

**ANÁLISIS DE LA INTERRELACIÓN HOMBRE-MÁQUINA Y SU INCIDENCIA EN
LA PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN**

ELIANA RINCON ALVAREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
BUCARAMANGA
2005**

**ANÁLISIS DE LA INTERRELACIÓN HOMBRE-MÁQUINA Y SU INCIDENCIA EN
LA PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN**

**AUTOR:
ELIANA RINCON ALVAREZ**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

**DIRECTOR:
NESTOR RAUL ORTIZ PIMIENTO
INGENIERO INDUSTRIAL**

**CODIRECTOR:
JUAN BENJAMIN DUARTE
INGENIERO INDUSTRIAL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
BUCARAMANGA
2005**

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mis acciones y pensamientos
A mis padres, por apoyarme y desear para mí lo mejor
A Wilson, por su compañía y amor infinito
A mis amigos, por sus voces de aliento

Eliana

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 14 |
| 1. LA PROGRAMACION DE LA PRODUCCION Y LA INTERRELACION HOMBRE-MAQUINA | 15 |
| 1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA | 15 |
| 1.2 OBJETIVO GENERAL | 17 |
| 1.3 OBJETIVO ESPECIFICO | 17 |
| 1.4. ALCANCE DEL PROYECTO | 18 |
| 1.5. MARCO TEORICO | 18 |
| 1.5.1. Producción vs. Productividad | 18 |
| 1.5.2. Planificación y Control de la Producción | 19 |
| 1.5.2.1. Programación de Operaciones | 19 |
| 1.5.2.2. Tipos de Sistemas Productivos | 23 |
| 1.5.2.3. Actividades de la Programación de Operaciones | 25 |
| 1.5.3. Selección de la Tecnología | 26 |
| 1.5.4. Estudio de Métodos y Tiempos | 28 |
| 1.5.4.1. Estudio de Métodos | 30 |
| 2. ANÁLISIS MATEMÁTICO DEL PROBLEMA PLANTEADO | 34 |
| 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION | 34 |
| 2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LOS SISTEMAS HOMBRE-MÁQUINA | 37 |
| 2.2.1. Tiempo de Ciclo | 38 |
| 2.2.2. Numero de Operarios | 38 |
| 2.2.3. Tipo y Cantidad por Tipo de Máquinas | 39 |
| 2.2.4. Numero de Productos | 39 |
| 2.2.5. Unidades de Producto que deben salir por ciclo | 39 |
| 2.2.6. Tiempos de Procesamiento de cada producto por tipo de máquina | 39 |

| | |
|--|----|
| 2.3. ESCENARIOS DE ASIGNACION DE RECURSOS PARA LOS SISTEMAS HOMBRE-MÁQUINA | 41 |
| 2.3.1. Escenario 1: Varios Operarios-Máquinas Iguales | 42 |
| 2.3.2. Escenario 2: Varios Operarios-Máquinas Diferentes | 42 |
| 2.4. FUNDAMENTO MATEMATICO DEL MODELO | 44 |
| 2.4.1. Investigación de Operaciones | 44 |
| 2.4.1.1. Clasificación De Modelos En Investigación de Operaciones | 45 |
| 2.4.2. Programación Lineal Entera | 46 |
| 2.4.4. Programa para resolver el Modelo | 46 |
| 3. PROPUESTA METODOLÓGICA | 51 |
| 3.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES DE DECISIÓN Y RESTRICCIONES | 51 |
| 3.1.1. Nomenclatura de las Variables | 51 |
| 3.1.2. Restricciones del Modelo | 56 |
| 3.1.2.1. Restricciones de Tiempo de Ciclo de las Máquinas | 57 |
| 3.1.2.2. Restricciones de Tiempo de Ciclo del Operario | 57 |
| 3.1.2.3. Restricciones para No Compartir Máquinas y No Repetir Decisión | 58 |
| 3.1.2.4. Restricciones de Cantidad de Máquinas por Operario | 58 |
| 3.1.2.5. Restricciones de Demanda | 58 |
| 3.1.3. Metodología para Determinar el Valor de los Parámetros | 59 |
| 3.1.3.1. Restricción 1: Tiempo de Ciclo de las Máquinas | 59 |
| 3.1.3.2. Restricción 2: Tiempo de Ciclo del Operario | 60 |
| 3.1.3.3. Restricción 3: No Compartir Máquinas y No Compartir Decisión | 61 |
| 3.1.3.4. Restricción 4: Cantidad de Máquinas por Operario | 62 |
| 3.1.3.5. Restricción 5: Demanda | 63 |
| 3.1.4. Función Objetivo | 65 |
| 3.2. RECOLECCION DE DATOS | 67 |
| 3.2.1. Datos de Entrada del Modelo | 68 |
| 3.2.2. Tiempos de Procesamiento de las Máquinas | 70 |
| 3.2.3. Matriz del Modelo y Análisis de los Resultados | 70 |

| | |
|--|-----|
| 4. APLICACIÓN DEL MODELO PROPUESTO Y VALIDACIÓN | 75 |
| 4.1. ESCENARIO 1: VARIOS OPERARIOS-MÁQUINAS IGUALES | 75 |
| 4.1.1. Máquinas Iguales- Un Producto | 75 |
| 4.1.2. Máquinas Iguales- Dos Productos | 78 |
| 4.1.2.1. Situación 1 | 78 |
| 4.1.2.2. Situación 2 | 80 |
| 4.1.2.3. Situación 3 | 82 |
| 4.1.2.4. Situación 4 | 84 |
| 4.1.2.5. Situación 5 | 86 |
| 4.2. ESCENARIO 2: VARIOS OPERARIOS-MÁQUINAS DIFERENTES | 89 |
| 4.2.1. Una o Más Unidades de Procesamiento por Tipo | 89 |
| 4.2.1.1. Máquinas Diferentes- Un Producto | 89 |
| 4.2.1.2. Máquinas Diferentes- Dos Productos | 94 |
| CONCLUSIONES | 103 |
| RECOMENDACIONES | 104 |
| BIBLIOGRAFÍA | 105 |

LISTADO DE FIGURAS

| | Pág |
|--|-----|
| Figura 1: Proceso de Planificación y Control de la Producción | 22 |
| Figura 2: Ventana de Especificación del Problema de WinQSB | 48 |
| Figura 3: Formato de matriz de WinQSB | 49 |
| Figura 4: Informe de Resultados (Combined Report) de WinQSB | 50 |
| Figura 5: Factores que inciden en la organización de celdas de fabricación | 52 |
| Figura 6: Definición de Opciones de asignación del Problema | 53 |
| Figura 7: Ventana de Presentación del Programa diseñado para la Recolección de Datos del Modelo | 68 |
| Figura 8: Ventana del botón Máquinas, Operarios y Productos | 69 |
| Figura 9: Ventana del botón Tiempos de Procesamiento | 70 |
| Figura 10: Ventana del botón Matriz de Solución y Resultados | 71 |
| Figura 11: Cuadro de dialogo de la opción Exportar a WinQSB | 72 |
| Figura 12: Ventana de la pestaña Análisis de Resultados | 74 |
| Figura 13: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.1. | 76 |
| Figura 14: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.1 | 77 |
| Figura 15: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.2.1. | 80 |
| Figura 16: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.2.1. | 80 |
| Figura 17: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.2.2. | 81 |
| Figura 18: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.2.2. | 82 |
| Figura 19: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.2.3. | 83 |
| Figura 20: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.2.3. | 84 |
| Figura 21: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.2.4. | 85 |
| Figura 22: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.2.4. | 86 |
| Figura 23: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.2.5. | 87 |
| Figura 24: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.2.5. | 88 |
| Figura 25: Matriz del modelo del problema 1 del numeral 4.2.1.1. | 90 |
| Figura 26: Resultados del modelo del problema 1 del numeral 4.2.1.1. | 90 |
| Figura 27: Matriz del modelo del problema 1 del numeral 4.2.1.1. | 92 |
| Figura 28: Resultados del modelo del problema del numeral 4.2.1.1. | 93 |
| Figura 29: Matriz del modelo del problema | 94 |
| Figura 30: Resultados del modelo del problema | 95 |
| Figura 31: Matriz del modelo del problema | 97 |

| | |
|---|-----|
| Figura 32: Resultados del modelo del problema. | 97 |
| Figura 33: Matriz del modelo del problema | 99 |
| Figura 34: Resultados del modelo del problema | 99 |
| Figura 35: Matriz del modelo del problema | 101 |
| Figura 36: Resultados del modelo del problema | 102 |

LISTADO DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1: Tipos de Sistemas Productivos | 25 |
| Tabla 2: Intervención del hombre en los tipos de producción | 28 |
| Tabla 3: Nomenclatura de las variables de decisión del modelo | 56 |
| Tabla 4: Cuadro Resumen de las Restricciones del modelo | 65 |
| Tabla 5: Datos de tipo, cantidad y tiempos de procesamiento de las máquinas del problema 4.1.1. | 75 |
| Tabla 6: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.1. | 78 |
| Tabla 7: Datos de tipo, cantidad y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.2.1. | 78 |
| Tabla 8: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.2.1. | 80 |
| Tabla 9: Datos de tipo, cantidad y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.1. | 81 |
| Tabla 10: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.2.2. | 82 |
| Tabla 11: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.2.3. | 83 |
| Tabla 12: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.2.3. | 84 |
| Tabla 13: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.2.4 | 85 |
| Tabla 14: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.2.4. | 86 |
| Tabla 15: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.2.5. | 87 |
| Tabla 16: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.2.5. | 88 |
| Tabla 17: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del problema 1 numeral 4.2.1.1. | 89 |
| Tabla 18: Diagrama hombre-máquina del problema 1 del numeral 4.2.1.1. | 91 |
| Tabla 19: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del problema 2 numeral 4.2.1.1. | 91 |
| Tabla 20: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.2.1.1. | 93 |
| Tabla 21: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas | 94 |
| Tabla 22: Diagrama hombre-máquina del problema | 96 |
| Tabla 23: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas | 96 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 24: Diagrama hombre-máquina del problema | 98 |
| Tabla 25: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas | 98 |
| Tabla 26: Diagrama hombre-máquina del problema | 98 |
| Tabla 27: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas | 100 |
| Tabla 28: Diagrama hombre-máquina del problema | 102 |

TITULO: ANÁLISIS DE LA INTERRELACIÓN HOMBRE-MÁQUINA Y SU INCIDENCIA EN LA PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

AUTOR: ELIANA RINCON ALVAREZ**

PALABRAS CLAVES:

CELDAS DE FABRICACIÓN, DIAGRAMA DE ACTIVIDADES MULTIPLES, PROGRAMACION LINEAL ENTERA BINARIA.

DESCRIPCIÓN:

Debido a que las celdas de fabricación son día a día una de las formas de producción más utilizadas por las organizaciones con el fin de aplicar conceptos o filosofías como la Tecnología de Grupo, Justo a Tiempo (JIT), etc., y así obtener un mejor aprovechamiento de los recursos; el problema que se aborda en el proyecto, es el relacionado con la organización del trabajo en las celdas de fabricación para aquellos casos en los que el hombre y la máquina interactúan, es decir, en los sistemas hombre-máquina.

Para tratar el problema se expone una metodología fácil de usar y accesible a todos los interesados, que lleva al planteamiento de un modelo matemático en programación lineal entera binaria, que permite obtener una asignación factible de recursos considerando las características de las celdas de fabricación y las restricciones de operación; basada en el análisis de la información necesaria para la construcción de los diagramas hombre-máquina o de actividad múltiple.

La asignación que se obtiene a partir del modelo garantiza el cumplimiento de los requerimientos de tiempo y producción señalados por el ciclo de fabricación que establece particularmente cada celda; a la vez que se indica el número de máquinas por operario y los productos que deben ser trabajados por máquina.

* Trabajo de investigación

** Facultad de Físico mecánicas – Escuela de Estudios Industriales y Empresariales – Dirigido por Néstor Raúl Ortiz

TITLE: MAN AND MACHINE INTERRELATION ANALYSIS AND THEIR INCIDENCE IN THE PRODUCTION PROGRAMMING

AUTHORS: ELIANA RINCON ALVAREZ**

KEY WORDS:

MANUFACTURING CELLS, MULTIPLE ACTIVITY CHART, INTEGER PROGRAMMING.

DESCRIPTION:

Because the cells of production are day by day, one of the more used ways of productions by the organizations with the purpose of applying concepts or philosophies like the Technology of Group, Just in time (JIT), etc., and this way to obtain a better use of the resources; the problem that is approached in the project, is the related with the organization of the work in the cells of production in cases in which the operator and machine interact, it means, in the systems man-machine.

To treat the problem, a methodology it is exposed easy to use and accessible to all the interested ones that it takes to the position of a mathematical model in integer lineal programming that allows to obtain a feasible assignment of resources considering the characteristics of the cells of production and the operation restrictions; based on the analysis of the necessary information for the construction of the diagrams man-machine or of multiple activity.

The assignment obtained from the model guarantees the execution of the time requirements and production by the cycle of production that establishes each cell particularly.

* Investigation work.

** Faculty of Physics Mechanics - School of Industrial and Managerial Studies – Directed by Nestor Raul Ortiz. **

INTRODUCCION

Este proyecto surge de la necesidad de contar con una herramienta matemática que contribuya de forma rápida y exacta a la resolución de los problemas de la programación de la producción en los Sistemas Hombre-Máquina. Aunque el mayor problema comúnmente tratado en este tipo de sistemas se relaciona con la distribución de los recursos, lo que a simple vista puede parecer sencillo de resolver, puede convertirse en problema difícil de manejar cuando la cantidad de alguno de los recursos, ya sea máquinas, operarios y/o productos del problema aumentan el número de posibilidades de asignación de máquinas y formas de carga a cada operario.

En la academia, la herramienta que se utiliza para el análisis de los Sistemas Hombre-Máquina son los diagramas de actividades múltiples, estos aunque permiten visualizar rápidamente las diferencias en carga de trabajo de los operarios, presentan carencias, a medida que el problema aumenta su complejidad para obtener por lo menos una asignación que cumpla con los requerimientos de tiempo y de producción que un ciclo de producción establece. Tal carencia lleva por tanto a que no se comprenda de forma más detallada como el aprovechamiento adecuado de los recursos incide en la productividad de las operaciones.

Es así como este proyecto contribuye en el análisis de los sistemas hombre-máquina, con el diseño de un modelo matemático que permite obtener una asignación factible de recursos considerando las características de las celdas de fabricación y las restricciones de operación para la construcción de los diagramas de actividades múltiples.

1. LA PROGRAMACION DE LA PRODUCCION Y LA INTERRELACION HOMBRE-MAQUINA

1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA

En los ambientes actuales de producción, en los que se hace necesario la adopción de nuevas tecnologías o herramientas, que permitan mantener un equilibrio entre las demandas del mercado y la programación de la producción, se requiere que las personas encargadas de la administración de la producción y las operaciones posean el conocimiento detallado del tipo de sistema productivo y de las subfunciones de la programación de la producción, con el fin de garantizar el aprovechamiento adecuado de los recursos tecnológicos y humanos de la empresa. La administración de las operaciones debe por tal motivo ir orientada, de acuerdo a un enfoque de mejora continua, al empleo de herramientas de análisis que ayuden a detectar posibilidades de perfeccionamiento en el proceso o métodos de trabajo.

El cumplimiento de esos dos objetivos [los requerimientos del cliente y los programas de producción], se logra a través de un estudio continuo que busca determinar la condición externa e interna de la empresa; con el fin de identificar las ventajas competitivas que estén acordes a su capacidad operativa y a la imagen que desea proyectar a sus clientes. Para ello las empresas se someten a una cantidad de análisis y cambios no solo en las políticas de producción sino también en la adquisición de maquinarias y equipos que generen productos con mejores acabados en un menor tiempo de proceso.

La calidad de los productos y los tiempos de entrega se han convertido en los aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de analizar un proceso o modificarlo. Muchas de las empresas actualmente cuentan con clientes que exigen

de entrada un cumplimiento estricto de los requerimientos del producto [calidad, funcionalidad, precisión, medidas, acabados, etc.] y una entrega oportuna, un ejemplo de ello son las industrias automovilística, aeronáutica, electrónica, etc.; en los cuales el menor grado de imprecisión y/o retraso en los productos puede implicar un elevado costo. Para ello se han venido modificando los procesos con ayuda de la tecnología, con el fin de mejorar o reemplazar aquellos que anteriormente se realizaban de forma manual, obteniendo así su automatización parcial (semiautomáticos) o total (automáticos).

Los procesos en los que las máquinas cumplen un porcentaje relevante de trabajo, y es necesaria aún la intervención del operario para el cumplimiento de algunas tareas dentro del proceso, se denominan **Sistemas Hombre-Máquina**. Los beneficios más comunes que traen estos procesos (semiautomáticos o automáticos) son: menor desperdicio de materiales, alto cumplimiento de los requerimientos de los productos (medidas, precisión, etc.), menor tiempo de procesamiento y mayor calidad.

Aunque la Programación de la Producción es la última y más limitada de las decisiones que se toman en la jerarquía de decisiones dentro de una empresa, es la que tiene un mayor impacto sobre los objetivos operacionales propuestos; debido a que la Programación de la Producción involucra distintos problemas que se relacionan con: la capacidad de producción de las máquinas, flujo de materiales, inventarios, mano de obra, diferencias de cargas de trabajo entre los centros de producción, correspondencia entre el número de máquinas por operarios, tiempos inactivos de máquinas y/o operarios. Lo anterior lleva a que el tomador de decisiones se interese cada vez más en contar con herramientas que le ayuden a tomar decisiones de forma rápida y además que le permita realizar un uso óptimo de los recursos.

Con el ánimo de contribuir al análisis de los sistemas hombres-máquinas para la formación de centros de fabricación se plantea un modelo matemático que permite determinar una asignación adecuada de recursos (máquinas y operarios) **basada en la maximización de la confiabilidad del sistema**; y que además especifica las limitaciones, restricciones y requisitos del sistema en función de sus variables de decisión. Este modelo utiliza como método de solución la Programación Lineal Entera, ya que es la técnica de la Investigación de Operaciones que más se ajusta al problema de decisión.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una metodología por medio de un análisis cuantitativo que permita la organización del trabajo en las celdas de fabricación con el fin de garantizar el cumplimiento de tiempo y demanda

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o definir los casos de programación de la producción que se tomarán de base para el desarrollo del proyecto.
- Construir el modelo matemático que represente el problema, teniendo en cuenta los requisitos, restricciones y limitaciones de cada caso de estudio.
- Validar el modelo, a través de la comparación de los resultados obtenidos del modelo y el diagrama de actividades múltiples.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto estará limitado al diseño de una metodología de análisis para la interrelación hombre-máquina la cual se definirá de manera particular a los siguientes dos casos de programación de la producción.

Caso 1: Varios operarios - Máquinas iguales

Caso 2: Varios operarios – Máquinas diferentes

1.5. MARCO TEORICO

1.5.1. Producción vs. Productividad. La **productividad** es un tipo especial de la medida de la eficiencia, que se define como la **relación** entre lo que se produce y los recursos utilizados en la producción, el indicador más usado de la producción es el de horas –hombres lo cual en términos de empleados es sinónimo de rendimiento. La **producción** por su parte, consiste en una **secuencia de operaciones** que transforma los materiales, haciendo que pasen de una forma dada a otra que se desea obtener.

Sin embargo aunque los dos conceptos presentan diferencias en su definición, apuntan a un mismo objetivo que es el aumento de la rentabilidad de la empresa; debido a que se considera que la máxima rentabilidad de la producción se obtiene fabricando la cantidad requerida de productos, en óptima calidad, en el tiempo convenido, utilizando el mejor método, y al más bajo costo¹. Lo que lleva a concluir que la rentabilidad de la producción esta en función de una excelente utilización de los recursos, evitando por tanto el desperdicio de todo aquel recurso que contribuya a la obtención de los productos. Esto traducido en términos cuantitativos puede verse reflejado en la relación de productividad $\frac{\text{producción}}{\text{Horas – hombre}}$, debido a que un aumento en el numerador tiene por objeto reducir o mantener constante la cantidad de horas-hombre y viceversa.

¹Adaptado de EILON Samuel. La producción, planificación, organización y control. España: Labor, 1976, p.9

Para alcanzar este objetivo común, es necesario que la dirección y gestión empresarial se sirvan de la planificación y control de la producción como instrumentos de coordinación de todas las actividades productivas.

1.5.2. Planificación y Control de la Producción. Según D. MACHUCA², para que las actividades productivas que se realizan dentro de una empresa cumplan con los objetivos y planes establecidos por los niveles estratégicos, tácticos y operativos; se hace necesario el seguimiento de una estructura básica para la planificación y control de la producción (véase Figura1). Esta estructura se establece con el fin de permitir la coordinación en el desarrollo de las distintas etapas y con ello, la consecución de los objetivos de los niveles superiores. A continuación se explicara brevemente cada una de las etapas:

- Planificación estratégica o a largo plazo
- Planificación táctica o a medio plazo
- Programación maestra
- Programación de Componentes³
- Ejecución y control

- Planificación Estratégica o a Largo Plazo

Esta etapa se compone de tres planes que reúnen los objetivos estratégicos de la empresa: Plan de Ventas, Plan de Producción a largo plazo y Plan Financiero.

En el Plan de Ventas se establecen las cifras de demanda que se deberán alcanzar para cumplir los objetivos de la empresa, el Plan de Producción indicara las cantidades de producto que se deberán producir en el largo plazo, y el Plan

² Adaptado de Domínguez Machuca, Dirección de Operaciones: Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. Madrid: McGraw Hill, 1995.

³ Se refiere a cada una de las partes que integra el producto final.

Financiero define de acuerdo a las necesidades previstas que recursos en términos económicos se necesitaran para llevarse a cabo.

- Planificación Táctica o a Medio Plazo

Esta etapa se basa en la concretización de las estrategias establecidas en los planes anteriores pero para periodos más cortos. Según D. MACHUCA, en esta etapa deberá pasarse a nivel táctico para así, concretar el Plan de Producción a Largo Plazo en otro denominado Plan Agregado de Producción. Esta es considerada como la misión a cumplir por el Departamento de Operaciones.

- Planificación Operativa o Corto Plazo

En esta etapa se busca un alto grado de detalle con el fin de concretar los planes estratégicos y los objetivos globales de la empresa para cada una de las áreas y subáreas funcionales. Se desarrolla en tres partes que son:

- × Programación Maestra
- × Programación de Componentes
- × Ejecución y Control

- × Programación Maestra

La Programación Maestra de la Producción establece a través de un programa las necesidades netas de fabricación y los periodos de tiempo para cumplirlas. Además se realiza un análisis aproximado de capacidad que permita garantizar la viabilidad del Programa Maestro de la Producción obtenido en esta etapa y la consecución de aquellas necesidades derivadas de actividades distintas a la elaboración de los productos, pero necesarias.

× Programación de Componentes

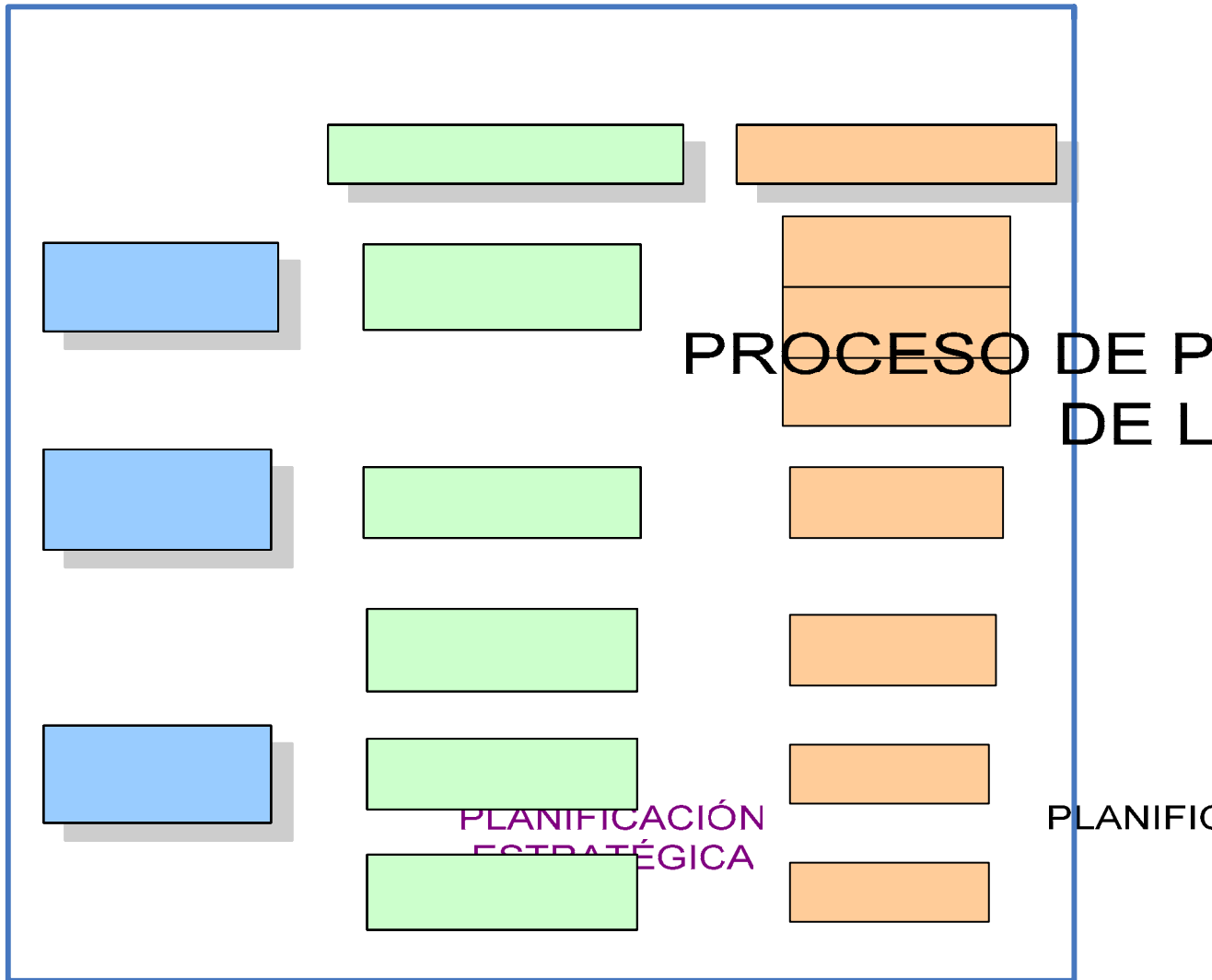
En esta etapa se lleva a cabo la programación detallada de los componentes que integran los distintos productos y de la capacidad de producción requerida por los mismos. De esta etapa debe obtenerse el Plan de Materiales.

Aquí el grado de detalle alcanzado es alto; ya que los responsables de cada puesto de trabajo reciben un programa en el cual se les especifican las necesidades de mano de obra, material, componentes, etc., necesarios para dar cumplimiento al nuevo ciclo de fabricación requerido.

× Ejecución y Control

En esta última etapa también llamada Gestión de Talleres, se realiza la ejecución y control del Plan de Materiales elaborado en la etapa anterior. Aquí se busca obtener la Programación de Operaciones; plan en el cual se pretende ahondar con el propósito de observar su incidencia con los Sistemas Hombre-Máquina.

Figura 1: Proceso de Planificación y Control de la Producción



Fuente: Adaptado de DOMÍNGUEZ M, José A. Dirección de Operaciones: Aspectos estratégicos en la producción y los servicios. Madrid: McGraw Hill, 1995, p. 35

1.5.2.1. Programación de Operaciones: según Schoroeder⁴, la programación busca dar como resultado un plan proyectado sobre el tiempo o programa de actividades. El programa indica que debe hacerse, cuando debe hacerse, quien lo debe hacer y con qué equipo.

⁴ SCHOROEDER Roger G. Administración de Operaciones. Ciudad de México: Fuentes Impresores S.A., 1993.

PLA
AGRE

PRO
MA
PR

La programación debe distinguirse de la planeación agregada, ya que la planeación busca determinar los recursos necesarios, mientras que la programación asigna los recursos disponibles a través de la planeación agregada en la mejor forma para cumplir con los objetivos de operaciones. La planeación agregada se hace dentro de un marco conceptual de tiempo de aproximadamente un año, mientras que la programación se realiza dentro de un marco conceptual de algunos meses, semanas o incluso horas.

En la programación se busca lograr objetivos distintos que entran en conflicto: un alto nivel de eficiencia, bajos inventarios y un buen servicio a clientes. La eficiencia se logra mediante un programa que mantenga una alta utilización de mano de obra, equipo y espacio. Por supuesto el programa también debe buscar mantener bajos inventarios, aunque tal objetivo puede ocasionar una baja eficiencia debido a la falta de material disponible; para tal caso se debe tomar de compensación en la programación entre la eficiencia y los niveles de inventario. El servicio a clientes se puede medir por la velocidad con que se satisfacen las demandas de los clientes, ya sea a través del inventario disponible o con tiempos de entrega cortos.

La Programación de Operaciones se planifica teniendo en cuenta un horizonte de tiempo, el cual puede variar de un sistema productivo a otro, ya que depende de las características del proceso productivo y su entorno.

1.5.2.2. Tipos de Sistemas Productivos: según Buffa⁵, los sistemas productivos deben relacionarse con las estrategias del producto adoptadas, es decir, debe conocerse la naturaleza de demanda del producto la cual depende del ciclo de vida del mismo, y los criterios competitivos tales como calidad, costo, entrega oportuna y flexibilidad, con que se relacionan. De acuerdo a esto se plantea dos situaciones extremas de producción:

⁵ BUFFA, Elwood. Administración de la producción y las operaciones. México, D.F: Limusa, 2000.

La primera es aquella en la que los productos son hechos a la medida por lo que su **sistema** es **enfocado al proceso**, es un sistema flexible que permite cumplir con las exigencias del cliente con demanda intermitente. Muchos autores catalogan a este tipo de sistema como **configuración por proyecto**, en este tipo de sistema la utilización de las instalaciones que lo conforman dependerá del diseño del producto. La segunda es un **sistema enfocado al producto** en el cual se elaboran productos altamente estandarizados, con lo que es necesaria una utilización continua de las instalaciones. La demanda es continua por que se generan altos volúmenes de producción. Muchos autores lo designan como **configuración continua**.

Entre estos sistemas productivos extremos, se ubica un tipo de sistema que debe manejar, productos múltiples de bajo y alto volumen. Según D, Machuca⁶ este sistema productivo es el de **configuración por lotes**. Aquí se tienen productos múltiples los cuales se producen en lotes para obtener economías de escala. Dentro de este tipo de configuración existe una clasificación que dependiendo de la variedad de productos y la cantidad del lote se obtiene un tipo de distribución. **Distribución en línea**, se fabrican pocos productos en lotes homogéneos de gran tamaño. Los productos presentan las mismas secuencias de paso por las instalaciones. **Distribución por funciones**, se fabrica bajo pedido y obtienen lotes de pequeño tamaño de una gran variedad de productos.

En la Tabla 1, se observa como se relacionan las dos clasificaciones de los sistemas productivos establecidas por Buffa y Machuca.

⁶ Tomado de DOMÍNGUEZ M, José A. Dirección de Operaciones: Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. Madrid: McGraw Hill, 1995.

Tabla 1: Tipos de Sistemas Productivos

| 1. SISTEMAS PRODUCTIVOS | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 2. ENFOCADOS AL PROCESO | 3. Configuración por Proyecto |
| 4. CONFIGURACIÓN POR LOTES | 5. Distribución en Línea |
| | 6. Distribución por Funciones |
| 7. ENFOCADOS AL PRODUCTO | 8. Configuración Continua |

1.5.2.3. Actividades de la Programación de Operaciones: para obtener el Programa de Operaciones es necesario contemplar ciertas actividades que ayuden a traducir los planes de producción a términos operacionales y así conseguir su implementación en el taller. Tales actividades se relacionan con los problemas de programación que se presentan en cada tipo de sistema productivo, los cuales varían de acuerdo a sus características.

En el sistema productivo de Configuración por Lotes en la que se utiliza una Distribución por Funciones, las actividades que se contemplan son:

- **Asignación:** Se refiere a la asignación de pedidos a los centros de trabajo considerando las operaciones que se le deberán realizar.
- **Secuenciación:** Establece el orden de paso de los pedidos a través de los centros de trabajo.
- **Programación Detallada:** Indica las fechas de inicio y finalización de las actividades en cada centro de trabajo.

En la Configuración Continua los problemas de programación se resuelven mediante el diseño del proceso, puesto que el producto fluye de manera uniforme de una estación a otra. Aquí las actividades de programación se reducen al ajuste

del ritmo de producción con el fin de obtener cantidades fijas de salida de producto al final del ciclo de producción.

Para el desarrollo de este proyecto, los sistemas de Configuración Continua, presentan similitud en los objetivos de los sistemas hombre-máquina debido a que se caracterizan por ser altamente integrados, por lo que la(s) operación(es) que realiza cada máquina no necesitan ser especificada, y además recurren por lo general a la mecanización y automatización para el diseño del proceso, buscando una mayor estandarización y disminución en costos.

1.5.3. Selección de la Tecnología. Existen muchas posibles selecciones de tecnología para un proceso específico. Sin embargo las decisiones sobre la selección de proceso y de la tecnología se relacionan entre sí, al punto de que ambas decisiones se deban tomar en conjunto. Aunque en ocasiones estas dos selecciones (proceso y tecnología), puedan llegar a considerarse como decisiones de bajo nivel, debido a que se relacionan principalmente con aspectos operativos, no debe menospreciarse su incidencia en la productiva de la empresa, ya que tales decisiones son de naturaleza estratégica y por tanto deberán ser acordes a los objetivos globales y a las ventajas competitivas que la empresa desea ofrecer a sus clientes, como calidad, tiempos de entrega y flexibilidad en las operaciones. Además, es una decisión que tiene incidencia directa sobre el diseño y ciclo de vida del producto; debido a que los productos son sometidos constantemente, en el uso, a rediseños e innovaciones.

La tecnología requerida por un proceso puede clasificarse de distintas maneras, ya sea por la naturaleza misma del proceso o por su progresión histórica. Según Buffa⁷, es beneficiosa una clasificación de acuerdo a su progresión histórica, debido a que se puede observar y comparar como afecta a cada una de las prioridades competitivas, tal clasificación se divide en tres partes:

⁷ BUFFA, Elwood. Administración de la producción y las operaciones. México, D.F: Limusa, 2000.

- Manual
- Mecanizada
- Automatizada

Aunque el desarrollo tecnológico se mide sobre la base de los diversos tipos de producción: producción manual, producción mecanizada, producción automatizada (véase Tabla 2); es importante resaltar que el papel desempeñado por la mano de obra (operarios, obreros, etc.) en cada una de las etapas es totalmente diferente. Debido a que el avance tecnológico ha permitido el desplazamiento de funciones realizadas por el hombre a máquinas o herramientas.

Tabla 2: Intervención del hombre en los tipos de producción

| 9. | 10. CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE PRODUCCIÓN | 11. FUNCIONES A CARGO DEL TRABAJADOR EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN |
|------------------------------|---|--|
| 12. PRODUCCIÓN MANUAL 13. | 14. El personal que se empleaba era altamente calificado. El éxito del proceso dependía directamente de la habilidad y destreza del trabajador. | 15. Motor y Controlador |
| 16. PRODUCCIÓN MECANIZADA | 17. Los operarios suministran las materias primas y materiales a las máquinas, las operan y descargan. | 18. Controlador |
| 19. PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA | 20. Las máquinas se encargan de todas las funciones operacionales, incluyendo (en ocasiones) el proceso de elaboración de información, toma de decisiones y acciones. | 21. Monitoreo |

Sin embargo, para el presente proyecto el interés se centra en las máquinas semiautomáticas, las cuales aparecieron de forma gradual al querer sustituirse el trabajo mecánico por el automático. Este tipo de máquinas, realizan ciclos

automáticamente, por lo que en ese tiempo el operario queda liberado para la realización de otras tareas, lo que contribuye al aumento de la productividad por hombre ya que a un mismo operario se le puede asignar varias máquinas realizando la carga y la descarga de una durante el tiempo de realización del ciclo automático de las otras.

A continuación se abordara un tema, que expondrá la necesidad de mejorar continuamente los procesos productivos a través del tiempo, además permitirá identificar y analizar una de las herramientas que permiten el análisis de los sistemas hombre-máquina.

1.5.4. Estudio de Métodos y Tiempos. Como se ha mencionado a lo largo de este capítulo, la principal de las preocupaciones que se aborda tanto en los planes de largo como de corto plazo es la utilización o adopción de métodos, herramientas, tecnología, etc., que contribuyan al aumento de la productividad. Por tal razón es necesario identificar que factores afectan la productividad, a continuación se mencionaran algunos de ellos:

- Métodos y Equipos con los cuales se llevan a cabo los procesos. Aquí las mejoras pueden ir enfocadas a la adopción de tecnología en los procesos (ejemplo: manual o mecanizada), disminución de los tiempos de los tiempos de espera, diseño de programas de mantenimiento preventivo, entre otros.
- Utilización de los Recursos. En este factor se analiza la capacidad de trabajo de máquinas, equipos y espacios con los que una empresa cuenta; es decir se estudia posibilidades de asignación de trabajo a equipos o máquinas que subutilizadas, diseño de estructuras que permitan un mejor aprovechamiento de espacios, entre otros.

- Nivel de Desempeño de los trabajadores. Este es un factor que debe ser abordado con especial interés debido a que el recurso más importante de la empresa es las personas, y sin ellas cualquier proceso productivo no podría funcionar.

De acuerdo a lo anterior se puede observar que la adopción de mejoras en uno u otro factor, lleva a que continuamente las empresas realicen análisis acerca de cómo los métodos actuales se desarrollan, cómo sus trabajadores realizan sus tareas, etc. Estos análisis pueden desarrollarse a través de los Estudios de Métodos y Tiempos, ya que permiten según Barnes⁸, el análisis sistemático de los métodos de trabajo, con el fin de:

- Establecer métodos y sistemas mejores, generalmente con un costo mínimo;
- Normalizar dichos sistemas y métodos;
- Determinar el tiempo para que una persona realice cierta tarea u operación trabajando a una marcha normal;
- Ayudar al operario a definir el mejor método de trabajo.

El Estudio de Métodos y Tiempos se compone de dos estudios que son el estudio de tiempos y el estudio de movimientos. El estudio de tiempos permite determinar el tiempo necesario para realizar una tarea trabajando a una marcha normal. El otro estudio se tratará de forma más detallada, debido a que se desea a través de este proyecto, el diseño de una herramienta que ayude a mejorar el método de trabajo a través de una asignación de máquinas a operarios buscando un equilibrio de cargas de trabajo.

⁸ Adaptado de BARNES, Ralph. Estudio de Tiempos y Movimientos. Madrid: Aguilar, 1979.

1.5.4.1. Estudio de Métodos: el estudio de movimientos consiste en dividir el trabajo en los elementos más fundamentales posibles, estudiarlos independientemente y en sus relaciones mutuas, y una vez conocidos los tiempos que absorben ellos, crear métodos que disminuyan al mínimo el desperdicio de mano de obra.

Cuando se está proyectando o desarrollando un nuevo producto o servicio, casi siempre se considera el sistema o proceso que será necesario para fabricar el producto o realizar el servicio. En esta fase se presenta la mayor oportunidad de estudiar el proceso para conseguir los mejores sistemas y métodos de producción. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que no existe un método perfecto sino que existen oportunidades de mejora. Además las condiciones pueden variar, pues factores tales como volumen y calidad del producto, clase y precio de las materias primas, y disponibilidad de la maquinaria, pueden llegar a ser diferentes de los que existían al iniciarse la producción.

La necesidad de esta clase de estudios radica en poder establecer un tipo de producción de calidad, en los plazos de entrega previstos y al menor costo posible; limitando al máximo el consumo de materiales, energía y tiempo. Por ello, siempre se presenta la oportunidad de mejorar procesos y métodos.

Para el análisis de los métodos el proceso productivo puede ser abordado en dos fases:

- 1) Utilizando herramientas de análisis general, que permitan conocer el proceso productivo de principio a fin, como lo son los diagramas de operaciones del proceso, diagrama de flujo del proceso y el diagrama de recorrido del proceso.
- 2) Realizando un análisis detallado sobre aquellos puestos de trabajo o secciones específicas los cuales se consideren de baja productividad. Las herramientas que se emplean son los diagramas mano izquierda mano derecha (bimanuales) y los diagramas hombre-máquina (actividades múltiples).

Para objeto de este proyecto profundizaremos en los diagramas de actividades múltiples o diagramas hombre-máquina.

❖ Diagrama Hombre-Maquina

Como se ha mencionado a través del desarrollo de este documento, el interés particular del proyecto es el diseño de una metodología de análisis cuantitativo que permita resolver aquellos problemas de programación de la producción que se presentan exclusivamente en los sistemas en los que la máquina y el hombre trabajan en conjunto, es decir, los sistemas hombre-máquina.

Actualmente la herramienta mas utilizada para el análisis de este tipo de sistemas es el Diagrama de Actividades Múltiples o Diagramas Hombre-Máquina, este diagrama es de fácil uso y permite al analista observar claramente los tiempos de inactividad de los recursos durante el ciclo de producción⁹; además como su nombre lo dice puede graficar utilizando la misma escala de tiempos dos o más actividades que se están ejecutando a la vez.

Se construyen bajo el principio del gráfico de actividades elementales¹⁰ y presenta una o varias columnas para el hombre por una parte y para la máquina por otra. Sin embargo, existe una diferencia fundamental entre el diagrama de actividades elementales y el de hombre-máquina, debido a que este último posee una escala de tiempos, sobre la cual son indicados los tiempos de las actividades manuales del hombre y los tecnológicos de la máquina. La escala de tiempos representa un ciclo de producción, a este tiempo se le denomina tiempo de ciclo. Durante el

⁹ Un ciclo de producción hace referencia al conjunto de actividades que se repiten durante la jornada de trabajo.

¹⁰ Se refiere aquellos diagramas como mano izquierda mano derecha, o de micromovimientos: coger, soltar, etc. Tales actividades son muy cortas e imposibles de cronometrar.

tiempo de ciclo se elabora una unidad de producción la cual es fijada por el ritmo de producción, no necesariamente la unidad de producción es una unidad de producto.

Los tiempos mostrados entre la máquina y el operario en el diagrama, resultan de tres actividades o tareas que pueden ser clasificadas como:

- Trabajo Externo: Se refiere al trabajo que la máquina y el operario realizan en conjunto. Genera el tiempo Externo.
- Trabajo Interno: Es el trabajo que de manera independiente puede ser realizado por la máquina y/o el operario. Genera el tiempo Interno
- Tiempo Improductivo: Se refiere al tiempo en el que el operario y/o la máquina no realiza ninguna labor, es decir, se encuentra desocupada.

Aunque la descomposición del diagrama hombre-máquina es generalmente menos profunda que la del diagrama de actividades elementales, tiene la ventaja de ser cuantitativo. Así, el diagrama proporciona los porcentajes de carga relativos del obrero y de la máquina.

Cabe resaltar que en los trabajos colectivos, en los que los puestos de trabajo son dependientes entre sí, los servicios de preparación del trabajo se esfuerzan en repartir, lo mejor posible, las tareas individuales, para que cada uno de los obreros, tenga, sensiblemente, la misma carga de trabajo, y por lo tanto un óptimo porcentaje de utilización de los recursos (máquina y operario). Para obtener esos resultados es necesario identificar la distribución o asignación óptima de los recursos, lo cual no es posible conseguir de manera directa con el diagrama, es decir, es un diagrama que permite graficar las relaciones de tiempo de los recursos en una distribución elegida al azar por el analista, con el fin de observar posibilidades de mejora que permitan un mejor equilibrio de las cargas de trabajo, no solo de los operarios sino también de las máquinas. Las posibilidades de

mejora son implementadas a medida de que el analista ensaya y prueba con nuevas distribuciones, hasta que obtiene la adecuada.

Al considerar la distribución o asignación de los recursos como el problema central de la programación de la producción en este tipo de sistemas, se puede confiar de forma errada en la sencillez de su consecución, pero en la realidad es un proceso que de acuerdo a la complejidad del problema puede llegar a ser dispendioso; debido a que los factores o elementos que deben tenerse en cuenta como lo son la cantidad de operarios, máquinas y productos; deberán ser reorganizados cada vez que se plantee una nueva distribución.

En el siguiente capítulo, se expondrá los elementos que se consideran para abordar el problema de asignación de los recursos, y el fundamento matemático para la creación del modelo que satisfaga y cumpla con los requerimientos exigidos durante el ciclo de producción.

2. ANÁLISIS MATEMÁTICO DEL PROBLEMA PLANTEADO

En este capítulo se pretende caracterizar los problemas de la programación de la producción en los sistemas hombre-máquina mostrando así los escenarios de asignación a los cuales se les darán solución a través de la metodología de análisis cuantitativo. También se explicará la base matemática que se empleó para el diseño del modelo matemático y el software utilizado para resolverlo.

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Según Jorge Alberto González Mendivil¹¹ expone que una celda de manufactura se diseña para producir una familia de partes con lo que se sigue el principio de la especialización de las operaciones. Una familia de partes es aquella que resulta de la identificación y agrupación de partes (o productos) que presentan similitudes en el diseño y la producción; esto corresponde a la aplicación más importante de la Tecnología de Grupo.

La Tecnología de Grupo contribuye a la creación de células de manufactura, esto trae como beneficios: reducción de los tiempos de alistamiento, una producción de mayor variedad de piezas con menores cambios de herramientas, reducción de inversión en nuevos equipos, y niveles aceptables de utilización de las máquinas.

Para la formación de las células de manufactura se pueden dirigir hacia dos orientaciones:

Al diseño: Con esto se busca que las piezas que se desean producir a través de la celda de fabricación presenten similitud en las características de diseño.

¹¹ Disponible en <URL <http://www.udo.mx/~gortega/manufactura.htm>> Recuperado en mayo 2005.

A la producción: Se buscan que las partes presenten similitudes en los procesos. En este último enfoque, manejado comúnmente, se busca respecto al flujo de material eliminar las rutas complejas y buscar líneas de flujo más directas, si es posible unidireccionales.

Sin embargo se hace necesario que los operarios que conforman las celdas de fabricación sean multifuncionales, lo cual permite que los trabajadores en la manufactura celular estén tradicionalmente entrenados para funciones diversas y por tanto sean capaces de atender diversas interrogantes.

En cuanto a la organización del trabajo [en lo que se refiere a la asignación de las operaciones de las máquinas entre el número de operarios], en las celdas de manufactura ese procedimiento es realizado a través de la prueba y el error, es decir se realiza un balanceo de las cargas de trabajo de acuerdo con los tiempos de proceso de las máquinas, se analizan los desperdicios de tiempo en vacío (tiempo inactivo), y se introducen mejoras que reducen ese tiempo. Este proceso se repite hasta que el proceso sea aceptable.

Según Niebel¹², los diagramas hombre-máquina son herramientas que pueden ser utilizados como ayuda en el desarrollo de centros de fabricación, que en un mismo caso se definen como celdas de manufactura; ya que el uso de estos diagramas resulta apropiado para abordar cualquier problema en el cual se busque organizar y representar las actividades que necesitan ser desempeñadas en las diferentes máquinas y el equilibrio de las cargas de trabajo de las personas involucradas.

Por otra parte una investigación reciente presentada por Dirk Van Goubergen en ***Reducing Set-up Times of Manufacturing Lines***¹³, menciona al diagrama hombre máquina como la única herramienta formalmente presentada para reducir

¹² NIEBEL, Benjamín W. Ingeniería Industrial: Estudio de Tiempos y Movimientos. México: AlfaOmega, 1990

¹³ Tomado de GOUBERGEN, D. and LANDEGHEM, H. Reducing Set-up Times of Manufacturing Lines, publicado en International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing 2002, Dresden, Alemania.

los tiempos de alistamiento en aquellas situaciones en donde una cantidad de máquinas correspondientes a una misma línea o proceso tienen que ser cambiadas al mismo tiempo.

El autor menciona que aunque existen diversos métodos de reducción de tiempos de alistamiento en todos ellos se presenta la misma aproximación básica y filosofía que puede encontrarse en el método SMED publicado por el ingeniero industrial japonés Shigeo Shingo. En los otros métodos los pasos originales del SMED son intercambiados de orden y el uso de algunas herramientas adicionales para examinar aspectos específicos de los tiempos de alistamiento es sugerido. Estas herramientas pueden en efecto contribuir a una aproximación más efectiva, pero los conceptos básicos quedan relatados en el trabajo de Shingo.

Sin embargo el autor menciona que aunque con el método SMED se puede obtener mejoras en los tiempos de alistamiento hasta en un 90%, solo puede ser aplicable para situaciones en las que se trabaja con una sola máquina y un solo operario. Con lo que parte del diagrama de actividad múltiple para el desarrollo de una aproximación cualitativa que permite minimizar los tiempos de alistamiento a través de una mejor distribución de los recursos a partir de los resultados arrojados por el diagrama de actividades múltiples en un ciclo de tiempo establecido. Tal metodología se desarrolla en los siguientes pasos.

1. En el diagrama de actividades múltiple se debe determinar la máquina cuello de botella, que en este caso representa un mayor tiempo de alistamiento.
2. Determinar y localizar el tiempo de espera de las máquinas.
3. Encontrar una forma para eliminar ese tiempo de espera a través de la reasignación de las actividades. Esta reasignación se lleva a cabo dibujando una línea horizontal para cada punto de la escala de tiempo, en la cual se

buscara principalmente que la máquina cuello de botella en lo posible se encuentre ocupada, sin embargo esto se aplica a todas las máquinas.

4. Revisar el balance de las cargas de trabajo de los operarios.

Ya que es una metodología heurística, el autor considera que

- Que permite la existencia de múltiples soluciones óptimas.
- Existen casos en los que reducir los tiempos inactivos de la máquina cuello de botella no pueden ser eliminados debido a la secuencia de restricciones.

Finalmente el autor concluye señalando que la anterior metodología ha sido aplicada en diversas industrias obteniéndose buenos resultados, sin embargo recalca en la necesidad de desarrollar una aproximación de optimización utilizando técnicas de modelación cuantitativas ya que la optimización de las actividades en los diferentes diagramas de actividad múltiple es hecho hasta ahora de forma cualitativa.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LOS SISTEMAS HOMBRE-MÁQUINA

Para la organización del trabajo en los sistemas hombre-máquina es necesario tener en cuenta las variables que afectan este proceso; es decir, debe realizarse un estudio detallado del sistema en donde se determinen: los objetivos apropiados, las restricciones sobre lo que se puede hacer, las interrelaciones de las variables que forman el área bajo estudio, los requisitos del sistema y los diferentes cursos de acción posibles. Tal identificación se hace a partir de los datos requeridos para la construcción de los diagramas hombre-máquina; que son:

- Tiempo de Ciclo
- Numero de Operarios
- Tipo y cantidad por tipo de máquinas
- Numero de Productos
- Unidades de producto que deben salir por ciclo
- Tiempos de procesamiento de cada producto por tipo de máquina

2.2.1. Tiempo de Ciclo. Aparece como una limitante del sistema, ya que ningún recurso de la asignación, que se establezca, debe sobrepasar dicho tiempo. Además el tiempo de ciclo determina cuantas unidades de cada producto deben obtenerse al final del ciclo de producción, lo que constituye un requerimiento de demanda. Estos dos aspectos son fundamentales para determinar que distribuciones o asignaciones son factibles; debido a que no todas las asignaciones cumplen con los requerimientos de tiempo de ciclo, se disminuye el espacio de soluciones.

Para el modelo el tiempo de ciclo es un dato que se calculará a partir de la demanda de los productos; de acuerdo a las unidades de esta se pedirá información adicional referente a los horarios de trabajo tales como: horas de trabajo por día, días por semana, días por mes; para establecer el Ritmo de Producción y realizar posteriormente la comparación con el Tiempo de Procesamiento requerido por las máquinas de la empresa.

2.2.2. Numero de Operarios. Es un elemento del sistema; un recurso que a medida que aumenta en cantidad incrementa la complejidad del problema.

En la metodología diseñada para el desarrollo del modelo, el numero de operarios entre como factor multiplicador de las variables, es decir, en el modelo las posibilidades de asignaciones que tiene un solo operario serán iguales para el resto de ellos. La cantidad de operarios es un dato que deberá ser suministrado por el usuario del modelo.

2.2.3. Tipo y Cantidad por Tipo de Máquinas. Al igual que el número de operarios, a medida que aumenta el número de tipo de máquinas y la cantidad de cada uno de ellos, se incrementa la complejidad del problema. Sin embargo a partir de este elemento, surgen los escenarios de asignación que se resolverán con este modelo; esto se explicara con mayor detalle más adelante.

En el modelo se requiere que se especifique el tipo de máquinas del problema y la cantidad que por cada tipo se requieren para cumplir con el proceso.

2.2.4. Numero de Productos. Aparece como un elemento que en ciertos escenarios de asignación contribuye al aumento de la complejidad del problema. Para el diseño de la metodología de análisis, se tomo un máximo de dos productos. Para alimentar el modelo, el usuario deberá introducir los datos de cantidad de productos del problema y la demanda de cada uno.

2.2.5. Unidades de Producto que deben salir por Ciclo. Es una limitante del sistema; ya que el tiempo de ciclo establece un requerimiento de demanda por producto es indispensable contemplar las distintas formas de carga que puedan presentarse por tipo de máquina.

En el modelo las formas de carga se representarán por números, los cuales indicaran la distribución de la demanda por tipo de máquina, es decir, fijarán que productos y cuantas veces de cada producto deberá ser montado por máquina.

2.2.6. Tiempos de Procesamiento de cada Producto por Tipo de Máquina. Es un elemento del sistema, que deberá ser especificado de acuerdo a los tipos de trabajo¹⁴ que se presentan en los diagramas hombre-máquina.

Para el diseño del modelo se deberá especificar el tiempo de procesamiento en tiempo externo y en tiempo interno, de acuerdo al tiempo requerido por producto en cada tipo de máquina.

¹⁴ Se refiere al trabajo interno y externo descritos en el primer capítulo.

Debido a que los diagramas hombre-máquina se utilizan como herramienta de ayuda en el desarrollo de una celda de fabricación ideal, el modelo por tanto utiliza un marco de aplicación para la obtención de resultados coherentes con el diagrama. Tales supuestos son:

- El tiempo de mantenimiento se lleva a cabo antes o después del periodo de producción. (No interfiere)
- El tiempo de procesamiento de los productos en todas las máquinas con las que se trabaja en el modelo, comprenderá dos clases de trabajo:

Trabajo Externo: Es el trabajo que realizan en conjunto la máquina y el operario (se refiere a las operaciones de montaje y desmontaje de la pieza en la máquina). El tiempo que representa este trabajo se le llamará *Tiempo Externo*.

Trabajo Interno: Es el tiempo en el que la máquina trabaja de manera automática. El tiempo que representa este trabajo se le llamará *Tiempo Interno*.

- ❖ Los dos tipos de tiempos que comprende el tiempo de procesamiento deberán realizarse cada vez que se pretenda repetir esa operación en la máquina
- ❖ El tiempo externo e interno son resultado de un estudio de tiempos, los cuales incluyen por tanto los suplementos a que haya lugar.
- ❖ Los tiempos de alistamiento de las máquinas de un producto a otro son cercanos a cero. En este caso se asumen como cero.
- ❖ El tiempo de desmonte de la pieza es igual para cualquier producto en el mismo tipo de máquina.
- ❖ El tiempo externo deberá ser mayor al tiempo de desmonte de la pieza

Además el modelo estudia específicamente el caso en donde la demanda es menor o igual a la capacidad de producción; debido a que se parte de una demanda conocida, la cual permite determinar el número y tipo de máquinas necesarias para su cumplimiento.

2.3. ESCENARIOS DE ASIGNACION DE RECURSOS PARA LOS SISTEMAS HOMBRE-MÁQUINA

Para la definición de los escenarios, se tiene en cuenta operarios y máquinas como recursos que intervienen en los problemas de asignación; ya que básicamente se trataran situaciones en las cuales se parte de una demanda preestablecida y se organiza un grupo de trabajo (operarios y máquinas) en una celda de fabricación.

En los escenarios, los operarios aparecen como un recurso que no marca diferencia entre uno y otro, ya que para que exista asignación siempre debe haber por lo menos un operario. Las máquinas en cambio son las que concretizan los escenarios; debido a que es el recurso que determina la correcta asignación de acuerdo al arreglo de estas entre el numero de operarios. Además es un recurso que de acuerdo a su cantidad (tanto en tipo como máquinas por tipo) aumentará el número de asignaciones posibilidades.

En los sistemas hombre-máquina, las máquinas manejan dos características de, que son: el Tipo de Maquina y la Cantidad de Máquinas de acuerdo al tipo. El tipo¹⁵ se refiere a la operación que realiza la máquina. La cantidad¹⁶ es el número de máquinas que existen dentro de un grupo de máquinas que realizan la misma labor. Por tanto la definición de los escenarios dependerá del tipo de máquinas que existan en el problema y la cantidad por tipo, con lo que se definen así:

- Escenario 1: Varios operarios-Máquinas Iguales

¹⁵ Operación que realiza la máquina. Eplo: si un producto pasa por tres operaciones (Cortadora, ensamble y empaque) cada una de esas se denominaran como Tipo I, Tipo II y Tipo III respectivamente

¹⁶ Número de máquinas que realizan la misma operación. Eplo: Siguiendo el ejemplo anterior se puede tener el caso de que para llevar a cabo cada operación se tenga una sola máquina (1 cortadora, 1 ensambladora, 1 empacadora) ó varias máquinas (1 cortadora, 3 ensambladora, 2 empacadoras)

- Escenario 2: Varios operarios-Máquinas Diferentes

2.3.1. Escenario 1: Varios Operarios-Máquinas Iguales. Este caso se refiere a que se cuenta con un grupo de máquinas que corresponden al mismo tipo. El caso se desarrolla en esas situaciones en las que existe una cantidad m de máquinas que realizan la misma operación, pero el producto para ser fabricado solo debe pasar por una unidad de procesamiento.

El problema de asignación que se presenta en este escenario, es el mas sencillo de resolver, debido a que aquellos factores que aumentan la complejidad del problema como las formas de carga de los productos en las máquinas, en este caso por lo general solo presentan una alternativa de combinación. El equilibrio de las cargas de trabajo es el único factor relevante dentro de este escenario; debido a que la preocupación principal es que se obtengan tiempos de inactividad similares.

Para el caso en que se tenga solo un producto, el problema puede ser resuelto dividiendo equitativamente el total de máquinas (m) entre el número de operarios (n); ya que se cuenta con un solo tipo de máquina [solo existe un tiempo de procesamiento], tal solución arrojará automáticamente la asignación óptima. Cuando se asigna un mismo número de máquinas a cada operario, los tiempos de inactividad por operario es igual; en caso que la distribución de máquinas no sea igual para todos existirá una diferencia en los tiempos inactivos, aun así los dos resultados de asignación son óptimos.

En el caso de dos o más productos, el problema aumenta su complejidad siempre y cuando los tiempos de procesamiento de cada producto sean diferentes.

2.3.2. Escenario 2: Varios Operarios-Máquinas Diferentes. Aquí las máquinas son de diferentes tipos, es decir, los productos siguen una serie de operaciones, a

través de ellas, para ser producidos; sin embargo como el tipo no es la única característica de las máquinas, este caso puede aumentar su complejidad de acuerdo a la cantidad de máquinas por tipo que se establezca.

Cuando se tiene solo una unidad de procesamiento por tipo, el problema se reduce a una sola forma de carga, por lo que resta determinar cual es la distribución óptima; aunque este problema parece sencillo de resolver su dificultad depende de la cantidad de tipos de máquinas y del número de operarios.

Por otra parte cuando se tiene más de una unidad de procesamiento por tipo, el problema puede presentar diferentes formas de carga de acuerdo al tipo de máquina; ya que dependiendo de la cantidad de unidades de procesamiento que tenga cada tipo existirá diferentes maneras de montaje de los productos entre ellas. Lo anterior muestra que la organización del trabajo para este caso no solo depende de la cantidad de los principales recursos sino también de la definición de que producto(s) y cuantas veces deberá ser montado por máquina.

Cabe tener presente, que aunque el producto no se menciona como un recurso que interviene en los problemas de asignación; si es un factor que contribuye a la complejidad del problema; ya que la cantidad de productos y de máquinas por tipo afecta directamente las formas de carga, pues a medida que se tenga un mayor número de productos se necesitara un mayor número de máquinas y por lo tanto existirán más formas de cargas posibles para el problema.

Por otra parte la demanda de los productos son los que determinan el ritmo de producción, y por consiguiente el tiempo de ciclo de producción, con esto se obtienen las cantidades por producto que deben resultar de cada ciclo para satisfacer la demanda. Lo anterior lleva a plantear la necesidad de que se establezca un tiempo de ciclo igual para todos los productos, pero en el cual sea

posible obtener diversas relaciones de unidades de producto; es decir, si se establece un tiempo de ciclo de 6 minutos puede obtenerse un producto de A y uno de B en el mismo tiempo, o un producto de A y dos de B, o dos productos de A y dos de B.

Así es de donde resultan las relaciones de demanda por ciclo de producción establecidas para este proyecto. En las relaciones de demanda solo se trabajará para todos los escenarios un máximo de dos (2) productos, dando a lugar relaciones 1:1, 1:2, 1:3, 2:2, 2:3, 3:3. Cuando se tengan dos productos y estos no cumplen con el patrón de relaciones establecidas, el modelo en principio no podrá aplicarse, ya que para resolver esa situación es necesario programar la producción hasta el punto en que las demandas cumplan con alguna relación y luego programar por producto los artículos restantes.

En conclusión, para el modelo se tomarán como ejes centrales el número de operarios, máquinas y productos; ya que dependiendo de la forma como estos tres elementos sean conjugados en un problema aumentará o disminuirá la complejidad y el número de variables del mismo.

2.4. FUNDAMENTO MATEMÁTICO DEL MODELO

2.4.1. Investigación de Operaciones. El término Investigación de Operaciones muy a menudo está asociado con la aplicación de técnicas matemáticas, para representar por medio de un modelo y analizar problemas de decisión. Aunque las matemáticas y los modelos matemáticos representan una piedra angular de la Investigación de Operaciones, la labor consiste más en resolver un problema que en construir y resolver modelos matemáticos.

Como técnica para la solución de problemas, la Investigación de Operaciones debe visualizarse como una ciencia y un arte. El aspecto de la ciencia radica en

ofrecer técnicas y algoritmos matemáticos para resolver problemas de decisión adecuados; y arte porque la Investigación de Operaciones el éxito que alcanza en todas las fases posteriores y anteriores a la solución de un modelo matemático depende de en forma apreciable de la creatividad y habilidad de los analistas encargados de tomar las decisiones.

Por lo tanto un modelo de decisión, es solo un medio para “resumir” un problema de decisión en una forma que permita la identificación y evaluación sistemática, de todas las opciones de decisión del problema. De allí se deriva que las tres componentes básicas del proceso de toma de decisiones son 1) Opciones de decisión, 2) Restricciones del Problema, y 3) Criterio Objetivo.

2.4.1.1. Clasificación de Modelos en Investigación de Operaciones: de acuerdo a la complejidad del problema y de la solución que se desee, se pueden presentar modelos que se establecen a partir de formas cuantitativas como funciones de las variables de decisión llamados **modelos matemáticos** o aquellos que no pueden ser enmarcados dentro de ninguna representación matemática “adecuada” debido a que el sistema real puede tener demasiadas relaciones y variables para este tipo de representaciones se utiliza la **simulación**.

Otra forma de clasificación resulta de acuerdo a la disponibilidad de datos que se tengan para la construcción del modelo en **determinísticos** o **probabilísticos**. Los modelos determinísticos se refieren a que los datos se dan por conocidos, mientras que los probabilísticos algunos datos importantes del problema se consideran inciertos, por lo que debe especificarse su probabilidad¹⁷.

Los métodos de solución suelen idearse para aprovechar las estructuras especiales de los métodos resultantes. Como tales, la amplia variedad de modelos asociados con sistemas reales existentes da origen a un número correspondiente

¹⁷ EPPEN, G. Investigación de Operaciones en la ciencia administrativa. México: Prentice Hall, 1992 p. 13.

de técnicas de solución. De aquí que se utilicen los nombres de Programación Lineal, Entera, Dinámica y No Lineal que representan algoritmos para resolver clases especiales de modelos de Investigación de Operaciones.

2.4.2. Programación Lineal Entera.¹⁸ La Programación Lineal Entera se ocupa de aquellos programas lineales en los que algunas o todas las variables suponen valores enteros o discretos. Se dice que la Programación Lineal Entera es mixta o pura si alguna o todas las variables están restringidas a tomar solo valores enteros. Existen además, algunos casos en los que solo se permite que todas las variables tomen valores de cero o uno, a estos problemas se les llama casos de Programación Lineal Entera Binaria; si se requiere que solamente algunas de las variables tomen valores cero y uno, se tiene un problema de Programación Lineal Entera Binaria Mixta.

Los métodos de solución utilizados por este tipo de programación en la actualidad son varios dependiendo de la naturaleza de problema (puro, mixta, binario) son aplicados; algunos de ellos son: Algoritmo de Ramificación y Acotamiento, Enumeración Exhaustiva o Enumeración Explícita, Aditivo de Egon Balas, y algoritmos Heurísticos.

Debido a que se utilizó el software WinQSB como herramienta para correr el modelo, es indispensable explicar en que consiste, los objetivos que se alcanzan con su uso, y como se desarrolla (ingreso de los datos y presentación de los resultados), además mencionar y explicar el método de solución empleado por el programa, para los problemas de Programación Lineal Entera.

2.4.4. Programa para Resolver el Modelo. El paquete **WinQSB**, está formado por diversos programas que muestran aplicaciones de la Programación Lineal y No Lineal; entre los cuales se cuenta: La Programación Dinámica (Dynamic

¹⁸ TAHA, H. Investigación de Operaciones. México: Alfaomega grupo editor, S.A. 1995. p. 355.

Programming), Programación Cuadrática (Quadratic Programming), Problemas de teoría de Inventarios, Programación por Objetivos (Goal Programming), y la Programación Lineal y Entera (Linear and Integer Programming), entre otros.

Para el caso particular del proyecto, el uso de la aplicación de la Programación Lineal y Entera de este paquete, ha permitido el logro de varios objetivos como: a) Afianzar los conceptos propios de la técnica a través de la experimentación, b) Observar y analizar las relaciones entre las variables de interés del problema, c) Comprobar las soluciones del problema y d) Contrastar las variables que forman cada ecuación con los parámetros respectivos, al igual que la contribución que realiza cada una de ellas en la función objetivo.

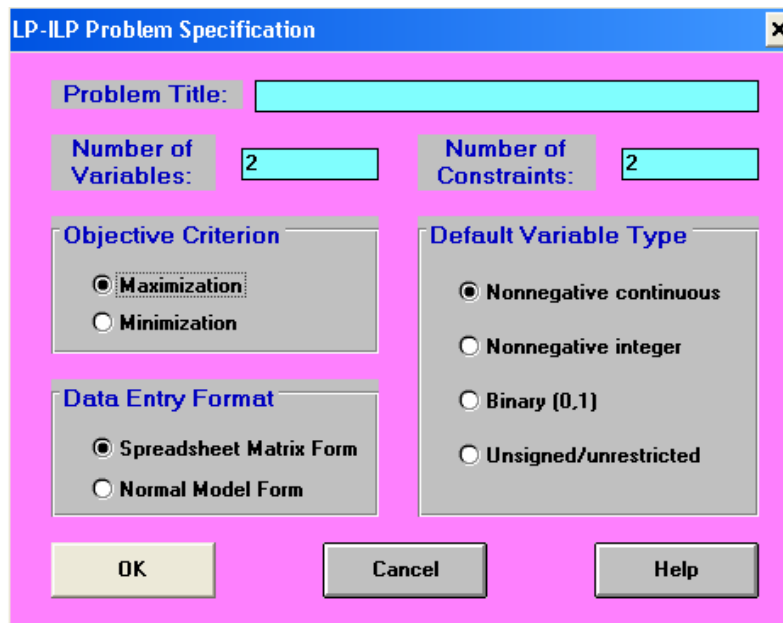
La contribución específica del software al proyecto, es el de poder contar con una herramienta técnica que permita realizarlos cálculos requeridos para hallar una solución al problema después de construido el modelo.

Esta técnica se eligió, basándose en dos criterios: 1) La cantidad de variables del problema que se pretende abordar no sobrepasan la capacidad de análisis del programa, y 2) Es un programa fácil de usar, lo que permite que el usuario no solo un ingreso sencillo de datos sino también un análisis posterior de los resultados.

Cuando se inicia un ejercicio en el programa puede realizarse de dos maneras.

- 1) Seleccionando de la barra de herramientas la opción **NEW PROBLEM**, de la cual se obtendrá una ventana de especificación del problema como la mostrada en la Figura 2, en la cual es necesario digitar el número de variables y de restricciones, y seleccionar el criterio de la función objetivo, el tipo de variable (entera, binaria, continua, etc.), y la forma de entrada de datos (matriz o forma normal del modelo).

Figura 2: Ventana de Especificación del Problema de WinQSB



Fuente: Software WinQSB

- 2) Selecciona de la barra de herramientas la opción **LOAD PROBLEM**. De ella se desprende un menú donde se selecciona el archivo que se desea abrir, y luego se presiona el botón aceptar. Posteriormente se obtiene una matriz¹⁹ (véase Figura 3), la cual tiene por rotulo de las variables la primera fila, en las tres últimas filas aparecen los valores mínimos y máximos, y el tipo de variable de cada una. En la primera columna se tiene el criterio de minimización o maximización del problema y las restricciones numeradas, en las dos últimas columnas aparece el sentido o dirección (igual, menor que, mayor que), y el valor del lado derecho de cada restricción.

¹⁹ La matriz es el formato seleccionado para la entrada de datos del modelo desarrollado.

Figura 3: Formato de matriz de WinQSB

| Variable --> | X11a1 | X11b1 | X11c1 | X11d1 | X11e1 | Direction | R. H. S. |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|----------|
| Maximize | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | | |
| R1 | 25 | | | | | <= | 25 |
| R2 | | 25 | | | | <= | 25 |
| R3 | | | 25 | | | <= | 25 |
| R4 | | | | 25 | | <= | 25 |
| R5 | | | | | 25 | <= | 25 |
| R6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | <= | 25 |
| R7 | 1 | | | | | = | 1 |
| R8 | | 1 | | | | = | 1 |
| R9 | | | 1 | | | = | 1 |
| R10 | | | | 1 | | = | 1 |
| R11 | | | | | 1 | = | 1 |
| R12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | = | 5 |
| R13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | = | 5 |
| LowerBound | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| UpperBound | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| VariableType | Binary | Binary | Binary | Binary | Binary | | |

Matrix Form You may double click to change a direction or variable type.

Fuente: Software WinQSB

Después de resuelta la matriz, se obtiene un informe en el que se presenta la solución y resultados adicionales (análisis de sensibilidad, precios sombra, valor de las variables de holgura, etc.), llamado **COMBINED REPORT**, y se puede apreciar en la Figura 4.

Figura 4: Informe de Resultados (Combined Report) de WinQSB

| Linear and Integer Programming | | | | | | | | |
|---|-------------------|----------------|--------------------------|--------------------|------------------|--------------|---------------------|---------------------|
| File Format Results Utilities Window Help | | | | | | | | |
| 11:09:25 Saturday August 13 2005 | | | | | | | | |
| | Decision Variable | Solution Value | Unit Cost or Profit c(j) | Total Contribution | Reduced Cost | Basis Status | Allowable Min. c(j) | Allowable Max. c(j) |
| 1 | X11a1 | 1,0000 | 25,0000 | 25,0000 | 0 | basic | 25,0000 | M |
| 2 | X11b1 | 1,0000 | 25,0000 | 25,0000 | 0 | basic | 25,0000 | M |
| 3 | X11c1 | 1,0000 | 25,0000 | 25,0000 | 0 | basic | 25,0000 | M |
| 4 | X11d1 | 1,0000 | 25,0000 | 25,0000 | 0 | basic | 25,0000 | M |
| 5 | X11e1 | 1,0000 | 25,0000 | 25,0000 | 0 | basic | -M | 25,0000 |
| | Objective | Function | (Max.) = | 125,0000 | | | | |
| | Constraint | Left Hand Side | Direction | Right Hand Side | Slack or Surplus | Shadow Price | Allowable Min. RHS | Allowable Max. RHS |
| 1 | R1 | 25,0000 | <= | 25,0000 | 0 | 0 | 25,0000 | M |
| 2 | R2 | 25,0000 | <= | 25,0000 | 0 | 0 | 25,0000 | M |
| 3 | R3 | 25,0000 | <= | 25,0000 | 0 | 0 | 25,0000 | M |

Results Combined Report for Resultados Problema HM

Fuente: Software WinQSB

El método de solución utilizado por el software es el **Algoritmo de Ramificación y Acotamiento**²⁰, este algoritmo parte de la división del problema en dos fases, primero trata el problema como un problema de programación lineal y halla la solución óptima. Si esa solución satisface las necesidades del problema de programación entera, el problema que da resuelto; en caso contrario realiza una segunda fase, la cual consiste en “modificar” el espacio de soluciones obtenido a través de la programación lineal, de tal forma, que permita identificar, finalmente, la solución óptima del problema.

²⁰ En ingles se llama Branch-and-Bound Method

3. PROPUESTA METODOLÓGICA

Una vez caracterizado el problema de la programación de la producción en los sistemas hombre-máquina a través de los escenarios expuestos en el anterior capítulo, se procedió a especificar las expresiones cuantitativas para el objetivo y las restricciones del problema en función de sus variables de decisión.

3.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES DE DECISIÓN Y RESTRICCIONES

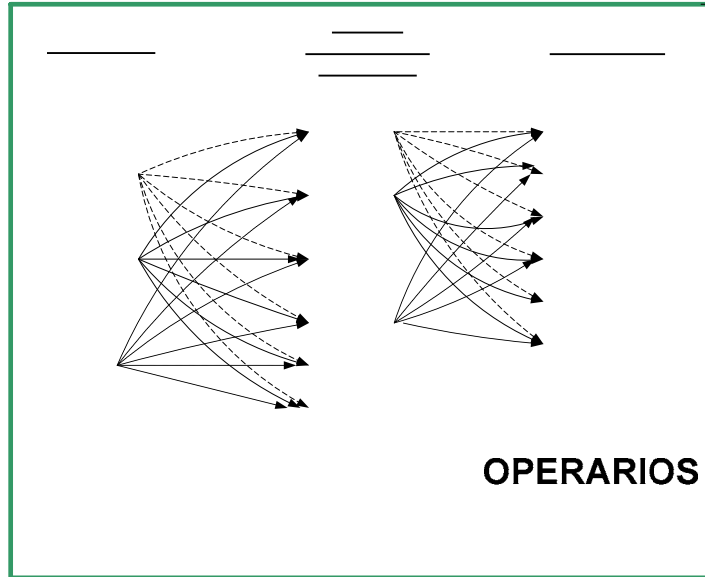
3.1.1. Nomenclatura de las Variables. Debido a que se busca obtener del modelo, resultados que respondan los interrogantes que se derivan frecuentemente del problema de asignación de máquinas a operarios, tales como:

- ¿Cuántas máquinas debe asignar por operario?
- ¿Que operación le corresponde? ¿De que tipo²¹?
- ¿Que producto(s) debe cargar en cada máquina asignada?, y
- ¿Cuántas veces deberá cargar el producto o los productos dentro del ciclo de producción?

En la Figura 5 se representa el problema de organización de una celda de fabricación, el cual se inicia de la decisión de distribución de las máquinas entre el grupo de operarios para finalmente especificar a cada uno las operaciones de producción que debe realizar en ellas.

²¹ Ejemplo: si un producto pasa por tres operaciones (Cortadora, ensamble y empaque) cada una de esas se denominaran como Tipo I, Tipo II y Tipo III respectivamente. Aquí no interesa la ruta de flujo que sigue cada producto, sino las operaciones.

Figura 5: Factores que inciden en la organización de celdas de fabricación



**TIPOS Y
CANTIDAD DE
MÁQUINAS**

Para esto se utilizó una variable de tres subíndices que muestra la relación entre los elementos hombre, máquina y producto. ^{M1a}

x_{ijk} es de tipo binario²²; donde ^{M1b}

i se refiere al operario, ^{M1c}

j indica que tipo de máquina le corresponde y ^{M2}

k determina la forma de carga [establece que productos y cuantas veces debe cargarse por ciclo en la máquina j]

Los subíndices indican las relaciones de los principales elementos del sistema, por lo que resta es decidir a través de la variable si elegir o no la opción a la cual hacer referencia. Debido a que la variable debe ser leída como: “¿Corresponde al operario i la máquina j con la forma de carga k ?”. Cuando la variable toma el valor ^{M3}

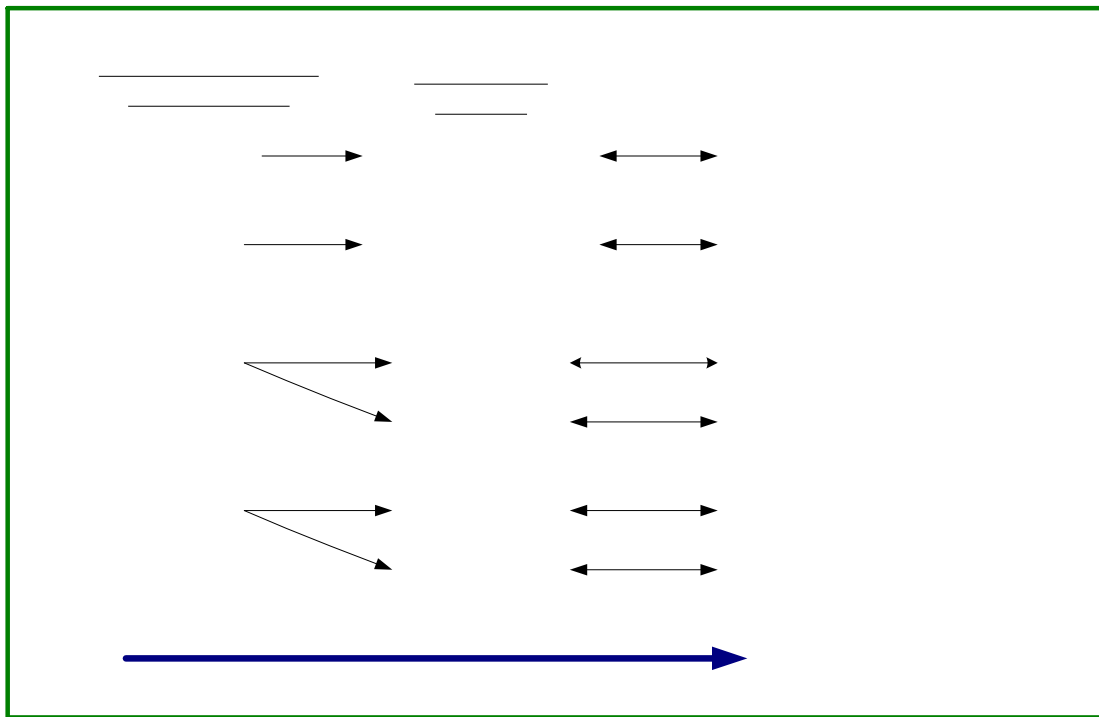
¿Qué máquina se debe asignar a cada operario?

²² En la Programación Lineal Entera, a este tipo de variables se maneja en la Programación Lineal Entera Binaria donde sólo se permite que las variables tomen valores de cero (no) o uno (si).

de uno la respuesta que se obtiene es sí y cuando es cero el valor la respuesta es no.

A continuación se explica a través de un ejemplo como surgen las variables y su nomenclatura; para ello se inicia de la definición de las opciones de asignación resultantes del problema graficadas a la Figura 6.

Figura 6: Definición de Opciones de asignación del Problema



En tal Figura, se representan a través de las variables las diferentes opciones de asignación que tienen dos operarios, las cuales resultan de la cantidad y tipo de máquinas del problema, y de las opciones de carga de los productos posibles de acuerdo a la cantidad de máquinas por tipo. Para este ejemplo en particular, se cuenta con tres tipos de máquinas y dos operarios.

**CANTIDAD Y TIPO
DE MAQUINA**

**FORMA
CARGA**

Maquina 1

Carga 2A

Maquina 2

Carga 2A

Maquina 3a

Carga

En cuanto a la nomenclatura empleada para las máquinas, se observa que cuando se tiene más de una máquina del mismo tipo es necesario emplear letras con el fin de diferenciarlas, ya que no implica que por ser de igual tipo la forma de carga de cada una sea la misma.

Además se aprecia claramente que a cada máquina le corresponde determinada forma de carga de acuerdo a la distribución de las unidades de productos que deben salir del sistema, por máquinas del mismo tipo. Las unidades que para este ejemplo deben salir son dos del producto A y una del producto B. En las máquinas tipo tres se aprecia que existen dos unidades de procesamiento llamadas respectivamente maquina 3a y máquina 3b, además se observa que cada máquina tiene dos formas de carga posible denominada cada una como 1 y 2. Estas dos formas de carga se encuentran relacionadas entre sí, ya que si en la máquina 3a se decide cargar un producto de A, la máquina 3b deberá ser cargada con un producto de A y con un producto de B, y así sucesivamente; con el fin de cumplir con la demanda definida previamente por el tiempo de ciclo de producción. Por otra parte se aprecia que para los otros tipos de máquinas la forma de carga toma el valor de cero; esto se debe a que en sí no existe ninguna forma de carga, debido a que solo existe una unidad de procesamiento y todos los productos deben pasar por la misma.

Aunque la forma de carga para el caso de las máquinas tipo tres fueron dos, no puede concluirse que la cantidad de formas de carga de productos vaya ser igual al número de máquinas que existan por tipo de máquinas; sino que la cantidad de formas de carga resulta a partir de la forma como se distribuyan las unidades requeridas por el sistema teniendo en cuenta el número de máquinas del mismo tipo, esta consideración es necesaria ya que no puede dejarse ninguna máquina sin producto. Además se obliga a que las formas de cargas no se repitan ya que eso aumenta el número de variables, pero no el rango de solución.

Las opciones de asignación con su respectiva forma de carga presentada en la Figura 6, son todas las posibilidades que tiene cualquier operador, debido a eso el número de operarios entra como factor multiplicador de las opciones de asignación. Para el caso analizado, el número total de operarios es 2 y las opciones de asignación 6, se tendrá como número total de variables 12.

Por otra parte, de acuerdo al Escenario de Asignación de Recursos para los Sistemas hombre-máquina, los subíndices no modifican su representación sin embargo el número total de variables si puede incrementar considerablemente a medida que se cuenta con un mayor número de recursos y productos.

Cabe mencionar que el diagrama que se utiliza para determinar el número de variables no presenta diferencias entre un escenario y otro, ya que sigue una secuencia lógica de distribución de la producción que considera que el tiempo de trabajo asignado a una máquina no exceda el tiempo de ciclo establecido.

A continuación en la Tabla 3, se muestra el comportamiento de cada subíndice de la variable (*i*, *j*, y *k*) en los escenarios de Asignación de Recursos para los Sistemas hombre-máquina.

Tabla 3: Nomenclatura de las variables de decisión del modelo

| 22. SUBÍNDICE DE LA VARIABLE | 23. SE RELACIONAN CON | 24. NOMENCLATURA DE LAS VARIABLES | 25. ESCENARIOS QUE APLICA |
|------------------------------|-----------------------|---|---|
| 26.i | 27. OPERARIO | 28. $1,2,3,4,5,6,\dots n$ | 29. Todos los Escenarios |
| | | 32. $1a, 1b, 1c, 1d,\dots$ | 33. Escenario 1: Varios Operarios- Máquinas Iguales |
| 30.j | 31. TIPO DE MÁQUINA | 34. Cuando exista una unidad de procesamiento el subíndice tomara el valor correspondiente al tipo de máquina: | 36. Escenario 2: Varios Operarios- Máquinas Diferentes |
| | | 35. $1, 2, 3, 4, 5,\dots$ | |
| | | 37. Cuando exista más de una unidad de procesamiento el subíndice tomara el valor correspondiente al tipo de máquina: | |
| 39.k | 40. FORMA DE CARGA | 38. $1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 3, 4,\dots$ | 42. Todos los escenarios |
| | | 41. Cuando exista una unidad de procesamiento por tipo de máquina el subíndice será igual a 0 | |
| | | 43. Cuando exista más de un unidad de procesamiento por tipo el subíndice será: | |
| | | 44. $1, 2, 3,\dots$ | |

3.1.2. Restricciones del Modelo. Para este modelo se consideraron cinco tipos de restricciones las cuales se establecieron con el fin de garantizar los mínimos requerimientos con los que la asignación elegida deba cumplir. Estas restricciones no solo garantizan la asignación completa de los recursos sino también evitar que una misma opción de asignación sea definida para más de un operario.

3.1.2.1. Restricciones de Tiempo de Ciclo de las Máquinas: estas restricciones evitan que la forma de carga k asignada a una máquina j exceda el tiempo de ciclo de producción, es decir, que considerando la cantidad de productos que la máquina deba cargar no sobrepase el tiempo límite (el ciclo).

Los coeficientes de este tipo de restricciones dependen principalmente de los tiempos de procesamiento en los tipos de máquinas de los productos; y de la formas de carga.

Los tiempos de procesamiento dependen de dos clases de trabajo que originan su respectivo tiempo; el tiempo de trabajo externo que se refiere al trabajo que la máquina y el operario realizan en conjunto y el tiempo de trabajo interno es el trabajo que de manera independiente puede ser realizado por la máquina y/o el operario. Por su parte las formas de carga determinan los productos que fueron asignados a dicha máquina y cuantos veces debe ser elaborado por ciclo en la misma.

$$\text{Máquina } _j \text{ ___} : \sum (TE + TI) * (\text{NumerodeVæcesdeCargadelPr oducto}) \leq \text{TimpodeCiclo}$$

3.1.2.2. Restricciones de Tiempo de Ciclo del Operario: establece la cantidad de opciones de asignación que el operario i puede realizar de acuerdo al tiempo de ciclo de producción; es decir, teniendo en cuenta que ese operario i deberá cargar en cada máquina j seleccionada una forma de carga k .

Los coeficientes de este tipo de restricciones solo tienen en cuenta el tiempo externo; debido a que este tiempo representa el trabajo que el operario realiza sobre la máquina.

$$\text{Operario } _i \text{ ___} : \sum (TE) * (\text{NumerodeVe cesdeC arg adel Pr oducto}) \leq \text{TimpodeCi clo}$$

3.1.2.3. Restricciones para No Compartir Máquinas y No Repetir Decisión: con este tipo de restricciones se impide que a los operarios se les asigne la misma opción de asignación es decir la misma máquina y la misma forma de carga. Son restricciones importantísimas para el modelo ya que a través de ellas se garantiza que todas las máquinas del problema sean distribuidas entre los operarios i ; además que cada máquina j solo podrá ser utilizada por un solo operario i .

Cada restricción siempre se iguala a uno, esto se debe a que representan que solo es posible tomar una decisión por máquina. Los coeficientes de las variables en la restricción toman el valor de uno.

3.1.2.4. Restricciones de Cantidad de Máquinas por Operario: las restricciones de este tipo, determinan la cantidad de máquinas j que le corresponde a cada operario i , sin embargo es conveniente aclarar que de acuerdo al resultado obtenido de las restricciones de tiempo de ciclo del operario, esa cantidad de máquinas variara por operario.

Por otra parte estas restricciones también tienen como principal función garantizar que a cada operario como mínimo siempre se le asigne una máquina.

Los coeficientes para estas restricciones toman el valor de uno.

3.1.2.5. Restricciones de Demanda: estas restricciones van enfocadas a cumplir con el requerimiento de cantidad de producto por tipo de máquina, es decir, garantizan que de cada tipo de máquina resulte igual cantidad de productos, para finalmente se demostrar la obtención de producto requerido por el ciclo de producción. Lo anterior obliga a que todos los productos sean procesados por todos los tipos de máquinas que fija el problema.

Los coeficientes de cada variable dependerán de la cantidad de veces que se cargue el producto en la máquina j .

3.1.3. Metodología para Determinar el Valor de los Parámetros. Los parámetros a los que se refiere la metodología, son los coeficientes que acompañan a las variables en cada restricción y el valor del lado derecho que corresponde a cada una de ellas, esto con el fin de dejar a el estudiante las herramientas necesarias para el diseño del modelo matemático para los problemas de la programación de la producción en los sistemas hombre-máquina.

Aun si el problema que se pretende abordar tiene una complejidad mayor [la cual puede estar representada en aumento en el número de operarios, máquinas y/o productos], que los trabajados a través de los escenarios del modelo, esta metodología permite el desarrollo de un modelo siempre y cuando se cumplan con los supuestos planteados en la caracterización del problema.

3.1.3.1. Restricción 1: Tiempo de Ciclo de las Máquinas: la cantidad de restricciones de este tipo será igual al total de máquinas. Son restricciones de dirección menor igual.

Cada restricción representa a una sola máquina. Las variables que forman la restricción serán todas aquellas que se relacionen con esa máquina es decir aquellas que involucren cualquier forma de carga en esa máquina sin importar el operario; esto en términos de los subíndices significa que por restricción se deberá fijar el subíndice j , mientras que los subíndices i y k varían.

El coeficiente de cada variable x_{ijk} , será igual a la suma de los tiempos de procesamiento de los productos que se cargan en la máquina j . Si la forma de carga de la variable [representada por el subíndice k], establece que un producto

se carga más de una vez en la misma máquina el tiempo de procesamiento total de ese producto es igual al número de unidades del producto que se deben obtener de esa máquina por el tiempo de procesamiento del producto en la misma.

El valor utilizado para el lado derecho de la restricción es el tiempo de ciclo; ya que todas las operaciones o trabajos realizados por cada máquina no pueden exceder ese tiempo.

$$TC_Máq1... \dots \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (TE + TI)_{jk} * x_{ijk} \leq TC$$

$$TC_Máq2... \dots \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (TE + TI)_{jk} * x_{ijk} \leq TC$$

...

....

$$TC_Máq_j.. \dots \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (TE + TI)_{jk} * x_{ijk} \leq TC \quad \forall j = 1,2,3,4,.. \dots m$$

3.1.3.2. Restricción 2: Tiempo de Ciclo del Operario: la cantidad de restricciones de este tipo será igual al total de operarios. Son restricciones de dirección menor igual.

Cada restricción representa a un operario. Las variables que componen la restricción son todas aquellas que se derivan de las opciones de asignación a que tiene lugar un operario; por lo que el número de variables por restricción para todos los operarios será el mismo, pues todos tienen el mismo número de opciones de asignación. En términos de subíndices significa que por restricción se fija el subíndice *i*, mientras que los subíndices *j* y *k* varían.

El coeficiente de cada variable x_{ijk} , será igual a la suma del tiempo externo de los productos que se cargan en la máquina *j*. Si la forma de carga de la variable [representada por el subíndice *k*], establece que un producto se carga más de

una vez en la misma máquina el tiempo total externo de ese producto es igual al número de unidades del producto que se deben obtener de esa máquina por el tiempo externo del producto en la misma.

El valor utilizado para el lado derecho de la restricción es el tiempo de ciclo; ya que todas las operaciones o trabajos realizados por cada operario no puede exceder ese tiempo.

$$TC_Oper1.....\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^k TE_{jk} * x_{ijk} \leq TC$$

$$TC_Oper2.....\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^k TE_{jk} * x_{ijk} \leq TC$$

....

....

$$TC_Oper_i.....\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^k TE_{jk} * x_{ijk} \leq TC \forall i = 1,2,3,4,...n$$

3.1.3.3. Restricción 3: No Compartir Máquinas y No Compartir Decisión: la cantidad de restricciones de este tipo será igual al total de máquinas. Las restricciones en este caso son igualdades.

Cada restricción representa a una sola máquina. Las variables que componen cada restricción son aquellas que se involucran con una misma máquina sin importar el operario y la forma de carga. En términos de subíndices significa que por restricción se fija el subíndice *j*, mientras que los subíndices *i* y *k* varían.

El coeficiente de cada variable *x_{ijk}*, siempre será igual a uno. Aquí la forma de carga no altera el valor del parámetro.

El valor utilizado para el lado derecho de la restricción siempre será uno, ya que lo que se desea es que cada maquina solo pueda ser asignada a un solo operario.

$$\text{Decisión_Maq1} \dots \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ijk} = 1$$

$$\text{Decisión_Maq2} \dots \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ijk} = 1$$

....

....

$$\text{Decisión_Maq}_j \dots \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ijk} = 1 \forall j = 1, 2, 3, 4, \dots, m$$

3.1.3.4. Restricción 4: Cantidad de Máquinas por Operario: la cantidad de restricciones de este tipo será igual al total de operarios. Son restricciones de dirección menor igual.

Cada restricción representa a un operario. Las variables que forman cada restricción son todas aquellas que se relacionen con un mismo operario, sin importar la máquina y la forma de carga. En términos de subíndices significa que por cada restricción se deberá fijar el subíndice *i*, mientras que los subíndices *j* y *k* varían.

El coeficiente de cada variable x_{ijk} , siempre será igual a uno. Aquí la forma de carga no altera el valor del parámetro.

En todos los problemas las restricciones de este tipo tendrán pequeños cambios en el valor asignado al lado derecho de la misma, lo que se debe garantizar es que la suma de los lados derechos de las restricciones de este grupo siempre sea igual al total de máquinas menos uno.

El mínimo valor que se le puede colocar al lado derecho de una restricción de este grupo es 1. Todas las restricciones son menores iguales, excepto la última que siempre deberá ser mayor igual a uno; con el fin de acotar el conjunto de máquinas a asignar y restringir el campo de asignaciones a soluciones factibles,

consiguiendo así asignar las máquinas de forma tal de que a cada operarios se le sea signada por lo menos una de ellas.

$$\text{CantMáq_Oper1} \dots \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k x_{ijk} \leq$$

$$\text{CantMáq_Oper2} \dots \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k x_{ijk} \leq$$

$$\text{CantMáq_Oper3} \dots \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k x_{ijk} \geq 1$$

.....

$$\text{CantMáq_Oper}_i \dots \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^k x_{ijk} \leq \forall i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$$

3.1.3.5. Restricción 5: Demanda: la cantidad de máquinas de este tipo dependerán de dos factores que son: el número de productos y los tipos de máquinas. El número de productos forman grupos, mientras que la cantidad de tipos de máquinas determinan la cantidad de restricciones por grupo. Son restricciones de igualdad.

Cada restricción representa las unidades de productos que deben resultar por tipo de máquina del sistema²³. Las variables que forman cada restricción son todas aquellas que dependiendo del mismo tipo de máquina en su forma de carga se involucren con el respectivo producto del grupo; es decir que de una misma máquina solo se consideran las variables que en su forma de carga se relacionan con el producto determinado por el grupo. En términos de subíndices significa que por cada restricción que forma cada grupo, deberá fijarse por grupo el subíndice *j*, mientras que el subíndice *i* varía; en cuanto al subíndice *k* solo se tendrá en

²³ Es conveniente tener presente que esas unidades son las mismas que se establecen a partir del ritmo de producción como unidades de productos que deben resultar al final del ciclo de producción.

cuenta aquellos en los que la forma de carga contemplan el producto que designa el grupo.

El coeficiente de cada variable x_{ijk} , resulta del número de veces que el producto es montado en la máquina por el operario dentro del ciclo de producción. Este valor dependerá de como la forma de carga [representada por el subíndice k] se presenta en forma particular en cada variable; debido a que esta establece que productos se producen en la máquina y cuantas veces cada producto debe cargarse en la misma.

El valor utilizado para el lado derecho de la restricción por grupo será igual a las unidades de producto que deben obtenerse al finalizar el ciclo de producción; ya que para que se obtengan las unidades de producto exigidas por el tiempo de ciclo, se requiere que en igual cantidad sean procesadas por cada tipo de máquina.

A continuación se presenta en la Tabla 4, en resumen las características de los parámetros de cada restricción manejada en el modelo.

Tabla 4: Cuadro Resumen de las Restricciones del modelo

| 45. Tipo de Restricciones | 46. Valor Coeficientes | 47. Sentido de las restricciones | 48. Valor del lado derecho | 49. Numero de restricciones |
|---|---|---|---|--|
| 50. 1) Tiempo de Ciclo de Máquinas | 51. 52. (T.E.+T.I) *numero de veces que se carga el producto en la máquina, teniendo en cuenta la forma de carga. | 54. Menor igual | 55. Tiempo de ciclo | 56. Cantidad de máquinas |
| 57. 2) Tiempo de Ciclo de Operarios | 53. 58. (T.E.)* numero de veces que se carga el producto en la máquina, teniendo en cuenta la forma de carga. | 60. Menor igual | 61. Tiempo de ciclo | 62. Cantidad de operarios |
| 63. 3) No compartir Máquinas y Decisión | 59. 64. 1 | 65. Igual | 66. 1 | 67. Cantidad de máquinas |
| 68. 4) Cantidad de Maquinas por Operario | 69. 1 | 70. Menor igual 71. La última restricción es mayor igual a uno | 72. Depende de la cantidad de máquinas. 73. Al final todos los lados derechos debe ser igual a la cantidad de máquinas menos uno | 74. Cantidad de operarios |
| 75. 5) Demanda | 76. Depende de la forma de carga | 77. Igual | 78. Unidades que deban salir al final del ciclo de producción del producto. | 79. Grupos Igual a la cantidad de productos. 80. Cada grupo igual al tipo de máquinas |

3.1.4. Función Objetivo. Se planteo una función objetivo basada en la *maximización de la confiabilidad del sistema.*

La confiabilidad puede ser definida como la probabilidad de que una máquina o equipo funcione adecuadamente durante un período determinado, bajo condiciones operativas específicas. Tales condiciones específicas puede ser: temperatura, velocidad de operación, etc.

En la práctica, la fiabilidad o confiabilidad está medida como el tiempo medio entre ciclos de mantenimiento o el tiempo medio entre dos fallas consecutivas (TMEF). Un sistema, dispositivo, máquina o equipo, resulta entonces más confiable, a medida que dicho tiempo TMEF sea mayor.

Para aumentar la confiabilidad del sistema es necesario aumentar la confiabilidad de cada uno de los componentes que lo forman, para este proyecto las máquinas se considero como el factor a tener en cuenta, ya que se busca promover la importancia del mantenimiento preventivo con el fin de disminuir la gravedad de posibles fallas.

Cabe mencionar que en las celdas de fabricación, cualquier interrupción en el flujo del proceso trae como consecuencia los costos relacionados a las reales pérdidas de producción (inventarios en proceso, mano de obra desocupada, costos de mantenimiento, perdida de tiempo, entre otros). Debido a esto se planteo como función objetivo con el fin de asegurar que la asignación de máquinas a operarios resultante del modelo cumple con los requerimientos establecidos por el ciclo de producción.

Con lo que se obtiene:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^K IC_j * (TE + TI)_{jk} * x_{ijk}$$

Donde

IC corresponde al Índice de Confiabilidad de cada máquina **j**.

(TE+TI)_{jk} es el tiempo de procesamiento de la máquina **j** con la forma de carga **k**.

Como variable de decisión se emplean todas las generadas por el modelo.

3.2. RECOLECCION DE DATOS

Teniendo en cuenta que la metodología de análisis resuelve un problema específico, se diseña una herramienta informática como plataforma para la recolección de datos.

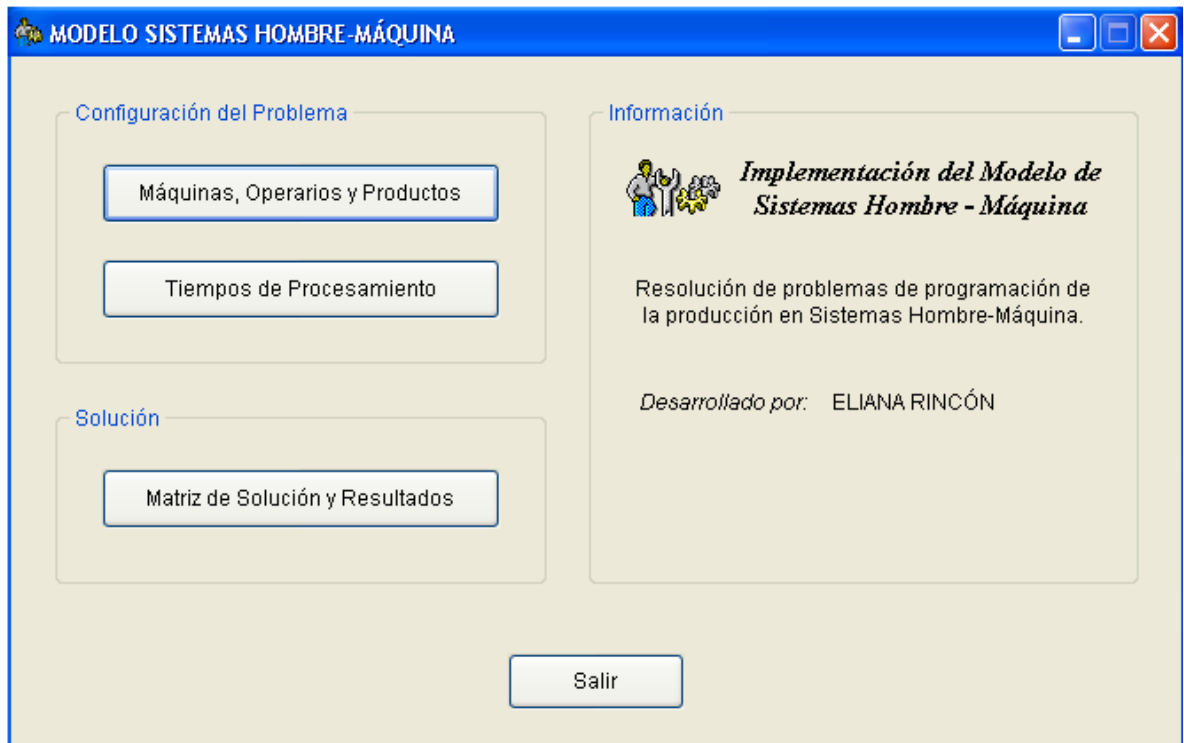
La utilidad de este programa consiste en que sin importar el escenario al que pertenezca el problema, el software llevara a cabo una serie de pasos basados en la metodología de análisis que reducen el tiempo de cálculo de las variables de decisión y los parámetros del modelo.

Para el programa se utilizo el lenguaje de programación Delphi.

El programa se presenta al usuario inicialmente a través de una ventana de presentación como la mostrada en la Figura 7.

En esta ventana existen tres botones de opciones las cuales indican en el mismo orden las etapas necesarias para la entrada de datos y la posterior obtención de las componentes del modelo; por tanto estas opciones se irán activando a medida de que se avanza.

Figura 7: Ventana de Presentación del Programa diseñado para la Recolección de Datos del Modelo



Cada uno de los botones de opciones lleva a una nueva ventana, las cuales se explicarán en detalle a continuación

3.2.1. Datos de Entrada del Modelo. En la Figura 8, se observa la ventana que resulta del botón *Máquinas, Operarios y Productos*, aquí se deposita la información general de los elementos básicos del problema de la programación de la producción en los Sistemas hombre-máquina. Tales elementos son: Tipo y Cantidad por tipo de Máquina, Índice de Confiabilidad de cada máquina, Cantidad de Productos y Demanda de cada uno con su unidad de tiempo, Número de Operarios; los cuales deberán ser introducidos por el usuario.

Figura 8: Ventana del botón Máquinas, Operarios y Productos

The screenshot shows a software window with the following fields and options:

- Tipos de Máquinas:** A dropdown menu set to '1'.
- Cantidades por Tipo / Índices de Confiabilidad:** A table with one row for 'Tipo 1' and a value of '5' in the adjacent field.
- Cantidad de Productos:** A dropdown menu set to '1'.
- Demanda de cada Producto:** A section for 'Producto A' with a value of '12'.
- Unidades:** A list box containing 'artículos / hr', 'artículos / día', 'artículos / semana', and 'artículos / mes'. 'artículos / hr' is selected.
- Información Adicional Unidades:** A text box containing '[artículos / hr] NO requiere más datos.'
- Cantidad de Operarios:** A dropdown menu set to '1'.
- Buttons:** 'Aceptar' (Accept) and 'Cancelar' (Cancel).

En los campos para introducir los datos de: cantidad de operarios, cantidad de máquinas por tipo, cantidad de productos y demanda de cada producto; solo será posible digitar números enteros positivos.

Las cantidades máximas que maneja el programa son:

9 Tipos de Máquinas y 20 unidades de procesamiento por tipo y 5 Productos.

Las unidades que se piden son las correspondientes a la demanda, esto indica que todos los productos deberán tener iguales unidades de tiempo. La información adicional que se solicita depende de la unidad de tiempo seleccionada, esta información es la correspondiente a los horarios de trabajo (horas de trabajo por día, días de trabajo por semana, por mes, etc.).

3.2.2. Tiempos de Procesamiento de las Máquinas. En la Figura 9 se observa la ventana resultante del botón *Tiempos de Procesamiento*, aquí se digitan los tiempos de procesamiento de cada producto de acuerdo al tipo de máquina. En los campos para introducir los datos se permiten solo números positivos (enteros y con decimales), además la unidad de tiempo correspondiente a estos datos es el minuto.

Figura 9: Ventana del botón de Tiempos de Procesamiento

MODELO SISTEMAS HOMBRE-MÁQUINA (Tiempos de Procesa...)

Tipo de Producto: Producto A

Tiempos de Procesamiento - PRODUCTO A

Tipo 1

Tiempo Externo (TE): 4

Tiempo Interno (TI): 21

Suma Total (T): 25

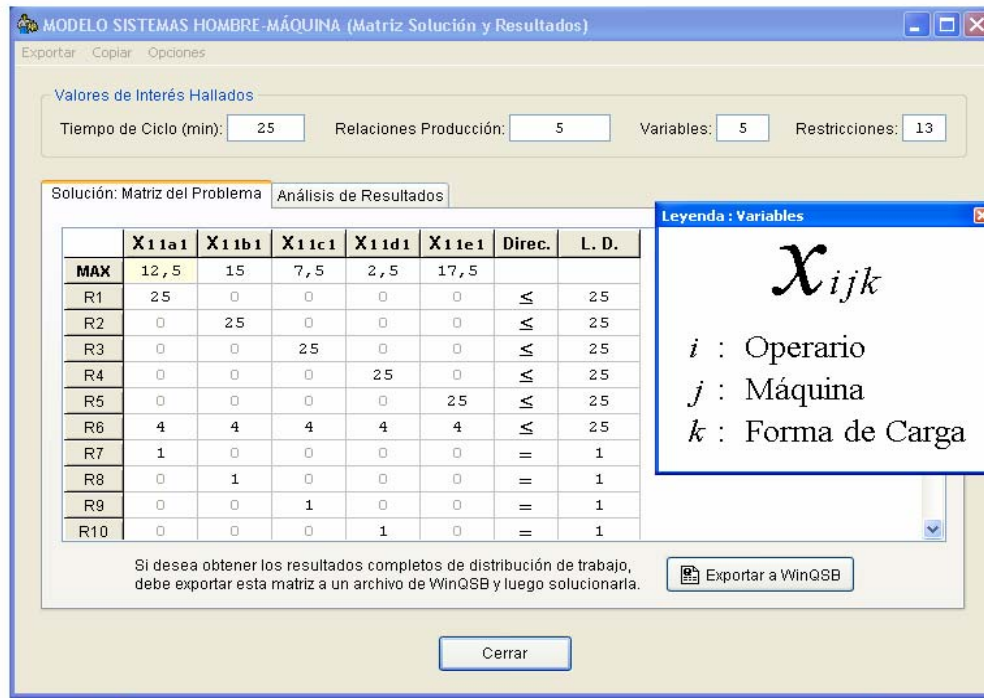
Aceptar Cancelar

3.2.3. Matriz del Modelo y Análisis de Resultados. En la Figura 10, aparece la ventana que se obtiene del botón *Matriz de Solución y Resultados*. En la parte superior de la ventana aparece los resultados del tiempo de ciclo del problema, las unidades que de cada producto deben resultar del tiempo de ciclo [esto se identifica como relaciones de producción], y la cantidad de variables de decisión y de restricciones del problema.

Para determinar el cálculo del tiempo de ciclo de producción, fue necesario calcular en primera instancia el ritmo de producción de cada producto. El diagrama de flujo que muestra la lógica utilizada en el programa para obtener el ritmo de producción puede ser visto en el Anexo A.

En la parte derecha de la ventana se muestra un cuadro llamado *Leyenda: Variables*, que indica la nomenclatura de las variables utilizada en el modelo.

Figura 10: Ventana del botón Matriz de Solución y Resultados



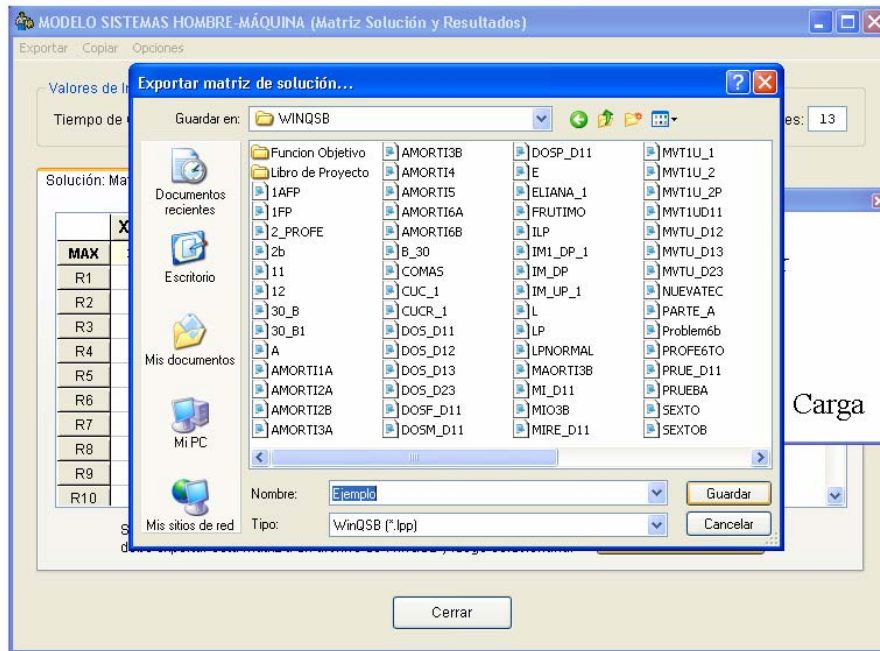
Además en la ventana aparecen dos pestañas llamadas *Solución: Matriz del Problema* y *Análisis de Resultados*.

En la primera pestaña que por defecto presenta el programa aparece la matriz del modelo. La primera fila de la matriz corresponde a las variables de decisión y la primera columna a la numeración de las restricciones; esta matriz es generada a partir de los datos digitados en las anteriores ventanas.

La matriz como forma de presentación resulta conveniente no solo para permitir una mejor visualización de las relaciones entre variables, sino también para el desarrollo del modelo en el software WinQSB. Para esto en la parte superior de la ventana aparece una pestaña llamada *Exportar*, de ahí se selecciona *Exportar*

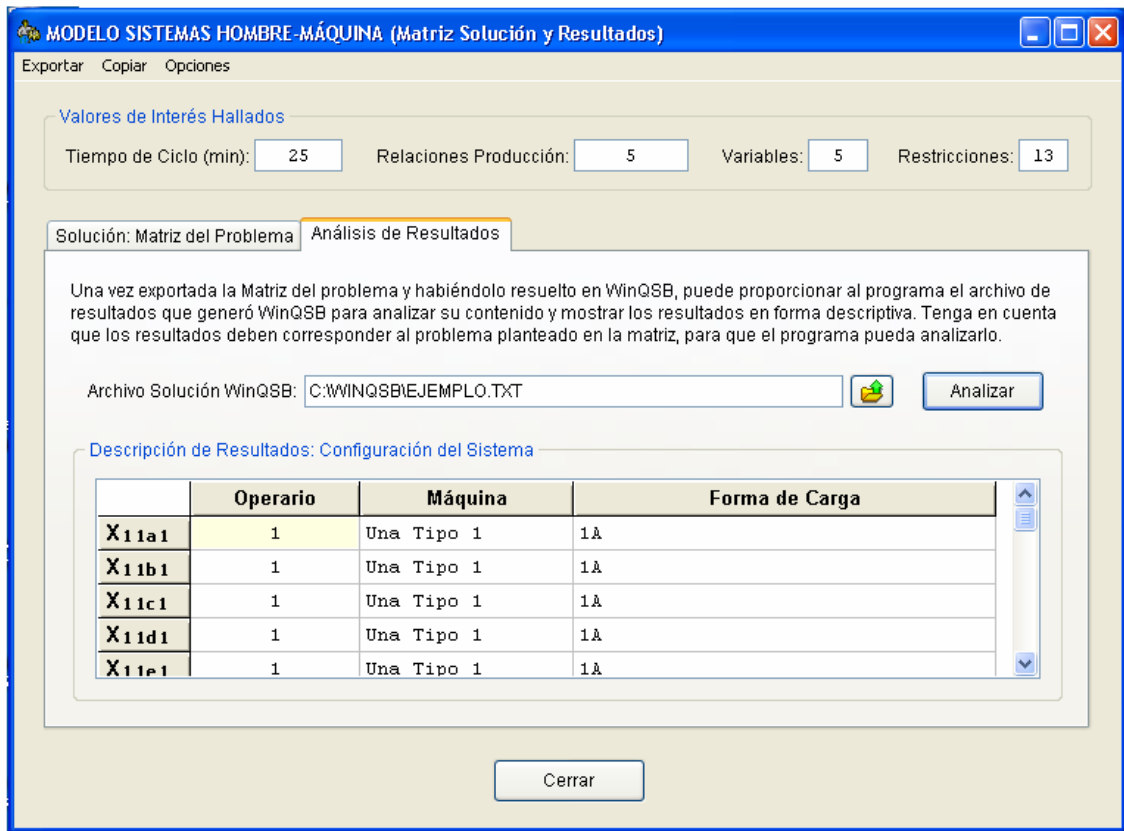
Matriz Solución (QSB) o se presiona el botón *Exportar a WinQSB* ubicado en la parte inferior derecha de la ventana mostrada en la Figura 10, de los cuales se desprende un cuadro de dialogo en el que se debe especificar el nombre y ubicación para grabar la matriz del modelo (ver Figura 11).

Figura 11: Cuadro de dialogo de la opción Exportar a WinQSB



Luego se debe abrir el programa *Linear and Integer Programming* del software WinQSB, y en la barra de herramientas en el menú *File* seleccionar *Load a problem* y buscar en la ventana que se desprende de esa opción el nombre del archivo con el que fue guardada la matriz. Después de abierto el archivo, en la barra de herramientas se selecciona el menú *Solve and Analyze*, se elige la opción *Solve the Problem*, del cual se obtendrán los resultados del modelo organizados en el *Combined Report*, este archivo deberá ser guardado por el usuario para posteriormente realizar la interpretación de los datos en la segunda pestaña llamada *Analizar los Resultados* del programa diseñado (ver Figura 12).

Figura 12: Ventana de la pestaña Análisis de Resultados



4. APLICACIÓN DEL MODELO PROPUESTO Y VALIDACIÓN

Desarrollado el programa para la recolección de datos para obtener los insumos necesarios para la generación de la matriz que resume el modelo, se procedió a validar los resultados obtenidos con ayuda del software WinQSB por medio de los diagramas hombre-máquina.

Ya que es necesario establecer de entrada una forma de distribución de los recursos para la elaboración de los diagramas hombre-máquina, para fines de este proyecto se utilizaron los resultados obtenidos del modelo como datos de entrada que determinan la forma de asignación de máquinas a operarios y su respectiva forma de carga.

La validez de los resultados se obtiene cuando la asignación elegida por el modelo muestra a través del diagrama hombre-máquina, que ninguno de los recursos (operarios y máquinas) excede el tiempo de ciclo de producción a la vez que se cumple con la demanda establecida. Además el criterio de optimización se cumple cuando se obtiene el valor total máximo de confiabilidad que puede ser obtenido de las asignaciones posibles.

Para la elaboración de los diagramas se utilizara la siguiente nomenclatura:

TCP: Tiempo de Ciclo de Producción

Oper: Operario

MT: Máquina Tipo

 Tiempo Externo

 Tiempo Interno

Para el desarrollo de este proceso de validación se tomaron ejercicios pertenecientes a cada escenario de asignación de recursos para los sistemas hombre-máquina identificado en la caracterización del problema.

En cada uno de ellos se contemplo la cantidad mínima y máxima de productos [1 y 2 respectivamente]. Y para la función objetivo se tomo como índice de confiabilidad el valor de 1 para todas las máquinas, lo cual representa la mayor confiabilidad del sistema.

Se partió en los problemas conociendo los datos de: cantidad de tipo y maquinas por tipo, número de operarios, tiempo de procesamiento, y tiempo de ciclo.

4.1. ESCENARIO 1: VARIOS OPERARIOS-MÁQUINAS IGUALES

4.1.1. Máquinas Iguales- Un Producto.

Se tiene

Número de Operarios: 2

Demanda: 20 artículos por hora

Cantidad de Máquinas: 5 tipo1.

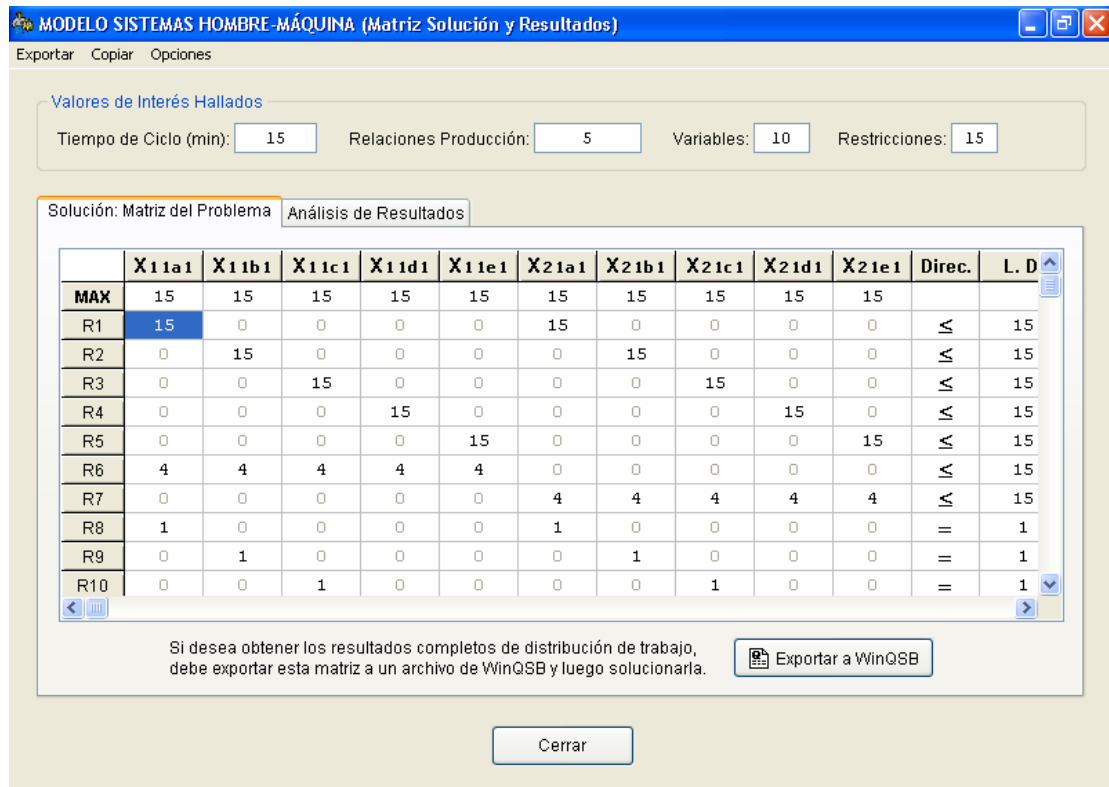
Tabla 5: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.1.

| | | Tipo |
|-----|------------------------------------|-------------|
| 1. | Tipos de Máquinas. | 1 |
| 83. | <i>Tiempo de Procesamiento</i> | 14. |
| . | Tiempo Externo (T.E.) | 11 |
| 7. | Tiempo Interno (T.I.) | 4 |

Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 13, en la misma se

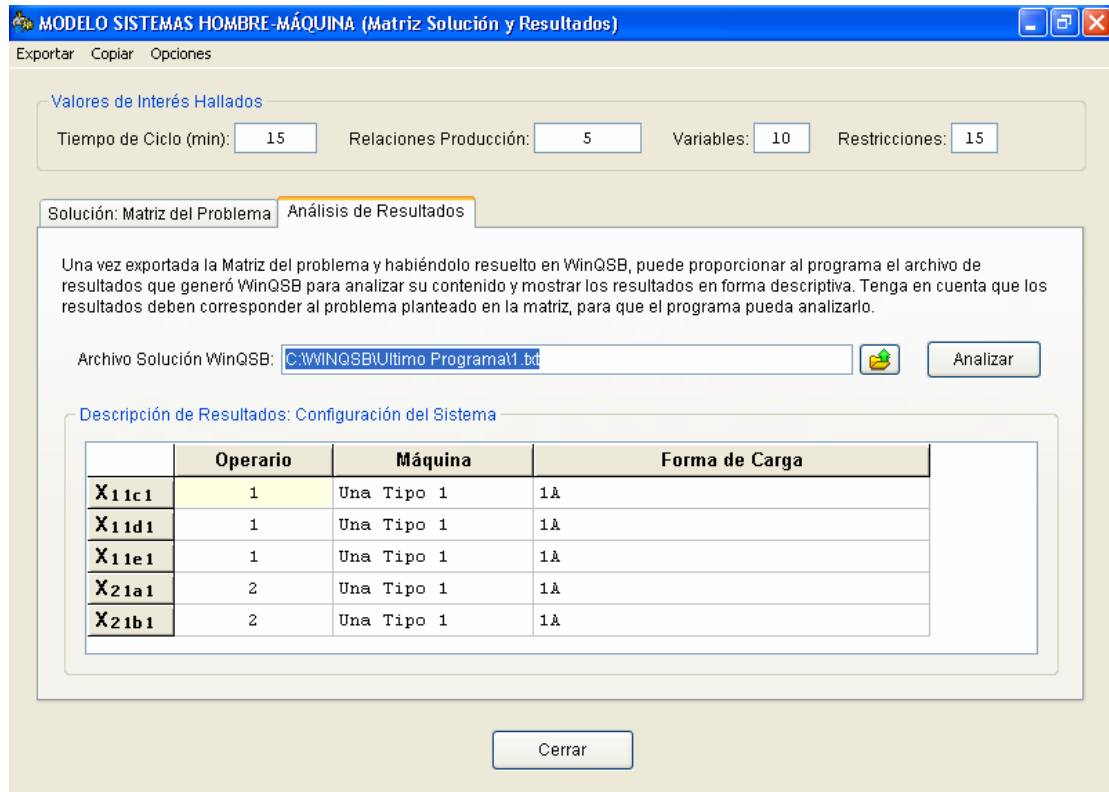
aprecia un tiempo de ciclo de 15 minutos y una relación de demanda de 5 artículos por ciclo.

Figura 13: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.1.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 14:

Figura 14: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.1.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 6)

Tabla 6: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.1.

| 89. | TCP | Oper1 | MT 1 | MT 1 | MT1 | Oper 2 | MT 1 | MT 1 | | | | | |
|------|------------------|-------------|---------|---------|-----|-----------|---------|---------|------|----|----|----|----|
| 97. | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 105. | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 113. | 3 | | | | | | | | | | | | |
| 121. | 4 | | | | | | | | | | | | |
| 129. | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 137. | 6 | | | | | | | | | | | | |
| 145. | 7 | | | | | | | | | | | | |
| 153. | 8 | | | | | | | | | | | | |
| 161. | 9 | | | | | | | | | | | | |
| 169. | 10 | | | | | | | | | | | | |
| 177. | 11 | | | | | | | | | | | | |
| 185. | 12 | | | | | | | | | | | | |
| 193. | 13 | | | | | | | | | | | | |
| 201. | 14 | | | | | | | | | | | | |
| 209. | 15 | | | | | | | | | | | | |
| | Productos | 218. | 9. | 1A | 0. | 1A | 1. | 1A | 222. | 3. | 1A | 4. | 1A |

4.1.2. Máquinas Iguales- Dos Productos.

4.1.2.1. Situación 1:

Se tiene:

Número de Operarios: 2

Demanda: 20 art/hr de A y 20 art/hr de B

Cantidad de Máquinas: 2 tipo1.

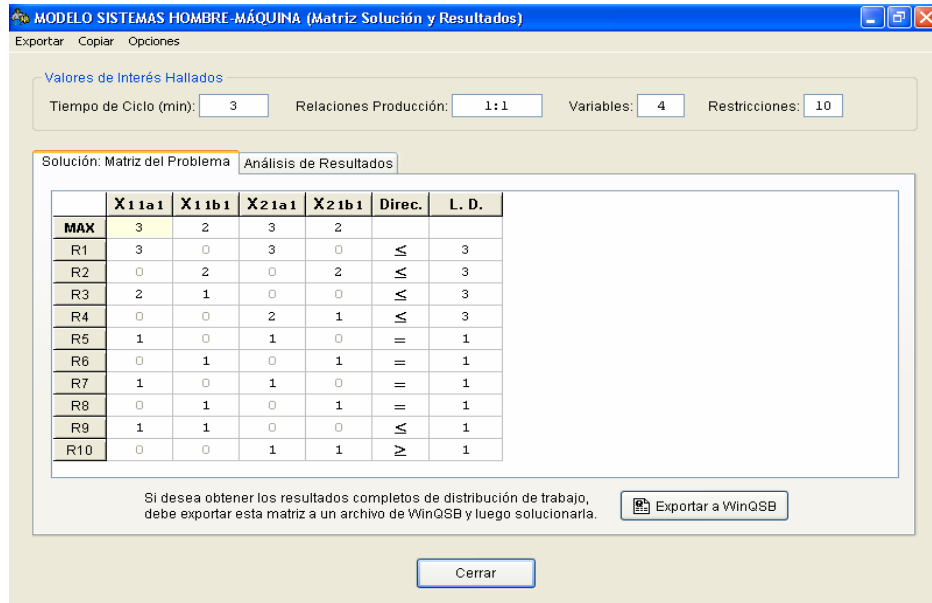
Tabla 7: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.2.1

| | i. | Tipo |
|------|----------------------------|------|
| 25. | Tipos de Máquinas. | 1 |
| 227. | Tiempo de Procesamiento | A/B |
| 9. | Tiempo Externo (T.E.) | 2/1 |
| 31. | Tiempo Interno (T.I.) | 1/1 |

Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 15, en la misma se

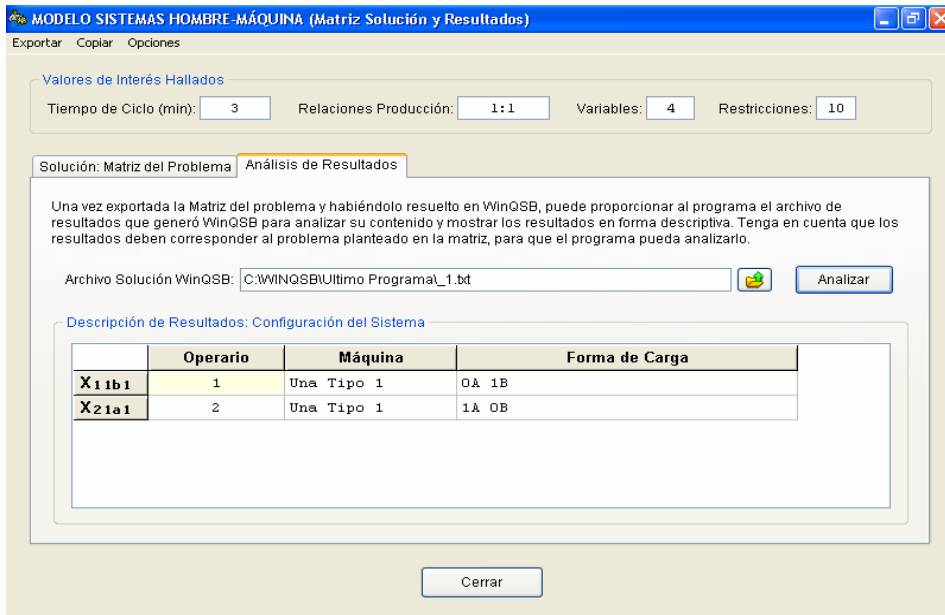
aprecia un tiempo de ciclo de 3 minutos y una relación de demanda de 1 artículo de A y 1 artículo de B por ciclo.

Figura 15: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.2.1.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 16:

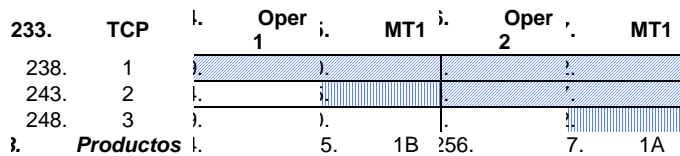
Figura 16: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.2.1.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 8)

Tabla 8: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.2.1.



4.1.2.2. Situación 2:

Se tiene

Número de Operarios: 2

Demanda: 20 art/hr de A y 40 art/hr de B

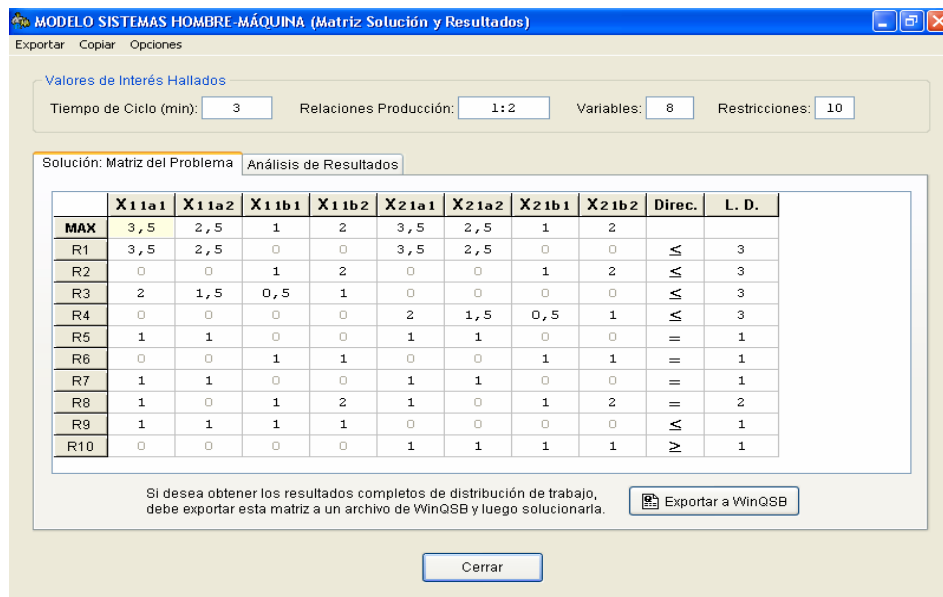
Cantidad de Máquinas: 2 tipo1

Tabla 9: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.2.2.

| | | | |
|------|----------------------------|-----|---------|
| 58. | Tipos de Máquinas. | 3. | Tipo 1 |
| 260. | Tiempo de Procesamiento | 31. | A/B |
| 2. | Tiempo Externo (T.E.) | 3. | 1.5/0.5 |
| 34. | Tiempo Interno (T.I.) | 5. | 1/0.5 |

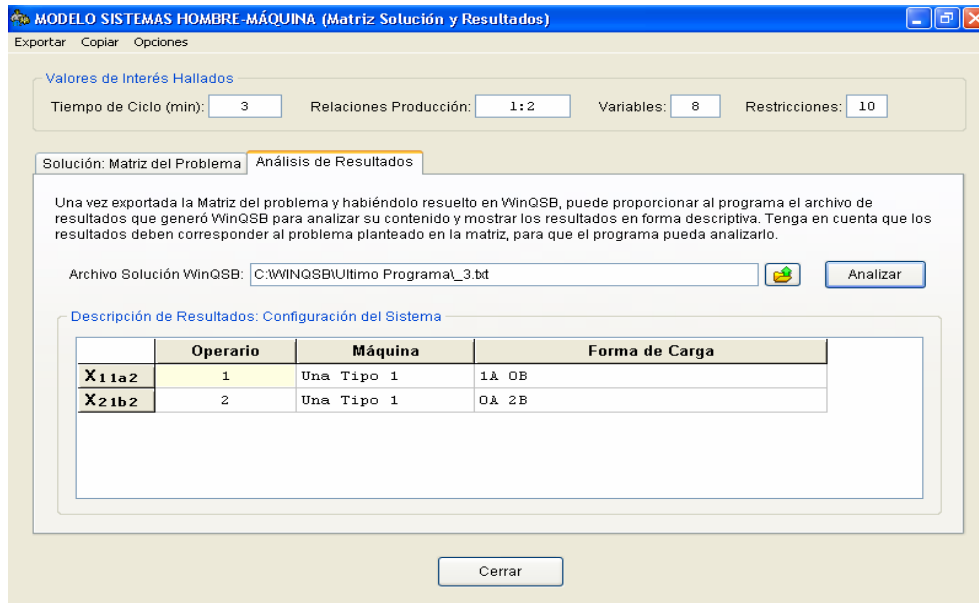
Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 17, en la misma se aprecia un tiempo de ciclo de 3 minutos y una relación de demanda de 1 artículo de A y 2 artículos de B por ciclo.

Figura 17: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.2.2.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 18:

Figura 18: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.2.2.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 10)

Tabla 10: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.2.2.

| 266. | TCP | Oper 1 | MT1 | Oper 2 | MT1 | |
|------|------------------|--------|-----|--------|-----|----|
| 271. | 0.5 | | | | | |
| 276. | 1 | | | | | |
| 281. | 1.5 | | | | | |
| 286. | 2 | | | | | |
| 291. | 2.5 | | | | | |
| 296. | 3 | | | | | |
| 1. | Productos | 3. | 1A | 304. | 5. | 2B |

4.1.2.3. Situación 3:

Se tiene

Número de Operarios: 2

Demanda: 10 art/hr de A y 30 art/hr de B

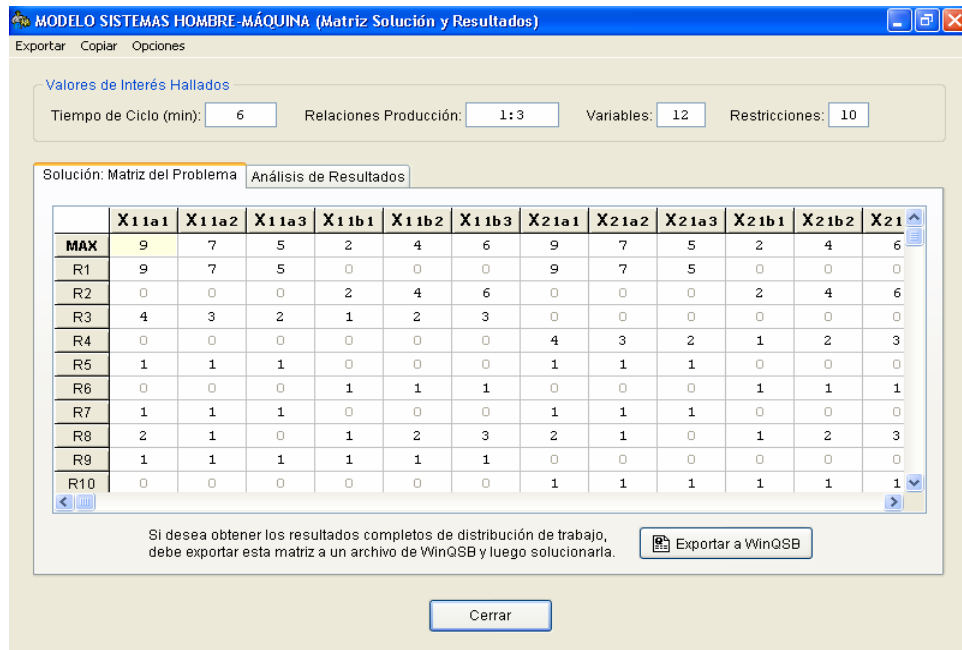
Cantidad de Máquinas: 2 tipo1

Tabla 11: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.2.3.

| i. | Tipos de Máquinas. | j. | Tipo |
|----|----------------------------|----|------|
| | | | 1 |
| 3. | Tiempo de Procesamiento | 9. | A/B |
| 1. | Tiempo Externo (T.E.) | 1. | 2/1 |
| 2. | Tiempo Interno (T.I.) | 3. | 3/1 |

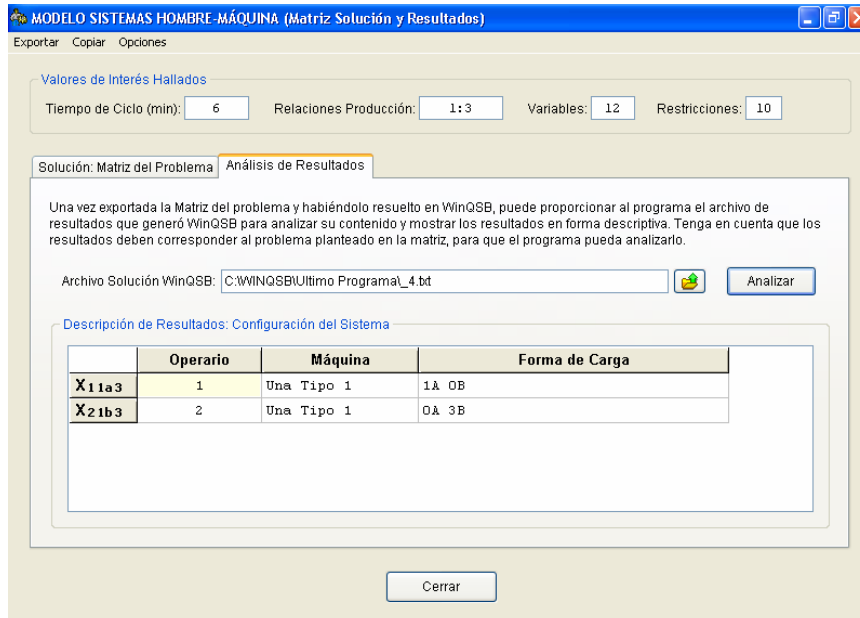
Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 19, en la misma se aprecia un tiempo de ciclo de 6 minutos y una relación de demanda de 1 artículo de A y 3 artículos de B por ciclo.

Figura 19: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.2.3.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 20:

Figura 20: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.2.3.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 12)

Tabla 12: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.2.3.

| 314. | TCP | i. | Oper 1 | i. | MT1 | r. | Oper 2 | i. | MT1 |
|------|------------------|----|--------|----|------|----|--------|----|-----|
| 319. | 1 | | | | | | | | |
| 324. | 2 | | | | | | | | |
| 329. | 3 | | | | | | | | |
| 334. | 4 | | | | | | | | |
| 339. | 5 | | | | | | | | |
| 344. | 6 | | | | | | | | |
| 1. | Productos | | 1. | 1A | 352. | | 3. | 3B | |

4.1.2.4. Situación 4:

Se tiene

Número de Operarios: 3

Demanda: 30 art/hr de A y 30 art/hr de B

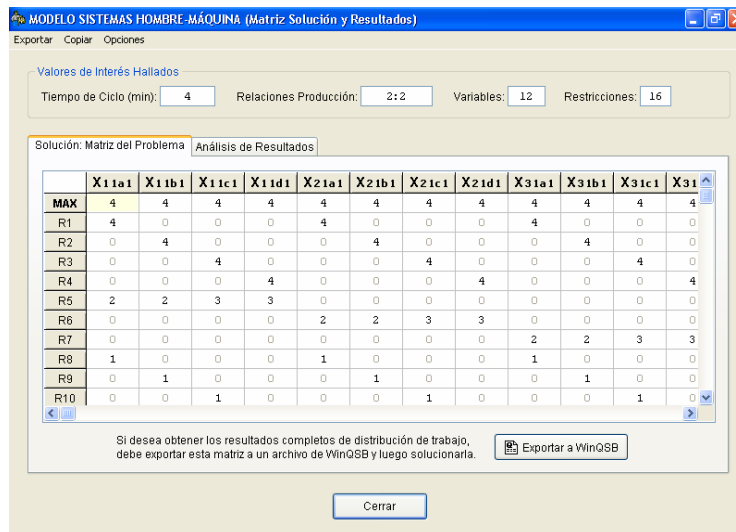
Cantidad de Máquinas: 4 tipo1

Tabla 13: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.2.4.

| | | i. | Tipo |
|------|----------------------------|----|------|
| 54. | Tipos de Máquinas. | | 1 |
| 356. | Tiempo de Procesamiento | 7. | A/B |
| 8. | Tiempo Externo (T.E.) | 9. | 2/3 |
| 30. | Tiempo Interno (T.I.) | 1. | 2/1 |

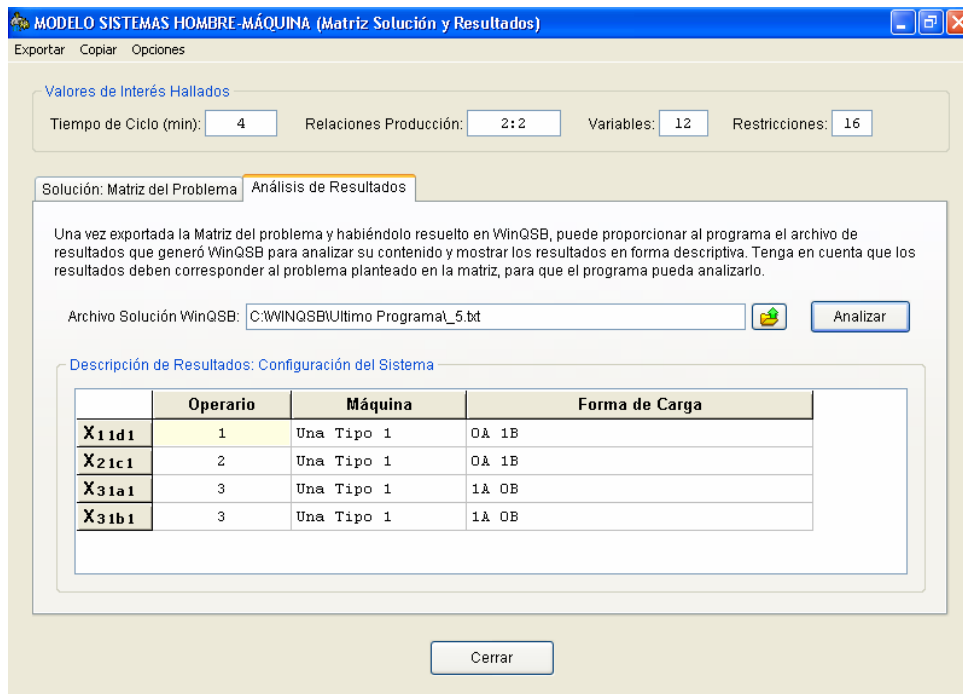
Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 21, en la misma se aprecia un tiempo de ciclo de 4 minutos y una relación de demanda de 2 artículos de A y 2 artículos de B por ciclo.

Figura 21: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.2.4.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 22:

Figura 22: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.2.4.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 14)

Tabla 14: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.2.4.

| 362. | TCP | Oper 1 | MT1 | Oper 2 | MT1 | Oper3 | MT1 | MT1 | | | |
|------|------------------|--------|-----|--------|-----|-------|------|-----|----|----|----|
| 370. | 1 | | | | | | | | | | |
| 378. | 2 | | | | | | | | | | |
| 386. | 3 | | | | | | | | | | |
| 394. | 4 | | | | | | | | | | |
| 2. | Productos | 4. | 1B | 105. | 6. | 1B | 407. | 8. | 1A | 9. | 1A |

4.1.2.5. Situación 5:

Se tiene

Número de Operarios: 4

Demanda: 20 art/hr de A y 30 art/hr de B

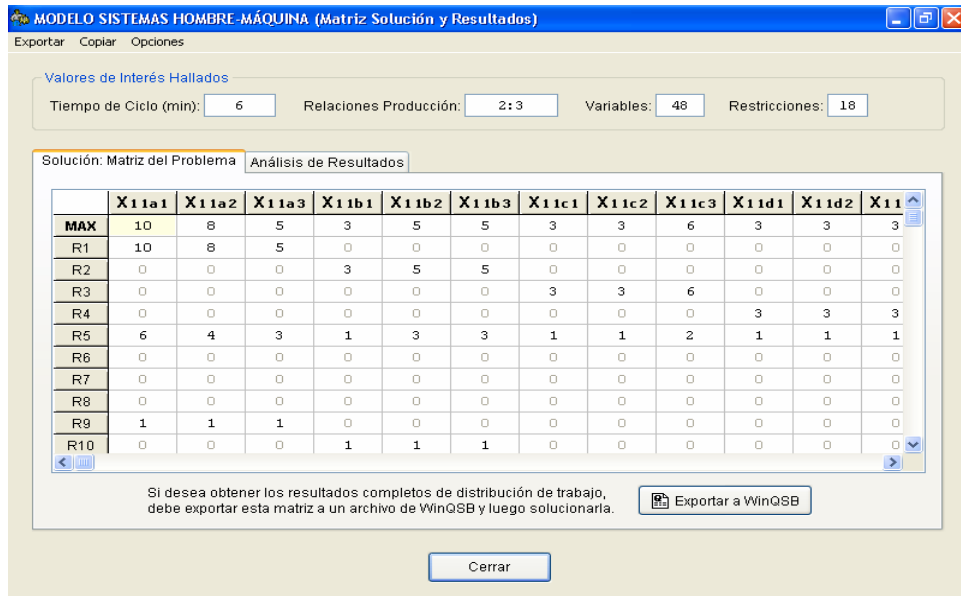
Cantidad de Máquinas: 4 tipo1

Tabla 15: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del numeral 4.1.2.5.

| | | Tipo | |
|------|----------------------------|-------------|----------|
| 10. | Tipos de Máquinas. | 1. | 1 |
| 412. | Tiempo de Procesamiento | 3. | A/B |
| 4. | Tiempo Externo (T.E.) | 5. | 3/1 |
| 16. | Tiempo Interno (T.I.) | 7. | 2/2 |

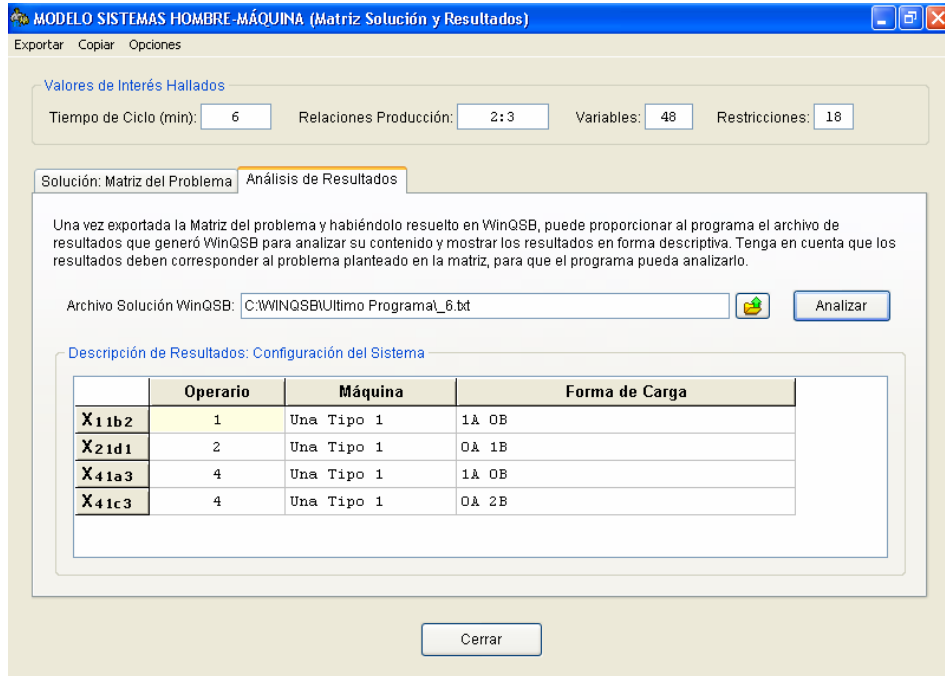
Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 23, en la misma se aprecia un tiempo de ciclo de 6 minutos y una relación de demanda de 2 artículos de A y 3 artículos de B por ciclo.

Figura 23: Matriz del modelo del problema del numeral 4.1.2.5.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 24:

Figura 24: Resultados del modelo del problema del numeral 4.1.2.5.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 16)

Tabla 16: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.1.2.5.

| 418. | TCP | Oper 1 | MT1 | Oper 2 | MT1 | Oper3 | MT1 | Oper4 | MT1 | | | |
|------|------------------|--------|-----|--------|-----|-------|------|-------|-----|------|----|----|
| 427. | 1 | | | | | | | | | | | |
| 436. | 2 | | | | | | | | | | | |
| 445. | 3 | | | | | | | | | | | |
| 454. | 4 | | | | | | | | | | | |
| 463. | 5 | | | | | | | | | | | |
| 472. | 6 | | | | | | | | | | | |
| 1. | Productos | 3. | 1A | 484. | 5. | 1B | 486. | 7. | 1A | 488. | 9. | 2B |

4.2. ESCENARIO 2: VARIOS OPERARIOS-MÁQUINAS DIFERENTES

4.2.1. Una o más Unidades de Procesamiento por Tipo.

4.2.1.1. Máquinas Diferentes- Un Producto:

Aquí se realizaron dos ejercicios:

- Problema 1: Cuando solo se tiene una unidad de procesamiento por tipo.

Se tiene

Número de Operarios: 2

Demanda: 10 art/hr de A

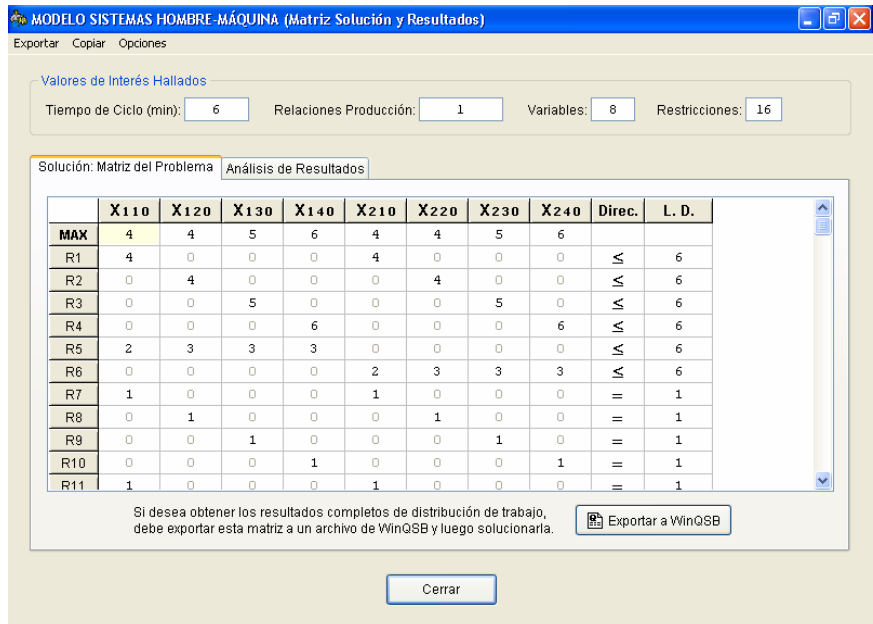
Cantidad de Máquinas: 1 tipo1, 1 tipo 2, 1 tipo 3, 1 tipo 4.

Tabla 17: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del problema 1 numeral 4.2.1.1.

| 90. | Tipos de Máquinas. | Tipo 1. | Tipo 2. | Tipo 3. | Tipo 4. |
|------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 495. | Tiempo de Procesamiento | 96. | 97. | 98. | 99. |
| 0. | Tiempo Externo (T.E.) | 01. | 02. | 03. | 04. |
| 05. | Tiempo Interno (T.I.) | 06. | 07. | 08. | 09. |

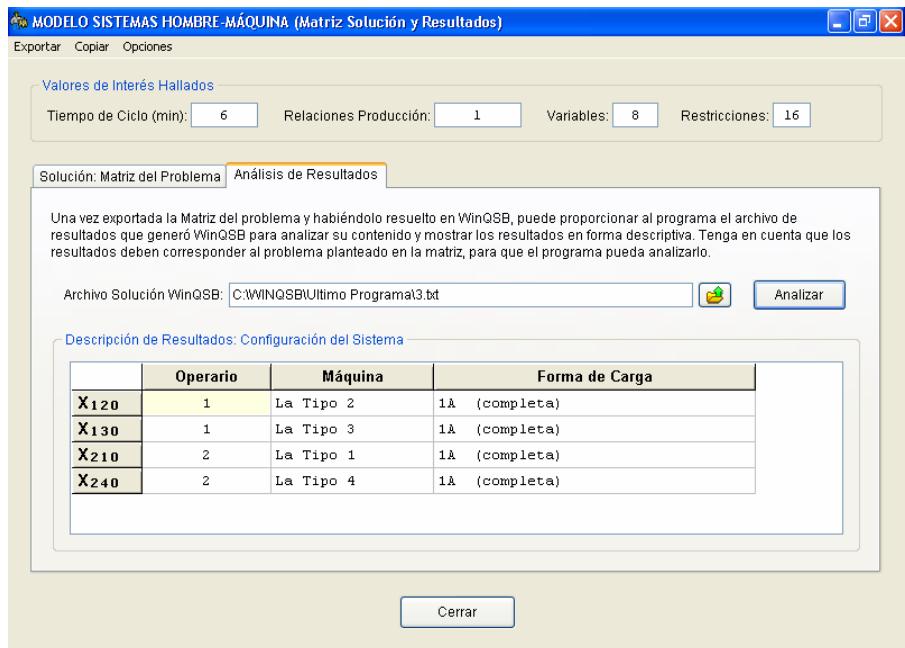
Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 25, en la misma se aprecia un tiempo de ciclo de 6 minutos y una relación de demanda de 1 artículo de A por ciclo.

Figura 25: Matriz del modelo del problema 1 del numeral 4.2.1.1.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 26:

Figura 26: Resultados del modelo del problema 1 del numeral 4.2.1.1.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 18)

Tabla 18: Diagrama hombre-máquina del problema 1 del numeral 4.2.1.1.

| 510. | TCP | Oper 1 | MT2 | MT3 | Oper 2 | MT1 | MT4 | |
|------|------------------|--------|-------|-----|--------|-----|-------|----|
| 517. | 1 | | | | | | | |
| 524. | 2 | | | | | | | |
| 531. | 3 | | | | | | | |
| 538. | 4 | | | | | | | |
| 545. | 5 | | | | | | | |
| 552. | 6 | | | | | | | |
| 1. | Productos | 1. | 1A 2. | 1A | 3. | 4. | 1A 5. | 1A |

- Problema 2: Cuando existe más de una unidad de procesamiento de cualquiera de los tipos de máquinas del problema.

Se tiene

Número de Operarios: 3

Demanda: 12 art/hr de A

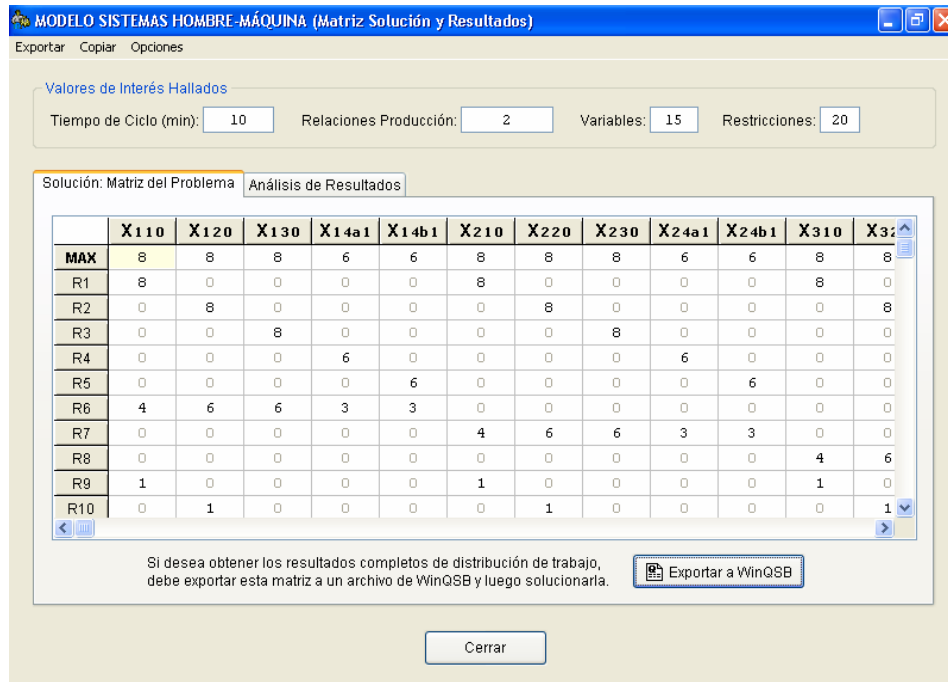
Cantidad de Máquinas: 1 tipo1, 1 tipo2, 1 tipo3, 2 tipo4.

Tabla 19: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas del problema 2 numeral 4.2.1.1.

| 66. | Tipos de Máquinas. | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 | Tipo 4 |
|------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 571. | Tiempo de Procesamiento | 72. | 73. | 74. | 75. |
| 6. | Tiempo Externo (T.E.) | 77. | 78. | 79. | 80. |
| 31. | Tiempo Interno (T.I.) | 82. | 83. | 84. | 85. |

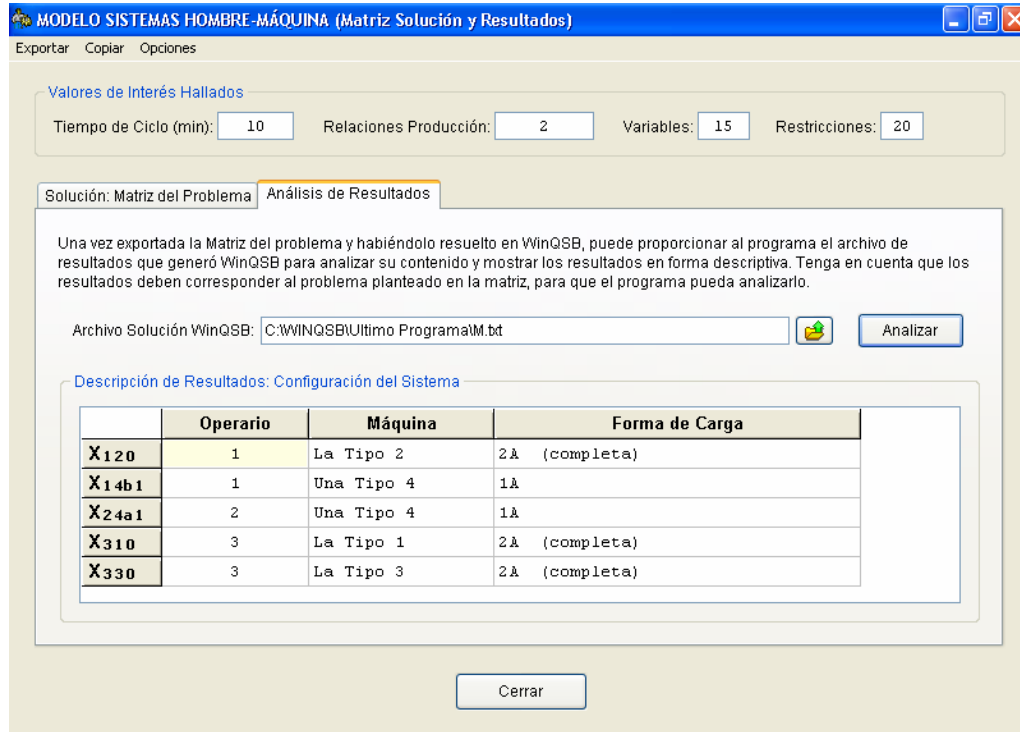
Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 27, en la misma se aprecia un tiempo de ciclo de 10 minutos y una relación de demanda de 2 artículos de A por ciclo.

Figura 27: Matriz del modelo del problema 1 del numeral 4.2.1.1.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 28:

Figura 28: Resultados del modelo del problema del numeral 4.2.1.1.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 20)

Tabla 20: Diagrama hombre-máquina del problema del numeral 4.2.1.1.

| 586. | TCP | 7. | Oper 1 | MT2 | MT4 | Oper 2 | MT4 | Oper 3 | MT1 | MT3 | | | | |
|------|------------------|----|--------|-----|-----|--------|------|--------|-----|------|----|----|----|----|
| 595. | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 604. | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 613. | 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 622. | 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 631. | 5 | | | | | | | | | | | | | |
| 640. | 6 | | | | | | | | | | | | | |
| 649. | 7 | | | | | | | | | | | | | |
| 658. | 8 | | | | | | | | | | | | | |
| 667. | 9 | | | | | | | | | | | | | |
| 676. | 10 | | | | | | | | | | | | | |
| i. | Productos | i. | 7. | 2A | 8. | 1A | 689. | 0. | 1A | 691. | 2. | 2A | 3. | 2A |

4.2.1.2. Máquinas Diferentes- Dos Productos:

❖ Situación 1

Se tiene

Número de Operarios: 2

Demanda: 6 art/hr de A y 6 art/hr de B

Cantidad de Máquinas: 1 tipo1, 1 tipo2.

Tabla 21: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas de la situación 1.

| 94. | Tipos de Máquinas. | i. | Tipo i. | | |
|------|----------------------------|----|---------|----|-----|
| | | | 1 | 2 | |
| 697. | Tiempo de Procesamiento | 8. | A/B | 9. | A/B |
| 0. | Tiempo Externo (T.E.) | 1. | 2/4 | 2. | 4/2 |
| 03. | Tiempo Interno (T.I.) | 4. | 2/2 | 5. | 2/2 |

Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 29, en la misma se aprecia un tiempo de ciclo de 10 minutos y una relación de demanda de 1 artículo de A y 1 artículo de B por ciclo.

Figura 29: Matriz del modelo del problema de la situación 1.

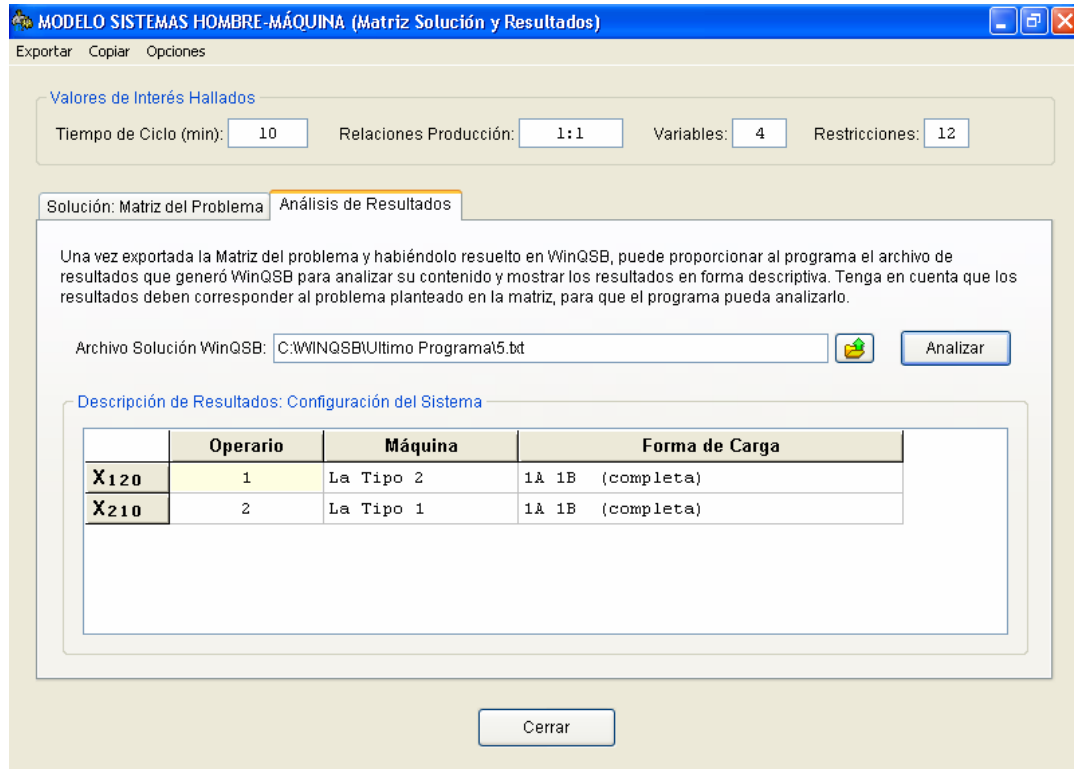
| | X110 | X120 | X210 | X220 | Direc. | L. D. |
|-----|------|------|------|------|--------|-------|
| MAX | 10 | 10 | 10 | 10 | | |
| R1 | 10 | 0 | 10 | 0 | ≤ | 10 |
| R2 | 0 | 10 | 0 | 10 | ≤ | 10 |
| R3 | 6 | 6 | 0 | 0 | ≤ | 10 |
| R4 | 0 | 0 | 6 | 6 | ≤ | 10 |
| R5 | 1 | 0 | 1 | 0 | = | 1 |
| R6 | 0 | 1 | 0 | 1 | = | 1 |
| R7 | 1 | 0 | 1 | 0 | = | 1 |
| R8 | 0 | 1 | 0 | 1 | = | 1 |
| R9 | 1 | 0 | 1 | 0 | = | 1 |
| R10 | 0 | 1 | 0 | 1 | = | 1 |
| R11 | 1 | 1 | 0 | 0 | ≤ | 1 |

Si desea obtener los resultados completos de distribución de trabajo, debe exportar esta matriz a un archivo de WinQSB y luego solucionarla. [Exportar a WinQSB](#)

[Cerrar](#)

Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 30:

Figura 30: Resultados del modelo del problema de la situación 1.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 22)

Tabla 22: Diagrama hombre-máquina del problema de la situación 1.

| 706. | TCP | Oper 1 | MT2 | Oper 2 | MT1 |
|------|------------------|--------|-----------|--------|-----------------|
| 711. | 1 | | | | |
| 716. | 2 | | | | |
| 721. | 3 | | | | |
| 726. | 4 | | | | |
| 731. | 5 | | | | |
| 736. | 6 | | | | |
| 741. | 7 | | | | |
| 746. | 8 | | | | |
| 751. | 9 | | | | |
| 756. | 10 | | | | |
| f. | Productos | 3. | 1A- 1B | 64. | 5. 1A- 1B |

❖ **Situación 2**

Se tiene

Número de Operarios: 2

Demanda: 15 art/hr de A y 30 art/hr de B

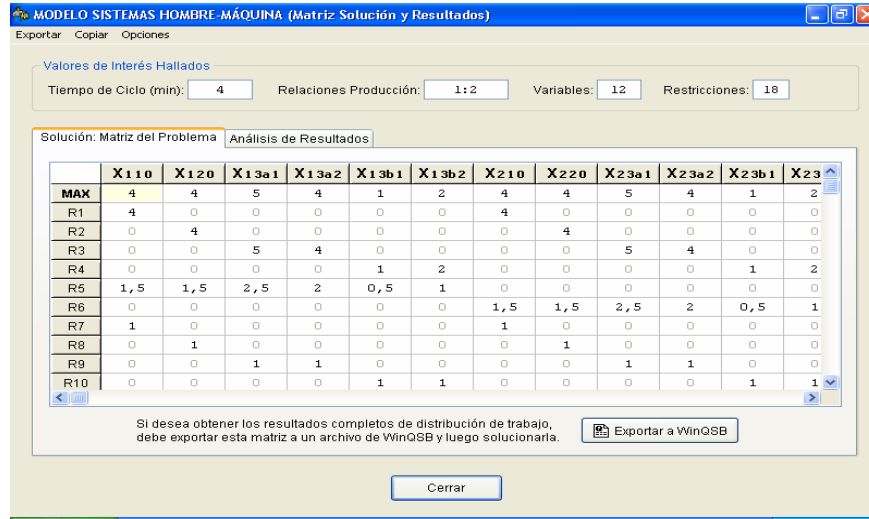
Cantidad de Máquinas: 1 tipo1, 1 tipo2, 2 tipo 3.

Tabla 23: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas de la situación 2.

| 66. | Tipos de Máquinas. | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 |
|------|----------------------------|---------|---------|--------|
| 770. | Tiempo de Procesamiento | 71. A/B | 72. A/B | 3. A/B |
| 4. | Tiempo Externo (T.E.) | 0.5/0.5 | 0.5/0.5 | 2/0.5 |
| 78. | Tiempo Interno (T.I.) | 1.5/0.5 | 1.5/0.5 | 2/0.5 |

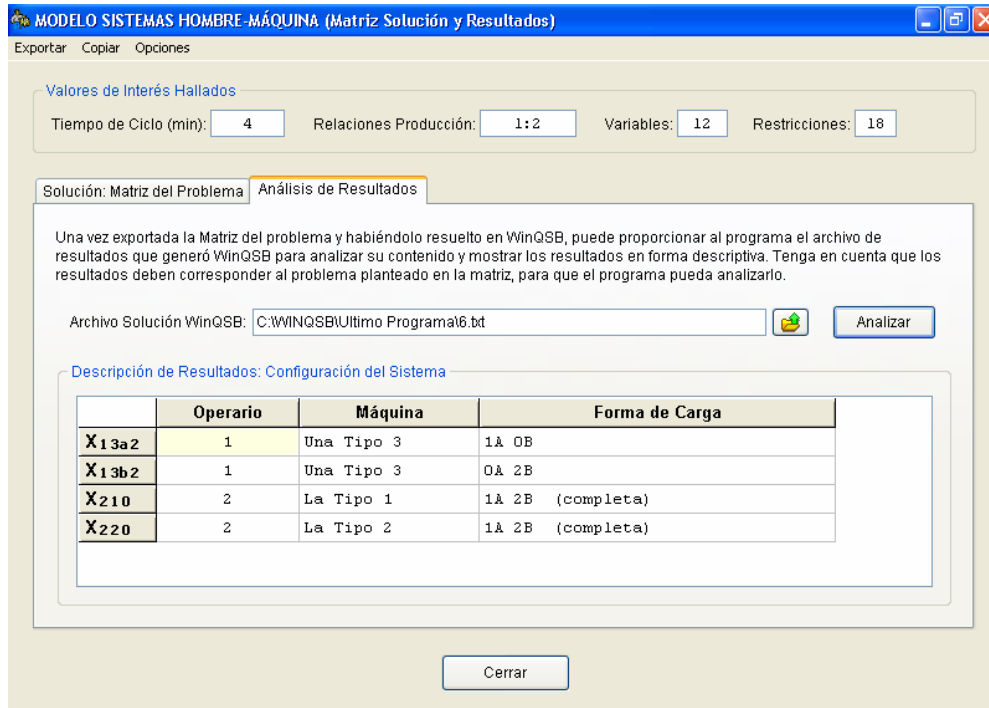
Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 31, en la misma se aprecia un tiempo de ciclo de 15 minutos y una relación de demanda de 5 artículos por ciclo.

Figura 31: Matriz del modelo del problema de la situación 2.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 32:

Figura 32: Resultados del modelo del problema de la situación 2.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 24)

Tabla 24: Diagrama hombre-máquina del problema de la situación 2.

| 782. | TCP | Oper 1 | MT3 | MT3 | Oper 2 | MT1 | MT2 | | | | |
|------|------------------|--------|-----|-----|--------|-----|------|----|-----------|----|-----------|
| 789. | 0.5 | | | | | | | | | | |
| 796. | 1 | | | | | | | | | | |
| 803. | 1.5 | | | | | | | | | | |
| 810. | 2 | | | | | | | | | | |
| 817. | 2.5 | | | | | | | | | | |
| 824. | 3 | | | | | | | | | | |
| 831. | 3.5 | | | | | | | | | | |
| 838. | 4 | | | | | | | | | | |
| i. | Productos | 346. | 7. | 1A | 8. | 2B | 349. | 0. | 1A- 2B | 1. | 1A- 2B |

❖ Situación 3

Se tiene

Número de Operarios: 8

Demanda: 10 art/hr de A y 30 art/hr de B

Cantidad de Máquinas: 3 tipo1, 4 tipo2, 4 tipo3

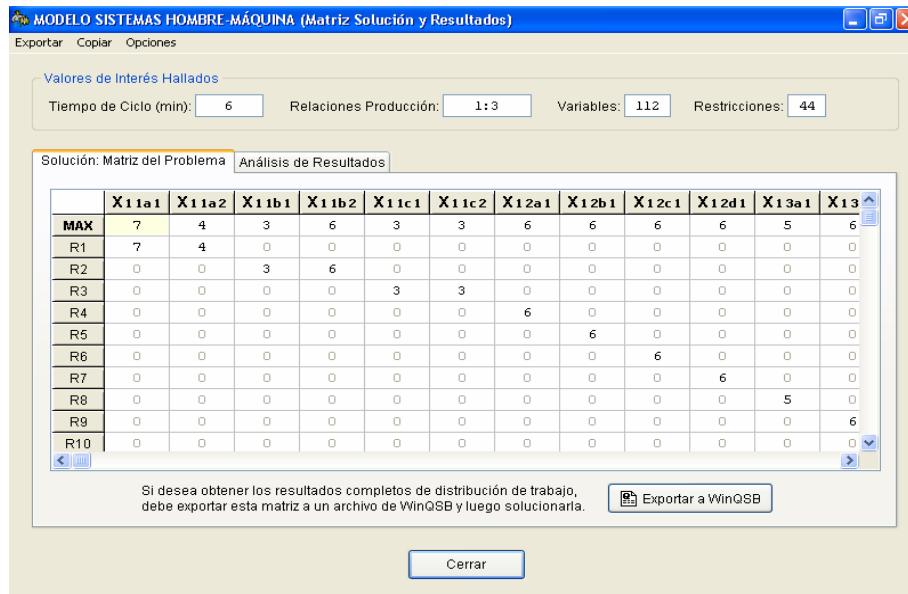
Tabla 25: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas de la situación 3.

| 52. | Tipos de Máquinas. | Tipo 1 | Tipo 2 | Tipo 3 | | | |
|------|----------------------------|--------|--------|--------|-----|----|-----|
| 856. | Tiempo de Procesamiento | 7. | A/B | 8. | A/B | 9. | A/B |
| 0. | Tiempo Externo (T.E.) | 1. | 2/1 | 2. | 4/1 | 3. | 2/2 |
| 34. | Tiempo Interno (T.I.) | 5. | 2/2 | 6. | 2/5 | 7. | 3/4 |

Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 33, en la misma se

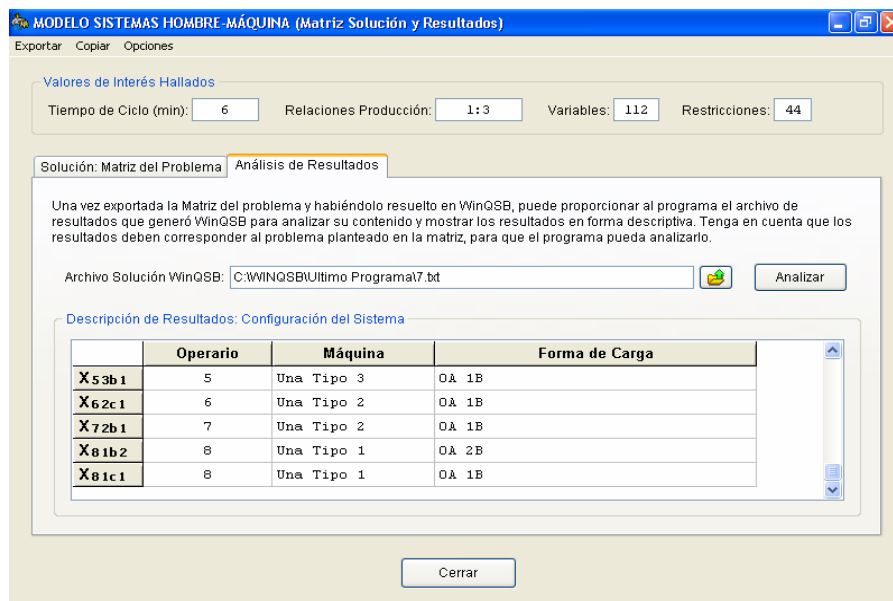
aprecia un tiempo de ciclo de 6 minutos y una relación de demanda de 1 artículo de A y 3 artículos de B por ciclo.

Figura 33: Matriz del modelo del problema del numeral de la situación 3.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 34:

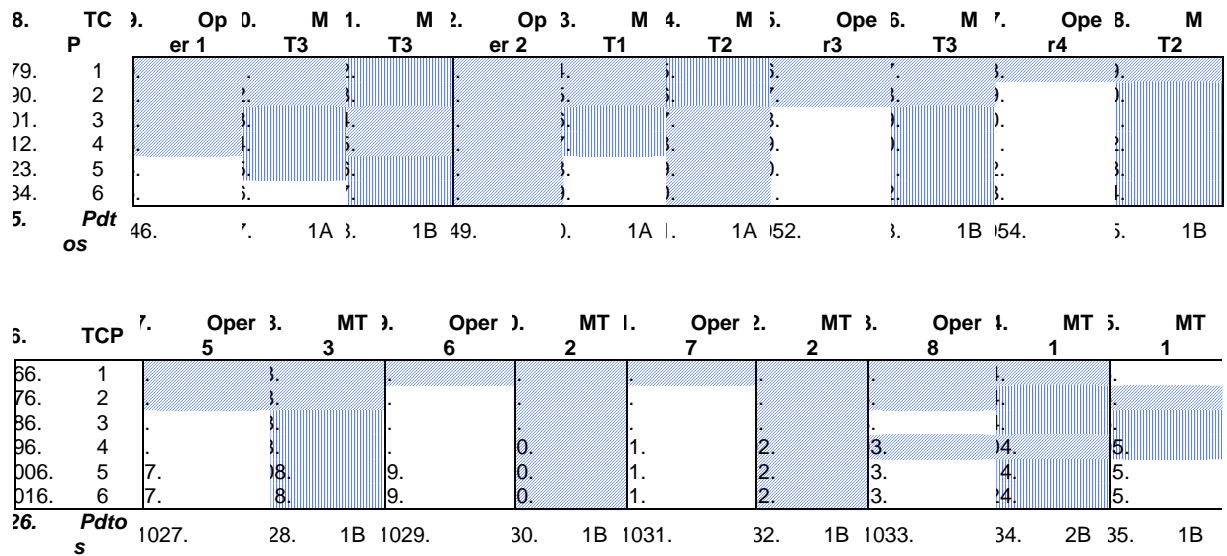
Figura 34: Resultados del modelo del problema de la situación 3.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina diagrama se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 26)

Tabla 26: Diagrama hombre-máquina del problema de la situación 3.



❖ Situación 4

Se tiene

Número de Operarios: 12

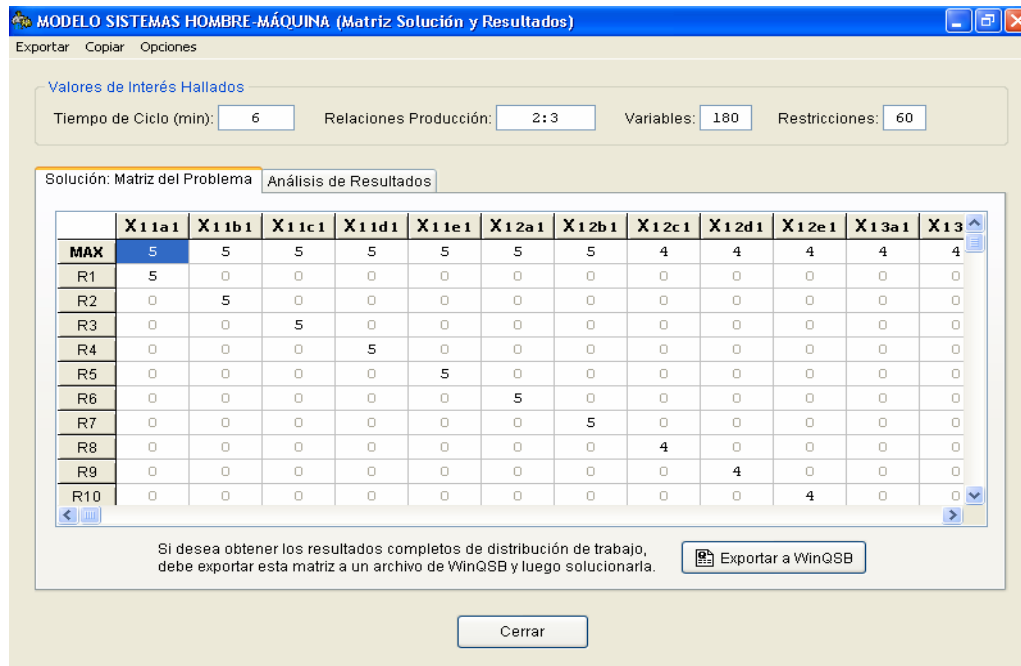
Demanda: 20 art/hr de A y 30 art/hr de B

Tabla 27: Datos de tipo y tiempos de procesamiento de las máquinas de la situación 4.

| 036. | Tipos de Máquinas. | 17. | Tipo 18. | Tipo 19. | Tipo |
|-------|-------------------------|-----|----------|----------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| 1040. | Tiempo de Procesamiento | 41. | A/B | 42. | A/B |
| 44. | Tiempo Externo (T.E.) | 45. | 2/3 | 46. | 3/1 |
| 148. | Tiempo Interno (T.I.) | 49. | 3/2 | 50. | 2/3 |
| | | | 51. | 2/1 | |

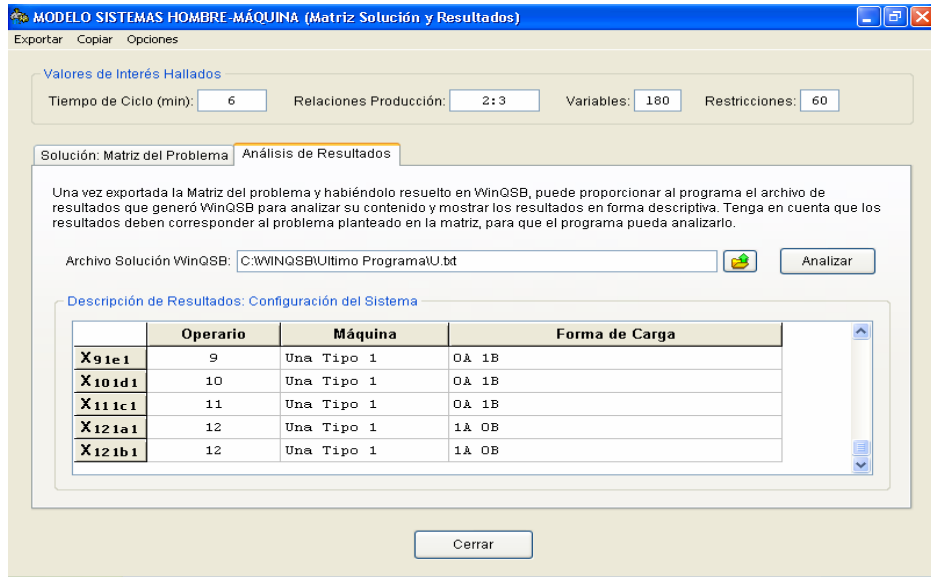
Después de ingresado los datos del problema al programa de recolección de datos se obtiene la matriz del modelo como se muestra en la Figura 35, en la misma se aprecia un tiempo de ciclo de 6 minutos y una relación de demanda de 2 artículos de A y 3 artículos de B por ciclo.

Figura 35: Matriz del modelo del problema de la situación 4.



Obtenido los resultados del WinQSB y analizados por el programa se obtiene la asignación mostrada en la Figura 36:

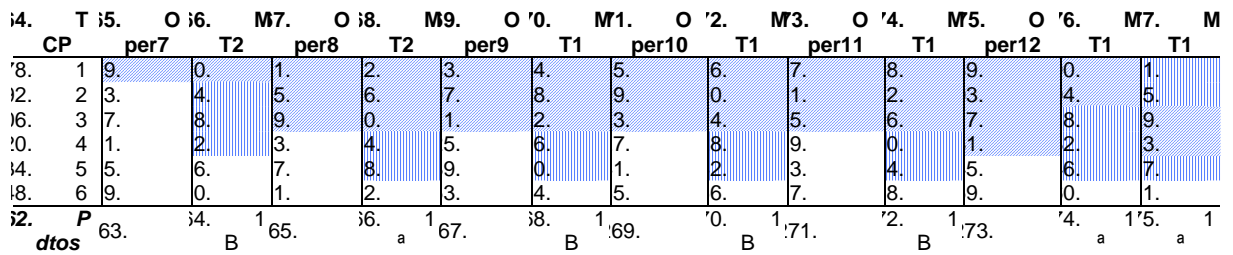
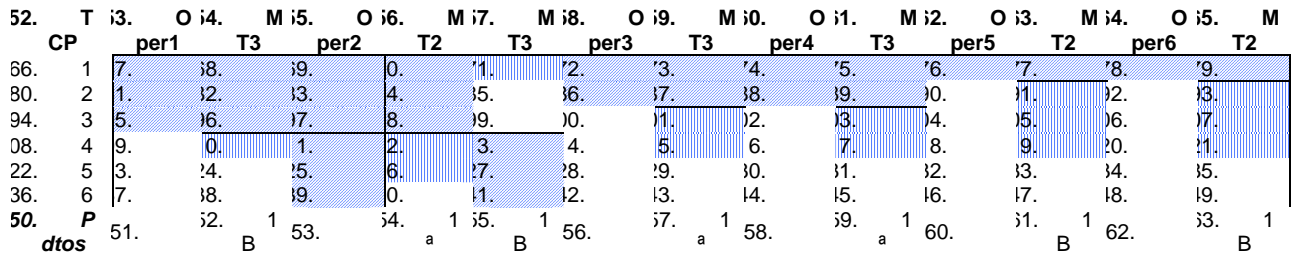
Figura 36: Resultados del modelo del problema de la situación 4.



Tal asignación resulta aceptable ya que en el diagrama hombre-máquina se aprecia que ninguno de los recursos sobrepasa el ciclo de producción y se cumple con la demanda.

El diagrama correspondiente a esta asignación es el siguiente (Tabla 28)

Tabla 28: Diagrama hombre-máquina del problema de la situación 4.



CONCLUSIONES

- El criterio establecido para el modelo denominado confiabilidad del sistema, debe ser trabajado por el analista como un concepto abstracto que busca recalcar la importancia de mantener en óptimas condiciones de funcionamiento las máquinas que conforman la celda de fabricación, con el objeto de preservar un fluido continuo del sistema. Debido a esto el modelo buscara siempre asignar las mayores cargas de trabajo a aquellas máquinas que indiquen una mayor probabilidad de no presentar daños o averías durante el ciclo de fabricación.
- La lógica que define los factores que inciden en mayor medida al problema de la organización del trabajo, permite que el modelo puede manejar una mayor cantidad de operarios, tipos y cantidades por tipo de máquina y producto, que los que se plantean en la validación del modelo. Sin embargo la solución de problemas más complejos implican la utilización de un software que posea una mayor capacidad de procesamiento que el propuesto, ya que involucran un número de variables y restricciones considerables.
- Aunque el problema de organización del trabajo en una celda de fabricación en un ciclo de producción intermedio trabajado a lo largo del proyecto es resuelto de manera primaria resulta un gran avance para este tipo de investigaciones, ya que permite resolver sistemáticamente una serie de problemas propios de la programación de la producción [la secuenciación de los trabajo teniendo en cuenta el flujo de proceso del producto y la priorización de la elaboración de uno u otro producto en cada una de las máquinas; fechas de entregas diferentes entre productos, entre otros] a través de la introducción de nuevas variables y restricciones al modelo.

RECOMENDACIONES

- La Programación Lineal Entera Binaria Pura, aunque es una técnica de modelización matemática conveniente para aquellos casos en los que se requiere que la variable de decisión responda una o varias interrogantes, no permite la aplicación de criterios en la función objetivo que ayuden a obtener un mayor análisis del problema. Esta situación lleva a que se introduzca en futuras investigaciones variables continuas o enteras que conduzcan al equilibrio de las cargas de trabajo y al cálculo del tiempo de ciclo óptima del sistema.
- A partir de la metodología desarrollada pueden diseñarse otros escenarios en los cuales se modifiquen alguno o todos los ítems contemplados en el marco de aplicación del modelo a la vez que se desarrolla un nuevo programa de recolección de datos que contemple mayores relaciones de demanda.
- Cuando el estudiante o profesor desee resolver algún ejercicio con relaciones de demanda para más de dos productos, diferentes a los que el programa de recolección de datos realiza, es conveniente recurrir a los pasos de la metodología planteada para la construcción del modelo.

BIBLIOGRAFÍA

ADAM, Everette. Administración de la Producción y las Operaciones. México: Prentice Hall, 1991.

BARNES, Ralph. Estudio de Movimientos y Tiempos. Madrid: Aguilar, 1980.

BUFFA, Elwood. Administración de la producción y las operaciones. México, D.F: Limusa, 2000.

DELFUSSE, Marcel G. Racionalización del Trabajo Métodos y Tiempos: Técnicas de Organización. España: Hispano Europea, 1964.

DOMÍNGUEZ M, José A. Dirección de Operaciones: Aspectos estratégicos en la producción y los servicios. Madrid: McGraw Hill, 1995.

DOMÍNGUEZ M, José A. Dirección de Operaciones: Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. Madrid: McGraw Hill, 1995.

EILON, Samuel. La Producción, Planificación, Organización y Control. España: Labor, 1976.

EPPEN, Gary. Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. México: Prentice Hall, 1992.

LIEBERMAN, Gerald J. Introducción a la Investigación de Operaciones. México D.F: McGraw Hill, 1998.

MEREDITH, Jack R. Administración de las Operaciones: Un énfasis conceptual. México: Limusa, 1999.

NIEBEL, Benjamín W. Ingeniería Industrial: Estudio de Tiempos y Movimientos. México: AlfaOmega, 1990.

ORTIZ P, Néstor Raúl. Análisis y Mejoramiento de los Procesos de la Empresa. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1999.

PRAWDA, Juan. Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones. México D.F: Limusa, 1996.

SCHOROEDER Roger G. Administración de Operaciones. Ciudad de México: Fuentes Impresores S.A. ,1993.

TAHA Hamdy. Investigación de Operaciones. 5 ed. México, D.F: Alfaomega S.A., 1995.

ANEXO A

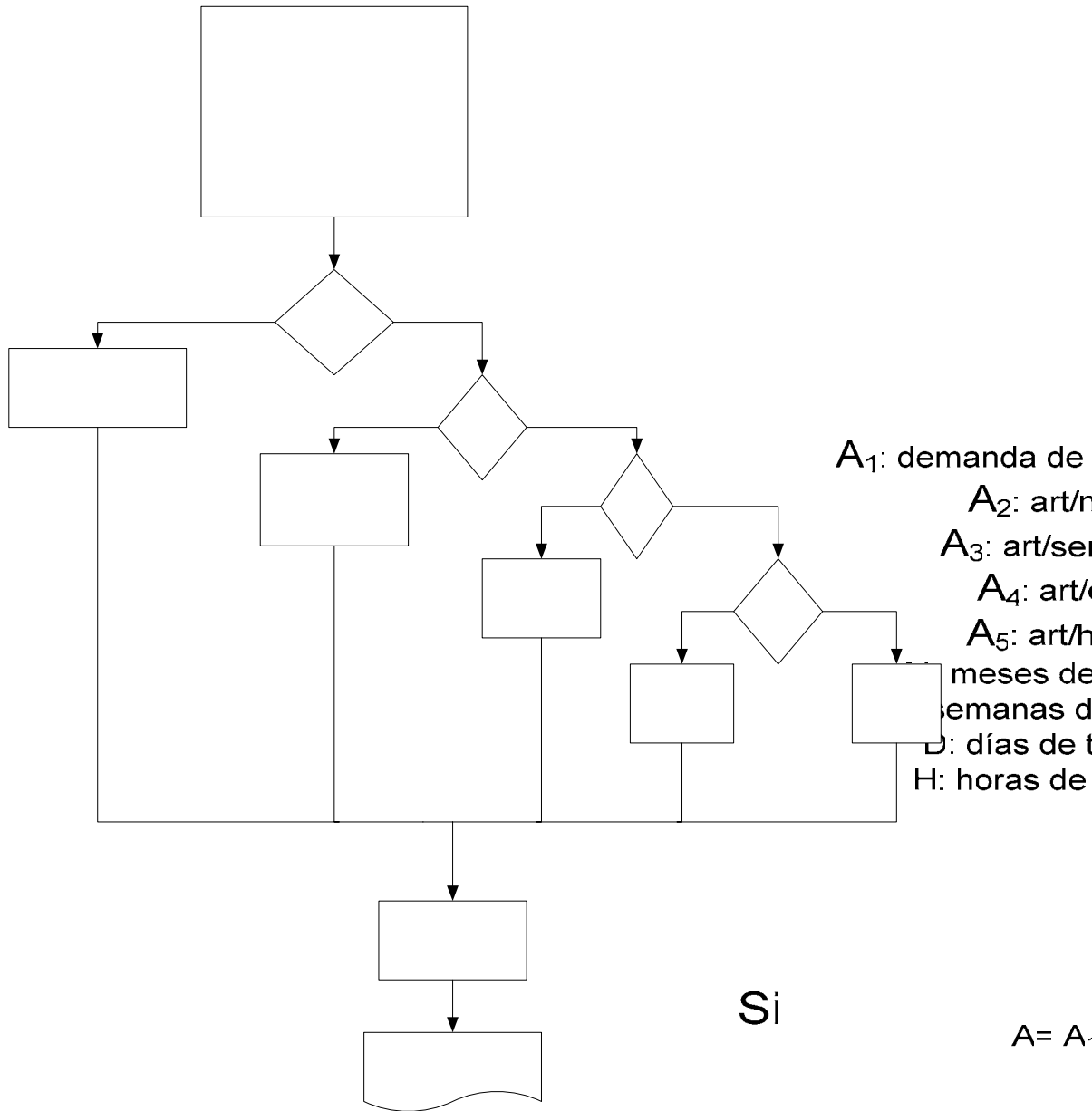


Diagrama de flujo para el cálculo del ritmo de producción

