas por unidad (Tabla 20).

$$SD_t \leq 1495FED_t + \frac{EED_t}{0.0053} \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.18)$$

$$SN_t \leq 1495FEN_t + \frac{EEN_t}{0.0053} \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.19)$$

Restricciones de Tiempo Extra para la FLE, Urbano Express requiere mediante sus políticas operativas que cada trabajador de la FLE del día no trabaje más de 2 horas extras en cada turno, y que cada trabajador de la FLE de la noche no trabaje más de 3 horas extras en cada turno (Jefe de Producción, Entrevista Personal, Enero del 2009).

$$EED_t \leq 2FED_t \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.20)$$

$$EEN_t \leq 3FEN_t \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.21)$$

Restricciones de Fuerza Laboral Regular Máxima, limitan la cantidad de FLR utilizada en cada Periodo t a ser menor o igual que el número total de estaciones de trabajo en la Área de Ensobrado de Urbano Express. Se debe considerar que actualmente existen 40 estaciones de trabajo en la planta de ensobrado.

$$FD_t \leq 40 \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.22)$$

$$FN_t \leq 40 \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.23)$$

Restricciones de Fuerza Laboral Regular Mínima, limitan la cantidad de FLR utilizada en cada Periodo t a ser mayor o igual que el número de trabajadores en la FLR tanto del día como de la noche que están en nómina actualmente. Esta restricción podría ser modificada mediante un análisis de la cantidad de recursos que se necesitan para cumplir con la demanda promedio en el horizonte de planeación (fracción de equipo (Tompkins y otros, 56)) y estableciendo este valor como la mínima cantidad de trabajadores en la FLR del día y de la noche.

$$FD_t \geq FD_0 \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.24)$$

$$FN_t \geq FN_0 \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.25)$$

Restricciones de Fuerza Laboral Extra, limitan la cantidad de FLE utilizada en cada Periodo t a ser menor que el número de estaciones de trabajo disponibles en la Área de Ensobrado de Urbano Express en un mes de producción. Tomando en cuenta que en total existen 40 estaciones de trabajo en la planta de ensobrado, y que en el día trabaja un número de empleados regulares igual a la FD_t mientras que en la noche trabaja un número de empleados regulares igual a la FN_t en cada periodo t , sólo es posible contratar hasta $(40 - FD_t)$ trabajadores de FLE en el día y hasta $(40 - FN_t)$ trabajadores de FLE en la noche para cada día trabajado de cada periodo t (considerando que la Empresa puede trabajar 20 días al mes).

$$FED_t \leq (40 - FD_t) * 20 \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.26)$$

$$FEN_t \leq (40 - FN_t) * 20 \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.27)$$

Restricción de Satisfacción de la Demanda, esta restricción asegura que la Demanda neta del Periodo t sea cubierta en su totalidad por la producción de planta (PD_t y PN_t) y la producción con fuerza laboral extra (SD_t y SN_t).

$$PD_t + PN_t + SD_t + SN_t = D_t \quad t = 1, \dots, 12 \quad (6.28)$$

Restricción de no-negatividad, limita a que los valores adquiridos por las variables de decisión sean siempre positivos.

$$\begin{aligned} FD_t, FN_t, ED_t, EN_t, HD_t, LD_t, HN_t, LN_t, EED_t, EEN_t, FED_t, FEN_t, \\ PD_t, PN_t, SD_t, SN_t \geq 0 \quad t = 1, \dots, 12 \end{aligned} \quad (6.29)$$

6.3.1.4. Modelo del Plan Agregado de Producción

Función Objetivo:

$$\begin{aligned} Min = & \sum_{t=1}^{12} 290.28FD_t + \sum_{t=1}^{12} 363.85FN_t + \sum_{t=1}^{12} 2.72ED_t + \sum_{t=1}^{12} 3.41EN_t \\ & + \sum_{t=1}^{12} 92(HD_t + HN_t) + \sum_{t=1}^{12} 943(LD_t + LN_t) \\ & + \sum_{t=1}^{12} 12FED_t + \sum_{t=1}^{12} 15FEN_t + \sum_{t=1}^{12} 2.31EED_t + \sum_{t=1}^{12} 2.90EEN_t \\ & + \sum_{t=1}^{12} 0.0047(PD_t + PN_t + SD_t + SN_t) \end{aligned}$$

Restricciones:

$$FD_t - FD_{t-1} - HD_t + LD_t = 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$FN_t - FN_{t-1} - HN_t + LN_t = 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$PD_t - 29908FD_t - \frac{ED_t}{0.0053} \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$PN_t - 29908FN_t - \frac{EN_t}{0.0053} \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$ED_t - 40FD_t \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$EN_t - 60FN_t \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$SD_t - 1495FED_t - \frac{EED_t}{0.0053} \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$SN_t - 1495FEN_t - \frac{EEN_t}{0.0053} \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$EED_t - 2FED_t \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$EEN_t - 3FEN_t \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$FD_t - 40 \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$FN_t - 40 \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$FD_t - FD_0 \geq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$FN_t - FN_0 \geq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$FED_t - (40 - FD_t) * 20 \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$FEN_t - (40 - FN_t) * 20 \leq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$PD_t + PN_t + SD_t + SN_t - D_t = 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$FD_t, FN_t, ED_t, EN_t, HD_t, LD_t, HN_t, LN_t, EED_t, EEN_t, FED_t, FEN_t,$$

$$PD_t, PN_t, SD_t, SN_t \geq 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

Condiciones iniciales:

$$FD_0 = 15$$

$$FN_0 = 10$$

6.4. Solución del Plan Agregado de Producción

Siendo este un problema de optimización, se debe determinar la técnica o herramienta más adecuada para su resolución. Al tratarse de un modelo de

programación lineal existen varias alternativas al momento de resolver el mismo. El modelo del Plan Agregado de Producción de Urbano Express se resolvió en el Programa MS Excel®, mediante el uso de la herramienta Solver®.

6.4.1. Resultados de la Planificación Agregada de Producción

Los resultados del Plan Agregado de Producción se muestran en la Tabla 22. Aquí se pueden observar los niveles de capacidad y producción para cubrir la demanda agregada de Urbano Express a través del horizonte del planeación de 12 meses.

Tabla 22. Resultados del Plan Agregado de Producción

Meses	FD (pers)	FN (pers)	ED (hrs)	EN (hrs)	FED (pers)	FEN (pers)	EED (hrs)	EEN (hrs)	PD (uni)	PN (uni)	SD (uni)	SN (uni)
1	15	10	0	0	26	0	0	0	448,620	299,080	38,651	0
2	15	10	0	0	0	0	0	0	433,695	147,240	0	0
3	15	10	0	0	0	0	0	0	433,695	290,206	0	0
4	15	10	0	0	38	0	0	0	433,695	299,080	56,812	0
5	15	10	0	0	39	0	0	0	433,695	299,080	57,587	0
6	15	10	0	0	0	0	0	0	433,695	282,113	0	0
7	15	10	0	0	25	0	0	0	433,695	299,080	37,959	0
8	15	10	0	0	47	0	0	0	433,695	299,080	69,906	0
9	15	10	0	0	0	0	0	0	433,695	298,867	0	0
10	15	10	0	0	22	0	0	0	433,695	299,080	32,783	0
11	15	10	0	0	15	0	0	0	433,695	299,080	22,267	0
12	15	10	0	0	36	0	0	0	433,695	299,080	53,589	0

Fuente: Generación Propia.

La Tabla 22 muestra que la mayoría de la producción se encuentra cubierta por la Fuerza Laboral Regular, pero también se incurre en el uso de Fuerza Laboral Extra en los meses de demanda pico.

De acuerdo al modelo matemático, manteniendo 15 trabajadores de FLR del día y 10 trabajadores de FLR de la noche en todos los meses del año, el costo anual de cubrir la demanda agregada es de \$139,289.

En cuanto a la operación, se obtuvo que Urbano Express no debería utilizar horas extras para la Fuerza Laboral Regular del día ni de la noche. Para cubrir la demanda que excede la capacidad regular de la Empresa en ciertos periodos, se

debería contratar únicamente Fuerza Laboral Extra del día con el fin de producir diferentes cantidades de unidades de producto en los distintos periodos cuando se la requiere.

6.4.2. Análisis de la Solución del Plan Agregado de Producción

A partir de la solución del Plan Agregado de Producción, se obtiene la planificación táctica para un año de operación de la planta de ensobrado del Departamento de Producción de Urbano Express. De acuerdo a la solución del modelo, lo que se observa es que mientras exista demanda que exceda la capacidad de la Fuerza Laboral Regular del día y de la noche (15 y 10 trabajadores respectivamente), la producción que estos alcancen a realizar será estable, mientras que el resto de la demanda que excede la capacidad regular debe ser cubierta a través de la producción de la Fuerza Laboral Extra del día. En periodos en los cuales la demanda no excede la totalidad de la capacidad regular, se observa que la Fuerza Laboral Regular del día mantiene una producción estable, mientras que la Fuerza Laboral Regular de la noche es utilizada únicamente para completar la demanda que no es satisfecha en el turno del día. De acuerdo al APP, esta es la estrategia que permitiría a Urbano Express cumplir con la demanda de sus productos más representativos al menor costo.

El nivel de Fuerza Laboral Regular obtenido en el presente APP debe ser utilizado posteriormente en el Programa Maestro de la Producción y la Programación del Personal de Producción que son los siguientes pasos en la metodología para la planificación táctica y operativa de Urbano Express.

7. PROGRAMA MAESTRO DE LA PRODUCCIÓN DE URBANO EXPRESS

El objetivo del Programa Maestro de la Producción (MPS) es generar un plan de fabricación factible para los productos de Urbano Express, utilizando los niveles de capacidad y producción determinados en el Plan Agregado de la Producción que se realiza en el paso previo de la metodología para la Planificación Táctica y Operativa de la Empresa (Narasimhan 302).

A continuación, se muestra a detalle la metodología que Urbano Express debería seguir para desarrollar un Programa Maestro de la Producción que tome en cuenta sus productos más representativos con el fin de obtener un plan factible de producción en un horizonte de planeación establecido.

7.1. Información para el Programa Maestro de Producción

De manera general, las entradas de un modelo MPS están divididas en cuatro partes, los pronósticos de los productos (Demanda), los costos relacionados con la producción y la capacidad, los tiempos de operación, la tasa de producción, y el tamaño de la Fuerza Laboral Regular (Narasimhan 326).

7.1.1. Horizonte de Planeación para la Programación Maestra de la Producción en Urbano Express

Narasimhan señala que un Programa Maestro de Producción debería tener un horizonte de planeación a corto plazo, y que los periodos del MPS se deben ampliar para cubrir por lo menos el doble del tiempo de entrega crucial del producto (306).

En el caso de Urbano Express, el tiempo de entrega crucial de los productos varía entre 2 y 3 días.

Tomando en cuenta que los costos de computarizar la información aumentan cuando los periodos se vuelven más pequeños, se decidió establecer un horizonte de planeación de un trimestre con 12 periodos semanales.

7.1.2. Pronóstico de los Productos Seleccionados para el Programa Maestro de Producción

Los Pronósticos de la Demanda de Urbano Express (Tablas 17 y 18) que se realizaron en el Capítulo 5 (para el año 2009) servirán de base para establecer la Demanda para los Periodos t correspondientes al horizonte de planeación del Programa Maestro de la Producción. Para esta aplicación, se utilizan los ocho productos más representativos para la Empresa de acuerdo al análisis que se mostró anteriormente.

Tomando en cuenta que no existen datos históricos de la demanda semanal en el Departamento de Producción, es necesario solicitar los datos de la demanda semanal de los productos seleccionados para la aplicación del Programa Maestro de la Producción al Departamento de Servicio al Cliente de Urbano Express y a partir de esta información llevar a cabo los pronósticos de la demanda futura. Sin embargo, debido a la políticas de confidencialidad de Urbano Express no fue posible tener acceso a esta información, por lo que para realizar la aplicación del Programa Maestro de la Producción en la presente metodología se dividieron equitativamente los pronósticos mensuales de los productos más representativos entre las cuatro semanas de operación de cada mes.

Ya que el horizonte de planeación del MPS es de tres meses, sólo se utilizaron los pronósticos del primer trimestre del año 2009.

Como se mencionó anteriormente, para que Urbano Express aplique el MPS debe utilizar la demanda semanal de los productos más representativos (obtenida del Departamento de Servicio al Cliente), para luego llevar a cabo los pronósticos de la demanda futura para el horizonte de planeación de tres meses.

7.1.3. Costos Relacionados con la Producción y la Capacidad de Urbano Express

Los costos relacionados con la producción y capacidad que se necesitan para la aplicación del Programa Maestro de la Producción en Urbano Express son los mismos utilizados en el desarrollo del Plan Agregado de la Producción de Urbano Express (Capítulo 6). Estos costos se encuentran en la Tabla 19.

Adicionalmente, hay que recordar que el costo unitario de los insumos y materiales para la producción es de 0.0047 dólares.

7.1.4. Tiempos de Procesamiento de los Productos de Urbano Express

Para realizar el MPS también es necesario conocer el tiempo requerido para procesar una unidad de producto. El tiempo incurrido en procesar una unidad se obtiene de los Tiempos Estándares realizados en el Capítulo 4. Los ST's a utilizar corresponden a los productos Diners EC, Banco Pichincha Visa EC, Etafashion EC, Diners Revista, Diners Notas, Fybeca Individual EC, Banco de Guayaquil AmEx EC y Sukasa EC, que se encuentran en la Tabla 23. Los ocho productos seleccionados han sido numerados para poder referirse a los mismos por su número al lo largo del presente Capítulo.

Tabla 23. Tiempo de Producción de los Productos Seleccionados

#	Productos para el MPS	ST (segundos/unidad)	ST (horas/unidad)
1	Diners EC	18.51	0.0051
2	Banco Pichincha Visa EC	21.69	0.0060
3	Etafashion EC	9.91	0.0028
4	Diners Revista	24.01	0.0067
5	Diners Notas	5.12	0.0014
6	Fybeca Individual EC	25.75	0.0072
7	Banco de Guayaquil AmEx EC	26.66	0.0074
8	Sukasa EC	27.73	0.0077

Fuente: Generación Propia.

El tiempo de proceso se asume constante ya sea que las actividades se lleven a cabo por la Fuerza Laboral Regular o la Fuerza Laboral Extra, asumiendo que tienen la misma capacitación.

7.1.5. Tasa de Producción

La aplicación del Programa Maestro de la Producción también requiere la cantidad de unidades procesadas de los productos en distintas unidades de tiempo: una hora, un turno y de una semana de trabajo.

Por este motivo, a partir de la Tabla 23 se puede obtener la tasa de producción por hora, y a partir de este valor obtener la tasa de producción por

turno de trabajo (considerando las 8 horas de trabajo de un turno), y la tasa de producción semanal (considerando los 5 días laborables a la semana). Esta información se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24. Tasa de Producción por Producto

Producto	Tasa de Producción por Hora (unidades/hora)	Tasa de Producción por Turno (unidades/turno)	Tasa de Producción Semanal (unidades/semana)
Diners EC	195	1,556	7,781
Banco Pichincha Visa EC	166	1,328	6,639
Etafashion EC	363	2,906	14,531
Diners Revista	150	1,200	5,998
Diners Notas	703	5,627	28,134
Fybeca Individual EC	140	1,118	5,592
Banco de Guayaquil AmEx EC	135	1,080	5,401
Sukasa EC	130	1,039	5,193

Fuente: Generación Propia.

7.1.6. Tamaño de la Fuerza Laboral Regular

Para realizar el Programa Maestro de la Producción se debe mantener el tamaño de la Fuerza Laboral Regular fijado por el Plan Agregado de la Producción (al encontrar el nivel de capacidad de producción adecuado para la operación de un año).

El nivel de la Fuerza Laboral Regular del día y de la noche obtenido del APP de Urbano Express es de 15 y 10 trabajadores para todos los periodos t correspondientes al horizonte de planeación del MPS de Urbano Express.

7.2. Programación Lineal para el Programa Maestro de Producción

Para la formulación del modelo del Programa Maestro de la Producción, se utiliza un modelo de programación lineal cuyo objetivo es maximizar la rentabilidad de la Empresa al minimizar los costos de producción, satisfaciendo la demanda existente y tomando en cuenta las restricciones de operación de Urbano Express (Narasimhan 326).

7.2.1. Formulación del Modelo de Programación Maestra de la Producción

La formulación del modelo del MPS está dividida en: Establecimiento de los Parámetros y Variables de Decisión, Establecimiento de la Función Objetivo, y Establecimiento de las Restricciones.

Para la presente formulación, se toman en cuenta como condiciones iniciales al tamaño de la FLR del día y de la noche determinados en la estrategia que se estableció en función de los resultados del Plan Agregado de la Producción realizado el paso previo de la presente metodología.

7.2.1.1. Establecimiento de los Parámetros y Variables de Decisión del Modelo

Siendo D_{it} la Demanda del producto i (productos más representativos) en la semana t , para $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$. Los parámetros para la formulación del modelo de Programación Maestra de la Producción son:

T_i = Horas por unidad para realizar el producto i , $i=1, \dots, 8$. (Tabla 23)

CT_i = Tasa de producción del producto i en un turno de trabajo (unidades/turno), $i=1, \dots, 8$. (Tabla 24)

CS_i = Tasa de producción del producto i en una semana de trabajo (unidades/semana), $i=1, \dots, 8$. (Tabla 24)

FDA_t = Tamaño de la Fuerza Laboral Regular del día del Plan Agregado de la Producción en la semana t , $t=1, \dots, 12$. (Sección 7.1.6)

FNA_t = Tamaño de la Fuerza Laboral Regular de la noche del Plan Agregado de la Producción en la semana t , $t=1, \dots, 12$. (Sección 7.1.6)

Las variables de decisión para el modelo de Programación Maestra de la Producción son:

FD_{it} = Tamaño de la Fuerza Laboral Regular del día para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.

FN_{it} = Tamaño de la Fuerza Laboral Regular de la noche para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.

ED_{it} = Número de horas extras de la Fuerza Laboral Regular del día para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.

- EN_{it} = Número de horas extras de la Fuerza Laboral Regular de la noche para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.
- FED_{it} = Tamaño de la Fuerza Laboral Extra del turno del día para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.
- FEN_{it} = Tamaño de la Fuerza Laboral Extra del turno de la noche para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.
- EED_{it} = Número de horas extras de la Fuerza Laboral Extra del día para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.
- EEN_{it} = Número de horas extras de la Fuerza Laboral Extra de la noche para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.
- PD_{it} = Número de unidades producidas por la Fuerza Laboral Regular del día para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.
- PN_{it} = Número de unidades producidas por la Fuerza Laboral Regular de la noche para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.
- SD_{it} = Número de unidades producidas por la Fuerza Laboral Extra del turno del día para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.
- SN_{it} = Número de unidades producidas por la Fuerza Laboral Extra del turno de la noche para el producto i en la semana t , $i=1, \dots, 8$ y $t=1, \dots, 12$.

7.2.1.2. Función Objetivo

La función objetivo para la Programación Maestra de la Producción de Urbano Express considera la minimización de los costos relacionados con la producción, los cuales se describen a continuación:

Costo trimestral de la fuerza laboral regular del día y de la noche, el salario de cada trabajador en tiempo regular del día y de la noche es \$72.57/semana (\$1.81/hora X 8 horas/día X 5 días/semana) y \$90.71/semana (\$2.27/hora X 8 horas/día X 5 días/semana) respectivamente.

Costo trimestral de horas extras de la fuerza laboral regular del día y de la noche, el costo de una hora extra de la FLR del día y de la noche es \$2.72 y \$3.41 por hora respectivamente.

Costo trimestral de contratar y despedir trabajadores regulares, el costo de contratar un trabajador es \$92 y el costo de despedir un trabajador es \$943.

Costo trimestral de la fuerza laboral extra del día y de la noche en tiempo regular, los empleados de FLE son contratados por la cantidad de producción que equivaldría a un turno de trabajo regular, por lo que el jornal de cada trabajador en tiempo regular es, \$12.00/turno (\$1.54/hora X 8 horas) del día y \$15.00/turno (\$1.93/hora X 8 horas) de la noche.

Costo trimestral de las horas extras de la fuerza laboral extra del día y de la noche, el costo de una hora extra de trabajo con FLE del día y de la noche es \$2.31/hora y \$2.90/hora respectivamente.

Costos de materiales, el costo por unidad de demanda producida es de \$0.0047.

Los costos totales obtenidos en el horizonte de planeación forman la siguiente Función Objetivo:

$$Min = \sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^8 \left\{ \begin{array}{l} 72.57FD_{it} + 90.71FN_{it} + 2.72ED_{it} + 3.41EN_{it} \\ + 12FED_{it} + 15FEN_{it} + 2.31EED_{it} + 2.90EEN_{it} \\ + 0.0047(PD_{it} + PN_{it} + SD_{it} + SN_{it}) \end{array} \right\} \quad (7.1)$$

7.2.1.3. Restricciones

Restricciones del Tamaño de la Fuerza Laboral Regular del día y de la noche tomando en cuenta el Plan Agregado de Producción, Fuerza Laboral Regular del día y de la noche para el MPS debe ser igual a la obtenida en el APP. Los valores de la Fuerza Laboral del día y de la noche del APP es 15 y 10 respectivamente para todos los periodos t .

$$\sum_{i=1}^8 FD_{it} = FDA_t \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.2)$$

$$\sum_{i=1}^8 FN_{it} = FNA_t \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.3)$$

Restricciones de Capacidad para la FLR, en cada periodo la producción de la planta no puede superar su capacidad. Para la producción de los turnos del día y de la noche se debe tomar en cuenta que cada trabajador produce una cantidad de unidades a la semana en tiempo regular (Tabla 24) y que cada producto realizado en tiempo extra tiene un tiempo en horas determinado por unidad producida (Tabla 23).

$$PD_{it} \leq CS_i * FD_{it} + \frac{ED_{it}}{T_i} \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.4)$$

$$PN_{it} \leq CS_i * FN_{it} + \frac{EN_{it}}{T_i} \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.5)$$

Restricciones de Tiempo Extra para la FLR, Urbano Express mediante sus políticas operativas requiere que los trabajadores regulares del día trabajen no más de 10 horas extras a la semana (2 horas extra en cada turno del día por 5 días laborales de la semana) y que los trabajadores regulares de la noche trabajen no más de 15 horas extras a la semana (3 horas extra en cada turno de la noche por 5 días laborales de la semana) (Jefe de Producción, Entrevista Personal, Enero del 2009).

$$ED_{it} \leq 10FD_{it} \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.6)$$

$$EN_{it} \leq 15FN_{it} \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.7)$$

Restricciones de Capacidad para la FLE, en cada periodo la producción de la Fuerza Laboral Extra no puede superar su capacidad. Para la producción de los turnos del día y de la noche, debe tomar en cuenta que cada trabajador extra produce una cantidad de unidades al día en tiempo regular (Tabla 24) y que cada producto realizado en tiempo extra tiene un tiempo en horas determinado por unidad producida (Tabla 23).

$$SD_{it} \leq CT_i * FED_{it} + \frac{EED_{it}}{T_i} \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.8)$$

$$SN_{it} \leq CT_i * FEN_{it} + \frac{EEN_{it}}{T_i} \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.9)$$

Restricciones de Tiempo Extra para la FLE, Urbano Express requiere mediante sus políticas operativas que cada trabajador de la FLE del día no trabaje más de 2 horas extras en cada turno, y que cada trabajador de la FLE de la noche no trabaje más de 3 horas extras en cada turno.

$$EED_{it} \leq 2FED_{it} \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.10)$$

$$EEN_{it} \leq 3FEN_{it} \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.11)$$

Restricciones de Fuerza Laboral Extra, limita la cantidad de FLE utilizada en cada Periodo t a ser menor que el número de estaciones de trabajo disponibles en la Área de Ensobrado de Urbano Express en una semana de producción. Tomando en cuenta que existen 40 estaciones de trabajo disponibles en la planta de ensobrado, y que en el día trabaja un número de empleados regulares igual a la $\sum_{i=1}^8 FD_{it}$ mientras que en la noche trabaja un número de empleados regulares igual a la $\sum_{i=1}^8 FN_{it}$, en cada periodo t , sólo es posible contratar hasta $\left(40 - \sum_{i=1}^8 FD_{it}\right)$ trabajadores de FLE en el día y hasta $\left(40 - \sum_{i=1}^8 FN_{it}\right)$ trabajadores de FLE en la noche para cada periodo t (considerando que la Empresa puede trabajar 5 días a la semana).

$$\sum_{i=1}^8 FED_{it} \leq \left(40 - \sum_{i=1}^8 FD_{it}\right) * 5 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.12)$$

$$\sum_{i=1}^8 FEN_{it} \leq \left(40 - \sum_{i=1}^8 FN_{it}\right) * 5 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.13)$$

Restricción de Satisfacción de la Demanda, esta restricción asegura que la Demanda neta del Periodo t sea cubierta en su totalidad por la producción con Fuerza Laboral de Regular (PD_{it} y PN_{it}) y la producción con Fuerza Laboral Extra (SD_{it} y SN_{it}).

$$PD_{it} + PN_{it} + SD_{it} + SN_{it} = D_{it} \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \quad (7.14)$$

Restricción de no-negatividad, limita a que los valores adquiridos por las variables sean siempre cero o mayores.

$$\begin{aligned} &FD_{it}, FN_{it}, ED_{it}, EN_{it}, EED_{it}, EEN_{it}, FED_{it}, FEN_{it}, PD_{it}, PN_{it}, \\ &SD_{it}, SN_{it} \geq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12 \end{aligned} \quad (7.15)$$

7.2.1.4. Modelo del Programa Maestro de la Producción

El modelo de Programación Maestra de la Producción de Urbano Express que se presenta a continuación sirve para determinar un plan de producción

factible para los ocho productos más representativos del Área de Ensabrado de UE.

Función Objetivo:

$$Min = \sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^8 \left\{ \begin{array}{l} 72.57FD_{it} + 90.71FN_{it} + 2.72ED_{it} + 3.41EN_{it} \\ + 12FED_{it} + 15FEN_{it} + 2.31EED_{it} + 2.90EEN_{it} \\ + 0.0047(PD_{it} + PN_{it} + SD_{it} + SN_{it}) \end{array} \right\}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^8 FD_{it} - FDA_t = 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$\sum_{i=1}^8 FN_{it} - FNA_t = 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$FDA_t - 15 = 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$FNA_t - 10 = 0 \quad t = 1, \dots, 12$$

$$PD_{it} - CS_i * FD_{it} - \frac{ED_{it}}{T_i} \leq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$PN_{it} - CS_i * FN_{it} - \frac{EN_{it}}{T_i} \leq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$ED_{it} - 10FD_{it} \leq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$EN_{it} - 15FN_{it} \leq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$SD_{it} - CT_i * FED_{it} - \frac{EED_{it}}{T_i} \leq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$SN_{it} - CT_i * FEN_{it} - \frac{EEN_{it}}{T_i} \leq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$EED_{it} - 2FED_{it} \leq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$EEN_{it} - 3FEN_{it} \leq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$\sum_{i=1}^8 FED_{it} - \left(40 - \sum_{i=1}^8 FD_{it} \right) * 5 \leq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$\sum_{i=1}^8 FEN_{it} - \left(40 - \sum_{i=1}^8 FN_{it} \right) * 5 \leq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$PD_{it} + PN_{it} + SD_{it} + SN_{it} - D_{it} = 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

$$FD_{it}, FN_{it}, ED_{it}, EN_{it}, EED_{it}, EEN_{it}, FED_{it}, FEN_{it}, PD_{it}, PN_{it},$$

$$SD_{it}, SN_{it} \geq 0 \quad i = 1, \dots, 8 \text{ y } t = 1, \dots, 12$$

Condiciones iniciales:

$$\sum_{i=1}^8 FD_{i,0} = 15 \quad i = 1, \dots, 8$$

$$\sum_{i=1}^8 FN_{i,0} = 10 \quad i = 1, \dots, 8$$

7.3. Solución del Programa Maestro de la Producción

El modelo del Programa Maestro de la Producción de Urbano Express se resolvió en el Programa MS Excel ®, mediante la utilización de la herramienta Solver Premium®.

A continuación, se muestran los resultados que se obtienen al resolver el modelo del MPS para el primer trimestre del año 2009.

7.3.1. Resultados del Programa Maestro de la Producción del Primer Trimestre 2009

La solución del Programa Maestro de la Producción muestra un plan de fabricación semanal para el que se deben utilizar 15 trabajadores de FLR del día, 10 trabajadores de FLR de la noche (resultado del APP previo) y diferentes cantidades de FLE para cubrir la demanda de Urbano Express en los 12 periodos semanales propuestos. La solución del MPS se encuentra en la Tabla 25.

La Tabla 25 muestra un Plan de Producción para los ocho productos bajo estudio, en el que la mayoría de la producción se encuentra cubierta por la Fuerza Laboral Regular del día y de la noche, pero además se incurre en el uso de Fuerza Laboral Extra del día en la semanas de demanda pico (no se utiliza FLE de la noche). También se observa que no se deben utilizar horas extras ni de la FLR ni de la FLE.

El Plan de Producción determina el número de trabajadores que deben utilizar y la cantidad de unidades de cada producto que deben realizar en cada periodo semanal para satisfacer la demanda de Urbano Express.

Tabla 25. Resultados del Programa Maestro de la Producción

Semanas	FD _{1,t} (pers)	FD _{2,t} (pers)	FD _{3,t} (pers)	FD _{4,t} (pers)	FD _{5,t} (pers)	FD _{6,t} (pers)	FD _{7,t} (pers)	FD _{8,t} (pers)
1	5	7	2	1	0	0	0	0
2	5	7	2	1	0	0	0	0
3	5	7	2	1	0	0	0	0
4	5	7	2	1	0	0	0	0
5	6	4	0	1	0	1	2	1
6	6	4	0	1	0	1	2	1
7	6	4	0	1	0	1	2	1
8	6	4	0	1	0	1	2	1
9	6	1	2	2	1	2	2	0
10	6	1	2	2	1	2	2	0
11	6	1	2	2	1	2	2	0
12	6	1	2	2	1	2	2	0
---	FN _{1,t} (pers)	FN _{2,t} (pers)	FN _{3,t} (pers)	FN _{4,t} (pers)	FN _{5,t} (pers)	FN _{6,t} (pers)	FN _{7,t} (pers)	FN _{8,t} (pers)
1	0	0	0	2	1	3	2	2
2	0	0	0	2	1	3	2	2
3	0	0	0	2	1	3	2	2
4	0	0	0	2	1	3	2	2
5	0	2	1	0	1	0	0	6
6	0	2	1	0	1	0	0	6
7	0	2	1	0	1	0	0	6
8	0	2	1	0	1	0	0	6
9	0	7	0	0	0	0	0	3
10	0	7	0	0	0	0	0	3
11	0	7	0	0	0	0	0	3
12	0	7	0	0	0	0	0	3
---	ED _{1,t} (hrs)	ED _{2,t} (hrs)	ED _{3,t} (hrs)	ED _{4,t} (hrs)	ED _{5,t} (hrs)	ED _{6,t} (hrs)	ED _{7,t} (hrs)	ED _{8,t} (hrs)
1 a 12	0	0	0	0	0	0	0	0
---	EN _{1,t} (hrs)	EN _{2,t} (hrs)	EN _{3,t} (hrs)	EN _{4,t} (hrs)	EN _{5,t} (hrs)	EN _{6,t} (hrs)	EN _{7,t} (hrs)	EN _{8,t} (hrs)
1 a 12	0	0	0	0	0	0	0	0
---	FED _{1,t} (pers)	FED _{2,t} (pers)	FED _{3,t} (pers)	FED _{4,t} (pers)	FED _{5,t} (pers)	FED _{6,t} (pers)	FED _{7,t} (pers)	FED _{8,t} (pers)
1	7	0	0	0	0	0	0	0
2	7	0	0	0	0	0	0	0
3	7	0	0	0	0	0	0	0
4	7	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
---	FEN _{1,t} (pers)	FEN _{2,t} (pers)	FEN _{3,t} (pers)	FEN _{4,t} (pers)	FEN _{5,t} (pers)	FEN _{6,t} (pers)	FEN _{7,t} (pers)	FEN _{8,t} (pers)
1 a 12	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Generación Propia.

Tabla 25. Resultados del Programa Maestro de la Producción (Continuación)

Semanas	EED _{1,t} (hrs)	EED _{2,t} (hrs)	EED _{3,t} (hrs)	EED _{4,t} (hrs)	EED _{5,t} (hrs)	EED _{6,t} (hrs)	EED _{7,t} (hrs)	EED _{8,t} (hrs)
1 a 12	0	0	0	0	0	0	0	0
---	EEN _{1,t} (hrs)	EEN _{2,t} (hrs)	EEN _{3,t} (hrs)	EEN _{4,t} (hrs)	EEN _{5,t} (hrs)	EEN _{6,t} (hrs)	EEN _{7,t} (hrs)	EEN _{8,t} (hrs)
1 a 12	0	0	0	0	0	0	0	0
---	PD _{1,t} (uni)	PD _{2,t} (uni)	PD _{3,t} (uni)	PD _{4,t} (uni)	PD _{5,t} (uni)	PD _{6,t} (uni)	PD _{7,t} (uni)	PD _{8,t} (uni)
1	36,561	47,981	24,548	8,305	0	0	0	0
2	36,561	47,981	24,548	8,305	0	0	0	0
3	36,561	47,981	24,548	8,305	0	0	0	0
4	36,561	47,981	24,548	8,305	0	0	0	0
5	48,100	24,821	0	7,527	0	4,035	11,019	5,521
6	48,100	24,821	0	7,527	0	4,035	11,019	5,521
7	48,100	24,821	0	7,527	0	4,035	11,019	5,521
8	48,100	24,821	0	7,527	0	4,035	11,019	5,521
9	48,159	5,202	21,792	10,743	15,799	11,919	11,037	0
10	48,159	5,202	21,792	10,743	15,799	11,919	11,037	0
11	48,159	5,202	21,792	10,743	15,799	11,919	11,037	0
12	48,159	5,202	21,792	10,743	15,799	11,919	11037	0
---	PN _{1,t} (uni)	PN _{2,t} (uni)	PN _{3,t} (uni)	PN _{4,t} (uni)	PN _{5,t} (uni)	PN _{6,t} (uni)	PN _{7,t} (uni)	PN _{8,t} (uni)
1	0	0	0	11,280	15,410	18,573	10,834	11,655
2	0	0	0	11,280	15,410	18,573	10,834	11,655
3	0	0	0	11,280	15,410	18,573	10,834	11,655
4	0	0	0	11,280	15,410	18,573	10,834	11,655
5	0	10,998	18,957	0	14,256	0	0	0
6	0	10,998	18,957	0	14,256	0	0	0
7	0	10,998	18,957	0	14,256	0	0	0
8	0	10,998	18,957	0	14,256	0	0	0
9	0	44,243	0	0	0	0	0	12,081
10	0	44,243	0	0	0	0	0	12,081
11	0	44,243	0	0	0	0	0	12,081
12	0	44,243	0	0	0	0	0	12,081
---	SD _{1,t} (uni)	SD _{2,t} (uni)	SD _{3,t} (uni)	SD _{4,t} (uni)	SD _{5,t} (uni)	SD _{6,t} (uni)	SD _{7,t} (uni)	SD _{8,t} (uni)
1	11,440	0	0	0	0	0	0	0
2	11,440	0	0	0	0	0	0	0
3	11,440	0	0	0	0	0	0	0
4	11,440	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
---	SN _{1,t} (uni)	SN _{2,t} (uni)	SN _{3,t} (uni)	SN _{4,t} (uni)	SN _{5,t} (uni)	SN _{6,t} (uni)	SN _{7,t} (uni)	SN _{8,t} (uni)
1 a 12	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Generación Propia.

Para interpretar correctamente los resultados del Programa Maestro de la Producción del Primer Trimestre del 2009 (Tabla 25), se presenta la siguiente explicación de la operación de la primera semana del año 2009.

Para realizar los ocho productos seleccionados durante la primera semana del trimestre se deben realizar las diferentes cantidades de los productos con las fuerzas laborales regular y extra, asignándolas de la siguiente manera:

- Para cumplir con la demanda del producto 1, se deben realizar 36,561 unidades con 5 trabajadores de la FLR del día y se deben realizar 11,440 unidades con 7 trabajadores de la FLE del día.
- Para cumplir con la demanda del producto 2, se deben realizar 47,981 unidades con 7 trabajadores de la FLR del día.
- Para cumplir con la demanda del producto 3, se deben realizar 24,548 unidades con 2 trabajadores de la FLR del día.
- Para cumplir con la demanda del producto 4, se deben realizar 8,305 unidades con 1 trabajador de la FLR del día, y se deben realizar 11,280 unidades con 2 trabajadores de la FLR de la noche.
- Para cumplir con la demanda del producto 5, se deben realizar 15,410 unidades con 1 trabajador de la FLR de la noche.
- Para cumplir con la demanda del producto 6, se deben realizar 18,573 unidades con 3 trabajadores de la FLR de la noche.
- Para cumplir con la demanda del producto 7, se deben realizar 10,834 unidades con 2 trabajadores de la FLR de la noche.
- Para cumplir con la demanda del producto 8, se deben realizar 11,655 unidades con 2 trabajadores de la FLR de la noche.

Los resultados obtenidos en el Programa Maestro de la Producción de Urbano Express representan un plan de producción factible para los productos más representativos, por lo que se cumple con su objetivo planteado.

Con el Programa Maestro de la Producción se completa el paso 3 de la metodología para la planeación táctica y operativa de la Empresa. Urbano Express debe realizar el MPS con los productos más representativos del Área de Ensobrado para aplicarlo a su situación actual.

8. PROGRAMACIÓN DE LOS EMPLEADOS DE PLANTA DE URBANO EXPRESS

En base a los resultados obtenidos en el MPS, se obtienen las entradas necesarias para programar los horarios de trabajo de los empleados de planta de Urbano Express. Para establecer la programación de la Fuerza Laboral Regular tanto del día como de la noche se propone la aplicación del algoritmo desarrollado por Burns y Carter, el cual fue presentado en el Capítulo 2.

8.1. Determinación de los Requerimientos de Capacidad Diaria de la FLR del Día y de la Noche

La solución del MPS determina los requerimientos semanales de la Fuerza Laboral Regular que se necesitan para satisfacer la demanda de los productos más representativos de la Empresa. En la aplicación que se desarrolló en el Capítulo 7, se estableció que el requerimiento es de 15 trabajadores para el turno del día y de 10 trabajadores para el turno de la noche, donde cada trabajador labora en total cinco días a la semana.

Sin embargo, la política de Urbano Express es que la planta de producción de la Empresa debe mantenerse en operación durante los siete días de la semana. Por este motivo, lo que se busca es asignar el personal de la Fuerza Laboral Regular de la forma más equilibrada y justa durante los siete días operativos de cada semana.

Para llevar esto a cabo, también se debe tomar en cuenta el hecho de que Urbano Express ha establecido como política laboral que los trabajadores del Área de Ensobrado deben recibir un ($A=1$) fin de semana libre de cada tres ($B=3$) fines de semana laborados por la Empresa (Jefe de Producción, Entrevista Personal, Enero del 2009).

Tomando en cuenta que los requerimientos de capacidad obtenidos del MPS para la Fuerza Laboral Regular del día y de la noche son de 15 y de 10 trabajadores trabajando cinco de los siete días a la semana respectivamente, se determinó que es necesario cumplir con 600 horas de trabajo a la semana en el turno del día y con 400 horas de trabajo a la semana en el turno de la noche. Para poder ser consistentes con la política de producción de la Empresa de laborar los siete días de la semana, se determinaron requerimientos diarios de

capacidad que cumplan con las 600 horas semanales de trabajo en el turno del día y con las 400 horas semanales de trabajo en el turno de la noche.

Consecuentemente, la Tabla 26 muestra los requerimientos diarios que se establecieron para la Fuerza Laboral Regular del día y de la noche.

Tabla 26. Requerimientos Diarios de la FLR del Día y de la Noche

Día j	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
n_i	1	2	3	4	5	6	7
FLR del día (n_i)	10	11	11	11	11	11	10
FLR de la noche (n_i)	6	7	7	8	8	8	6

Fuente: Generación Propia.

8.2. Aplicación del Algoritmo de Burns y Carter para la Programación de la Fuerza Laboral Regular

8.2.1. Programación de la Fuerza Laboral Regular del Día

Utilizando el Algoritmo de Burns y Carter, se desarrollaron los horarios de trabajo para el personal de la Fuerza Laboral Regular del día, tomando en cuenta siete días operativos a la semana y garantizando que cada trabajador tenga dos días libres por semana y un fin de semana libre de cada tres fines de semana laborados por la Empresa.

La aplicación de los pasos del algoritmo (Sección 2.6) se describen a continuación:

Paso 1:

Encontrar los valores de n , $L1$, $L2$, $L3$ y W (ecuaciones 2.35, 2.36, 2.37, 2.38 y 2.39 respectivamente) a partir de los requerimientos diarios de la Fuerza Laboral Regular del día (Tabla 26) y de los valores establecidos de A y B . La Tabla 27 muestra los datos correspondientes al Paso 1.

Tabla 27. Valores para la Aplicación del Algoritmo de Burns y Carter (FLR del Día)

	FLR del Día	Unidades
n	10	Trabajadores
L_1	15	Trabajadores
L_2	15	Trabajadores
L_3	11	Trabajadores
W	15	Trabajadores

Fuente: Generación Propia.

Paso 2:

Se calendarizaron los fines de semana libres en base a $(W-n) = 5$. De esta manera, se debe asignar el primer fin de semana libre a los primeros cinco empleados, luego el siguiente fin de semana libre a los cinco empleados siguientes; y, así sucesivamente los siguientes fines de semana.

Paso 3:

Se determinaron n pares de días libres realizando el procedimiento iterativo determinado en el algoritmo de Burns y Carter (Tabla 28).

Tabla 28. Determinación de los Pares n de Días Libres

Día (j)	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Pares n
Requerimientos	10	11	11	11	11	11	10	
Holgura	0	4	4	4	4	4	0	
	0	3		3			0	Lun/Mie
	0		3			3	0	Mar/Vie
	0				3	2	0	Jue/Vie
	0	2	2				0	Lun/Mar
	0			2	2		0	Mie/Jue
	0		1	1			0	Mar/Mie
	0	1				1	0	Lun/Vie
	0		0		1		0	Mar/Jue
	0			0		0	0	Mie/Vie
	0	0			0		0	Lun/Jue

Fuente: Generación Propia.

Paso 4:

Para realizar el Paso 4, primero se asigna un tipo de empleado a cada trabajador para establecer su distribución de días libres en función de los fines de

semana asignados en el Paso 2, para asignar dos días libres a cada trabajador en base a los pares n .

Los horarios de trabajo para el personal de la Fuerza Laboral Regular del día durante la primera semana del horizonte de planeación se encuentran en la Tabla 29. En la Tabla 29, los días libres se encuentran marcados con “X” y los días laborables se encuentra vacíos para ser marcados al momento de tomar la asistencia.

Tabla 29. Horarios de Trabajo de la FLR del Día en Semana 1

		Semana 1						
Trabajador	Tipo	Do	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa
1	T2	X					X	
2	T2	X			X			
3	T2	X		X				
4	T2	X				X		
5	T2	X					X	
6	T3					X		X
7	T3			X				X
8	T3		X					X
9	T3				X			X
10	T3		X					X
11	T4		X	X				
12	T4				X	X		
13	T4					X	X	
14	T4			X	X			
15	T4		X				X	

Fuente: Generación Propia.

8.2.2. Programación de la Fuerza Laboral Regular de la Noche

Para realizar la programación de los horarios de trabajo de la Fuerza Laboral de la noche, se debe aplicar el algoritmo de Burns y Carter utilizando el mismo procedimiento utilizado en la Sección 8.2.1.

Los valores para la aplicación del algoritmo en este caso se muestran en la Tabla 30, mientras que la programación de los horarios de trabajo para la primera semana de operación para la Fuerza Laboral Regular de la noche se muestra en la Tabla 31, donde los días libres se marcan con una “X”.

Tabla 30. Valores para la Aplicación del Algoritmo de Burns y Carter (FLR de la Noche)

	FLR de la Noche	Unidades
n	6	Trabajadores
L_1	9	Trabajadores
L_2	10	Trabajadores
L_3	8	Trabajadores
W	10	Trabajadores

Fuente: Generación Propia.

Tabla 31. Horarios de Trabajo de la FLR de la Noche en Semana 1

		<i>Semana 1</i>						
Trabajador	Tipo	Do	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa
1	T2	X					X	
2	T2	X				X		
3	T2	X		X				
4	T2	X			X			
5	T3		X					X
6	T3				X			X
7	T3		X					X
8	T3			X				X
9	T4		X	X				
10	T4					X	X	

Fuente: Generación Propia.

8.3. Modelo Matemático para la Determinación de los Horarios de Trabajo de la Fuerza Laboral Regular

Para determinar los horarios de trabajo de una forma automatizada, tanto para la Fuerza Laboral Regular del día como para la Fuerza Laboral Regular de la noche, se desarrollaron los siguientes modelos de programación lineal que aplican el Algoritmo de Burns y Carter de una manera más eficiente.

8.3.1. Formulación del Modelo Matemático para la FLR del Día

El modelo matemático que se presenta a continuación utiliza las variables de decisión binarias (1's o 0's) X_{ij} para $i=1,\dots,15$ y $j=1,\dots,7$; que representan los días j (ya sean libres o laborables) de cada semana para los i trabajadores existentes en el turno del día.

Función Objetivo:

La Función Objetivo minimiza el número de trabajadores requeridos para operar, tomando en cuenta los días libres obligatorios, y satisfaciendo los requerimientos de capacidad de la Empresa.

$$Min = \sum_{j=1}^7 \sum_{i=1}^{15} X_{ij} \quad (8.1)$$

Restricciones:

Restricción de Días Laborables a la Semana para cada Trabajador, asegura que ningún trabajador labore más de 5 días a la semana.

$$\sum_{j=1}^7 X_{ij} \leq 5 \quad i = 1, \dots, 15 \quad (8.2)$$

Restricciones de Satisfacción de la Capacidad Diaria Requerida, asigna la cantidad de trabajadores necesarios para operar cada día de la semana.

$$\sum_{i=1}^{15} X_{ij} \leq 10 \quad j = 1, 7 \quad (8.3)$$

$$\sum_{i=1}^{15} X_{ij} \leq 11 \quad j = 2, 3, 4, 5, 6 \quad (8.4)$$

Restricciones para Determinar las Variables Excluyentes, determina la asignación de los trabajadores de acuerdo a las condiciones del algoritmo.

$$X_{11} \leq X_{i1} \quad i = 2, \dots, 15 \quad (8.5)$$

$$X_{21} \leq X_{i1} \quad i = 3, \dots, 15 \quad (8.6)$$

$$X_{31} \leq X_{i1} \quad i = 4, \dots, 15 \quad (8.7)$$

$$X_{41} \leq X_{i1} \quad i = 5, \dots, 15 \quad (8.8)$$

$$X_{51} \leq X_{i1} \quad i = 6, \dots, 15 \quad (8.9)$$

$$X_{61} \leq X_{i1} \quad i = 7, \dots, 15 \quad (8.10)$$

$$X_{71} \leq X_{i1} \quad i = 8, \dots, 15 \quad (8.11)$$

$$X_{81} \leq X_{i1} \quad i = 9, \dots, 15 \quad (8.12)$$

$$X_{91} \leq X_{i1} \quad i = 10, \dots, 15 \quad (8.13)$$

$$X_{10,1} \leq X_{i1} \quad i = 11, \dots, 15 \quad (8.14)$$

$$X_{11,1} \leq X_{i1} \quad i = 12, \dots, 15 \quad (8.15)$$

$$X_{12,1} \leq X_{i1} \quad i = 13, \dots, 15 \quad (8.16)$$

$$X_{13,1} \leq X_{i1} \quad i = 14, 15 \quad (8.17)$$

$$X_{14,1} \leq X_{i1} \quad i = 15 \quad (8.18)$$

Restricción de Variables Binarias, asegura que las variables del modelo sean binarias.

$$X_{ij} = \{0,1\} \quad i = 1, \dots, 15 \text{ y } j = 1, \dots, 7 \quad (8.19)$$

Restricción de No Negatividad, asegura que las variables no tomen valores negativos.

$$X_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, 15 \text{ y } j = 1, \dots, 7 \quad (8.20)$$

8.3.2. Formulación del Modelo para la FLR de la Noche

El modelo matemático que se presenta a continuación utiliza las variables de decisión binarias (1's o 0's) X_{ij} para $i=1, \dots, 10$ y $j=1, \dots, 7$; que representan los días j (ya sean libres o laborables) de cada semana para los i trabajadores existentes en el turno de la noche.

Función Objetivo:

La Función Objetivo minimiza el número de trabajadores requeridos para operar, tomando en cuenta los días libres obligatorios, y satisfaciendo los requerimientos de capacidad de la Empresa.

$$\text{Min} = \sum_{j=1}^7 \sum_{i=1}^{10} X_{ij} \quad (8.21)$$

Restricciones:

Restricción de Días Laborables a la Semana para cada Trabajador, asegura que ningún trabajador labore más de 5 días a la semana.

$$\sum_{j=1}^7 X_{ij} \leq 5 \quad i = 1, \dots, 10 \quad (8.22)$$

Restricciones de Satisfacción de la Capacidad Diaria Requerida, asigna la cantidad de trabajadores necesarios para operar cada día de la semana.

$$\sum_{i=1}^{10} X_{ij} \leq 6 \quad j = 1, 7 \quad (8.23)$$

$$\sum_{i=1}^{10} X_{ij} \leq 7 \quad j = 2, 3 \quad (8.24)$$

$$\sum_{i=1}^{10} X_{ij} \leq 8 \quad j = 4, 5, 6 \quad (8.25)$$

Restricciones para Determinar las Variables Excluyentes, determina la asignación de los trabajadores de acuerdo a las condiciones del algoritmo.

$$X_{11} \leq X_{i1} \quad i = 2, \dots, 10 \quad (8.26)$$

$$X_{21} \leq X_{i1} \quad i = 3, \dots, 10 \quad (8.27)$$

$$X_{31} \leq X_{i1} \quad i = 4, \dots, 10 \quad (8.28)$$

$$X_{41} \leq X_{i1} \quad i = 5, \dots, 10 \quad (8.29)$$

$$X_{51} \leq X_{i1} \quad i = 6, \dots, 10 \quad (8.30)$$

$$X_{61} \leq X_{i1} \quad i = 7, \dots, 10 \quad (8.31)$$

$$X_{71} \leq X_{i1} \quad i = 8, \dots, 10 \quad (8.32)$$

$$X_{81} \leq X_{i1} \quad i = 9, 10 \quad (8.33)$$

$$X_{91} \leq X_{i1} \quad i = 10 \quad (8.34)$$

Restricción de Variables Binarias, asegura que las variables del modelo sean binarias.

$$X_{ij} = \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, 10 \text{ y } j = 1, \dots, 7 \quad (8.35)$$

Restricción de No Negatividad, asegura que las variables no tomen valores negativos.

$$X_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, 10 \text{ y } j = 1, \dots, 7 \quad (8.36)$$

8.3.3. Resolución de los Modelos Matemáticos de Programación del Personal

Los modelos matemáticos para la programación del personal fueron implementados y resueltos en el software de optimización LINDO®. En el Anexo C se muestran los modelos matemáticos para la programación de la Fuerza Laboral

Regular del día y de la noche tal como se los implementó en el software para su resolución.

En las Tablas 32 y 33 se presentan los resultados tabulados de los modelos matemáticos para un mes de operación tanto de la Fuerza Laboral Regular del día como de la Fuerza Laboral Regular de la noche respectivamente. En las Tablas 32 y 33, los días libres se encuentran marcados con “X” y los días laborables se encuentran vacíos para poder ser marcados al tomar la asistencia.

Tabla 32. Horarios de Trabajo de la Fuerza Laboral Regular del Día en el Primer Mes

Trab	Semana 1							Semana 2							Semana 3							Semana 4						
	D	L	M	I	J	V	S	D	L	M	I	J	V	S	D	L	M	I	J	V	S	D	L	M	I	J	V	S
1	X	X						X	X										X	X	X	X						
2	X		X					X		X										X	X	X		X				
3	X			X					X			X							X		X	X			X			
4	X		X							X	X									X	X	X		X				
5	X			X							X	X			X						X	X			X			
6					X		X	X	X							X	X								X	X		
7						X	X	X		X						X		X								X	X	
8					X		X	X			X					X			X						X	X		
9						X	X	X		X							X	X								X	X	
10		X					X	X			X							X	X			X					X	
11		X	X									X		X	X	X						X	X					
12		X		X									X	X	X		X						X		X			
13			X			X						X		X	X			X					X			X		
14				X	X								X	X	X		X							X	X			
15					X	X			X					X	X			X							X	X		

Fuente: Generación Propia.

Tabla 33. Horarios de Trabajo de la Fuerza Laboral Regular de la Noche en el Primer Mes

Trab	Semana 1							Semana 2							Semana 3							Semana 4						
	D	L	M	I	J	V	S	D	L	M	I	J	V	S	D	L	M	I	J	V	S	D	L	M	I	J	V	S
1	X		X										X	X	X		X						X	X				
2	X	X										X		X	X	X									X		X	
3	X		X								X	X					X				X	X		X				
4	X	X									X		X			X					X	X	X					
5			X				X	X		X										X	X	X		X				
6		X					X	X	X											X		X	X	X				
7				X			X	X		X								X	X						X	X		
8					X		X	X	X								X		X						X		X	
9					X	X				X				X	X		X									X	X	
10				X		X			X					X	X	X									X	X		

Fuente: Generación Propia.

Esta programación garantiza que se satisfaga la capacidad diaria requerida de Fuerza Laboral Regular del día y de la noche, tomando en cuenta que ningún empleado debe trabajar más de 5 días a la semana. De esta manera se podrá disponer de la mano de obra necesaria para cumplir con la demanda de Urbano Express.

Gracias a los modelos matemáticos implementados para la programación de la Fuerza Laboral Regular del día y de la noche, Urbano Express cuenta con una herramienta que le permitirá realizar los horarios de trabajo del personal cada vez que lo requiera.

9. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN Y SOFTWARE UTILIZADO EN EL ESTUDIO REALIZADO EN URBANO EXPRESS

La propuesta de implementación que se presenta a continuación, toma en cuenta únicamente las actividades requeridas para que se pueda aplicar la Metodología para la Planificación Táctica y Operativa en el Departamento de Producción de Urbano Express. La información obtenida en el levantamiento de procesos y en el estudio de tiempos se encuentra lista para ser utilizada por la Empresa para el desarrollo de la metodología y otros estudios relacionados.

La Tabla 34, que se encuentra más adelante, muestra un Diagrama Gantt donde se detallan las actividades necesarias para la implementación de la Metodología para la Planificación Táctica y Operativa en Urbano Express en un lapso de seis semanas.

Adicionalmente, para llevar a cabo la implementación de la propuesta mediante la resolución de los modelos planteados, se requiere que Urbano Express disponga de herramientas de software específicas.

Para la implementación de la Metodología para la Planificación Táctica y Operativa de Urbano Express es necesario utilizar algunas herramientas de software tales como Minitab®, MS Excel®, complemento Solver®, complemento Solver Premium® y LINDO®.

Específicamente, se puede utilizar Minitab® para realizar los Diagramas de Pareto que permiten identificar los productos más representativos de la Empresa y también para realizar los Pronósticos de la demanda de los productos más representativos de Urbano Express.

Para resolver el Plan Agregado de la Producción se debería utilizar el complemento Solver® del programa de hoja de cálculo MS Excel®. Esta herramienta soluciona programas lineales pequeños de 200 x 200 variables, como el modelo realizado para la Planificación Agregada de la Producción de Urbano Express.

De la misma forma, para resolver el Programa Maestro de la Producción se debería utilizar el complemento Premium Solver® del programa MS Excel®. Esta herramienta soluciona programas lineales grandes de hasta 8000 x 8000 variables como el modelo realizado para el programa maestro de Urbano Express.

Por último, para resolver el modelo para la determinación de los horarios de trabajo de la Fuerza Laboral Regular se debería utilizar el programa LINDO® de forma que se pueda automatizar la aplicación del Algoritmo de Burns y Carter.

Tabla 34. Gantt de las Actividades para la Implementación de la Propuesta

Implementación de la Metodología para la Planificación Táctica y Operativa de Urbano Express	<i>Semanas</i>					
	1	2	3	4	5	6
Paso 1						
Recolectar las demandas semanales y mensuales de todos los productos de la Empresa.	■					
Realizar Diagramas de Pareto para seleccionar los productos más representativos por volumen de producción.	■					
Realizar pronósticos mensuales para un año de la demanda futura de los productos más representativos, para el Plan Agregado de la Producción.		■				
Realizar pronósticos semanales para un trimestre de la demanda futura de los productos más representativos, para el Programa Maestro de la Producción.			■			
Paso 2						
Actualizar la información para el Plan Agregado de la Producción (si es necesario).				■		
Resolver el modelo del Plan Agregado de la Producción en un software adecuado.				■		
Analizar la respuesta de Plan Agregado de la Producción.				■		
Determinar la estrategia operativa en cuanto a los niveles adecuados de FLR para la operación de un año de la Empresa.				■		
Paso 3						
Actualizar la información para el Programa Maestro de la Producción (si es necesario).					■	
Resolver el modelo del Programa Maestro de la Producción en un software adecuado.					■	
Analizar la respuesta de Programa Maestro de la Producción.					■	
Determinar un plan factible de producción que toma en cuenta un horizonte de planeación trimestral.					■	
Paso 4						
Actualizar la información para aplicar el Algoritmo de Burns y Carter (si es necesario).						■
Resolver modelo de programación lineal en base al Algoritmo de Burns y Carter para la fuerza laboral regular.						■
Determinar los horarios de los trabajadores de fuerza laboral regular.						■

Fuente: Generación Propia.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. Conclusiones

- En la actualidad, Urbano Express no utiliza ningún modelo matemático como soporte para planificar su producción y establecer sus requerimientos de capacidad laboral.
- El levantamiento de procesos en Urbano Express determinó 32 operaciones diferentes mediante las cuales se lleva a cabo la elaboración de los Productos Críticos Seleccionados por la Empresa.
- La descripción de los procesos por operaciones y actividades para los Productos Críticos Seleccionados son una entrada fundamental para el Estudio de Tiempos ya que determina los Elementos que serán estudiados.
- El estudio de tiempos resultó en la determinación de los Tiempos Estándar de las 32 operaciones que se realizan en la producción de los Productos Críticos Seleccionados, información bastante útil al momento de establecer los requerimientos de capacidad laboral y para planificar la producción.
- Para realizar la planificación táctica y operativa del Área de Ensobrado de Urbano Express es necesario realizar pronósticos de la demanda futura de los productos más representativos de la Empresa.
- Para la determinación de los productos más representativos de Urbano Express, se requiere el uso de la herramienta estadística del análisis de Pareto aplicado a las cantidades totales de producción anual de los productos que realiza la Empresa.
- La planeación táctica se lleva a cabo en un horizonte de planeación a mediano plazo, mientras que la planeación operativa requiere enfocarse en un horizonte de planeación a corto plazo.
- La metodología para realizar el Plan Agregado de la Producción permite determinar el nivel requerido de personal de planta y la estrategia de producción para cubrir toda la demanda en el Área de Ensobrado de Urbano Express para periodos mensuales en el lapso de un año.

- La metodología para realizar el Programa Maestro de la Producción permite desarrollar un plan factible para la operación de producción en el Área de Ensobrado para periodos semanales en el lapso de un trimestre.
- El modelo para la programación de la Fuerza Laboral Regular del día y de la noche permite determinar los horarios diarios de los trabajadores de planta del Área de Ensobrado, basándose en el tamaño de Fuerza Laboral Regular fijado por el Programa Maestro de la Producción y las políticas operativas impuestas por la Empresa.

10.2. Recomendaciones

- Se recomienda actualizar la descripción de los procesos y los tiempos estándar de producción cada vez que se desarrollen operaciones o productos nuevos en el Departamento de Producción de Urbano Express.
- La Empresa debería realizar un análisis económico detallado de las ventajas que existirían, con respecto al desempeño actual, si es que llegara a implementarse la metodología propuesta.
- Se recomienda crear indicadores para medir el desempeño de la operación diaria de la planta de Ensobrado, con el fin de impulsar la mejora continua.
- Urbano Express debería implementar el uso de herramientas para llevar a cabo el control estadístico de los procesos y de esa manera impulsar la reducción de la variabilidad y la consiguiente mejora en la calidad de sus productos.
- Se recomienda revisar periódicamente el Plan Agregado de la Producción de Urbano Express; y, también cuando se determine que han existido cambios significativos en sus principales parámetros.
- En la resolución del Plan Agregado de Producción, se debería aplicar el modelo de fracción de equipo como una alternativa para establecer los niveles base de Fuerza Laboral Regular con los que se debería iniciar en el horizonte de planeación.

- Se recomienda crear tarjetas (si es posible con figuras humanas representando la operación) con las actividades que se llevan a cabo durante la elaboración de los productos de la Empresa, para con estas capacitar y guiar a la fuerza laboral de un forma bastante fácil de asimilar.

BIBLIOGRAFÍA

Aft, Lawrence, Work Measurement y Methods Improvement, Wiley-Interscience Publication, New York, Estados Unidos, 2006.

Burns, R.N. y M.W. Carter, Work Force Size and Single Shift Schedules with Variable Demand, Management Science, Vol. 31, No. 5, Impreso en USA, The Institute of Management Science, Mayo 1985.

Chopra, Sunil y Peter Meindl, Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation, Pearson Prentice Hall, 3^{ra} Edición, New Jersey, 2007.

Código de Trabajo del Ecuador, 2^{da} Edición, Impreso en Ecuador, Corporación de Estudios y Publicaciones, Agosto 2008.

Gerente General de Urbano Express, Entrevista Personal, Junio 2008

Harrington, James, Business Process Improvement, McGraw-Hill Inc., Estados Unidos, 1991.

Jefe de Producción de Urbano Express, Entrevista Personal, Enero del 2009

Jefe de Producción de Urbano Express, Entrevista Personal, Septiembre 2008

Narasimhan Sim, Dennis W. McLeavey y Peter J. Billington, Planeación de la Producción y Control de Inventarios, Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 3^{ra} Edición, México, 1996.

Niebel, Benjamin y Andris Frievalds, Ingeniería Industrial Métodos, Tiempos y Movimientos, Alfaomega, 3^{ra} Edición, México, 1990.

Tompkins, James, John A. White, Yavuz Bozer y J.M.A. Tanchoco, Planeación de Instalaciones, Thomson, 3^{ra} Edición, Impreso en México, 2006.

Urbano Express Holding, Información, 10 Enero 2009, <www.urbanoexpress.com>

ANEXOS

Anexo A. PRODUCTOS MÁS REPRESENTATIVOS DESCRITOS POR OPERACIONES Y ACTIVIDADES

Tabla 35. Producto Diners EC por Operaciones y Actividades

Diners Estado de Cuenta	
<i>Operaciones</i>	<i>Actividades</i>
SD2	Seleccionar lote de 100 EC's para poner en máquina dobladora y doblar EC's en máquina
SD2	Agrupar las hojas 2 o más del mismo EC, enlazar lotes de 50 EC's y poner en bandeja
E	Seleccionar EC e inserto (si hay)
E	Ensobrar el EC e inserto (si hay)
E	Doblar tapas en lotes de 25 sobres al mismo tiempo y luego doblar cada tapa un sobre fácilmente
E	Sellar con cinta adhesiva
C3	Clasificar separando los sobres para enlazar por zona (o enlazar por lotes de 50 sobres la zona es mayor que 50 sobres) tomando en cuenta una o varias letras indicadas en el label, el producto está en orden de provincia y de zona

Fuente: Generación Propia.

Tabla 36. Producto Banco Pichincha Visa EC por Operaciones y Actividades

Banco Pichincha Visa Estado de Cuenta	
<i>Operaciones</i>	<i>Actividades</i>
SD3	Guillotinar por lotes de 500 hojas que resulta en lotes de 1000 EC's
SD3	Grapar las hojas 2 o más del mismo EC, enlazar lotes de 50 EC's y poner en bandeja
E	Seleccionar EC e inserto (si hay)
E	Ensobrar el EC e inserto (si hay)
E	Doblar tapas en lotes de 25 sobres al mismo tiempo y luego doblar cada tapa un sobre fácilmente
E	Sellar con cinta adhesiva
C3	Clasificar separando los sobres para enlazar por zona (o enlazar por lotes de 50 sobres la zona es mayor que 50 sobres) tomando en cuenta una o varias letras indicadas en el label, el producto está en orden de provincia y de zona
CO	Contar los EC's para revisar que falte ninguno

Fuente: Generación Propia.

Tabla 37. Producto Etafashion EC por Operaciones y Actividades

Etafashion Estado de Cuenta	
<i>Operaciones</i>	<i>Actividades</i>
T	Leer código de lista
T	Clasificar por marcas, retenciones o actualizaciones, enligar lotes de 50 EC's y poner en bandeja
T	Marcar revisado o no encontrado en la lista
C3	Clasificar separando los sobres para enligar por zona (o enligar por lotes de 50 sobres la zona es mayor que 50 sobres) tomando en cuenta una o varias letras indicadas en el label, el producto está en orden de provincia y de zona

Fuente: Generación Propia.

Tabla 38. Producto Diners Revista por Operaciones y Actividades

Diners Revista	
<i>Operaciones</i>	<i>Actividades</i>
EN	Insertar publicidad en revista (si hay)
EN	Enfundar producto e inserto (si hay)
EN	Sellar con cinta adhesiva
L1	Despegar en orden 4 label a la vez en los 4 dedos de una mano, pegar un label en cada producto, enligar lotes de 50 productos y poner en bandeja

Fuente: Generación Propia.

Tabla 39. Producto Diners Notas por Operaciones y Actividades

Diners Notas	
<i>Operaciones</i>	<i>Actividades</i>
CAyR	Clasificar por actualizaciones y retenciones y enligar en lotes de 50
C1	Clasificar los sobres por provincia para enligar por lotes de 50 o del tamaño de una provincia si es menor, tomando en cuenta el número indicado en el label, el producto no está en orden de provincia
D1	Alimentar con lotes de 50 hojas la máquina dobladora y doblar en 2 o 3 partes a máquina
C2	Clasificar los sobres por zona para enligar por lotes de 50 o del tamaño de una zona si es menor, tomando en cuenta una o varias letras indicadas en el label, el producto no está en orden por zona

Fuente: Generación Propia.

Tabla 40. Producto Fybeca Individual EC por Operaciones y Actividades

Fybeca Individual Estados de Cuenta	
<i>Operaciones</i>	<i>Actividades</i>
SD3	Guillotinar por lotes de 500 hojas que resulta en lotes de 1000 EC's
SD3	Grapar las hojas 2 o más del mismo EC, enligar lotes de 50 EC's y poner en bandeja
E	Seleccionar EC e inserto (si hay)
E	Ensobrar Classic y Gold
E	Doblar tapas en lotes de 25 sobres al mismo tiempo y luego doblar cada tapa un sobre fácilmente
E	Sellar con cinta adhesiva
L1	Despegar en orden 4 label a la vez en los 4 dedos de una mano, pegar un label en cada producto
C1	Clasificar los sobres por provincia para enligar por lotes de 50 o del tamaño de una provincia si es menor, tomando en cuenta el número indicado en el label, el producto no está en orden de provincia
C2	Clasificar los sobres por zona para enligar por lotes de 50 o del tamaño de una zona si es menor, tomando en cuenta una o varias letras indicadas en el label, el producto no está en orden por zona

Fuente: Generación Propia.

Tabla 41. Producto Banco de Guayaquil AmEx EC por Operaciones y Actividades

Banco de Guayaquil AmEx Estado de Cuenta	
<i>Operaciones</i>	<i>Actividades</i>
SD6	Cortar a mano las hojas que tengan 2 EC de diferentes personas y separar las hojas que tengan 2 de la misma persona
SD6	Doblar la hoja que tenga 2 EC, grapar la tercera hoja de un mismo EC tomando en cuenta que la hoja con los EC 3 y 4 están en un mismo EC (no se cortan), enligar lotes de 50 EC's y poner en bandeja
CO	Contar los EC's para revisar que falte ninguno
SM	Sacar las diferentes marcas separando por retenciones, actualizaciones, etc.
E	Seleccionar EC e inserto (si hay)
E	Ensobrar el EC e inserto (si hay)
E	Doblar tapas en lotes de 25 sobres al mismo tiempo y luego doblar cada tapa un sobre fácilmente
E	Sellar con cinta adhesiva
CO	Contar los EC's para revisar que falte ninguno
T	Leer código de lista
T	Clasificar por marcar, retenciones o actualizaciones, enligar lotes de 50 EC's y poner en bandeja
T	Marcar revisado o no encontrado en la lista

Fuente: Generación Propia.

Tabla 42. Producto Sukasa EC por Operaciones y Actividades

Sukasa Estado de Cuenta	
<i>Operaciones</i>	<i>Actividades</i>
SD1	Seleccionar lote de 100 EC's para poner en máquina dobladora y doblar EC's en máquina
SD1	Grapar las hojas 2 o más del mismo EC, enligar lotes de 50 EC's y poner en bandeja
E	Coger el EC y 6 insertos y alinearlos
E	Ensobrar el EC e inserto (si hay)
E	Doblar tapas en lotes de 25 sobres al mismo tiempo y luego doblar cada tapa un sobre fácilmente
E	Sellar sobre con cinta adhesiva
LP1	Pegar label personalizado y enligar en lotes de 100 sin perder el orden
C1	Clasificar los sobres por provincia para enligar por lotes de 50 o del tamaño de una provincia si es menor, tomando en cuenta el número indicado en el label, el producto no está en orden de provincia
C2	Clasificar los sobres por zona para enligar por lotes de 50 o del tamaño de una zona si es menor, tomando en cuenta una o varias letras indicadas en el label, el producto no está en orden por zona

Fuente: Generación Propia.

Anexo B. TIEMPOS ESTÁNDAR DE LOS PRODUCTOS MÁS REPRESENTATIVOS POR OPERACIONES

Tabla 43. Tiempos Estándar del Producto Diners EC

Diners Estado de Cuenta	
Operaciones	ST (segundos)
SD2	2.31
E 5I	14.23
C3	1.97
TOTAL	18.51

Fuente: Generación Propia.

Tabla 44. Tiempos Estándar del Producto Banco Pichincha Visa EC

Banco Pichincha Visa Estado de Cuenta	
Operaciones	ST (segundos)
SD3	2.57
E	16.16
C3	1.85
CO	1.11
TOTAL	21.69

Fuente: Generación Propia.

Tabla 45. Tiempos Estándar del Producto Etafashion EC

Etafashion Estado de Cuenta	
Operaciones	ST (segundos)
T	7.98
C3	1.93
TOTAL	9.91

Fuente: Generación Propia.

Tabla 46. Tiempos Estándar del Producto Diners Revista

Diners Revista	
Operaciones	ST (segundos)
EN	13.47
EN IR	18.54
L1	5.47
TOTAL	24.01

Fuente: Generación Propia.

Tabla 47. Tiempos Estándar del Producto Diners Notas

Diners Notas	
Operaciones	ST (segundos)
CAyR	2.04
C1	1.44
D1	0.68
C2	0.96
TOTAL	5.12

Fuente: Generación Propia.

Tabla 48. Tiempos Estándar del Producto Fybeca Individual EC

Fybeca Individual Estados de Cuenta	
Operaciones	ST (segundos)
SD3	2.15
E	15.54
L1	4.50
C1	1.62
C2	1.94
TOTAL	25.75

Fuente: Generación Propia.

Tabla 49. Tiempos Estándar del Producto

Banco de Guayaquil AmEx Estado de Cuenta	
Operaciones	ST (segundos)
SD6	3.96
CO	1.05
SM	1.15
E	11.55
CO	1.15
T	7.80
TOTAL	26.66

Fuente: Generación Propia.

Tabla 50. Tiempos Estándar del Producto Sukasa EC

Sukasa Estado de Cuenta	
Operaciones	ST (segundos)
SD1	3.19
E	12.91
LP1	6.68
C1	3.13
C2	1.82
TOTAL	27.73

Fuente: Generación Propia.

Anexo C. MODELOS PARA LA PROGRAMACIÓN DE LA FUERZA LABORAL REGULAR

C.1. Formulación del Modelo para la FLR del Día

MIN $X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{110} + X_{111} +$
 $X_{112} + X_{113} + X_{114} + X_{115} + X_{116} + X_{117} + X_{118} + X_{119} + X_{120} + X_{121} +$
 $X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{125} + X_{126} + X_{127} + X_{128} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} +$
 $X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{210} + X_{211} + X_{212} + X_{213} + X_{214} + X_{215} +$
 $X_{216} + X_{217} + X_{218} + X_{219} + X_{220} + X_{221} + X_{222} + X_{223} + X_{224} + X_{225} +$
 $X_{226} + X_{227} + X_{228} + X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} +$
 $X_{310} + X_{311} + X_{312} + X_{313} + X_{314} + X_{315} + X_{316} + X_{317} + X_{318} + X_{319} +$
 $X_{320} + X_{321} + X_{322} + X_{323} + X_{324} + X_{325} + X_{326} + X_{327} + X_{328} + X_{41} + X_{42}$
 $+ X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} + X_{410} + X_{411} + X_{412} + X_{413} +$
 $X_{414} + X_{415} + X_{416} + X_{417} + X_{418} + X_{419} + X_{420} + X_{421} + X_{422} + X_{423} +$
 $X_{424} + X_{425} + X_{426} + X_{427} + X_{428} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} +$
 $X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{510} + X_{511} + X_{512} + X_{513} + X_{514} + X_{515} + X_{516} + X_{517} +$
 $X_{518} + X_{519} + X_{520} + X_{521} + X_{522} + X_{523} + X_{524} + X_{525} + X_{526} + X_{527} +$
 $X_{528} + X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{610} + X_{611} +$
 $X_{612} + X_{613} + X_{614} + X_{615} + X_{616} + X_{617} + X_{618} + X_{619} + X_{620} + X_{621} +$
 $X_{622} + X_{623} + X_{624} + X_{625} + X_{626} + X_{627} + X_{628} + X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} +$
 $X_{75} + X_{76} + X_{77} + X_{78} + X_{79} + X_{710} + X_{711} + X_{712} + X_{713} + X_{714} + X_{715} +$
 $X_{716} + X_{717} + X_{718} + X_{719} + X_{720} + X_{721} + X_{722} + X_{723} + X_{724} + X_{725} +$
 $X_{726} + X_{727} + X_{728} + X_{81} + X_{82} + X_{83} + X_{84} + X_{85} + X_{86} + X_{87} + X_{88} + X_{89} +$
 $X_{810} + X_{811} + X_{812} + X_{813} + X_{814} + X_{815} + X_{816} + X_{817} + X_{818} + X_{819} +$
 $X_{820} + X_{821} + X_{822} + X_{823} + X_{824} + X_{825} + X_{826} + X_{827} + X_{828} + X_{91} + X_{92}$
 $+ X_{93} + X_{94} + X_{95} + X_{96} + X_{97} + X_{98} + X_{99} + X_{910} + X_{911} + X_{912} + X_{913} +$
 $X_{914} + X_{915} + X_{916} + X_{917} + X_{918} + X_{919} + X_{920} + X_{921} + X_{922} + X_{923} +$
 $X_{924} + X_{925} + X_{926} + X_{927} + X_{928} + X_{101} + X_{102} + X_{103} + X_{104} + X_{105} +$
 $X_{106} + X_{107} + X_{108} + X_{109} + X_{1010} + X_{1011} + X_{1012} + X_{1013} + X_{1014} +$
 $X_{1015} + X_{1016} + X_{1017} + X_{1018} + X_{1019} + X_{1020} + X_{1021} + X_{1022} + X_{1023} +$
 $X_{1024} + X_{1025} + X_{1026} + X_{1027} + X_{1028} + X_{111} + X_{112} + X_{113} + X_{114} + X_{115}$
 $+ X_{116} + X_{117} + X_{118} + X_{119} + X_{1110} + X_{1111} + X_{1112} + X_{1113} + X_{1114} +$
 $X_{1115} + X_{1116} + X_{1117} + X_{1118} + X_{1119} + X_{1120} + X_{1121} + X_{1122} + X_{1123} +$
 $X_{1124} + X_{1125} + X_{1126} + X_{1127} + X_{1128} + X_{121} + X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{125}$
 $+ X_{126} + X_{127} + X_{128} + X_{129} + X_{1210} + X_{1211} + X_{1212} + X_{1213} + X_{1214} +$
 $X_{1215} + X_{1216} + X_{1217} + X_{1218} + X_{1219} + X_{1220} + X_{1221} + X_{1222} + X_{1223} +$
 $X_{1224} + X_{1225} + X_{1226} + X_{1227} + X_{1228} + X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{135}$
 $+ X_{136} + X_{137} + X_{138} + X_{139} + X_{1310} + X_{1311} + X_{1312} + X_{1313} + X_{1314} +$
 $X_{1315} + X_{1316} + X_{1317} + X_{1318} + X_{1319} + X_{1320} + X_{1321} + X_{1322} + X_{1323} +$
 $X_{1324} + X_{1325} + X_{1326} + X_{1327} + X_{1328} + X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{145}$
 $+ X_{146} + X_{147} + X_{148} + X_{149} + X_{1410} + X_{1411} + X_{1412} + X_{1413} + X_{1414} +$
 $X_{1415} + X_{1416} + X_{1417} + X_{1418} + X_{1419} + X_{1420} + X_{1421} + X_{1422} + X_{1423} +$
 $X_{1424} + X_{1425} + X_{1426} + X_{1427} + X_{1428} + X_{151} + X_{152} + X_{153} + X_{154} + X_{155}$
 $+ X_{156} + X_{157} + X_{158} + X_{159} + X_{1510} + X_{1511} + X_{1512} + X_{1513} + X_{1514} +$
 $X_{1515} + X_{1516} + X_{1517} + X_{1518} + X_{1519} + X_{1520} + X_{1521} + X_{1522} + X_{1523} +$
 $X_{1524} + X_{1525} + X_{1526} + X_{1527} + X_{1528}$

SUBJECT TO

TRAB1) $X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{110} + X_{111} + X_{112} + X_{113} + X_{114} + X_{115} + X_{116} + X_{117} + X_{118} + X_{119} + X_{120} + X_{121} + X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{125} + X_{126} + X_{127} + X_{128} \leq 20$

TRAB2) $X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{210} + X_{211} + X_{212} + X_{213} + X_{214} + X_{215} + X_{216} + X_{217} + X_{218} + X_{219} + X_{220} + X_{221} + X_{222} + X_{223} + X_{224} + X_{225} + X_{226} + X_{227} + X_{228} \leq 20$

TRAB3) $X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{310} + X_{311} + X_{312} + X_{313} + X_{314} + X_{315} + X_{316} + X_{317} + X_{318} + X_{319} + X_{320} + X_{321} + X_{322} + X_{323} + X_{324} + X_{325} + X_{326} + X_{327} + X_{328} \leq 20$

TRAB4) $X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} + X_{410} + X_{411} + X_{412} + X_{413} + X_{414} + X_{415} + X_{416} + X_{417} + X_{418} + X_{419} + X_{420} + X_{421} + X_{422} + X_{423} + X_{424} + X_{425} + X_{426} + X_{427} + X_{428} \leq 20$

TRAB5) $X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{510} + X_{511} + X_{512} + X_{513} + X_{514} + X_{515} + X_{516} + X_{517} + X_{518} + X_{519} + X_{520} + X_{521} + X_{522} + X_{523} + X_{524} + X_{525} + X_{526} + X_{527} + X_{528} \leq 20$

TRAB6) $X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{610} + X_{611} + X_{612} + X_{613} + X_{614} + X_{615} + X_{616} + X_{617} + X_{618} + X_{619} + X_{620} + X_{621} + X_{622} + X_{623} + X_{624} + X_{625} + X_{626} + X_{627} + X_{628} \leq 20$

TRAB7) $X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{77} + X_{78} + X_{79} + X_{710} + X_{711} + X_{712} + X_{713} + X_{714} + X_{715} + X_{716} + X_{717} + X_{718} + X_{719} + X_{720} + X_{721} + X_{722} + X_{723} + X_{724} + X_{725} + X_{726} + X_{727} + X_{728} \leq 20$

TRAB8) $X_{81} + X_{82} + X_{83} + X_{84} + X_{85} + X_{86} + X_{87} + X_{88} + X_{89} + X_{810} + X_{811} + X_{812} + X_{813} + X_{814} + X_{815} + X_{816} + X_{817} + X_{818} + X_{819} + X_{820} + X_{821} + X_{822} + X_{823} + X_{824} + X_{825} + X_{826} + X_{827} + X_{828} \leq 20$

TRAB9) $X_{91} + X_{92} + X_{93} + X_{94} + X_{95} + X_{96} + X_{97} + X_{98} + X_{99} + X_{910} + X_{911} + X_{912} + X_{913} + X_{914} + X_{915} + X_{916} + X_{917} + X_{918} + X_{919} + X_{920} + X_{921} + X_{922} + X_{923} + X_{924} + X_{925} + X_{926} + X_{927} + X_{928} \leq 20$

TRAB10) $X_{101} + X_{102} + X_{103} + X_{104} + X_{105} + X_{106} + X_{107} + X_{108} + X_{109} + X_{1010} + X_{1011} + X_{1012} + X_{1013} + X_{1014} + X_{1015} + X_{1016} + X_{1017} + X_{1018} + X_{1019} + X_{1020} + X_{1021} + X_{1022} + X_{1023} + X_{1024} + X_{1025} + X_{1026} + X_{1027} + X_{1028} \leq 20$

TRAB11) $X_{111} + X_{112} + X_{113} + X_{114} + X_{115} + X_{116} + X_{117} + X_{118} + X_{119} + X_{1110} + X_{1111} + X_{1112} + X_{1113} + X_{1114} + X_{1115} + X_{1116} + X_{1117} + X_{1118} + X_{1119} + X_{1120} + X_{1121} + X_{1122} + X_{1123} + X_{1124} + X_{1125} + X_{1126} + X_{1127} + X_{1128} \leq 20$

TRAB12) $X_{121} + X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{125} + X_{126} + X_{127} + X_{128} + X_{129} + X_{1210} + X_{1211} + X_{1212} + X_{1213} + X_{1214} + X_{1215} + X_{1216} + X_{1217} + X_{1218} + X_{1219} + X_{1220} + X_{1221} + X_{1222} + X_{1223} + X_{1224} + X_{1225} + X_{1226} + X_{1227} + X_{1228} \leq 20$

TRAB13) $X_{131} + X_{132} + X_{133} + X_{134} + X_{135} + X_{136} + X_{137} + X_{138} + X_{139} + X_{1310} + X_{1311} + X_{1312} + X_{1313} + X_{1314} + X_{1315} + X_{1316} + X_{1317} + X_{1318} + X_{1319} + X_{1320} + X_{1321} + X_{1322} + X_{1323} + X_{1324} + X_{1325} + X_{1326} + X_{1327} + X_{1328} \leq 20$

TRAB14) $X_{141} + X_{142} + X_{143} + X_{144} + X_{145} + X_{146} + X_{147} + X_{148} + X_{149} + X_{1410} + X_{1411} + X_{1412} + X_{1413} + X_{1414} + X_{1415} + X_{1416} + X_{1417} + X_{1418} + X_{1419} + X_{1420} + X_{1421} + X_{1422} + X_{1423} + X_{1424} + X_{1425} + X_{1426} + X_{1427} + X_{1428} \leq 20$

TRAB15) $X151 + X152 + X153 + X154 + X155 + X156 + X157 + X158 + X159 + X1510 + X1511 + X1512 + X1513 + X1514 + X1515 + X1516 + X1517 + X1518 + X1519 + X1520 + X1521 + X1522 + X1523 + X1524 + X1525 + X1526 + X1527 + X1528 \leq 20$

DOM) $X11 + X21 + X31 + X41 + X51 + X61 + X71 + X81 + X91 + X101 + X111 + X121 + X131 + X141 + X151 = 10$

SAB) $X17 + X27 + X37 + X47 + X57 + X67 + X77 + X87 + X97 + X107 + X117 + X127 + X137 + X147 + X157 = 10$

LUN) $X12 + X22 + X32 + X42 + X52 + X62 + X72 + X82 + X92 + X102 + X112 + X122 + X132 + X142 + X152 = 11$

MAR) $X13 + X23 + X33 + X43 + X53 + X63 + X73 + X83 + X93 + X103 + X113 + X123 + X133 + X143 + X153 = 11$

MIE) $X14 + X24 + X34 + X44 + X54 + X64 + X74 + X84 + X94 + X104 + X114 + X124 + X134 + X144 + X154 = 11$

JUE) $X15 + X25 + X35 + X45 + X55 + X65 + X75 + X85 + X95 + X105 + X115 + X125 + X135 + X145 + X155 = 11$

VIE) $X16 + X26 + X36 + X46 + X56 + X66 + X76 + X86 + X96 + X106 + X116 + X126 + X136 + X146 + X156 = 11$

DOM) $X18 + X28 + X38 + X48 + X58 + X68 + X78 + X88 + X98 + X108 + X118 + X128 + X138 + X148 + X158 = 10$

SAB) $X114 + X214 + X314 + X414 + X514 + X614 + X714 + X814 + X914 + X1014 + X1114 + X1214 + X1314 + X1414 + X1514 = 10$

LUN) $X19 + X29 + X39 + X49 + X59 + X69 + X79 + X89 + X99 + X109 + X119 + X129 + X139 + X149 + X159 = 11$

MAR) $X110 + X210 + X310 + X410 + X510 + X610 + X710 + X810 + X910 + X1010 + X1110 + X1210 + X1310 + X1410 + X1510 = 11$

MIE) $X111 + X211 + X311 + X411 + X511 + X611 + X711 + X811 + X911 + X1011 + X1111 + X1211 + X1311 + X1411 + X1511 = 11$

JUE) $X112 + X212 + X312 + X412 + X512 + X612 + X712 + X812 + X912 + X1012 + X1112 + X1212 + X1312 + X1412 + X1512 = 11$

VIE) $X113 + X213 + X313 + X413 + X513 + X613 + X713 + X813 + X913 + X1013 + X1113 + X1213 + X1313 + X1413 + X1513 = 11$

DOM) $X115 + X215 + X315 + X415 + X515 + X615 + X715 + X815 + X915 + X1015 + X1115 + X1215 + X1315 + X1415 + X1515 = 10$

SAB) $X121 + X221 + X321 + X421 + X521 + X621 + X721 + X821 + X921 + X1021 + X1121 + X1221 + X1321 + X1421 + X1521 = 10$

LUN) $X116 + X216 + X316 + X416 + X516 + X616 + X716 + X816 + X916 + X1016 + X1116 + X1216 + X1316 + X1416 + X1516 = 11$

MAR) $X117 + X217 + X317 + X417 + X517 + X617 + X717 + X817 + X917 + X1017 + X1117 + X1217 + X1317 + X1417 + X1517 = 11$

MIE) $X118 + X218 + X318 + X418 + X518 + X618 + X718 + X818 + X918 + X1018 + X1118 + X1218 + X1318 + X1418 + X1518 = 11$

JUE) $X119 + X219 + X319 + X419 + X519 + X619 + X719 + X819 + X919 + X1019 + X1119 + X1219 + X1319 + X1419 + X1519 = 11$

VIE) $X120 + X220 + X320 + X420 + X520 + X620 + X720 + X820 + X920 + X1020 + X1120 + X1220 + X1320 + X1420 + X1520 = 11$

$$\text{DOM) } X_{122} + X_{222} + X_{322} + X_{422} + X_{522} + X_{622} + X_{722} + X_{822} + X_{922} + X_{1022} + X_{1122} + X_{1222} + X_{1322} + X_{1422} + X_{1522} = 10$$

$$\text{SAB) } X_{128} + X_{228} + X_{328} + X_{428} + X_{528} + X_{628} + X_{728} + X_{828} + X_{928} + X_{1028} + X_{1128} + X_{1228} + X_{1328} + X_{1428} + X_{1528} = 10$$

$$\text{LUN) } X_{123} + X_{223} + X_{323} + X_{423} + X_{523} + X_{623} + X_{723} + X_{823} + X_{923} + X_{1023} + X_{1123} + X_{1223} + X_{1323} + X_{1423} + X_{1523} = 11$$

$$\text{MAR) } X_{124} + X_{224} + X_{324} + X_{424} + X_{524} + X_{624} + X_{724} + X_{824} + X_{924} + X_{1024} + X_{1124} + X_{1224} + X_{1324} + X_{1424} + X_{1524} = 11$$

$$\text{MIE) } X_{125} + X_{225} + X_{325} + X_{425} + X_{525} + X_{625} + X_{725} + X_{825} + X_{925} + X_{1025} + X_{1125} + X_{1225} + X_{1325} + X_{1425} + X_{1525} = 11$$

$$\text{JUE) } X_{126} + X_{226} + X_{326} + X_{426} + X_{526} + X_{626} + X_{726} + X_{826} + X_{926} + X_{1026} + X_{1126} + X_{1226} + X_{1326} + X_{1426} + X_{1526} = 11$$

$$\text{VIE) } X_{127} + X_{227} + X_{327} + X_{427} + X_{527} + X_{627} + X_{727} + X_{827} + X_{927} + X_{1027} + X_{1127} + X_{1227} + X_{1327} + X_{1427} + X_{1527} = 11$$

$$X_{11} - X_{21} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{31} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{41} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{51} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{61} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{71} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{81} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{91} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{101} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{111} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{121} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{131} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{141} \leq 0$$

$$X_{11} - X_{151} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{31} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{41} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{51} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{61} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{71} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{81} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{91} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{101} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{111} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{121} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{131} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{141} \leq 0$$

$$X_{21} - X_{151} \leq 0$$

$$X_{31} - X_{41} \leq 0$$

$$X_{31} - X_{51} \leq 0$$

$$X_{31} - X_{61} \leq 0$$

$$X_{31} - X_{71} \leq 0$$

$$X_{31} - X_{81} \leq 0$$

$$X_{31} - X_{91} \leq 0$$

X31 - X101 <= 0
X31 - X111 <= 0
X31 - X121 <= 0
X31 - X131 <= 0
X31 - X141 <= 0
X31 - X151 <= 0
X41 - X51 <= 0
X41 - X61 <= 0
X41 - X71 <= 0
X41 - X81 <= 0
X41 - X91 <= 0
X41 - X101 <= 0
X41 - X111 <= 0
X41 - X121 <= 0
X41 - X131 <= 0
X41 - X141 <= 0
X41 - X151 <= 0
X51 - X61 <= 0
X51 - X71 <= 0
X51 - X81 <= 0
X51 - X91 <= 0
X51 - X101 <= 0
X51 - X111 <= 0
X51 - X121 <= 0
X51 - X131 <= 0
X51 - X141 <= 0
X51 - X151 <= 0
X61 - X71 <= 0
X61 - X81 <= 0
X61 - X91 <= 0
X61 - X101 <= 0
X61 - X111 <= 0
X61 - X121 <= 0
X61 - X131 <= 0
X61 - X141 <= 0
X62 - X151 <= 0
X71 - X81 <= 0
X71 - X91 <= 0
X71 - X101 <= 0
X71 - X111 <= 0
X71 - X121 <= 0
X71 - X131 <= 0
X71 - X141 <= 0
X71 - X151 <= 0
X81 - X91 <= 0
X81 - X101 <= 0
X81 - X111 <= 0
X81 - X121 <= 0
X81 - X131 <= 0

X81 - X141 <= 0
X81 - X151 <= 0
X91 - X101 <= 0
X91 - X111 <= 0
X91 - X121 <= 0
X91 - X131 <= 0
X91 - X141 <= 0
X91 - X151 <= 0
X101 - X111 <= 0
X101 - X121 <= 0
X101 - X131 <= 0
X101 - X141 <= 0
X101 - X151 <= 0
X111 - X121 <= 0
X111 - X131 <= 0
X111 - X141 <= 0
X111 - X151 <= 0
X121 - X131 <= 0
X121 - X141 <= 0
X121 - X151 <= 0
X131 - X141 <= 0
X131 - X151 <= 0
X141 - X151 <= 0

END

INT X11 INT X12 INT X13 INT X14 INT X15 INT X16 INT X17 INT X18 INT X19
INT X110 INT X111 INT X112 INT X113 INT X114 INT X115 INT X116 INT X117
INT X118 INT X119 INT X120 INT X121 INT X122 INT X123 INT X124 INT X125
INT X126 INT X127 INT X128 INT X21 INT X22 INT X23 INT X24 INT X25 INT
X26 INT X27 INT X28 INT X29 INT X210 INT X211 INT X212 INT X213 INT X214
INT X215 INT X216 INT X217 INT X218 INT X219 INT X220 INT X221 INT X222
INT X223 INT X224 INT X225 INT X226 INT X227 INT X228 INT X31 INT X32 INT
X33 INT X34 INT X35 INT X36 INT X37 INT X38 INT X39 INT X310 INT X311 INT
X312 INT X313 INT X314 INT X315 INT X316 INT X317 INT X318 INT X319 INT
X320 INT X321 INT X322 INT X323 INT X324 INT X325 INT X326 INT X327 INT
X328 INT X41 INT X42 INT X43 INT X44 INT X45 INT X46 INT X47 INT X48 INT
X49 INT X410 INT X411 INT X412 INT X413 INT X414 INT X415 INT X416 INT
X417 INT X418 INT X419 INT X420 INT X421 INT X422 INT X423 INT X424 INT
X425 INT X426 INT X427 INT X428 INT X51 INT X52 INT X53 INT X54 INT X55
INT X56 INT X57 INT X58 INT X59 INT X510 INT X511 INT X512 INT X513 INT
X514 INT X515 INT X516 INT X517 INT X518 INT X519 INT X520 INT X521 INT
X522 INT X523 INT X524 INT X525 INT X526 INT X527 INT X528 INT X61 INT
X62 INT X63 INT X64 INT X65 INT X66 INT X67 INT X68 INT X69 INT X610 INT
X611 INT X612 INT X613 INT X614 INT X615 INT X616 INT X617 INT X618 INT
X619 INT X620 INT X621 INT X622 INT X623 INT X624 INT X625 INT X626 INT
X627 INT X628 INT X71 INT X72 INT X73 INT X74 INT X75 INT X76 INT X77 INT
X78 INT X79 INT X710 INT X711 INT X712 INT X713 INT X714 INT X715 INT
X716 INT X717 INT X718 INT X719 INT X720 INT X721 INT X722 INT X723 INT

X724 INT X725 INT X726 INT X727 INT X728 INT X81 INT X82 INT X83 INT X84
INT X85 INT X86 INT X87 INT X88 INT X89 INT X810 INT X811 INT X812 INT
X813 INT X814 INT X815 INT X816 INT X817 INT X818 INT X819 INT X820 INT
X821 INT X822 INT X823 INT X824 INT X825 INT X826 INT X827 INT X828 INT
X91 INT X92 INT X93 INT X94 INT X95 INT X96 INT X97 INT X98 INT X99 INT
X910 INT X911 INT X912 INT X913 INT X914 INT X915 INT X916 INT X917 INT
X918 INT X919 INT X920 INT X921 INT X922 INT X923 INT X924 INT X925 INT
X926 INT X927 INT X928 INT X101 INT X102 INT X103 INT X104 INT X105 INT
X106 INT X107 INT X108 INT X109 INT X1010 INT X1011 INT X1012 INT X1013
INT X1014 INT X1015 INT X1016 INT X1017 INT X1018 INT X1019 INT X1020
INT X1021 INT X1022 INT X1023 INT X1024 INT X1025 INT X1026 INT X1027
INT X1028 INT X111 INT X112 INT X113 INT X114 INT X115 INT X116 INT X117
INT X118 INT X119 INT X1110 INT X1111 INT X1112 INT X1113 INT X1114 INT
X1115 INT X1116 INT X1117 INT X1118 INT X1119 INT X1120 INT X1121 INT
X1122 INT X1123 INT X1124 INT X1125 INT X1126 INT X1127 INT X1128 INT
X121 INT X122 INT X123 INT X124 INT X125 INT X126 INT X127 INT X128 INT
X129 INT X1210 INT X1211 INT X1212 INT X1213 INT X1214 INT X1215 INT
X1216 INT X1217 INT X1218 INT X1219 INT X1220 INT X1221 INT X1222 INT
X1223 INT X1224 INT X1225 INT X1226 INT X1227 INT X1228 INT X131 INT
X132 INT X133 INT X134 INT X135 INT X136 INT X137 INT X138 INT X139 INT
X1310 INT X1311 INT X1312 INT X1313 INT X1314 INT X1315 INT X1316 INT
X1317 INT X1318 INT X1319 INT X1320 INT X1321 INT X1322 INT X1323 INT
X1324 INT X1325 INT X1326 INT X1327 INT X1328 INT X141 INT X142 INT X143
INT X144 INT X145 INT X146 INT X147 INT X148 INT X149 INT X1410 INT
X1411 INT X1412 INT X1413 INT X1414 INT X1415 INT X1416 INT X1417 INT
X1418 INT X1419 INT X1420 INT X1421 INT X1422 INT X1423 INT X1424 INT
X1425 INT X1426 INT X1427 INT X1428 INT X151 INT X152 INT X153 INT X154
INT X155 INT X156 INT X157 INT X158 INT X159 INT X1510 INT X1511 INT
X1512 INT X1513 INT X1514 INT X1515 INT X1516 INT X1517 INT X1518 INT
X1519 INT X1520 INT X1521 INT X1522 INT X1523 INT X1524 INT X1525 INT
X1526 INT X1527 INT X1528

C.2. Formulación del Modelo para la FLR de la Noche

$$\begin{aligned} & \text{MIN } X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{110} + X_{111} + \\ & X_{112} + X_{113} + X_{114} + X_{115} + X_{116} + X_{117} + X_{118} + X_{119} + X_{120} + X_{121} + \\ & X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{125} + X_{126} + X_{127} + X_{128} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + \\ & X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{210} + X_{211} + X_{212} + X_{213} + X_{214} + X_{215} + \\ & X_{216} + X_{217} + X_{218} + X_{219} + X_{220} + X_{221} + X_{222} + X_{223} + X_{224} + X_{225} + \\ & X_{226} + X_{227} + X_{228} + X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + \\ & X_{310} + X_{311} + X_{312} + X_{313} + X_{314} + X_{315} + X_{316} + X_{317} + X_{318} + X_{319} + \\ & X_{320} + X_{321} + X_{322} + X_{323} + X_{324} + X_{325} + X_{326} + X_{327} + X_{328} + X_{41} + X_{42} \\ & + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} + X_{410} + X_{411} + X_{412} + X_{413} + \\ & X_{414} + X_{415} + X_{416} + X_{417} + X_{418} + X_{419} + X_{420} + X_{421} + X_{422} + X_{423} + \\ & X_{424} + X_{425} + X_{426} + X_{427} + X_{428} + X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + \\ & X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{510} + X_{511} + X_{512} + X_{513} + X_{514} + X_{515} + X_{516} + X_{517} + \\ & X_{518} + X_{519} + X_{520} + X_{521} + X_{522} + X_{523} + X_{524} + X_{525} + X_{526} + X_{527} + \\ & X_{528} + X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{610} + X_{611} + \\ & X_{612} + X_{613} + X_{614} + X_{615} + X_{616} + X_{617} + X_{618} + X_{619} + X_{620} + X_{621} + \\ & X_{622} + X_{623} + X_{624} + X_{625} + X_{626} + X_{627} + X_{628} + X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + \\ & X_{75} + X_{76} + X_{77} + X_{78} + X_{79} + X_{710} + X_{711} + X_{712} + X_{713} + X_{714} + X_{715} + \\ & X_{716} + X_{717} + X_{718} + X_{719} + X_{720} + X_{721} + X_{722} + X_{723} + X_{724} + X_{725} + \\ & X_{726} + X_{727} + X_{728} + X_{81} + X_{82} + X_{83} + X_{84} + X_{85} + X_{86} + X_{87} + X_{88} + X_{89} + \\ & X_{810} + X_{811} + X_{812} + X_{813} + X_{814} + X_{815} + X_{816} + X_{817} + X_{818} + X_{819} + \\ & X_{820} + X_{821} + X_{822} + X_{823} + X_{824} + X_{825} + X_{826} + X_{827} + X_{828} + X_{91} + X_{92} \\ & + X_{93} + X_{94} + X_{95} + X_{96} + X_{97} + X_{98} + X_{99} + X_{910} + X_{911} + X_{912} + X_{913} + \\ & X_{914} + X_{915} + X_{916} + X_{917} + X_{918} + X_{919} + X_{920} + X_{921} + X_{922} + X_{923} + \\ & X_{924} + X_{925} + X_{926} + X_{927} + X_{928} + X_{101} + X_{102} + X_{103} + X_{104} + X_{105} + \\ & X_{106} + X_{107} + X_{108} + X_{109} + X_{1010} + X_{1011} + X_{1012} + X_{1013} + X_{1014} + \\ & X_{1015} + X_{1016} + X_{1017} + X_{1018} + X_{1019} + X_{1020} + X_{1021} + X_{1022} + X_{1023} + \\ & X_{1024} + X_{1025} + X_{1026} + X_{1027} + X_{1028} \end{aligned}$$

SUBJECT TO

TRAB1) $X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{110} + X_{111} +$
 $X_{112} + X_{113} + X_{114} + X_{115} + X_{116} + X_{117} + X_{118} + X_{119} + X_{120} + X_{121} +$
 $X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{125} + X_{126} + X_{127} + X_{128} \leq 20$

TRAB2) $X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{210} + X_{211} +$
 $X_{212} + X_{213} + X_{214} + X_{215} + X_{216} + X_{217} + X_{218} + X_{219} + X_{220} + X_{221} +$
 $X_{222} + X_{223} + X_{224} + X_{225} + X_{226} + X_{227} + X_{228} \leq 20$

TRAB3) $X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{310} + X_{311} +$
 $X_{312} + X_{313} + X_{314} + X_{315} + X_{316} + X_{317} + X_{318} + X_{319} + X_{320} + X_{321} +$
 $X_{322} + X_{323} + X_{324} + X_{325} + X_{326} + X_{327} + X_{328} \leq 20$

TRAB4) $X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47} + X_{48} + X_{49} + X_{410} + X_{411} +$
 $X_{412} + X_{413} + X_{414} + X_{415} + X_{416} + X_{417} + X_{418} + X_{419} + X_{420} + X_{421} +$
 $X_{422} + X_{423} + X_{424} + X_{425} + X_{426} + X_{427} + X_{428} \leq 20$

TRAB5) $X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} + X_{58} + X_{59} + X_{510} + X_{511} +$
 $X_{512} + X_{513} + X_{514} + X_{515} + X_{516} + X_{517} + X_{518} + X_{519} + X_{520} + X_{521} +$
 $X_{522} + X_{523} + X_{524} + X_{525} + X_{526} + X_{527} + X_{528} \leq 20$

TRAB6) $X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} + X_{66} + X_{67} + X_{68} + X_{69} + X_{610} + X_{611} + X_{612} + X_{613} + X_{614} + X_{615} + X_{616} + X_{617} + X_{618} + X_{619} + X_{620} + X_{621} + X_{622} + X_{623} + X_{624} + X_{625} + X_{626} + X_{627} + X_{628} \leq 20$

TRAB7) $X_{71} + X_{72} + X_{73} + X_{74} + X_{75} + X_{76} + X_{77} + X_{78} + X_{79} + X_{710} + X_{711} + X_{712} + X_{713} + X_{714} + X_{715} + X_{716} + X_{717} + X_{718} + X_{719} + X_{720} + X_{721} + X_{722} + X_{723} + X_{724} + X_{725} + X_{726} + X_{727} + X_{728} \leq 20$

TRAB8) $X_{81} + X_{82} + X_{83} + X_{84} + X_{85} + X_{86} + X_{87} + X_{88} + X_{89} + X_{810} + X_{811} + X_{812} + X_{813} + X_{814} + X_{815} + X_{816} + X_{817} + X_{818} + X_{819} + X_{820} + X_{821} + X_{822} + X_{823} + X_{824} + X_{825} + X_{826} + X_{827} + X_{828} \leq 20$

TRAB9) $X_{91} + X_{92} + X_{93} + X_{94} + X_{95} + X_{96} + X_{97} + X_{98} + X_{99} + X_{910} + X_{911} + X_{912} + X_{913} + X_{914} + X_{915} + X_{916} + X_{917} + X_{918} + X_{919} + X_{920} + X_{921} + X_{922} + X_{923} + X_{924} + X_{925} + X_{926} + X_{927} + X_{928} \leq 20$

TRAB10) $X_{101} + X_{102} + X_{103} + X_{104} + X_{105} + X_{106} + X_{107} + X_{108} + X_{109} + X_{1010} + X_{1011} + X_{1012} + X_{1013} + X_{1014} + X_{1015} + X_{1016} + X_{1017} + X_{1018} + X_{1019} + X_{1020} + X_{1021} + X_{1022} + X_{1023} + X_{1024} + X_{1025} + X_{1026} + X_{1027} + X_{1028} \leq 20$

DOM) $X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} + X_{101} = 6$

SAB) $X_{17} + X_{27} + X_{37} + X_{47} + X_{57} + X_{67} + X_{77} + X_{87} + X_{97} + X_{107} = 6$

LUN) $X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102} = 7$

MAR) $X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} + X_{83} + X_{93} + X_{103} = 7$

MIE) $X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54} + X_{64} + X_{74} + X_{84} + X_{94} + X_{104} = 8$

JUE) $X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55} + X_{65} + X_{75} + X_{85} + X_{95} + X_{105} = 8$

VIE) $X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{66} + X_{76} + X_{86} + X_{96} + X_{106} = 8$

DOM) $X_{18} + X_{28} + X_{38} + X_{48} + X_{58} + X_{68} + X_{78} + X_{88} + X_{98} + X_{108} = 6$

SAB) $X_{114} + X_{214} + X_{314} + X_{414} + X_{514} + X_{614} + X_{714} + X_{814} + X_{914} + X_{1014} = 6$

LUN) $X_{19} + X_{29} + X_{39} + X_{49} + X_{59} + X_{69} + X_{79} + X_{89} + X_{99} + X_{109} = 7$

MAR) $X_{110} + X_{210} + X_{310} + X_{410} + X_{510} + X_{610} + X_{710} + X_{810} + X_{910} + X_{1010} = 7$

MIE) $X_{111} + X_{211} + X_{311} + X_{411} + X_{511} + X_{611} + X_{711} + X_{811} + X_{911} + X_{1011} = 8$

JUE) $X_{112} + X_{212} + X_{312} + X_{412} + X_{512} + X_{612} + X_{712} + X_{812} + X_{912} + X_{1012} = 8$

VIE) $X_{113} + X_{213} + X_{313} + X_{413} + X_{513} + X_{613} + X_{713} + X_{813} + X_{913} + X_{1013} = 8$

DOM) $X_{115} + X_{215} + X_{315} + X_{415} + X_{515} + X_{615} + X_{715} + X_{815} + X_{915} + X_{1015} = 6$

SAB) $X_{121} + X_{221} + X_{321} + X_{421} + X_{521} + X_{621} + X_{721} + X_{821} + X_{921} + X_{1021} = 6$

LUN) $X_{116} + X_{216} + X_{316} + X_{416} + X_{516} + X_{616} + X_{716} + X_{816} + X_{916} + X_{1016} = 7$

MAR) $X_{117} + X_{217} + X_{317} + X_{417} + X_{517} + X_{617} + X_{717} + X_{817} + X_{917} + X_{1017} = 7$

MIE) $X_{118} + X_{218} + X_{318} + X_{418} + X_{518} + X_{618} + X_{718} + X_{818} + X_{918} + X_{1018} = 8$

$$\text{JUE) } X119 + X219 + X319 + X419 + X519 + X619 + X719 + X819 + X919 + X1019 = 8$$

$$\text{VIE) } X120 + X220 + X320 + X420 + X520 + X620 + X720 + X820 + X920 + X1020 = 8$$

$$\text{DOM) } X122 + X222 + X322 + X422 + X522 + X622 + X722 + X822 + X922 + X1022 = 6$$

$$\text{SAB) } X128 + X228 + X328 + X428 + X528 + X628 + X728 + X828 + X928 + X1028 = 6$$

$$\text{LUN) } X123 + X223 + X323 + X423 + X523 + X623 + X723 + X823 + X923 + X1023 = 7$$

$$\text{MAR) } X124 + X224 + X324 + X424 + X524 + X624 + X724 + X824 + X924 + X1024 = 7$$

$$\text{MIE) } X125 + X225 + X325 + X425 + X525 + X625 + X725 + X825 + X925 + X1025 = 8$$

$$\text{JUE) } X126 + X226 + X326 + X426 + X526 + X626 + X726 + X826 + X926 + X1026 = 8$$

$$\text{VIE) } X127 + X227 + X327 + X427 + X527 + X627 + X727 + X827 + X927 + X1027 = 8$$

$$X11 - X21 \leq 0$$

$$X11 - X31 \leq 0$$

$$X11 - X41 \leq 0$$

$$X11 - X51 \leq 0$$

$$X11 - X61 \leq 0$$

$$X11 - X71 \leq 0$$

$$X11 - X81 \leq 0$$

$$X11 - X91 \leq 0$$

$$X11 - X101 \leq 0$$

$$X21 - X31 \leq 0$$

$$X21 - X41 \leq 0$$

$$X21 - X51 \leq 0$$

$$X21 - X61 \leq 0$$

$$X21 - X71 \leq 0$$

$$X21 - X81 \leq 0$$

$$X21 - X91 \leq 0$$

$$X21 - X101 \leq 0$$

$$X31 - X41 \leq 0$$

$$X31 - X51 \leq 0$$

$$X31 - X61 \leq 0$$

$$X31 - X71 \leq 0$$

$$X31 - X81 \leq 0$$

$$X31 - X91 \leq 0$$

$$X31 - X101 \leq 0$$

$$X41 - X51 \leq 0$$

$$X41 - X61 \leq 0$$

$$X41 - X71 \leq 0$$

$$X41 - X81 \leq 0$$

$$X41 - X91 \leq 0$$

X41 - X101 <= 0
X51 - X61 <= 0
X51 - X71 <= 0
X51 - X81 <= 0
X51 - X91 <= 0
X51 - X101 <= 0
X61 - X71 <= 0
X61 - X81 <= 0
X61 - X91 <= 0
X61 - X101 <= 0
X71 - X81 <= 0
X71 - X91 <= 0
X71 - X101 <= 0
X81 - X91 <= 0
X81 - X101 <= 0
X91 - X101 <= 0

END

INT X11 INT X12 INT X13 INT X14 INT X15 INT X16 INT X17 INT X18 INT X19
INT X110 INT X111 INT X112 INT X113 INT X114 INT X115 INT X116 INT X117
INT X118 INT X119 INT X120 INT X121 INT X122 INT X123 INT X124 INT X125
INT X126 INT X127 INT X128 INT X21 INT X22 INT X23 INT X24 INT X25 INT
X26 INT X27 INT X28 INT X29 INT X210 INT X211 INT X212 INT X213 INT X214
INT X215 INT X216 INT X217 INT X218 INT X219 INT X220 INT X221 INT X222
INT X223 INT X224 INT X225 INT X226 INT X227 INT X228 INT X31 INT X32 INT
X33 INT X34 INT X35 INT X36 INT X37 INT X38 INT X39 INT X310 INT X311 INT
X312 INT X313 INT X314 INT X315 INT X316 INT X317 INT X318 INT X319 INT
X320 INT X321 INT X322 INT X323 INT X324 INT X325 INT X326 INT X327 INT
X328 INT X41 INT X42 INT X43 INT X44 INT X45 INT X46 INT X47 INT X48 INT
X49 INT X410 INT X411 INT X412 INT X413 INT X414 INT X415 INT X416 INT
X417 INT X418 INT X419 INT X420 INT X421 INT X422 INT X423 INT X424 INT
X425 INT X426 INT X427 INT X428 INT X51 INT X52 INT X53 INT X54 INT X55
INT X56 INT X57 INT X58 INT X59 INT X510 INT X511 INT X512 INT X513 INT
X514 INT X515 INT X516 INT X517 INT X518 INT X519 INT X520 INT X521 INT
X522 INT X523 INT X524 INT X525 INT X526 INT X527 INT X528 INT X61 INT
X62 INT X63 INT X64 INT X65 INT X66 INT X67 INT X68 INT X69 INT X610 INT
X611 INT X612 INT X613 INT X614 INT X615 INT X616 INT X617 INT X618 INT
X619 INT X620 INT X621 INT X622 INT X623 INT X624 INT X625 INT X626 INT
X627 INT X628 INT X71 INT X72 INT X73 INT X74 INT X75 INT X76 INT X77 INT
X78 INT X79 INT X710 INT X711 INT X712 INT X713 INT X714 INT X715 INT
X716 INT X717 INT X718 INT X719 INT X720 INT X721 INT X722 INT X723 INT
X724 INT X725 INT X726 INT X727 INT X728 INT X81 INT X82 INT X83 INT X84
INT X85 INT X86 INT X87 INT X88 INT X89 INT X810 INT X811 INT X812 INT
X813 INT X814 INT X815 INT X816 INT X817 INT X818 INT X819 INT X820 INT
X821 INT X822 INT X823 INT X824 INT X825 INT X826 INT X827 INT X828 INT
X91 INT X92 INT X93 INT X94 INT X95 INT X96 INT X97 INT X98 INT X99 INT
X910 INT X911 INT X912 INT X913 INT X914 INT X915 INT X916 INT X917 INT
X918 INT X919 INT X920 INT X921 INT X922 INT X923 INT X924 INT X925 INT

X926 INT X927 INT X928 INT X101 INT X102 INT X103 INT X104 INT X105 INT
X106 INT X107 INT X108 INT X109 INT X1010 INT X1011 INT X1012 INT X1013
INT X1014 INT X1015 INT X1016 INT X1017 INT X1018 INT X1019 INT X1020
INT X1021 INT X1022 INT X1023 INT X1024 INT X1025 INT X1026 INT X1027
INT X1028