



- TESIS -

Propuesta de un Modelo de Programación de
Operaciones para Sistemas de Producción
Tipo Taller

- AUTOR -

Garnier, Juan Marcelo

Trabajo Final de la Carrera de Ingeniería Industrial
Departamento de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Mar del Plata
Mar del Plata, ...



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



-TESIS-

Propuesta de un Modelo de Programación de
Operaciones para Sistemas de Producción
Tipo Taller

-AUTOR-

Garnier, Juan Marcelo

Trabajo Final de la Carrera de Ingeniería Industrial
Departamento de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Mar del Plata
Mar del Plata, ...

- TESIS -

Propuesta de un Modelo de Programación de
Operaciones para Sistemas de Producción
Tipo Taller

- AUTOR -

Garnier, Juan Marcelo

- DIRECTOR -

Ing. Esteban, Alejandra
Facultad de Ingeniería U.N.M.d.P.

- COMISIÓN EVALUADORA -

Mg. Ing. Claudia Zárate
Facultad de Ingeniería U.N.M.d.P.

Ing. Schualle, Marcos
Facultad de Ingeniería U.N.M.d.P.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE CONTENIDO | II |
| ÍNDICE DE FIGURAS | VI |
| ÍNDICE DE TABLAS | VIII |
| TABLA DE SIGLAS | VIII |
| RESUMEN | IX |
| PALABRAS CLAVES | IX |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. CAUSAS DEL ENFOQUE IMPROVISADO | 2 |
| 1.2. PROBLEMÁTICA | 2 |
| 1.3. CONSECUENCIAS DEL ENFOQUE IMPROVISADO | 2 |
| 1.4. PROPUESTA DE TRABAJO | 3 |
| 1.5. OBJETIVOS | 4 |
| 1.6. CONTENIDO | 4 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1. FUNCIÓN DE PLANIFICACIÓN | 6 |
| 2.2. PLANIFICACIÓN TÁCTICA | 7 |
| 2.2.1. Etapas de la Planificación Táctica | 8 |
| 2.3. PROGRAMACIÓN A CORTO PLAZO | 9 |
| 2.3.1. Proceso de Asignación y Secuenciación | 10 |
| 2.3.2. Objetivos del Proceso de Asignación y Secuenciación | 11 |
| 2.4. TIPOS DE CONFIGURACIONES PRODUCTIVAS | 12 |
| 2.5. SECUENCIACIÓN EN PROCESOS ORGANIZADOS POR LOTE | 14 |
| 2.5.1. Distribución de Procesos en Línea | 14 |
| 2.5.2. Distribución de Procesos por Funciones | 15 |
| 2.6. PROGRAMACIÓN EN SISTEMAS DE PRODUCCION TIPO TALLER | 16 |
| 2.6.1. Planificación no Activa | 17 |
| 2.6.2. Planificación Semi Activa | 18 |
| 2.6.3. Planificación Activa | 18 |
| 2.6.4. Planificación Sin Retraso | 19 |
| 2.7. ESPACIO DE SOLUCIONES | 19 |
| 2.8. COMPLEJIDAD DE LA SECUENCIACION EN SISTEMAS TIPO TALLER | 21 |
| 2.9. SECUENCIACION ESTÁTICA VERSUS SECUENCIACIÓN DINÁMICA | 23 |
| 2.10. TECNICAS DE PROGRAMACIÓN APLICABLES A SISTEMAS TIPO TALLER | 24 |
| 2.10.1. Enfoque Improvisado | 25 |
| 2.10.2. Métodos Formales | 25 |

| | | |
|-------------|---|----|
| 2.10.3. | Métodos Exactos ----- | 26 |
| 2.10.4. | Métodos Aproximados----- | 28 |
| 2.10.4.1. | Métodos Constructivos ----- | 28 |
| 2.10.4.1.1. | Métodos Heurísticos ----- | 28 |
| 2.10.4.2. | Métodos de Mejoramiento----- | 30 |
| 2.10.4.2.1. | Metaheurísticas ----- | 30 |
| 2.10.4.3. | Métodos de Búsqueda----- | 32 |
| 2.11. | HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO ---- | 33 |
| 2.11.1. | Matriz de Polivalencia ----- | 33 |
| 2.11.2. | Estratificación----- | 33 |
| 2.11.3. | Diagrama de Flujo----- | 34 |
| 3. | DESARROLLO----- | 35 |
| 3.2. | DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE UN CASO REAL----- | 37 |
| 3.2.1. | Presentación de la Empresa ----- | 37 |
| 3.2.2. | Descripción del Taller----- | 37 |
| 3.2.3. | Estudio Técnico ----- | 39 |
| 3.2.3.1. | Circuito de Operaciones ----- | 41 |
| 3.2.3.2. | Estaciones de Trabajo----- | 43 |
| 3.2.3.3. | Suministro de Datos ----- | 46 |
| 3.2.3.4. | Cubo de Tiempo ----- | 47 |
| 3.2.3.5. | Frecuencia de Actualización y Frecuencia de Reprogramación----- | 48 |
| 3.3. | DEFINICIÓN DEL PROBLEMA ----- | 49 |
| 3.3.1. | Condiciones de Contorno----- | 49 |
| 3.3.2. | Formalización del Problema ----- | 50 |
| 3.4. | MODELO DE ASIGNACIÓN Y SECUENCIACIÓN DE OPERACIONES ----- | 53 |
| 3.4.1. | Generación de Secuencias----- | 54 |
| 3.4.1.1. | Generación de secuencias válidas ----- | 54 |
| 3.4.1.2. | Generación de secuencias activas ----- | 55 |
| 3.4.1.3. | Generación de planificaciones activas ----- | 56 |
| 3.4.1.4. | Reglas de despacho ----- | 56 |
| 3.4.1.5. | Búsqueda restringida. ----- | 57 |
| 3.4.2. | Método G&T ----- | 57 |
| 3.4.2.1. | Crítica sobre el método G&T----- | 58 |
| 3.4.3. | Método Propuesto----- | 59 |
| 3.4.3.1. | Selección de la operación a secuenciar----- | 60 |
| 3.4.3.2. | Reflexión sobre el método propuesto----- | 61 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.4.3.3. | Limitaciones propias a los algoritmos de lanzamiento----- | 62 |
| 3.4.4. | Extensión del método propuesto, a la gestión de instancias múltiples ----- | 62 |
| 3.4.5. | Extensión del método propuesto para contemplar prioridades indicadas----- | 64 |
| 3.4.5.1. | Jerarquía de prioridades ----- | 64 |
| 3.4.5.2. | Dinámica de criterios ----- | 65 |
| 3.4.6. | Algoritmo de búsqueda restringida ----- | 66 |
| 3.5. | Aplicación de los algoritmos a un contexto real ----- | 66 |
| 3.5.1. | Calendarización ----- | 66 |
| 3.5.1.1. | Momento Cero----- | 67 |
| 3.5.1.2. | Fecha de entrega----- | 67 |
| 3.5.1.3. | Gestión de fechas de disponibilidad ----- | 67 |
| 3.5.1.4. | Resultados ----- | 68 |
| 3.5.2. | Adición de funcionalidades específicas ----- | 68 |
| 3.5.2.1. | Inclusión de operaciones de mantenimiento ----- | 68 |
| 3.5.2.2. | Gestión de eficiencias ----- | 69 |
| 3.5.3. | Problema del “enganche” entre una programación y otra ----- | 69 |
| 3.5.3.1. | Gestión del Avance ----- | 69 |
| 3.5.3.2. | Gestión de Prioridades ----- | 70 |
| 3.6. | PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS ----- | 71 |
| 3.6.1. | Definición de indicadores productivos ----- | 72 |
| 4. | CONCLUSIONES ----- | 73 |
| 5. | BIBLIOGRAFIA----- | 75 |
| 6. | ANEXO I: PSEUDOCÓDIGOS ----- | 76 |
| 6.1. | PSEUDOCÓDIGO DEL ALGORITMO G&T----- | 76 |
| 6.2. | REGLA DE LA CADENA----- | 76 |
| 6.3. | REGLA DE LA CADENA PARA CENTROS CON MULTIPLICIDAD----- | 77 |
| 7. | ANEXO II. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA ----- | 78 |
| 7.1. | SELECCIÓN DEL LENGUAJE Y EL SOFTWARE DE DESARROLLO ----- | 78 |
| 7.1.1. | Entorno de desarrollo----- | 79 |
| 7.2. | ESQUEMA GENERAL DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA ----- | 79 |
| 7.2.1. | Jerarquía de operaciones----- | 80 |
| 7.2.2. | Definición de estados----- | 80 |
| 7.2.3. | Trazabilidad de registros y estados ----- | 81 |
| 7.2.4. | Asignación de prioridades ----- | 81 |
| 7.2.5. | Configuración del sistema de producción----- | 81 |
| 7.2.6. | Parámetros de cálculo----- | 82 |

| | | |
|----------|---------------------------------------|-----|
| 7.3. | LÓGICA DE USO----- | 82 |
| 7.3.1. | Carga de órdenes de trabajo.----- | 83 |
| 7.3.2. | Carga de ítems----- | 84 |
| 7.3.3. | Cálculo y generación de reportes----- | 85 |
| 7.3.4. | Carga del parte de horas.----- | 87 |
| 7.4. | ESTRUCTURA DE LA HERRAMIENTA ----- | 88 |
| 7.4.1. | Tablas de datos ----- | 88 |
| 7.4.2. | Estructura algorítmica ----- | 91 |
| 7.4.2.1. | Carga de datos----- | 92 |
| 7.4.2.2. | Algoritmo cadena ----- | 93 |
| 7.4.2.3. | Algoritmo aleatorio ----- | 94 |
| 7.4.2.4. | Informe Comparativo ----- | 94 |
| 7.4.2.5. | Hoja de Trabajos----- | 95 |
| 7.4.2.6. | Grafica de Gantt ----- | 95 |
| 7.4.2.7. | Informe de Trabajos----- | 95 |
| 7.4.2.8. | Informe de Operadores----- | 96 |
| 7.5. | FORMULARIOS Y REPORTE----- | 96 |
| 7.5.1. | Formularios ----- | 96 |
| 7.5.2. | Reportes ----- | 97 |
| 7.5.3. | Informe comparativo ----- | 98 |
| 7.5.4. | Informe de operadores ----- | 98 |
| 7.5.4.1. | Informe de trabajos----- | 98 |
| 7.5.5. | Gráfica de Gantt ----- | 98 |
| 7.5.6. | Hoja de Trabajos----- | 99 |
| 7.6. | INTERFAZ----- | 99 |
| 7.7. | VALORES LÍMITES DEL MODELO----- | 100 |
| 8. | ANEXO III: CASO DE EJEMPLO ----- | 102 |
| 8.1. | DESARROLLO----- | 102 |
| 8.1.1. | Creación de Clases ----- | 102 |
| 8.1.2. | Creación de Clientes----- | 103 |
| 8.1.3. | Creación de Centros ----- | 103 |
| 8.1.4. | Creación de Secuencias ----- | 103 |
| 8.1.5. | Creación de Procesos ----- | 104 |
| 8.1.6. | Configuración de Jornada Laboral----- | 104 |
| 8.1.7. | Especificación de Feriados----- | 105 |
| 8.1.8. | Creación de Trabajos----- | 105 |
| 8.1.9. | Carga de Operarios ----- | 106 |

| | | |
|---------|------------------------------------|-----|
| 8.1.10. | Carga de Horas Reales ----- | 106 |
| 8.1.11. | Tabla Principal----- | 107 |
| 8.1.12. | Informe de Cálculo ----- | 107 |
| 8.1.13. | Matrices de Datos ----- | 108 |
| 8.1.14. | Matrices de Datos Corregidas ----- | 108 |
| 8.1.15. | Informe Comparativo ----- | 109 |
| 8.1.16. | Informe de Trabajos----- | 110 |
| 8.1.17. | Informe de Recursos----- | 111 |
| 8.1.18. | Hoja de Trabajos----- | 111 |
| 8.1.19. | Matrices Solución----- | 112 |
| 8.1.20. | Diagrama de Gantt ----- | 113 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Círculo vicioso del enfoque improvisado | 3 |
| 2. | Función de planificación | 7 |
| 3. | Matriz proceso producto | 13 |
| 4. | Planificación no activa | 17 |
| 5. | Planificación semi activa | 18 |
| 6. | Planificación activa | 18 |
| 7. | Planificación sin retardo | 19 |
| 8. | Espacio de soluciones..... | 20 |
| 9. | Clases de complejidad algorítmica | 22 |
| 10. | Métodos de programación de la producción en sistemas tipo taller | 24 |
| 11. | Símbolos empleados en diagramas de flujo | 34 |
| 12. | Nómina de operaciones | 39 |
| 13. | Requerimientos de mano de obra y restricciones físicas por proceso | 40 |
| 14. | Matriz de polivalencia | 41 |
| 15. | Circuitos productivos | 42 |
| 16. | Órdenes de trabajo por proceso | 43 |
| 17. | Agrupación de centros de trabajo..... | 43 |
| 18. | Diagrama de flujo | 46 |
| 19. | Planteo de un problema de secuenciación | 58 |
| 20. | Planificación obtenida aplicando G&T | 59 |
| 21. | Planificación obtenida aplicando la regla propuesta | 59 |
| 22. | Cálculo de operaciones candidatas por regla de la cadena..... | 60 |
| 23. | Selección de la operación a secuenciar | 61 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 24. | Determinación de operaciones candidatas por instancia, 1° iteración | 63 |
| 25. | Determinación de operaciones candidatas por instancia, 2° iteración | 63 |
| 26. | Determinación de operaciones candidatas por instancia, 3° iteración | 64 |
| 27. | Jerarquía de prioridades | 65 |
| 28. | Tabla de prioridades..... | 71 |
| II-1. | Estado de los trabajos..... | 80 |
| II-2. | Carga de órdenes de trabajo..... | 83 |
| II-3. | Carga de ítems..... | 84 |
| II-4. | Cálculo y generación de reportes | 86 |
| II-5. | Tablas permanentes..... | 89 |
| II-6. | Tablas temporales..... | 90 |
| II-7. | Estructura modular de la aplicación..... | 92 |
| II-8. | Estructura de formularios | 97 |
| II-9. | Interfaz | 99 |
| III-1. | Creación de clases..... | 102 |
| III-2. | Creación de clientes..... | 103 |
| III-3. | Creación de centros | 103 |
| III-4. | Creación de secuencias | 104 |
| III-5. | Creación de procesos | 104 |
| III-6. | Especificación de la jornada laboral | 105 |
| III-7. | Especificación de jornadas especiales | 105 |
| III-8. | Ingreso de trabajos..... | 105 |
| III-9. | Ingreso de un mantenimiento | 106 |
| III-10. | Ingreso de personal..... | 106 |
| III-11. | Registro de avance | 107 |
| III-12. | Tabla principal de datos | 107 |
| III-13. | Parámetros de cálculo..... | 108 |
| III-14. | Matrices de datos primarios | 108 |
| III-15. | Matrices de datos primarios, corregidos | 109 |
| III-16. | Informe comparativo..... | 109 |
| III-17. | Informe de trabajos | 110 |
| III-18. | Informe de operaciones..... | 111 |
| III-19. | Hoja de trabajos | 111 |
| III-20. | Matrices de resultados | 112 |
| III-21. | Diagrama de Gantt..... | 113 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| 1. Conflicto de objetivos | 8 |
| 2. Métodos de secuenciación para distribuciones en línea y procesos de flujo general...15 | |
| 3. Centros de trabajo..... | 44 |
| 4. Comparativa entre la regla de la cadena y el algoritmo G&T | 61 |
| 5. Indicadores propuestos | 72 |
| III-1. Codificación de reportes..... | 97 |

TABLA DE SIGLAS

CPM: Critical Path Method

PERT: Program Evaluation and Review Technique

VBA: Visual Basic for Applications

RESUMEN

El objetivo de todo sistema productivo, es lograr un resultado imparcial, mediante el uso eficiente de recursos limitados. En contexto, su diseño condiciona las posibilidades de producción a largo plazo, la planificación esboza como los medios y los recursos se van a utilizar para cumplir las metas propuestas y la programación establece un cronograma detallado de actividades. En este trabajo se pretende diseñar un modelo para el tratamiento de uno de los problemas de más difícil resolución, la programación de actividades en sistemas productivos organizados de manera funcional. En estos esquemas, las operaciones asociadas a distintos lotes, siguen diferentes trayectorias de ejecución a través de las estaciones de trabajo disponibles. Para lograr el objetivo planteado, se estudian las características comunes a los sistemas de producción usualmente adoptados por empresas del rubro metalúrgico. Se crea un algoritmo capaz de efectuar el proceso de asignación y secuenciación de operaciones bajo las condiciones identificadas. Como necesario soporte, se diseña una herramienta informática que sirve de asistencia al ingreso, almacenamiento y procesamiento de los datos. La estrategia de modelado aplicada incluye la evaluación de los métodos de secuenciación disponibles, su adaptación a las condiciones de contorno específicas y su expresión en código ejecutable por el ordenador. Finalmente se valida el funcionamiento de nueve técnicas de programación de operaciones. La aplicación de los algoritmos correspondientes, produce soluciones consistentes con los principios lógicos que fundamentan su diseño. Asimismo, los resultados obtenidos demuestran ser útiles para integrarse a herramientas de gestión operativa. La flexibilidad y variedad del problema de programación en sistemas de producción tipo taller, es de tal magnitud y complejidad, que es sumamente difícil obtener un método general aplicable a cualquier circunstancia. Afortunadamente, los modelos de resolución planteados, mostraron un comportamiento favorable respecto a la inclusión de modificaciones estructurales y a la disposición de condiciones de cálculo específicas.

PALABRAS CLAVES

Modelo, secuenciación, taller, operaciones, heurísticas, métricas.

1. INTRODUCCIÓN

Con objeto de maximizar su rentabilidad, cada organización pretende lograr el mayor nivel de servicio, desarrollando sus actividades de la manera más eficiente posible. A tal efecto, es necesario emprender la tarea de planificar, dirigir y controlar el uso de los recursos.

Es conocido que la función de planificación, tiene múltiples beneficios para las organizaciones. En especial, mejora la coordinación de todas sus áreas, alineando los esfuerzos al logro de metas comunes.

El horizonte temporal desde el cual es preciso abordar los procesos de previsión, depende de la configuración productiva adoptada, existiendo casos en los que es aconsejable considerar el desarrollo de actividades a largo plazo y otros en los que conviene asumir una perspectiva a corto plazo. En los denominados sistemas de producción tipo taller, el enfoque de planificación apropiado, requiere centrar los esfuerzos en la programación de operaciones a muy corto plazo.

Para estos sistemas, también es común la existencia de una distribución funcional de operaciones, donde máquinas, instalaciones y procesos similares son agrupados en centros o estaciones de trabajo. Los elementos a procesar recorren estas estaciones en un orden específico, a fin de sufrir las transformaciones necesarias para lograr el resultado esperado (Carro Paz, y otros, 2000).

La organización por funciones se utiliza cuando la nómina de trabajos incluye órdenes de producción de gran diversidad. Por supuesto siempre existe un mínimo de rasgos comunes entre los productos o servicios, tal que los mismos puedan ser procesados en una única instalación. Varios rubros industriales adoptan este tipo de configuración, pueden mencionarse entre ellos a las fábricas textiles, las carpinterías, los talleres mecánicos y los servicios de reparación entre otros tantos.

En este tipo de sistemas productivos, las rutas de proceso podrán ser tantas, como combinaciones diferentes de centros de trabajo existan. La administración de esta amplia variedad de actividades hace necesario contar con una planificación detallada, generada para un plazo de trabajo reducido.

Dado que la complejidad es extremadamente grande, la tarea de asignar y secuenciar operaciones, no resulta nada trivial. Por el contrario, el tratamiento de este tipo de problema requiere un considerable esfuerzo, incluso en la resolución de sus versiones más simplificadas.

En momentos en que no existía tecnología suficiente para sistematizar los cálculos, improvisar en el propio campo de operaciones era prácticamente la única opción aceptable. Aún hoy, si bien se dispone de medios de cómputo adecuados, el tratamiento del problema de programación en entornos funcionales, se desestima con demasiada frecuencia.

1.1. CAUSAS DEL ENFOQUE IMPROVISADO

En contraste con las técnicas de planificación agregada, la teoría de asignación y secuenciación de operaciones, goza de una pobre difusión. Consecuentemente, es común que los responsables del área de producción no estén familiarizados con el tratamiento formal de la programación a corto plazo.

Por otro lado, no es suficiente contar con un modelo de secuenciación adecuado, sino que además debe existir por parte de la dirección, el compromiso franco de implementar las actividades y disponer los medios necesarios para su puesta en práctica. La escasa comprensión de los costos implicados dificulta que se tomen decisiones certeras al respecto (Domínguez Machuca, y otros, 1995).

1.2. PROBLEMÁTICA

El enfoque improvisado tiene la ventaja de ser rápido y ágil, además de prescindir de un sistema de información fiable. No obstante, los inconvenientes que se desprenden de la aplicación de este método, son desastrosos para los objetivos generales de cualquier empresa.

- ◆ Ausencia total de información para la toma de decisiones.
- ◆ Priorización de las metas del área de producción, por sobre las demás. La organización fuerza a todas sus áreas a adaptarse para compensar la manera deficiente en que se gestionan las operaciones.
- ◆ Pérdida del poder de la dirección, delegando muchas de sus funciones en el propio personal operativo.
- ◆ Aumento del tiempo ocioso, debido a las falencias en la coordinación de tareas, y a la falta de previsión en los requerimientos materiales.

1.3. CONSECUENCIAS DEL ENFOQUE IMPROVISADO

La ausencia de una programación consistente, genera tiempo ocioso en diferentes procesadores. Ante la aparente falta de trabajo la empresa toma más compromiso del que

puede cumplir, hecho que lleva a una sobre exigencia del sector productivo, sometiéndolo a la gestión de una situación cada vez más compleja (Domínguez Machuca, y otros, 1995).

Lejos de disminuir la ociosidad, el mayor caudal de trabajo aumenta las urgencias, dificultando aún más realizar tareas de registro y control. Finalmente, la atención se carga sobre los trabajos urgentes en lugar de los redituables.

La inexistencia de estándares de rendimiento y de presupuestos sobre los recursos a emplear en las operaciones comprometidas, no permite a los mandos medios justificar las ineficiencias.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la forma en que se degrada la gestión operativa, ante la falta de mecanismos de programación y control a corto plazo.

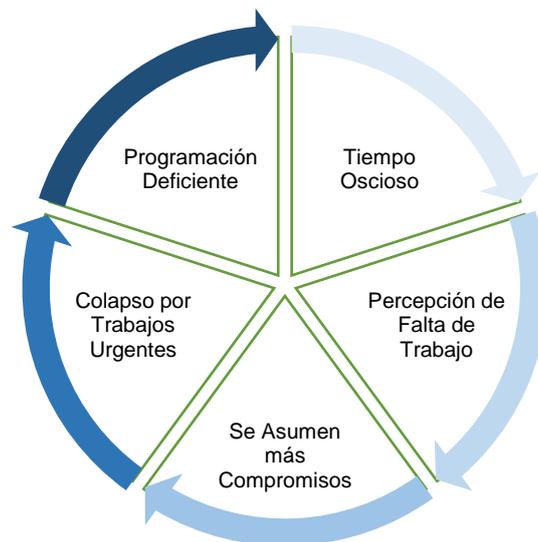


Figura 1: Círculo vicioso del enfoque improvisado
Fuente: elaboración propia

1.4. PROPUESTA DE TRABAJO

Resulta evidente que la forma de salir del círculo vicioso es generar un sistema de información lo suficientemente ágil como para competir con la practicidad del enfoque improvisado, a la vez de preciso y completo, para dejar en evidencia las verdaderas deficiencias del sistema productivo.

Atento al alcance de la problemática descrita, se propone desarrollar un modelo de programación de operaciones a corto plazo, aplicable a la gestión de sistemas de fabricación por pedido.

La herramienta obtenida deberá ser útil para distribuir y secuenciar la carga de trabajo en un entorno dinámico, además de permitir la confección de informes que apoyen la toma de decisiones racional.

1.5. OBJETIVOS

En este trabajo se pretende desarrollar una herramienta inform, que permita distribuir de manera detallada, dinámica y eficiente, la carga laboral en sistemas de producción tipo taller. El instrumento logrado, deberá admitir actualizaciones periódicas y la consecuente reprogramación de operaciones.

Objetivos específicos

A continuación, se detallan una serie de metas específicas, cuya consecución contribuye al logro del objetivo principal.

- ◆ Presentar las principales características de los sistemas de producción por pedido. Describir la problemática asociada a la programación de operaciones a corto plazo.
- ◆ Delimitar un caso de aplicación específico y definir las condiciones particulares del sistema productivo correspondiente.
- ◆ Modelar el problema de asignación y secuenciación de operaciones, seleccionar las técnicas a utilizar y definir las métricas adecuadas para evaluar su eficiencia.
- ◆ Elaborar una herramienta informática que permita sistematizar el modelo planteado, facilitando la programación y el control de la producción en un entorno de trabajo real.
- ◆ Definir un conjunto de indicadores de producción articulables con la aplicación desarrollada.

El resultado esperado se plasma en la concreción de un cronograma de producción periódico y de las múltiples hojas de trabajo asociadas. El primer documento es de utilidad para la gestión de la empresa en general, mientras que el segundo, tiene injerencia en el ámbito productivo, dando información pertinente a los actores operativos.

1.6. CONTENIDO

Este documento se compone de cinco secciones diferentes, organizadas de manera lógica, según el tratamiento dado al problema en estudio. A continuación se describe el contenido principal de cada una de ellas.

El actual apartado, introduce al lector en la temática abordada, establece la hipótesis de trabajo y fija los objetivos principales. Incluye asimismo, una descripción del informe, permitiendo al lector comprender cómo se ha estructurado el documento.

El marco teórico, contextualiza el problema, ubicándolo en el área de estudio correspondiente. Se converge hacia una descripción específica, aclarando el alcance y los conceptos asociados. Posteriormente, se da a conocer el estado de arte del tratamiento del problema en cuestión, resaltando la importancia y complejidad teórica que este reviste. Finalmente se describe una serie de herramientas técnicas, utilizadas en los capítulos subsiguientes.

En el desarrollo, se presenta el perfil general de una empresa tipo, haciendo énfasis en el sistema productivo asociado. Se establece un alcance para el tratamiento del proceso de asignación y secuenciación de operaciones. En contexto, se simplifica y modela el problema a tratar, procediendo a seleccionar una técnica de resolución existente. A partir del método base, se incluyen modificaciones, con fines de adatar y mejorar las prestaciones.

La solución propuesta se automatiza, diseñando un soporte informático específico, a partir del cual se integra el cálculo de un conjunto de indicadores de gestión. Sobre este desarrollo, se detalla los algoritmos implicados y la resolución dada a las principales dificultades vinculadas a su implementación en un entorno real.

En la sección de conclusiones, se realiza un análisis crítico de las técnicas implementadas. Se pone en evidencia las limitaciones del modelo aplicado y la factibilidad de encontrar mejoras específicas.

Finalmente se incluyen dos anexos que amplían el contenido del trabajo. El primero expone la estructura de la herramienta informática desarrollada y describe en detalle los elementos componentes de la misma, tales como, tablas, formularios y reportes. El segundo anexo contempla el tratamiento de un ejemplo concreto. Sobre este se indican los datos ingresados, los parámetros de cálculo aplicados y los resultados obtenidos. El procedimiento de carga, análisis y reporte de resultados, se documenta de manera completa, a través de capturas de pantalla de los formularios implicados.

2. MARCO TEÓRICO

En el presente apartado, se introduce al lector en el proceso secuenciación de operaciones, como parte componente del sistema de planificación general. En este sentido se describen brevemente las actividades involucradas, comenzado por aquellas de mayor influencia, hasta las de aplicación específica.

Dado que la forma en que se desarrolla la programación de operaciones depende de las características particulares de la estructura productiva, y en concordancia con el caso de estudio de este trabajo final, la presentación de las actividades de asignación y secuenciación se enfoca al tratamiento de los denominados sistemas de producción tipo taller.

Una vez contextualizado el problema de programación, se procede a su análisis. En primer lugar, se realiza un estudio del espacio de soluciones, con objeto de aislar al menor subconjunto que contenga al menos una solución óptima. Posteriormente se introduce el concepto de complejidad algorítmica como preámbulo al tratamiento de la complejidad específica del problema de asignación y secuenciación en configuraciones de producción tipo taller. Por último, se presentan y clasifican las principales técnicas de secuenciación existentes.

2.1. FUNCIÓN DE PLANIFICACIÓN

La función de planificación y control de la producción tiene como objeto asegurar el uso efectivo de los factores que intervienen en la fabricación de bienes y/o prestación de servicios. Como tal, busca incrementar la productividad, satisfaciendo la demanda de los clientes y maximizando las utilidades de los inversionistas (Domínguez Machuca, y otros, 1995).

El sistema de planificación se representa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, como una serie de estratos superpuestos, donde los procesos más amplios se ubican en la parte exterior. A medida que se recorre el diagrama hacia su interior, se profundiza el grado de detalle de las actividades y se reducen los plazos contemplados. Es en el centro del gráfico donde se ubica el proceso de asignación y secuenciación de operaciones.

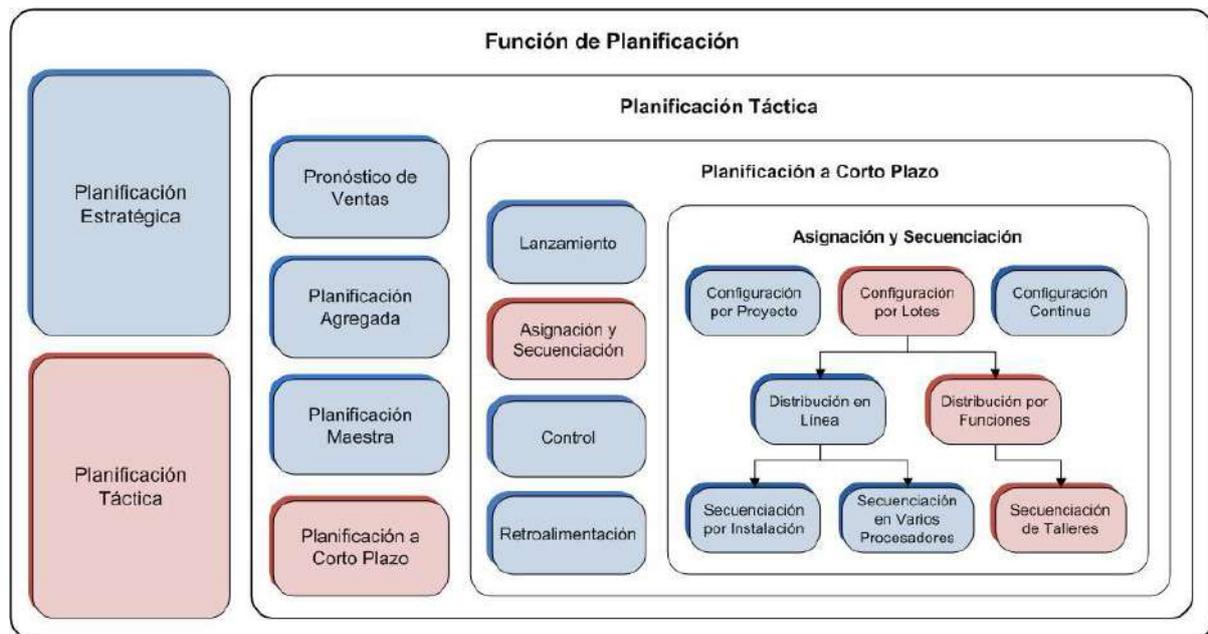


Figura 2: Función de planificación
Fuente: elaboración propia en base a Machuca (1995)

Problemas, metas y características propias de la actividad de planificación, varían dependiendo del sistema productivo analizado, del grado de detalle pretendido y del horizonte temporal considerado.

Decisiones como los productos a elaborar, la definición de la capacidad, la selección de procesos, y la localización fabril, condicionan la estructura productiva de la empresa a largo plazo. El tratamiento de estas problemáticas incumbe a la planificación estratégica.

La coordinación de los medios y las actividades necesarias para concretar las metas de la empresa a mediano y corto plazo, corresponden a la planificación táctica.

2.2. PLANIFICACIÓN TÁCTICA

El desafío del área de planificación y control en el tratamiento de operaciones a mediano y corto plazo, es conocer e interpretar objetivos conflictivos, a fin de reconciliarlos en planes y políticas de producción coherentes. En la Tabla 1 se muestra la contraposición entre las políticas preferenciales de ventas, finanzas y producción (Domínguez Machuca, y otros, 1995).

Mientras mayor es el estado de agregación de las variables que afectan a la producción más fácil es compatibilizar los intereses estratégicos de diferentes áreas. Partiendo de una estructura productiva preestablecida, con familias de productos, procesos y capacidad definida, la planificación táctica se desarrolla en una serie de etapas diferenciadas respecto al grado de detalle y al plazo considerado.

| PRODUCCIÓN | VENTAS | FINANZAS |
|---|---|---|
| Plan de operaciones estándar con tiempos de ejecución holgados. | Grandes inventarios y esquemas de producción flexibles. | Inventarios mínimos y planes de operación ajustados a recursos finitos. |

Tabla 1: Conflicto de objetivos
Fuente: elaboración propia

2.2.1. Etapas de la Planificación Táctica

Las fases mencionadas a continuación componen el esquema de planificación ideal que podría ejecutarse en cualquier organización, no obstante, dependiendo de la escala y la actividad desarrollada, el mismo se verá convenientemente modificado (Domínguez Machuca, y otros, 1995).

1| Pronóstico de ventas: se prevé la demanda para cada familia de productos con suficiente antelación como para poder ajustar los medios necesarios para su elaboración. El plazo máximo de programación depende de la seguridad con que se puedan realizar estimaciones, dado que la fiabilidad de los resultados depende directamente de la exactitud de los pronósticos.

2| Planeación de capacidad: se confecciona a mediano plazo un plan agregado que establece para familias de productos, los valores de producción, inventarios y niveles de mano de obra requeridos para suplir el pronóstico de ventas. Es un programa factible que considera las restricciones de capacidad fija disponible y prevé la posibilidad de realizar ajustes transitorios.

3| Planeación de requerimientos: se desglosa la planeación de capacidad, descomponiendo las familias de productos en artículos individuales. Para cada uno de ellos se identifican las discrepancias entre los niveles de inventarios y el pronóstico de ventas, definiendo las necesidades de producción para períodos más acotados.

Con la información obtenida se confecciona un programa maestro que describe las actividades a desarrollar en cada momento del horizonte temporal. Este plan debe tener suficiente estabilidad y flexibilidad para garantizar su ejecución ante cambios en la demanda. Por ejemplo, si bien una demanda agregada puede anualmente ser correcta, su distribución mensual puede violar las restricciones de recursos disponibles.

Para subsanar deficiencias de recursos existen tres estrategias comunes: pasar producción de periodos altos a periodos bajos para generar sobre stock que amortigüe las faltantes (mayor costo de inventario), aumentar los medios de producción disponibles de

manera transitoria (sobrecosto laboral) o servir al cliente con retraso (se empeora la calidad de servicio).

4| Programación a corto plazo: debido a que en general para los trabajos a desarrollar existen reglas de precedencia, recursos compartidos y prioridades de ejecución, las operaciones no pueden tratarse de manera independiente. En estas condiciones el programa maestro no alcanza a especificar claramente cómo debe actuar cada centro de trabajo.

La programación a corto plazo pretende definir un cronograma detallado que establezca el momento exacto en que una operación debe asignarse a una unidad productiva, especificando los materiales, los recursos y el tiempo requerido para su procesamiento.

La información obtenida resulta indispensable para organizar el trabajo, y es además sumamente útil en la toma de decisiones, permitiendo estimar los tiempos de entrega, sopesar la capacidad instalada con la demanda real y conocer la posibilidad práctica y asumir nuevos compromisos comerciales.

La correcta asignación de las operaciones a los centros de trabajo y su posterior secuenciación, constituyen un factor clave en el rendimiento general del negocio. El tiempo total de programación, la fecha de finalización de los trabajos, la eficiencia de las instalaciones, los niveles de producción en proceso y el costo operativo son las principales variables a optimizar.

2.3. PROGRAMACIÓN A CORTO PLAZO

El proceso de programación a muy corto plazo es una actividad naturalmente dinámica. La existencia de divergencias entre lo planeado y lo real, requiere el monitoreo periódico de las operaciones. La validez del programa obtenido depende la información que le es suministrada, de la capacidad para actualizarlo y, de las acciones correctivas aplicadas sobre el devenir de las operaciones (Domínguez Machuca, y otros, 1995).

A continuación, se presentan las etapas que componen el ciclo de asignación y secuenciación. La primera de ellas, el lanzamiento, es única para cada trabajo – artículo. Las demás se repiten tantas veces como la programación sea actualizada.

1| Lanzamiento: la inclusión de un trabajo a la nómina de operaciones a programar prosigue a confirmar la disponibilidad de los medios de producción y el conocimiento de los métodos de ejecución. Asimismo deben definirse detalladamente los parámetros de proceso; tiempos de trabajo por unidad operativa, ruta de ejecución a través de los diferentes centros y prioridad relativa respecto al resto de las actividades pendientes.

- 2| Asignación y secuenciación: comprende la asignación racional de operaciones a los centros de trabajo, el diseño de la secuencia de proceso y la temporización del esquema resultante, a fin de obtener un cronograma calendarizado.
- 3| Control: establecida y puesta en práctica una determinada programación, debe verificarse el progreso de las operaciones en cada centro productivo, identificando horas productivas e improductivas y vigilando el avance de la secuencia general.
- 4| Retroalimentación: consiste en comparar la capacidad real con la planificada y monitorear la eficiencia real. Las medidas correctivas a aplicar comprenden, aplicar ajustes de tiempo de proceso cuando es necesario, contrastando el avance real con el previsto. Volver a realizar el programa de operaciones para evitar su obsolescencia.

2.3.1. Proceso de Asignación y Secuenciación

Para poder llevar a cabo la programación a corto plazo, es indispensable además de contar con información precisa sobre los tiempos de proceso y las fechas de disponibilidad, conocer la nómina de actividades pendientes en cada centro de trabajo. A menos que exista un único procesador competente, necesariamente habrá que realizar un proceso de asignación previa (Domínguez Machuca, y otros, 1995).

El proceso de carga de trabajo es necesario para el caso en que existen diferentes alternativas de procesamiento para una misma operación. Las asignaciones se realizan buscando optimizar funciones de coste, considerando que el contenido y las características de trabajo cambian para cada par operación-centro.

Los métodos utilizados para resolver los problemas de asignación incluyen las aproximaciones de prueba y error (Gráficos de Carga), los métodos matemáticos (Programación Lineal) y las soluciones heurísticas (Métodos de los Índices).

Posteriormente, la secuenciación establece el orden de ejecución de las operaciones en el conjunto de centros de trabajo disponible. Considerando que los recursos cuentan con capacidad finita, se pretende lograr el mejor desempeño respecto a algún criterio de evaluación adoptado. Finalmente queda específicamente definido que debe hacer cada procesador y cuando debe hacerlo.

A medida que crece el grado de detalle en que se analiza un sistema productivo, mayor impacto tienen las particularidades del mismo sobre la forma en que se lo debe tratar. Es así que en algunos casos el problema de asignación y secuenciación se puede simplificar

y escindir en etapas independientes, mientras que en otros, dicha estrategia resulta perjudicial.

En efecto, una asignación óptima de acuerdo a ciertos criterios, puede penalizar excesivamente la posterior secuenciación. En el extremo opuesto, una óptima secuenciación puede redundar en una deficiente asignación. En tal circunstancia los beneficios/perjuicios de asignar y secuenciar deben sopesarse de manera conjunta para obtener el mejor resultado general.

2.3.2. Objetivos del Proceso de Asignación y Secuenciación

La programación de operaciones a corto plazo persigue el mismo objetivo que fuera señalado para la función de planificación general, optimizar el rendimiento de los recursos destinados a la producción. Dado que se trata de una actividad más específica, este objetivo puede interpretarse de diferentes maneras, a la hora de fijar metas de menor alcance (Bedworth, y otros, 1992).

Son numerosos los criterios utilizados en la programación a corto plazo, de hecho puede haber tantos como variables susceptibles de mejorar. Lamentablemente su administración es compleja debido a que a menudo los criterios se encuentran en conflicto y a que además existe la dificultad práctica de expresarlos matemáticamente para incluirlos en el modelo.

Puede afirmarse que para cada criterio siempre hay al menos una secuencia óptima, pero no existe una única solución que los optimice todos a la vez. De aquí la conveniencia de seleccionar el objetivo más acorde a la estrategia de la empresa y utilizar el método o técnica de secuenciación que brinde mejores resultados con respecto a este.

Son tres los objetivos clásicos utilizados para clasificar y medir el desempeño de las técnicas de programación.

A| Disminuir el inventario en proceso, entendido como el número de trabajos cuyo procesamiento se está llevando a cabo de manera simultánea. Es un índice de medición indirecta, que considera el tiempo real de ejecución de un trabajo como estimador de su tiempo de permanencia en el circuito productivo.

B| Minimizar la tardanza de los trabajos, definida como la diferencia negativa entre la fecha de entrega pactada y la fecha de finalización programada. Esta pauta cuenta con diferentes acepciones, reducir la tardanza máxima, reducir el número de tareas tardías o bien

reducir la tardanza media. No hay forma de mejorar a la vez todas estas variantes, en la práctica a menudo el progreso de uno de los indicadores va en detrimento de los demás.

C| Reducir el lapso de trabajo, siendo este interpretado como la diferencia entre el momento de inicio de la programación y el momento de fin de la misma. Un menor lapso de trabajo se traduce en una programación más compacta, que por lógica debe reducir las fechas de finalización de los trabajos y los tiempos de espera en las unidades procesadoras.

Los resultados obtenidos, al condicionar la programación de actividades a la reducción del lapso de trabajo, son aceptables respecto a los demás criterios de optimización. Por este motivo la minimización de la fecha de fin general, es el objetivo más difundido y tratado por la teoría de secuenciación, tanto que constituye la base fundamental de su desarrollo.

En adelante, se adopta la reducción del lapso de trabajo como función de programación a optimizar. No se da por ahora una expresión matemática de la misma, dado que su formalización, requiere modelizar un problema específico.

2.4. TIPOS DE CONFIGURACIONES PRODUCTIVAS

No existe un enfoque general para la resolución de problemas de programación a corto plazo, la estrategia adecuada está completamente condicionada por las características particulares del sistema analizado. El recorrido de los trabajos a través de las instalaciones depende de la distribución de los procesadores, la homogeneidad de las operaciones, la existencia de unidades de producción equivalentes y el nivel de detalle general con que se aborda el problema (González de Diego, 2015).

Existen tres configuraciones productivas básicas bien diferenciadas, que condicionan decisivamente el proceso de asignación y secuenciación. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** contiene un esquema donde se exhiben los diferentes sistemas productivos, en función del volumen de producción, la variedad de los productos y el tipo de control que se ejerce sobre el proceso.

PROPUESTA DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN TIPO TALLER

| VARIEDAD | MUY ALTA | ALTA | MODERADA | BAJA | MUY BAJA |
|----------------------------|----------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| VOLUMEN | MUY BAJO | BAJO | MODERADO | ALTO | MUY ALTO |
| ORIENTACIÓN AL PRODUCTO | PROYECTO | | | | |
| | | POR LOTES (FUNCIONAL) | | | |
| ORIENTACIÓN AL PROCESO | | | POR LOTES (LINEAL) | | |
| | | | | FLUJO LINEAL DISCRETO | |
| | | | | | FLUJO LINEAL CONTÍNUO |

Figura 3: Matriz proceso producto
Fuente: elaborado en base a Carros Paz y Otros (2000)

Configuración por Proyecto

Un proyecto es un sistema de tareas interrelacionadas que se coordinan entre sí, para lograr la consecución de un objetivo único. La gestión de proyectos es una actividad con identidad propia, que por su magnitud y complejidad trasciende los esquemas planificación descriptos. En su tratamiento se utilizan técnicas que implican la programación con recursos restringidos como CPM y PERT entre otras.

Configuración por Lotes

En las configuraciones de producción por lotes, existen diferentes grupos de trabajos de idénticas características, que pasan de igual manera por las distintas unidades productivas. Siendo una forma de organización muy versátil, se emplea tanto en la fabricación a inventario como a pedido. Las secuencias de proceso pueden variar entre elementos de diferentes grupos, pero no así entre elementos de un mismo grupo.

El tamaño de los lotes depende del número de trabajos pendientes que poseen características homogéneas y de la consideración de los tiempos totales de proceso, en contraposición con los compromisos de entrega o los requerimientos de inventario.

Configuración Continua

En los procesos continuos se fabrica a inventario usando para un mismo tipo de producto, una distribución única de máquinas en serie. Dado que el flujo de las operaciones es constante, el rendimiento de la instalación viene dado desde su concepción y no cambia con el programa de operaciones. La gestión de este tipo de sistemas se reduce a regular el

ritmo de trabajo y a fijar el número de horas de servicio empleadas para garantizar los niveles de inventario requeridos.

2.5. SECUENCIACIÓN EN PROCESOS ORGANIZADOS POR LOTE

La secuenciación de operaciones a corto plazo es un procedimiento que requiere un elevado nivel de detalle. Aplicada al tratamiento de las configuraciones de trabajo por lotes, la actividad se desdobra en dos variantes principales, según la distribución física de las unidades procesadoras.

2.5.1. Distribución de Procesos en Línea

La distribución de procesos en línea, es un esquema útil para la producción contra inventario. Conocido también como sistema de flujo regular, se caracteriza por la definición de lotes de gran tamaño que comparten entre sí el mismo orden de paso a través de los diferentes centros de trabajo (Márquez Delgado, 2012).

En el tratamiento de este caso particular existen dos enfoques completamente diferentes, dependiendo de las características del flujo operativo.

Flujo Permutacional

Se denomina así al flujo de operaciones continuo, propio de los sistemas de producción en los que el orden de operación de cada lote, es idéntico para todas las estaciones de trabajo. En estas condiciones, la instalación completa puede ser considerada como un único procesador, por lo que basta obtener solo una secuencia óptima para resolver el problema.

Flujo general

Ocurre cuando todas las operaciones recorren el mismo circuito productivo, pero la ejecución de un lote en una determinada estación, concluye antes de pasar a la siguiente. El flujo de proceso resultante no es continuo y las secuencias establecidas para cada centro de trabajo son independientes.

La principal consecuencia del esquema precedente, es la posible existencia de tiempos muertos, derivados de la cola de lotes que esperan para ser procesados en un centro de trabajo. Esta característica notable traza un paralelo entre el tratamiento de la configuración de flujo general y las soluciones aplicadas a los sistemas de producción tipo taller.

En la Tabla 2 se exponen los principales métodos desarrollados para la secuenciación de lotes en sistemas de flujo general. Se ofrece un panorama comparativo de su respectivo alcance, complejidad y eficiencia.

| MÉTODO | ALCANCE | COMPLEJIDAD | RESULTADO |
|-------------------------------|----------------------------|-------------|-----------|
| Regla de Johnson Simple | N trabajos en 2 Operadores | Baja | Óptimo |
| Regla de Johnson Extendida | N trabajos en 3 Operadores | Baja | Muy Bueno |
| Algoritmo de Campbell | N trabajos en M Operadores | Media | Bueno |
| Técnicas de Prog. en Talleres | N trabajos en M Operadores | Alta | Muy Bueno |
| Enumeración Total | N trabajos en M Operadores | Muy Alta | Óptimo |

Tabla 2: Métodos de secuenciación para distribuciones en línea y procesos de flujo general
Fuente: elaboración propia

2.5.2. Distribución de Procesos por Funciones

En los sistemas de producción en los que se adopta una distribución de actividades de tipo funcional, cada lote debe recorrer las estaciones de trabajo en un orden que puede ser diferente a la de los demás. Debido a su gran flexibilidad, esta configuración se aplica en la fabricación a pedido, donde es común operar con lotes pequeños de características muy dispares (Márquez Delgado, 2012).

Las condiciones de flujo aleatorio, propias de este sistema productivo, hacen que el problema de secuenciación resultante sea considerado el de mayor complejidad en su especie. El desafío consiste en determinar la secuencia de trabajo óptima para cada unidad operativa, considerando las reglas de precedencia entre actividades y la disponibilidad de recursos restringidos.

Más allá del enunciado general, las condiciones particulares del problema pueden variar, elevando notablemente el grado de dificultad de su resolución. A continuación, se listan algunas de las variantes más usuales, las cuales debe aclararse, no son excluyentes.

- ◆ Rutas alternativas: sucede cuando una misma operación puede ejecutarse en procesadores alternativos. Este rasgo peculiar, hace que la asignación de las actividades a los centros de trabajo, deba realizarse de forma conjunta a la secuenciación.
- ◆ Existencia de tiempos y costos de preparación: los tiempos de preparación y ajuste siempre están presentes en condiciones reales, cuando un procesador deja de realizar un tipo de operación en particular y comienza a ejecutar una nueva. En algunas circunstancias su

escasa influencia en el coste de la planificación general, amerita que sean despreciados. En otro caso, su consideración requiere evaluar la conveniencia de agrupar operaciones similares en un mismo procesador, para reducir su efecto.

- ◆ Recirculación: comprende los procesos en los cuales un mismo producto requiere pasar más de una vez por el mismo procesador. Puede ocurrir cuando es necesario repetir la misma operación, o cuando el centro de trabajo es versátil y puede ejecutar actividades diversas.
- ◆ Relaciones de orden particular: pueden existir relaciones de secuencia especiales, entre las operaciones componentes de un mismo trabajo. A la clásica relación principio-fin se suman otras como la simultaneidad y las relaciones de fin-fin.

2.6. PROGRAMACIÓN EN SISTEMAS DE PRODUCCION TIPO TALLER

El problema de secuenciación de trabajos de flujo general es de naturaleza combinatoria. En efecto partiendo de su enunciado general, si se relajan¹ las condiciones de precedencia y asignación, se tienen N trabajos a ejecutar en M procesadores donde cada procesador puede ejecutar un trabajo a la vez y cada trabajo puede asignarse a un único procesador.

Por procesador existen $N!$ secuencias diferentes de trabajos (permutaciones sin repetición), asimismo cada una de estas secuencias puede combinarse con otras M secuencias, llegando a un total de $N! \cdot M$ soluciones. Por supuesto este conjunto exhaustivo incluye múltiples resultados que violan las restricciones de precedencia originales, razón por la cual no es útil a fines prácticos.

La consideración del conjunto total de soluciones factibles tampoco resulta conveniente, debido a la existencia de múltiples alternativas ostensiblemente ineficientes. Es preciso entonces aislar un subconjunto más reducido que sea completo, es decir, que contenga al menos un resultado óptimo.

Recordando que la teoría de la programación a corto plazo se desarrolla asumiendo que el lapso de trabajo es el objetivo a optimizar, la aplicación de este concepto resulta aquí oportuna como medida de eficiencia, para comparar un conjunto de soluciones respecto a

¹ El término relajación debe interpretarse aquí como la simplificación del modelo original, por eliminación de las restricciones de precedencia. De esta manera el problema queda definido como un número finito de operaciones, a ejecutarse en cualquier orden.

otro. De esta forma, es posible establecer una clasificación de las secuencias válidas, en función del impacto que el ordenamiento de las operaciones tiene sobre la fecha de finalización general (Márquez Delgado, 2012).

De ahora en adelante para dar mayor formalismo, se entenderá como secuencia al ordenamiento de operaciones en un único procesador y al conjunto de secuencias que forman parte de un mismo problema se le denominará planificación.

El estudio del espacio de soluciones respecto al lapso de trabajo, da origen a cuatro tipos de planificaciones diferentes. Para ilustrar cada una de ellas, se recurre a un ejemplo particular en el cual existen tres procesadores representados como M_1 , M_2 y M_3 , y tres trabajos compuestos; J_1 con tres operaciones $\{J_1(1), J_1(2), J_1(3)\}$, J_2 con dos operaciones $\{J_2(1), J_2(2)\}$ y J_3 con solo una $J_3(1)$.

Las secuencias correspondientes se representan en una escala de tiempo donde t_0 indica el momento de inicio de la programación y C_{max} es el momento de fin más tardío para el conjunto de actividades. A continuación se describen los cuatro tipos de planificación antes indicados.

2.6.1. Planificación no Activa

Es aquella planificación en la cual es posible adelantar la fecha de ejecución de al menos un trabajo, sin necesidad de realizar cambios en el orden de las operaciones (Márquez Delgado, 2012).

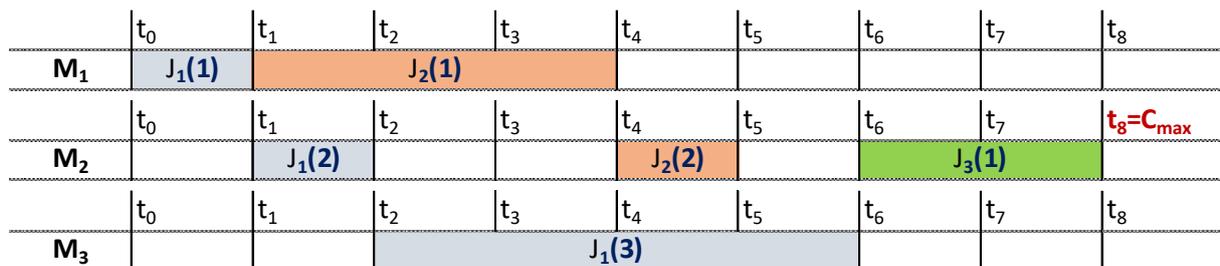


Figura 4: Planificación no activa
Fuente: elaboración propia

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que en el procesador M_2 la ejecución de la operación $J_3(1)$ puede adelantarse del momento t_6 al momento t_5 sin violar restricciones de precedencia ni realizar cambios de orden. El impacto sobre el lapso de trabajo es positivo pues C_{max} pasa del momento t_8 al t_7 .

2.6.2. Planificación Semi Activa

Es aquella planificación en la que es posible adelantar la ejecución de al menos un trabajo, sin generar retraso en ningún otro, modificando solo el orden de procesamiento (Márquez Delgado, 2012).

| | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | t_5 | t_6 | t_7 | t_8 |
|-------|----------|----------|----------|-------|----------|----------|-------|---------------|-------|
| M_1 | $J_1(1)$ | $J_2(1)$ | | | | | | | |
| M_2 | | $J_1(2)$ | | | $J_2(2)$ | $J_3(1)$ | | $t_7=C_{max}$ | |
| M_3 | | | $J_1(3)$ | | | | | | |

Figura 5: Planificación semi activa
Fuente: elaboración propia

En la Figura 5 se observa que en el procesador M_2 la operación $J_3(1)$ puede adelantar su ejecución del momento t_5 al momento t_2 modificando únicamente el orden de procesamiento, sin violar restricciones de precedencia ni retrasar otra operación. El C_{max} mejora pasando del momento t_7 al t_5 .

2.6.3. Planificación Activa

La planificación activa es aquella en que no es posible adelantar la ejecución de un trabajo, sin retrasar la ejecución de otro (Márquez Delgado, 2012).

| | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | t_5 | t_6 | t_7 | t_8 |
|-------|-------|----------|----------|-------|----------|---------------|-------|-------|-------|
| M_1 | | $J_1(1)$ | $J_2(1)$ | | | | | | |
| M_2 | | $J_1(2)$ | $J_3(1)$ | | $J_2(2)$ | $t_5=C_{max}$ | | | |
| M_3 | | | $J_1(3)$ | | | $t_5=C_{max}$ | | | |

Figura 6: Planificación activa
Fuente: elaboración propia

En la Figura 6 se observa que en el procesador M_1 , $J_2(1)$ puede adelantar su ejecución al momento t_0 solo postergando el inicio de la operación $J_1(1)$ al momento t_3 . A su vez en el procesador M_2 , $J_3(1)$ puede adelantar su ejecución a t_0 solo retrasando $J_1(2)$ a t_2 . Dado que todas estas variantes constituyen secuencias activas, la conveniencia de una u otra alternativa depende del efecto sobre el objetivo a optimizar.

2.6.4. Planificación Sin Retraso

La planificación sin retraso es aquella en la cual ningún centro operativo permanece ocioso mientras sea posible asignarle un trabajo (Márquez Delgado, 2012).

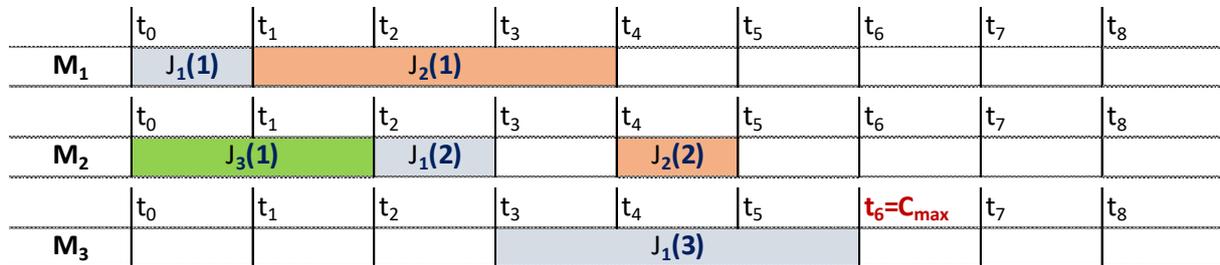


Figura 7: Planificación sin retardo
Fuente: elaboración propia

En la Figura 7, para el procesador M_2 , la operación $J_3(1)$ adelantó su ejecución a t_0 ya que el procesador estaba disponible y el trabajo podía asignarse inmediatamente. Como efecto de este cambio, la ejecución de $J_1(2)$ se postergó al momento t_2 y C_{max} empeoró del momento t_5 al momento t_6 .

2.7. ESPACIO DE SOLUCIONES

En el desarrollo precedente se evidencia que el rendimiento individual de un tipo de secuencia, respecto a una función objetivo, no siempre se ve reflejado de manera directa en el rendimiento de la planificación correspondiente, debido al entramado de reglas de precedencia. Esta es la causa por la cual el problema no se puede descomponer ni resolver en etapas de manera exacta.

Cuando el objetivo de optimización se expresa en función de la fecha de finalización de la programación, puede afirmarse que el conjunto de planificaciones activas contiene a lo sumo un resultado óptimo, mientras los conjuntos de planificaciones no activas, semiactivas y sin retraso pueden o no contenerlo (Márquez Delgado, 2012).

Por definición una secuencia activa se puede obtener desde una secuencia no activa o de una secuencia semiactiva, adelantando la fecha de finalización de algunos trabajos sin retrasar otros. En consecuencia, el comportamiento individual frente al objetivo de disminuir el lapso de trabajo, siempre será mejor para la secuencia activa.

El efecto sobre la solución general depende si la operación adelantada forma parte del llamado camino crítico², en todo caso puede afirmarse que una planificación activa siempre es mejor o igual que las demás. De aquí que el conjunto de soluciones activas siempre incluirá los mejores resultados y por lo tanto al óptimo, mientras que el de soluciones no activas o semiactivas solo lo harán en casos particulares.

En el otro extremo, se sabe que toda planificación sin retraso es activa y que todo adelantamiento de trabajo en una secuencia activa se hace a costas de un retraso sobre otro. El efecto de los cambios requeridos para convertir una planificación activa en una planificación sin retraso es impredecible en términos de la función objetivo. No es posible afirmar que una planificación sin retraso será mejor que otra planificación activa cualquiera, o lo que es lo mismo, que el espacio de planificaciones sin retraso contiene al menos un óptimo.

Finalmente, la conclusión más importante del análisis precedente es que basta explorar la clase de planificaciones activas para encontrar un óptimo. En la Figura 8 se representa el espacio de soluciones por medio de un diagrama piramidal, en el que cada bloque corresponde a un subconjunto del mismo. La amplitud de un segmento representa la proporción de elementos del universo que contiene. A la derecha de cada uno de ellos, se describe su comportamiento respecto a la posible inclusión de un óptimo.

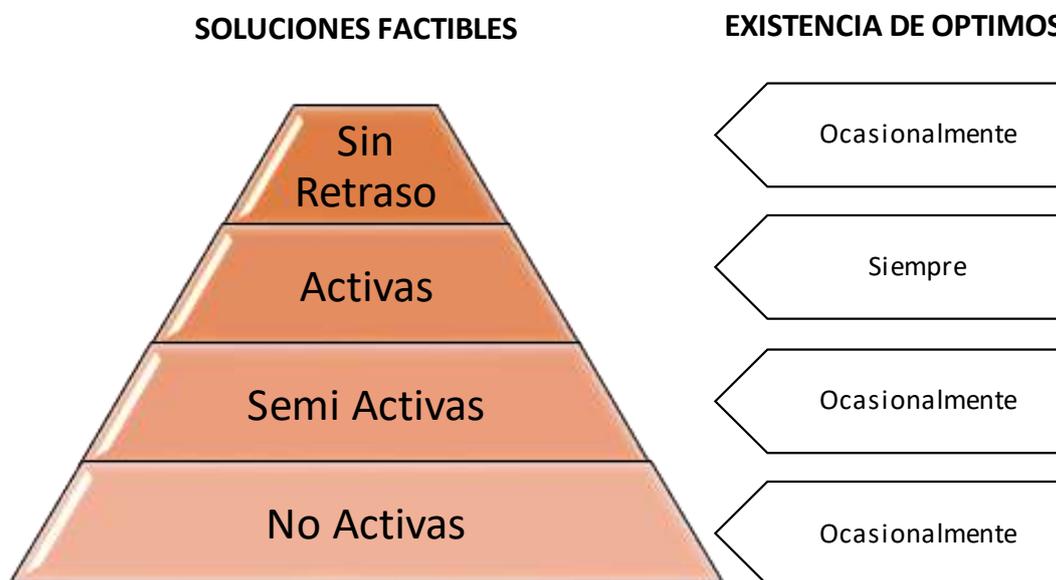


Figura 8: Espacio de soluciones
Fuente: elaboración propia

² Camino crítico: es el conjunto de operaciones componentes de un mismo trabajo, cuyo procesamiento sucesivo de acuerdo a las reglas de precedencia, deriva en que la fecha de finalización de la última operación ejecutada corresponde a la fecha de fin más tardía de la planificación.

2.8. COMPLEJIDAD DE LA SECUENCIACION EN SISTEMAS TIPO TALLER

En principio, cualquier problema de programación a corto plazo puede resolverse empleando una técnica de búsqueda exhaustiva. Basta generar todas las secuencias posibles para luego descartar aquellas que infrinjan las condiciones de precedencia y finalmente, comparar las opciones válidas con una métrica apropiada para identificar el mejor resultado.

Si bien evaluar el total de resultados posibles garantiza una solución óptima, solo es aplicable a problemas extremadamente pequeños, ya que a medida que crece el número de elementos involucrados el volumen de datos se hace inconmensurable. En resumen, no alcanza con generar un algoritmo que resuelva un problema concreto, sino que dicho procedimiento debe implicar un consumo de recursos aceptable (González Fernández, 2011).

Para medir la eficiencia de un algoritmo se utiliza normalmente el concepto de orden $O(n)$, cuyo objeto es representar como varía el número de recursos empleados en el cómputo, respecto al crecimiento en los datos de entrada n^3 . Por ejemplo, para ordenar una lista de números, el algoritmo conocido como burbuja necesita realizar $(n^2-n)/2$ comparaciones y a lo sumo el mismo número de intercambios, se dice por tanto que es un algoritmo de orden n^2 .

En términos computacionales, interesa que un problema pueda resolverse al menos en tiempo polinómico. En tal caso se dice que pertenece a la clase P , definida como el conjunto de todos los problemas que pueden resolverse con recursos de orden polinomial.

Existen problemas, para los cuales a pesar de no conocerse un algoritmo de solución en tiempo polinómico, si se conoce al menos un algoritmo de orden polinomial que puede determinar si una solución propuesta es válida. Estos problemas pertenecen a la llamada clase NP , donde $P \subset NP$ ya que P también cumple la premisa que define a NP .

Dentro de NP existe además de P un subconjunto de problemas de mayor dificultad denominados como NP -Completo. Por definición un problema B se considera NP -Completo si todo problema C dentro de NP puede transformarse a B , mediante un algoritmo polinomial determinista que convierte cada instancia de C en una instancia de B de igual valoración.

³ El orden de un algoritmo es una función que sirve como cota superior a la función de crecimiento de recursos de cómputo del algoritmo cuando la entrada $n \rightarrow \infty$, formalmente: $f \in O(g(x)) \leftrightarrow \exists c, n_0 > 0: \forall n \geq n_0 > 0 \rightarrow 0 \leq |f(x)| \leq c|g(x)|$

En la Figura 9 se muestran las clases de complejidad computacional descritas, asumiendo que $P \neq NP$, a pesar de que tal afirmación no ha sido aún demostrada⁴.

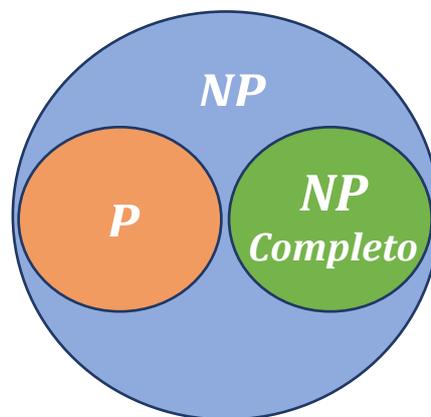


Figura 9: Clases de complejidad algorítmica
Fuente: elaboración propia

La complejidad inherente a la secuenciación de operaciones en sistemas de producción tipo taller, se estudia ignorando las restricciones de precedencia. El tamaño del espacio de soluciones resultante, da evidencia de un problema que no pertenece a la clase P .

Asumiendo que varias de las secuencias obtenidas, pueden servir para resolver el sistema original, se deduce que el problema de la programación a corto plazo pertenece a la clase NP . En efecto cada una de estas posibles $N! \cdot M$ soluciones puede contrastarse con las restricciones originales en tiempo polinómico (existen a los sumo un orden de $N \cdot M$ restricciones a evaluar, una por binomio trabajo-máquina).

Por otro lado, un problema para el que se ha probado matemáticamente la pertenencia a la clase NP -Completa es el problema del viajante. En él, dada una lista de ciudades y conocidas las distancias entre estas, debe determinarse el camino más corto que las recorra todas pasando solo una vez por cada una.

El problema del viajante es un caso particular del problema de secuenciación de flujo general, donde el viajante representa un trabajo, las ciudades representan máquinas y las distancias se convierten en tiempos. De esta analogía se deduce que el problema de secuenciación de flujo general es también un problema NP -Completo.

⁴ No existe aún demostración para la hipótesis $P \neq NP$ o $P = NP$, se supone que existe la clase NP -completo por lo $P \neq NP$.

2.9. SECUENCIACION ESTÁTICA VERSUS SECUENCIACIÓN DINÁMICA

Si en el momento previo a la programación se considera que todos los procesadores están disponibles, todos los trabajos se encuentran sin comenzar y todas las operaciones son asignables, se estará realizando un planteo estático. En tal circunstancia la aplicación de cualquiera de las técnicas de resolución es directa, dado que solo deben atenderse las restricciones de precedencia originales (Domínguez Machuca, y otros, 1995).

- ◆ Se cuenta con un número finito de trabajos y un número finito de procesadores.
- ◆ Se conoce la trayectoria de cada trabajo a través de los procesadores, así como sus funciones de coste expresada en tiempo u otro factor.
- ◆ Se conoce la fecha de disponibilidad de uso para cada procesador y la fecha de disponibilidad de ejecución para cada trabajo.
- ◆ El horizonte de programación esta previamente estipulado y debe ser suficiente para cumplir con el plan de producción.

En sistemas reales es raro encontrarse frente a las condiciones indicadas, ya que esto solo es posible cuando la nueva programación no se realiza hasta que se ejecutan todas las operaciones contenidas en la secuenciación precedente. Esto implica que las asignaciones reales se han realizado tal como fueron planeadas, independientemente de si el avance real de las tareas ha coincidido con el previsto.

En la práctica las diferentes programaciones se suceden de forma periódica, de manera que cada nueva secuenciación se realiza antes de que la anterior haya concluido. Este proceder dinámico da origen a una serie restricciones adicionales, a consecuencia de la continuidad del proceso de producción.

- ◆ Se considera un número ilimitado de trabajos, su definición es constante y contemporánea a la ejecución de la programación.
- ◆ Debe atenderse la existencia de operaciones en proceso.
- ◆ La disponibilidad de los procesadores está sujeta a las asignaciones precedentes.
- ◆ El horizonte de trabajo es indeterminado, el lapso de programación comprende hasta la finalización de la última operación ejecutada.

- ◆ Las funciones de coste asociadas a cada operación pueden sufrir actualizaciones a medida que se conocen datos empíricos.

En condiciones dinámicas, el control y la retroalimentación son fundamentales para ajustar de manera continua el ritmo y avance de trabajo a los parámetros reales de rendimiento. Esta es la única forma de propender a una programación cuyas previsiones se ajusten al desempeño real.

2.10. TECNICAS DE PROGRAMACIÓN APLICABLES A SISTEMAS TIPO TALLER

El proceso de secuenciación en sistemas de flujo general, reviste un gran interés teórico, debido al elevado grado de complejidad que implica su tratamiento. Esta circunstancia ha motivado el desarrollo de variadas técnicas de resolución, alguna de ellas demasiado sofisticadas como para encontrar una aplicación efectiva en ambientes de trabajo real, mientras otras en cambio tienen su origen en el tratamiento práctico del problema.

En la Figura 10 se representa un esquema jerárquico de los métodos habituales, aplicados al problema de asignación y secuenciación en talleres.

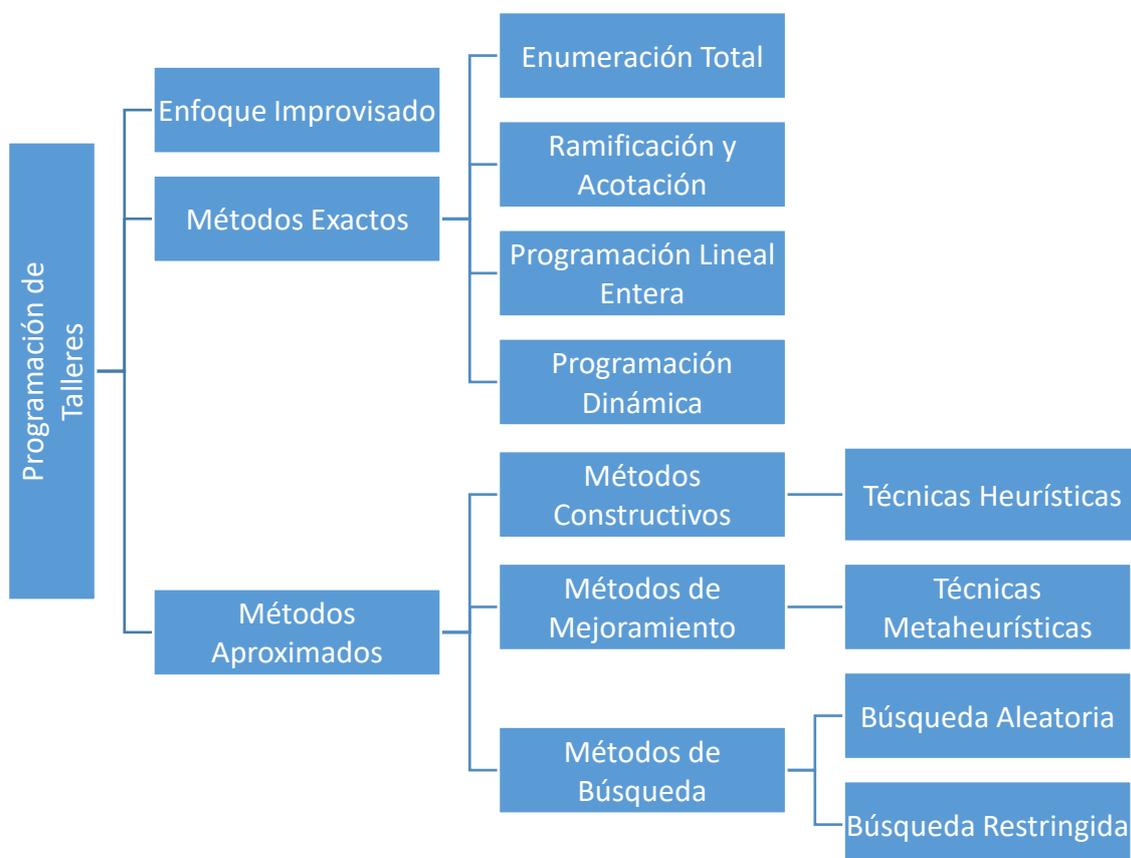


Figura 10: Métodos de programación de la producción en sistemas tipo taller
Fuente: elaboración propia

Antes de presentar las técnicas de mayor respaldo teórico, es interesante dedicar unos párrafos a describir el llamado enfoque improvisado. Siendo una de las alternativas más simples es también la que ofrece resultados más pobres, no obstante las limitaciones que le son propias sirven para resaltar la utilidad de las demás técnicas.

2.10.1. Enfoque Improvisado

El enfoque improvisado se caracteriza porque la decisión de iniciar una tarea se emite en tiempo real, cuando algún centro de trabajo queda disponible y no cuando una tarea necesita ser ejecutada. No existe secuenciación en sentido estricto, sino que el ordenamiento de tareas se construye paulatinamente como consecuencia de cada asignación (Domínguez Machuca, y otros, 1995).

Esta estrategia no tiene relación alguna con medidas de eficiencia, por lo que es lógico que se trate de una técnica de rendimiento incierto. En la práctica se encuentran diferentes variantes de este método dependiendo del grado de previsión existente.

Ausencia de previsión: el peso del proceso de asignación recae totalmente sobre el encargado de taller, quien ante las eventualidades se encuentra con poco tiempo para revisar los pendientes. En tal circunstancia prioriza evitar que el personal quede ocioso asignándole rápidamente alguna de las actividades inmediatamente disponibles.

Con criterios preestablecidos: el caso es similar al anterior, pero al momento de asignar se consulta la lista de pendientes y se emplea algún criterio de prioridad para decidir que tarea comienza cuando otra ha finalizado. Ante la ausencia de un esquema de control en tiempo real, este proceder requiere corroborar que la operación candidata se encuentre en condiciones de ser ejecutada.

Con previsión semanal: las tareas se asignan de acuerdo a un orden estipulado, no obstante la previsión no suele ser muy detallada. Ante variaciones que impidan la asignación predeterminada, la corrección se realiza aplicando criterios preestablecidos. Al igual que en el caso anterior, es necesario verificar la disponibilidad de las tareas.

2.10.2. Métodos Formales

En esta sección se expone brevemente el estado de arte de la teoría de secuenciación, presentando algunas de las principales técnicas desarrolladas al momento. La temática se aborda de manera ordenada, contextualizando cada método respecto a la complejidad de su implementación y el grado de exactitud del resultado obtenido.

2.10.3. Métodos Exactos

Los métodos exactos permiten obtener una solución óptima al problema de secuenciación de flujo general. Dado lo complejo de su implementación se utilizan principalmente en condiciones de laboratorio. En ambientes reales su aplicación se circunscribe a problemas para los cuales se conoce su dimensión exacta, siendo su estructura reducida y permanente (Márquez Delgado, 2012).

Enumeración Total

Es el algoritmo exacto por excelencia, implica la formulación de todas las combinaciones posibles de las variables intervinientes en el problema y al posterior tamizado de las mismas. En primer lugar, se descartan las alternativas incompatibles con las reglas de asignación y precedencia, posteriormente se compara la eficiencia de las soluciones factibles, obteniendo el resultado óptimo al problema. Resulta ser por lejos el método de más difícil implementación debido al volumen de datos que debe manipularse.

Ramificación y Acotación

Es una versión mejorada del algoritmo de enumeración total, donde las secuencias se construyen y evalúan de manera iterativa. Cada etapa constituye un estado de soluciones parciales que es expandido con el agregado de una nueva solución. La naturaleza exponencial de este procedimiento se reduce comparando en cada instancia, el rendimiento de las soluciones parciales, con el objeto de continuar solamente el desarrollo de la más prometedora.

El rendimiento de una secuencia cambia a medida que esta se completa, cuando su eficiencia es menor a la correspondiente a alguna de las alternativas antes descartadas, el estado del algoritmo “salta” a este punto para continuar el desarrollo desde allí.

La complejidad del método depende de las características particulares del problema tratado y su eficiencia, de que tan bien pueda estimarse el rendimiento de una familia de secuencias, antes de evaluarla de manera completa. En algún caso se podría llegar al resultado óptimo con un número bajo de iteraciones, no obstante, para el peor caso siempre hay que contar con conjunto exponencial estados a evaluar.

En resumen, el método permite resolver de manera exacta y en tiempo aceptable, instancias relativamente pequeñas del problema. Para el caso general puede recurrirse a la aplicación de heurísticas que permitan descartar alternativas de manera más simple, pero en

este caso el rendimiento no es mayor que el que deviene de la aplicación de las heurísticas clásicas, involucrando un grado de dificultad mucho mayor.

Programación Lineal Entera

Se construye para un problema específico un modelo de programación lineal entera, en el cual una de las variables toma valor 0 o 1 dependiendo de si un trabajo ha sido asignado a un procesador en una determinada instancia. Un conjunto de restricciones evita que se produzcan asignaciones inválidas y una función objetivo permite iterar hasta hallar el óptimo.

Esta técnica solo es viable en problemas cuya estructura es permanente, de otra forma es necesario reformular el modelo cada vez que cambia alguno de los parámetros que lo definen. Asimismo, la cantidad de iteraciones necesarias para obtener el resultado final crece exponencialmente con el tamaño del problema. Más allá de su baja flexibilidad, la formulación del modelo es compleja y requiere un alto grado de pericia, lo que hace que sea un método inviable para trabajar en entornos reales.

Programación Dinámica

El método consiste en dividir el problema a tratar, en una serie de etapas cuya estructura es equivalente a la del enunciado general. Cada una de estas etapas está caracterizada por un estado de solución parcial, que tras un proceso de expansión, deviene en una serie de nuevos estados de constitución más próxima a la solución completa (Nogueira, 2015).

La ventaja de este método por sobre la técnica de enumeración total, reside en que en cada etapa de desarrollo se realiza una evaluación de las soluciones parciales. En efecto, se comparan aquellas secuencias que están compuestas por el mismo conjunto de operaciones, de forma tal que se establece una dominancia de una respecto de otras. De esta manera, solo se continúa el desarrollo de las alternativas de mayor rendimiento, hasta obtener un conjunto de soluciones finales. Por último, entre los resultados obtenidos se selecciona aquel que posee mayor rendimiento respecto a una métrica específica.

En esencia, la programación dinámica no deja de ser una búsqueda exhaustiva, y es por esta misma razón que adquiere su carácter de algoritmo exacto. No obstante, por más eficiente que resulte la reducción del conjunto de soluciones a desarrollar, el volumen de datos implicado puede terminar por exceder los recursos de cómputo disponibles.

2.10.4. Métodos Aproximados

La complejidad del problema de secuenciación de flujo general, ha motivado su tratamiento formal mediante métodos aproximados. El desafío es garantizar un resultado aceptable, sin necesidad explorar todo el espacio de soluciones existentes. Esta estrategia permite una implementación más sencilla y adaptable a entornos de programación reales, a costas de prescindir del resultado óptimo.

La limitación del número de alternativas a considerar, en cada estado de iteración, se logra empleando criterios probabilísticos o aplicando reglas determinísticas. Un algoritmo determinista es aquel para el cual, dada una misma entrada de datos, se produce siempre una misma salida. Internamente se tiene para cada estado del problema una única posibilidad de transición a otro estado.

Los métodos de programación aproximada se dividen en tres grupos según la estrategia con que se aborda el problema. El primero de ellos incluye los denominados algoritmos constructivos, en los cuales la solución final se crea directamente con los datos de entrada. El segundo conjunto corresponde a los métodos de mejoramiento, llamados así porque partiendo de una solución original, se introducen modificaciones que permiten obtener resultados de mayor calidad. El tercero abarca las técnicas de búsqueda, basadas en la evaluación parcial del espacio de soluciones y la selección de la mejor alternativa observada.

2.10.4.1. Métodos Constructivos

Este tipo de técnicas, basan su funcionamiento en la construcción directa de una solución definitiva. La planificación, se lleva a cabo de manera iterativa, asignando una a una las tareas pendientes, aplicando una serie de criterios y procedimientos determinísticos. La correlación temporal entre los sucesivos estados del algoritmo determina si se trata de un método de lanzamiento, un método de inserción u otra técnica específica (Márquez Delgado, 2012).

2.10.4.1.1. Métodos Heurísticos

Los métodos heurísticos constituyen un conjunto de técnicas de resolución basadas en la experiencia, diseñadas para el tratamiento de problemas específicos. Brindan criterios de evaluación sobre las alternativas a considerar, y establecen un procedimiento de trabajo formal para el proceso de secuenciación.

Para sesgar el espacio de soluciones y definir la operación que debe secuenciarse en cada instancia, se emplean distintas reglas de prioridad. Si bien no consta una justificación

absoluta de su eficiencia, existen referencias empíricas de que la aplicación de estos los lineamientos permite obtener buenos resultados.

En resumen, los métodos constructivos son por definición heurísticos, ya que no existe forma de construir una solución al problema de manera directa, si no es por medio un enfoque determinístico. A continuación, se describen las tres principales técnicas que pertenecen a este apartado (González de Diego, 2015).

Algoritmos de Lanzamiento

En las técnicas de lanzamiento la programación se realiza simulando el avance de las operaciones sobre una escala de tiempo real. Cada estado del algoritmo corresponde a un momento de tiempo dado, para el cual se selecciona una de entre todas las operaciones asignables. En cada procesador la escala de tiempo se recorre siempre en único sentido.

Normalmente la secuenciación se realiza hacia adelante, partiendo de la fecha de inicio de actividades más temprana se evoluciona hasta la fecha de finalización más tardía. Otra opción es proceder hacia atrás, partiendo de una fecha de finalización predeterminada las tareas se secuencian desde las operaciones finales hasta las operaciones iniciales. La planificación resultante, puede tratarse como un bloque temporal, para hacer coincidir el comienzo de la operación más temprana con una fecha específica.

Algoritmos de Inserción

La programación de operaciones no sigue una línea temporal, sino que cualquier operación puede ser asignada siempre y cuando se cumplan las reglas de precedencia correspondientes. Los estados del algoritmo saltan hacia atrás y hacia adelante de la escala de tiempo, buscando períodos con capacidad disponible para poder secuenciar las actividades pendientes.

Algoritmo Cuello de Botella Móvil

El método denominado Cuello de Botella Móvil es un algoritmo heurístico diseñado específicamente para la resolución del problema de programación en talleres de trabajo. Se basa en la idea empírica de que el desempeño de un sistema productivo depende del ritmo del procesador con mayor influencia sobre la tardanza general.

La técnica descompone el problema general en un conjunto de sub problemas de un solo procesador, tantos como estaciones de trabajo existan. Posteriormente se resuelve cada uno de estos problemas de manera individual, comenzando por el recurso más crítico.

El procedimiento se repite iterativamente, cada nuevo estado del algoritmo puede originar un nuevo cuello de botella. Cada vez que se resuelve el problema para uno de los procesadores, puede ser necesario revisar aquellos que ya hayan sido secuenciados previamente.

El método asegura soluciones muy buenas respecto al óptimo y es robusto frente a la flexibilización en las condiciones del problema. No obstante, su programación es mucho más compleja en comparación a los métodos constructivos o las técnicas de búsqueda.

2.10.4.2. Métodos de Mejoramiento

A partir de una solución conocida, se procede a generar nuevas alternativas. En cada instancia del algoritmo, se compara la última solución desarrollada con el mejor resultado obtenido hasta ese momento. Se aplica un proceso de selección y descarte, que se detiene una vez alcanzado un criterio de parada, pudiendo este ser una medida de eficiencia sobre la planificación obtenida o un número predeterminado de iteraciones. La mayor parte de las técnicas incluidas en esta descripción, corresponden a las denominadas metaheurísticas (González de Diego, 2015).

2.10.4.2.1. Metaheurísticas

Las metaheurísticas constituyen un conjunto de estrategias sofisticadas que simulan el comportamiento de sistemas naturales. Pretenden acercarse a la solución óptima reproduciendo matemáticamente ciertos patrones comunes, asumiendo que constituyen un camino lógico para acercarse a la mejor solución (González Fernández, 2011).

Estos métodos son de aplicación general ya que su estructura es independiente a la del problema que se pretende resolver. Al ser técnicas de carácter universal, tanto el problema original como el resultado obtenido, deben reformularse para ser respectivamente procesados e interpretados como una solución concreta.

Es oportuno aclarar, que la correspondencia entre el modelo natural tomado como base y el problema particular que se pretende resolver es cuestionable. El grado de dificultad que implica la implementación de este tipo de modelos debe justificarse, garantizando que los resultados obtenidos son de mayor calidad, que el que ofrecen los métodos más simples. En todo caso, la calidad de la solución dependerá directamente de la forma en que se fijen los

múltiples parámetros que rigen el funcionamiento del algoritmo, pudiendo ser estos de tipo determinístico o probabilístico.

Búsqueda Local

A diferencia de las técnicas de tipo probabilístico, la búsqueda local es determinística, empieza con una solución inicial y busca en su vecindad por una mejor. Si la encuentra, reemplaza la actual por la nueva y continúa con el proceso, hasta que no se pueda mejorar el resultado o hasta que se alcance una cota de repeticiones prefijadas.

La implementación de esta metodología requiere un mecanismo para generar nuevas soluciones a partir de cambios en la solución inicial y una métrica para medir la eficiencia de los resultados. El inconveniente principal del método radica en que encuentra óptimos locales con lo que no asegura la obtención del óptimo general.

Búsqueda Tabú

La búsqueda tabú aumenta el rendimiento del método de búsqueda local, permitiéndole a este explorar otra “región” del espacio de soluciones, fuera de la vecindad original. Asimismo, incorpora el uso de estructuras de memoria para evitar que algoritmo vuelva sobre “zonas” ya observadas.

Con los cambios introducidos se evita caer en un óptimo local, no obstante, la estrategia resultante no es suficiente para asegurar la obtención del óptimo, pues el método no es exhaustivo.

Inteligencia de Enjambres

Las técnicas de este tipo basan su funcionamiento en la simulación de un número determinado de agentes ficticios, cada uno de los cuales se mueve explorando el espacio de soluciones. En cada estado del algoritmo, se evalúa la posición y la calidad de solución provista por cada agente. Las sucesivas iteraciones permiten mejorar paulatinamente los resultados obtenidos.

Los agentes rigen su comportamiento individual por reglas de desplazamiento de tipo probabilístico. De la forma en que estos interactúan entre sí y con el ambiente surge un comportamiento colectivo complejo, que caracteriza diferentes variantes de esta técnica. Las más conocidas son, el enjambre de abejas, la colonia de hormigas y la nube de partículas.

Algoritmo Genético

Esta técnica se basa en someter a un conjunto de soluciones, a una serie de cambios constitutivos semejantes a los que ocurren en la evolución biológica de las especies. Asimismo, se aplica también un criterio de selección, de acuerdo al cual prevalecen las alternativas de mayor calidad y se descartan los demás.

A partir de una solución inicial generada aleatoriamente, se realizan mutaciones y recombinaciones. Cada nueva solución es comparada con la anterior y reemplaza a esta en caso de ser mejor. El algoritmo finaliza cuando se llega a una cota máxima de iteraciones o cuando la solución no puede mejorarse en un cierto número de repeticiones.

El rendimiento del método depende de la correcta definición de la función de aptitud y de los mecanismos de mutación y recombinación. Asimismo, es necesario una función que traduzca los resultados del algoritmo en resultados de programación y viceversa, por lo que el cómputo es complejo.

2.10.4.3. Métodos de Búsqueda

Definido el universo de soluciones posibles al problema de programación, este se representa directamente como una combinación de los datos de entrada. Las técnicas de búsqueda basan su funcionamiento en la selección y evaluación de estas combinaciones, a fin de encontrar la más eficiente en términos de alguna métrica de rendimiento (Vélez Gallego, y otros, 2003).

El método se repite tantas veces como número máximo de iteraciones se haya fijado. La cota de repeticiones y la función de probabilidad que se utiliza para realizar el sorteo, se fijan observando la eficiencia del algoritmo en el tratamiento de diferentes casos.

Búsqueda Aleatoria

Sobre el universo completo de soluciones se selecciona al azar una secuencia cualquiera, posteriormente se evalúa si corresponde a una secuencia válida, si es así la solución se compara con la mejor secuencia identificada hasta el momento. Finalmente se conserva el resultado con mejor desempeño.

Búsqueda Restringida

El método es similar a la búsqueda aleatoria, pero se sirve de un método constructor de secuencias válidas para operar con un espacio de búsqueda mucho más acotado. Puede incluso adaptarse el método para construir solo secuencias activas.

Se supone que cuanto más restringido es el espacio de búsqueda, mayor será la eficiencia del algoritmo, permitiendo alcanzar soluciones aceptables con una cota de repeticiones más baja.

2.11. HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO

En este apartado se describe de manera breve, las diferentes herramientas estadísticas y administrativas, que se han empleado para dar tratamiento al problema de secuenciación de operaciones en sistemas de fabricación por pedido.

La intención es familiarizar al lector con la utilidad y funcionalidad estos mecanismos, antes de que los encuentre aplicados en circunstancias específicas.

2.11.1. Matriz de Polivalencia

La matriz de polivalencia, es una herramienta que permite relevar y presentar de manera sistemática, el nivel de calificación del personal respecto a las diferentes competencias laborales requeridas por la organización (García Sabater, y otros, 2011).

Existen diferentes variantes para la elaboración y presentación de esta matriz, dependiendo del grado de detalle con que se pretende describir el perfil de los colaboradores. No obstante, la estructura general consta de una tabla de referencias cruzadas, donde la nómina de personal o de puestos de trabajo, se dispone de manera contrapuesta con el conjunto de habilidades requerido. En la intersección de estas dos dimensiones se establece un puntaje o calificación que expresa el grado de desempeño asociado.

2.11.2. Estratificación

Es una técnica de agrupación, utilizada para reducir un conjunto de datos, en subconjuntos de composición homogénea respecto a una determinada característica. Esta herramienta facilita el análisis de la variabilidad, al considerar un menor número de elementos bien diferenciados, respecto a los contenidos en el planteo original (Carro Paz, y otros, 2000).

2.11.3. Diagrama de Flujo

El diagrama de flujo es un modelo gráfico diseñado para describir de manera sistemática un determinado proceso o procedimiento. Mediante el empleo de diferentes símbolos se representan las actividades, los actores y las relaciones involucradas (Franklin, 2009).

Este recurso constituye una herramienta fundamental para la comunicación, el análisis y la toma de decisiones. Por ello es de vital importancia establecer claramente el significado de la simbología utilizada. En el presente trabajo se utilizarán la nomenclatura gráfica definida por el Instituto Nacional de Estándares de Estados Unidos, ANSI por sus siglas en inglés. El detalle correspondiente puede observarse en la Figura 11.

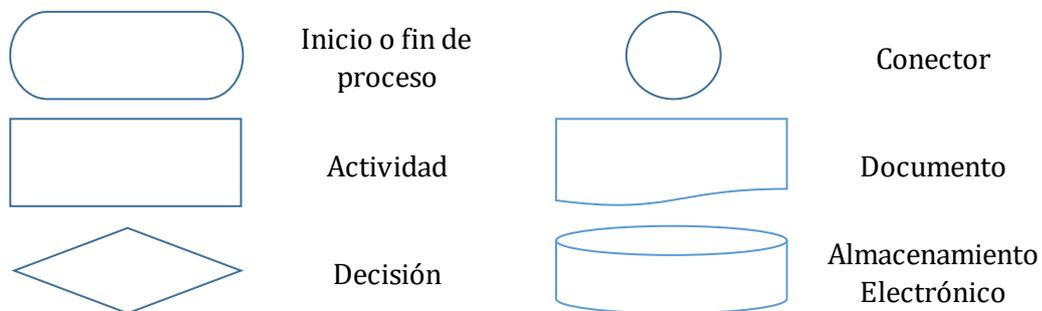


Figura 11: Símbolos empleados en diagramas de flujo
Fuente: elaboración propia en base a Franklin (2009)

3. DESARROLLO

En este apartado se procederá a diseñar un modelo de asignación y secuenciación de operaciones, enfocado al tratamiento de un problema específico, basado en la estructura de un caso real.

Lo indicado en el párrafo precedente no va en perjuicio de que la solución propuesta intente ser lo más general y flexible posible. De esta manera se tiende a que los resultados obtenidos encuentren aplicación general o puedan adaptarse fácilmente a configuraciones productivas similares.

Partiendo de un modelo teórico de aplicación específica, se realizarán las adaptaciones que se consideren pertinentes, a fin de contemplar las características principales del caso en estudio. La implementación final requerirá el diseño y programación de un algoritmo concreto, que agilice el cómputo y permita verificar el comportamiento del método ante diferentes entradas de datos.

La previsión de actividades a detalle implica el manejo de un volumen de datos considerable. Más aún, exige retroalimentación oportuna, ya que cualquier desvío de las secuencias planificadas puede causar que la programación se vuelva obsoleta en poco tiempo.

La factibilidad de aplicar un modelo de secuenciación en un entorno real, exige contar con medios informáticos que faciliten la implementación. Por ello se prevé el desarrollo de una aplicación que integre la gestión de la información con la ejecución de algoritmos de cálculo.

Para la consecución de los objetivos propuestos, se describe una serie de pasos ordenados, de cuya correcta ejecución dependerá la validez de los resultados obtenidos.

Definir las Condiciones de Contorno

La programación de operaciones es una tarea que depende directamente de la naturaleza particular del sistema a considerar. Esta circunstancia, exige seleccionar y describir un problema concreto, antes de proceder a su tratamiento.

Es importante establecer claramente las condiciones de contorno, haciendo principal hincapié en caracterizar el flujo de trabajo, dado que de tal circunstancia se desprenden la mayoría de las variantes que condicionan las técnicas a aplicar.

Determinar el Método

La programación en sistemas de producción de flujo general, es un área de gran interés teórico, para la cual se han desarrollado diversas técnicas de tratamiento. Entre los métodos disponibles, habrá que seleccionar como punto de partida, aquel que resulte más adecuado a las características del problema seleccionado. A tal efecto es preciso considerar el grado de exactitud pretendido y el nivel de complejidad admisible en la implementación del modelo.

Difícilmente se encuentre una técnica que tenga aplicación directa, en menor o mayor medida habrá que realizar una serie de adaptaciones a fin de contemplar las particularidades del problema.

Diseñar un Algoritmo

Dada la complejidad de la temática tratada, no es viable implementar el modelo resultante de manera manual. La formalización del mismo en un algoritmo permitirá proseguir con su necesaria automatización.

Se pretende que la redacción del código fuente se haga en un lenguaje de carácter práctico, que permita integrar los algoritmos desarrollados a los entornos de trabajo de las aplicaciones de ofimática más comunes.

Crear un Soporte Informático

De igual manera que la complejidad de los cálculos excede las capacidades humanas, el manejo del volumen de datos requeridos para la implementación del modelo de programación aquí tratado, no es factible a menos que se recurra al soporte electrónico.

La solución requerida es esencialmente una base de datos, estructurada de manera tal que la transferencia de información entre los registros y el algoritmo de cómputo resulte lo más simple posible.

Integración

Finalmente, algoritmo y base de datos se podrán integrar en una aplicación única desde la cual sea posible gestionar los registros, realizar los cálculos y obtener informes de programación.

3.2. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE UN CASO REAL

Para el desarrollo del presente trabajo se tomará como base de análisis, a la estructura productiva de un taller metalúrgico real. Esta decisión es sumamente oportuna, pues se trata de uno de los rubros típicos donde la organización funcional de procesos encuentra aplicación de manera más natural. Tanto es así que el problema de asignación y secuenciación propio a esta configuración, suele denominarse por extensión como problema de programación de sistemas tipo taller.

3.2.1. Presentación de la Empresa

La empresa analizada se encuentra en el sector portuario de la ciudad de Mar del Plata. De tamaño pequeño, cuenta con una dotación de al menos 33 empleados, de los cuales aproximadamente 8 son administrativos y 25 son operativos.

El taller se emplaza en una nave principal de 350 m², distribuidos entre la oficina técnica, el sector de mecanizados, el sector de conformados y el pañol. Separadamente se dispone de un predio de 500 m², el cual cuenta con aproximadamente la mitad de su superficie cubierta. Allí se concentran labores que requieren la manipulación de grandes elementos, tareas de reparación, ensamblajes y soldaduras en general.

Las actividades desarrolladas por la empresa comprenden la reparación de estructuras en obra, la reparación de componentes en taller, la ejecución de obras industriales y la fabricación de elementos variados. El servicio se presta tanto a organismos estatales, a empresas privadas, como a clientes particulares. De estos últimos proviene en mayor medida la demanda espontánea, dado que acuden de manera imprevista y con requerimientos variados.

3.2.2. Descripción del Taller

No es posible obtener un modelo de asignación y secuenciación aplicable a un determinado contexto de trabajo, si no se tiene una descripción clara de las actividades a considerar. Estas constituyen por sí mismas una definición preliminar de cuáles serán las estaciones de trabajo.

Cuando se habla de operaciones en el ámbito de la producción, se hace referencia a un conjunto de procedimientos organizados y ordenados, de manera tal que su ejecución permite la obtención de un resultado esperado. Cada operación tiene asociada una serie de entradas, que constituyen los elementos a transformar; un método de ejecución, que indica la

manera de proceder para obtener el resultado deseado y, un conjunto de medios que hace posible llevar a cabo las tareas implicadas.

Para el caso de estudio, la identificación de las operaciones resulta simple ya que la mayoría de ellas se encuentra asociada directamente a un equipo de trabajo específico. Tomando como base la estructura productiva que se aplica habitualmente a la actividad metalúrgica, es posible distinguir seis conjuntos de actividades bien diferenciados.

- ◆ Conformados: Comprenden los procesos de deformación plástica, involucrados en la transformación chapas metálicas planas hasta la forma final. Por conveniencia se incorpora también en este grupo al oxicorte, interpretado como proceso de acondicionamiento previo al plegado de piezas.
- ◆ Mecanizados: se corresponde con los procesos de transformación que implican la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.
- ◆ Procesamiento Manual de Acero Inoxidable y Metales Especiales: corresponde a los procesos de corte, unión, acabado y ensamble, ejecutados de manera manual sobre materiales como acero inoxidable, hierro, bronce, cobre, aluminio, entre otros. Estas actividades se caracterizan por exigir un elevado nivel de prolijidad, dado que los productos resultantes deben cumplir además de requerimientos estructurales, con condiciones estéticas y sanitarias.
- ◆ Procesamiento Manual de Acero al Carbono: corresponde a los procesos de corte, unión, acabado y ensamble, ejecutados de manera manual sobre aleaciones de acero al carbono. Los productos obtenidos deben cumplir fundamentalmente con requerimientos estructurales.
- ◆ Otras Actividades: corresponden a aquellas tareas cuya operatoria depende exclusivamente de las cualidades de la mano de obra ejecutante. El recorrido de un mecanismo, por ejemplo, implica cierto nivel de especialización para garantizar que el trabajo se realiza de manera adecuada.
- ◆ Actividades Externas: muchas actividades exceden las capacidades del taller, en tal caso el trabajo se subcontrata. Algunas operaciones que son tratadas de esta forma son, el arenado y metalizado de superficies, los tratamientos térmicos, el corte láser, el corte por chorro de agua y mecanizados especiales como engranajes o piezas de gran tamaño.

Finalmente, sobre la clasificación precedente se individualizan ciertas actividades, considerando diferencias entre los medios utilizados y los métodos aplicados. La nómina completa de operaciones identificadas en el taller, se expone en la Figura 12.

| CONFORMADO | ACERO INOXIDABLE | MECANIZADO |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| ▶ Oxicorte | ▶ Ajuste I. | ▶ Torneado Manual |
| ▶ Cizalla | ▶ Soldadura I. | ▶ Torneado Automático |
| ▶ Plegado | ▶ Ensamblaje I. | ▶ Fresado |
| ▶ Rolado | ▶ Pulido | ▶ Taladrado |
| SERVICIOS EXTERNOS | | ▶ Cepillado |
| ▶ Prov. Materiales | ACERO AL CARBONO | |
| ▶ Cortes de Chapa | ▶ Ajuste C. | OTRAS ACTIVIDADES |
| ▶ Trat. Superficial | ▶ Soldadura C. | ▶ Recorrido Mecánico |
| ▶ Trat. Térmico | ▶ Ensamblaje C. | ▶ Ensamble Mecánico |
| ▶ Mecanizado | ▶ Pintura | ▶ Labores Menores |

Figura 12: Nómina de operaciones
Fuente: elaboración propia

3.2.3. Estudio Técnico

La definición de los centros o estaciones de trabajo, no tiene necesariamente un paralelo físico con una máquina o instalación determinada. La utilidad del concepto, es representar un conjunto de tareas similares, que se encuentran supeditadas a la disponibilidad de un grupo de recursos en común.

Los medios necesarios para llevar adelante la producción constituyen el factor clave que condiciona la individualidad y la cantidad de las unidades procesadoras. Al respecto la naturaleza de la actividad metalúrgica se asocia directamente a la comercialización de mano de obra, razón por la cual los requerimientos humanos pueden convertirse fácilmente en el principal factor restrictivo.

Mientras algunas unidades de proceso dependen de un único operador, otras en cambio requieren que la actividad se haga en equipo, tal como sucede con el manejo de las plegadoras. En contraposición también existe la posibilidad de que un mismo individuo sea capaz de operar varias estaciones de trabajo diferentes.

El caso más complejo se da cuando ocurren dependencias cruzadas, por ejemplo, tres tornos y dos fresas son operadas por tres individuos. La solución más simple a este problema es emplear una estrategia conservadora, agrupando ambos procesadores en una

única estación de trabajo, cuya capacidad coincide con el valor de disponibilidad más bajo. Se evita así que la programación sea inaplicable, a costas de admitir un rendimiento menor.

En resumen, es la disponibilidad del recurso limitante la que condiciona el número máximo de unidades operativas. Este recurso podrá ser un material, una herramienta o el incluso el propio operador. La Figura 13 muestra los requerimientos de mano de obra y las restricciones físicas que aplican sobre las operaciones que han sido identificados en el taller.

| SECTOR | OPERACIÓN | OFICIALES | AYUDANTES | LIMITANTE | EXISTENCIA |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|-----------------|---------------|
| CONFORMADO | ▶ Oxicrote | 1 | 0 | Pantógrafo | 1 |
| | ▶ Cizallado | 1 | 1 | Guillotina | 1 |
| | ▶ Plegado | 1 | 1 | Plegadora | 1 |
| | ▶ Rolado | 0 | 1 | Roladora | 1 |
| MECANIZADO | ▶ Tor. Manual | 1 | 0 | Torno Paralelo | 3 |
| | ▶ Tor. Automatico | 1 | 0 | Torno CNC | 1 |
| | ▶ Fresado | 1 | 0 | Fresa | 2 |
| | ▶ Taladrado | 1 | 0 | Agujereadora | 2 |
| | ▶ Cepillado | 1 | 0 | Chaveteadora | 1 |
| A. INOXIDABLE | ▶ Ajuste I. | 1 | 0 | Amoladora/Tdro. | Irrelevante |
| | ▶ Soldadura I. | 1 | 0 | Soldadora TIG | 4 |
| | ▶ Pulido | 0 | 1 | Pulidora | 2 |
| | ▶ Ensamblaje I. | 1 | 1 | Varios | Indeterminado |
| A. CARBONO | ▶ Ajuste C. | 1 | 0 | Amoladora/Tdro. | Irrelevante |
| | ▶ Soldadura C. | 1 | 0 | Soldadora MIG | 4 |
| | ▶ Ensamblaje C. | 1 | 1 | Varios | Indeterminado |
| | ▶ Pintura | 0 | 1 | Pistola | 2 |
| O. ACTIVIDADES | ▶ Rec. Mecánico | 1 | 1 | Varios | Indeterminado |
| | ▶ E. Mecánico | 1 | 1 | Varios | Indeterminado |
| | ▶ Varios | 0 | 1 | Varios | Indeterminado |
| SERVICIOS EXT. | ▶ Prov. Materiales | 0 | 0 | N/A | N/A |
| | ▶ Cortes de Chapa | 0 | 0 | N/A | N/A |
| | ▶ Trat. Superficial | 0 | 0 | N/A | N/A |
| | ▶ Trat. Térmico | 0 | 0 | N/A | N/A |
| | ▶ Mecanizado E. | 0 | 0 | N/A | N/A |

Figura 13: Requerimientos de mano de obra y restricciones físicas por proceso
Fuente: elaboración propia

La escisión entre oficiales y ayudantes está inspirada en el cuadro de categorías propio de la actividad metalúrgica. Es útil aquí para subrayar la diferencia entre la necesidad de mano de obra calificada y no calificada.

Para aproximarse aún más a la definición de las estaciones de trabajo, es necesario evaluar de alguna manera las restricciones humanas. Este análisis no es directo, pues lo normal es que los operarios puedan desempeñar diversos roles dentro del sistema productivo. En estas condiciones, la herramienta propicia para cuantificar la capacidad de trabajo en cada operación es la Matriz de Polivalencia. La Figura 14 muestra su aplicación al caso de estudio.

| | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | Ñ | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | |
|---------------|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Conformados | ▶ Oxicrote | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| | ▶ Corte | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| | ▶ Plegado | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| | ▶ Rolado | | | | x | | x | | | | | | | x | | | | | | | | x | x | x | x | x | 9 |
| Mecanizados | ▶ Tor. Manual | | | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 |
| | ▶ Tor. Atico. | | | | | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| | ▶ Fresado | | | | | x | | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 |
| | ▶ Taladrado | | | x | x | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | 6 |
| | ▶ Cepillado | | | | | | | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| A. Inoxidable | ▶ Ajuste I. | | | | | | | | | x | x | x | x | | x | x | | | | | | | | | | | 6 |
| | ▶ Soldadura I. | | | | | | | | | x | x | x | x | | x | x | | | | | | | | | | | 6 |
| | ▶ Ensamblaje I. | | | | | | | | | x | x | x | x | | x | x | | | | | | | | | | | 6 |
| | ▶ Pulido | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | 1 |
| A. Carbono | ▶ Ajuste C. | | | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | x | x | | | | | | | 6 |
| | ▶ Soldadura C. | | | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | x | x | | | | | | | 6 |
| | ▶ Ensamblaje C. | | | | | | | | | | | | | | x | x | x | x | x | x | | | | | | | 6 |
| | ▶ Pintura | | | | x | | x | | | | | | | x | | | | | | | | x | x | x | x | x | 9 |
| Otras Tareas | ▶ R. Mecánico | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | x | x | | | | | 3 |
| | ▶ E. Mecánico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | x | | | | | 2 |
| | ▶ Varias | | | | x | | x | | | | | | | x | | | | | | | | | x | x | x | x | 9 |

Figura 14: Matriz de polivalencia
Fuente: elaboración propia

Si no se acotara la complejidad del problema real, máquinas, herramientas y personal se asignarían de manera independiente a la ejecución de cada etapa de un trabajo específico. Aquí en cambio, considerando los supuestos adoptados en la sección 0, la asignación de recursos se hará de manera conjunta a la definición de las estaciones de trabajo.

3.2.3.1. Circuito de Operaciones

De acuerdo a lo visto, es indispensable estudiar de forma detallada los diferentes trabajos que son realizados en el taller. Solo así se podrán determinar los circuitos de proceso existentes y definir las estaciones operativas de manera coherente.

Valiéndose de documentación histórica, se procedió a estratificar una muestra de pedidos en grupos definidos de manera tal, que el orden de ejecución de las operaciones componentes de cada uno de los miembros del conjunto sea homogéneo.

Establecer una relación biunívoca entre circuitos y procesos permite simplificar de manera notable la actividad de programación. En efecto, cada nuevo trabajo ingresado al sistema de producción solo requiere ser asociado a un proceso general, para tener también

definida su ruta de ejecución. Restará solo asignar costes a los centros operativos activos para completar la descripción del trabajo en cuestión.

Después de cinco años de actividad se totalizaron alrededor de 8000 pedidos, de los cuales se analizó una muestra semestral de 800 elementos. Sobre estos datos se identificaron seis procesos con secuencias de trabajo independientes, ver Figura 15.

| Trabajos en Acero Inoxidable | Trabajos en Acero al Carbono | Mecanizados en General | Reparaciones Mecánicas | Trabajos en Obra | Conformados |
|------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------|------------------|
| ▶ Prov. Mat. | ▶ Prov. Mat. | ▶ Prov. Mat. | ▶ Rec. Mecánico | ▶ Rec. Mecánico | ▶ Prov. Mat. |
| ▶ Corte de Chap. | ▶ Oxicorte | ▶ Oxicorte | ▶ Prov. Mat. | ▶ Prov. Mat. | ▶ Corte de Chap. |
| ▶ Cizallado | ▶ Cizallado | ▶ Cizallado | ▶ Oxicorte | ▶ Oxicorte | ▶ Oxicorte |
| ▶ Rolado | ▶ Rolado | ▶ Rolado | ▶ Cizallado | ▶ Cizallado | ▶ Cizallado |
| ▶ Plegado | ▶ Plegado | ▶ Plegado | ▶ Rolado | ▶ Rolado | ▶ Rolado |
| ▶ Tor. Autom. | ▶ Tor. Autom. | ▶ Mecanizado E. | ▶ Plegado | ▶ Plegado | ▶ Plegado |
| ▶ Tor. Manual | ▶ Tor. Manual | ▶ Soldadura I. | ▶ Mecanizado E. | ▶ Tor. Autom. | |
| ▶ Fresado | ▶ Fresado | ▶ Soldadura C. | ▶ Soldadura I. | ▶ Tor. Manual | |
| ▶ Taladrado | ▶ Taladrado | ▶ Tor. Autom. | ▶ Soldadura C. | ▶ Fresado | |
| ▶ Cepillado | ▶ Cepillado | ▶ Tor. Manual | ▶ Tor. Autom. | ▶ Taladrado | |
| ▶ Ajuste I. | ▶ Ajuste I. | ▶ Cepillado | ▶ Tor. Manual | ▶ Cepillado | |
| ▶ Soldadura I. | ▶ Soldadura I. | ▶ Fresado | ▶ Cepillado | ▶ Ajuste I. | |
| ▶ Pulido I. | ▶ Pulido I. | ▶ Taladrado | ▶ Fresado | ▶ Soldadura I. | |
| ▶ Ensamblaje I. | ▶ Ensamblaje I. | ▶ Trat. Térmico | ▶ Taladrado | ▶ Ensamblaje I. | |
| ▶ Varios | ▶ Ajuste C. | ▶ Pintura | ▶ Trat. Térmico | ▶ Pulido I. | |
| | ▶ Soldadura C. | ▶ Varios | ▶ E. Mecánico | ▶ Ajuste C. | |
| | ▶ Ensamblaje C. | | ▶ Varios | ▶ Soldadura C. | |
| | ▶ Trat. Superf. | | ▶ Pintura | ▶ Ensamblaje C. | |
| | ▶ Pintura | | | ▶ E. Mecánico | |
| | ▶ Varios | | | ▶ Pintura | |
| | | | | ▶ Varios | |

Figura 15: Circuitos productivos
Fuente elaboración propia

El efecto de contemplar determinadas labores eventuales puede ser irrelevante para el resultado final. Es prioritario conocer la frecuencia con que se llevan a cabo los diferentes procesos, para simplificar el modelo en la mayor medida posible. Por ejemplo, de entre los trabajos observados, la ocurrencia del chaveteado se constató solo tres veces entre 200 mecanizados, esto implica una influencia de poco más del 1% sobre el trabajo general de la sección.

Prácticamente la totalidad de las operaciones evaluadas correspondieron a solo 6 procesos principales, ver Figura 16. Un tercio de los trabajos fueron labores realizadas sobre acero inoxidable o chapas finas. El segundo proceso más habitual fue el mecanizado, seguido por los trabajos realizados en chapas y perfiles de acero al carbono.

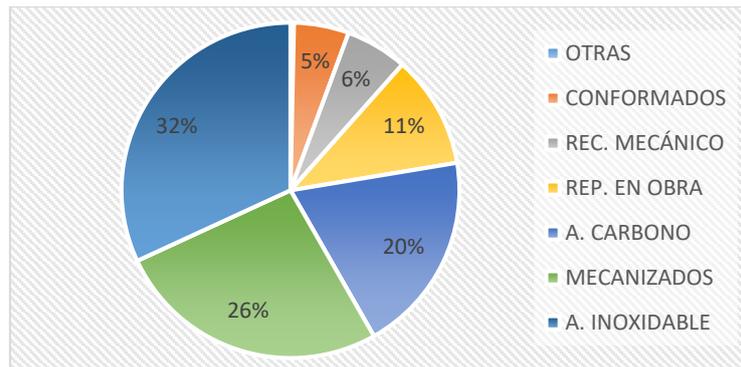


Figura 16: Órdenes de trabajo por proceso
Fuente: elaboración propia

3.2.3.2. Estaciones de Trabajo

Para lograr la reducción del problema original a una lista finita e invariable de procesadores, se deberá proceder de acuerdo a una estrategia de asignación. Aquí se aplican las siguientes pautas de procedimiento.

1. Sobre los procesos identificados, se agrupan aquellos que contemplan recursos compartidos. Este paso es necesario debido a que no podrán programarse simultáneamente operaciones que compartan recursos en común, no obstante, la unión solo es posible cuando la relación de orden de los procesos es consecutiva.

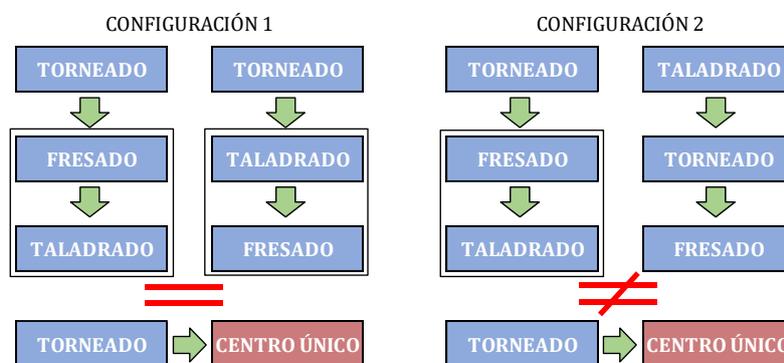


Figura 17: Agrupación de centros de trabajo
Fuente: elaboración propia

La Figura 17 ilustra sobre dos configuraciones productivas. La primera de ellas admite la agrupación de dos centros de trabajo en uno, la segunda no lo permite, por incluir relaciones de orden no consecutivas. Es importante notar que la configuración número 1 debe ser exhaustiva, es decir, debe contemplar todos los ordenamientos de operaciones factibles.

2. Las unidades productivas, se listan de manera ordenada desde la más relevante a la menos relevante. Para esta tarea se emplea algún criterio de prioridad que sirva para medir la importancia relativa de cada proceso a los objetivos generales de la empresa.

3. Comenzando por las actividades más críticas, se asigna los recursos según los requerimientos específicos. Las relaciones establecidas se repiten tantas veces como el recurso limitante lo permita. Cada una de estas replicas constituye un procesador paralelo.

En cada asignación los elementos involucrados se van descontando de una tabla de disponibilidad. El procedimiento continúa hasta comprometer todos los medios productivos o cuando se han considerado todos los procesos de la nómina.

4. Como última etapa se revisa la coherencia y consistencia del esquema obtenido, evaluando la existencia de recursos sobreasignados o subasignados. Finalmente se adopta la lista de centros de trabajo como base del modelo.

| SECTOR | PROCESOS | CENTRO | CANTIDAD | BALANCE |
|--------------------|---------------|-----------------|------------|--------------|
| CONFORMADOS | OXICORTE | OXICORTE | 1 | 0 |
| | CORTE | CORTE Y PLEGADO | 1 | |
| | PLEGADO | | | |
| | ROLADO | ROLADO | 1 | |
| MECANIZADOS | TORNO MANUAL | TORNO // | 3 | +1 FRESADOR |
| | TORNO AUTCO. | TORNO CNC | 1 | |
| | CEPILLADO | FRESA | 2 | |
| | AGUJEREADO | | | |
| | CHAVETEADO | | | |
| ACERO INOXIDABLE | AJUSTE I. | INOXIDABLE | 4 | 0 |
| | SOLDADURA I. | | | |
| | ENSAMBLE I. | | | |
| | PULIDO | PULIDO | 1 | |
| ACERO AL CARBONO | AJUSTE C. | ACERO | 2 | 0 |
| | SOLDADURA C. | | | |
| | ENSAMBLE C. | | | |
| | PINTURA | PINTURA | 2 | |
| OTRAS TAREAS | R. MECÁNICO | R. MECÁNICO | 1 | +6 AYUDANTES |
| | E. MECÁNICO | E. MECÁNICO | 1 | |
| | AYUDANTE | VARIOS | 2 | |
| SERVICIOS EXTERNOS | PROV. MAT. | MATERIALES | ∞^5 | 0 |
| | CORTES CHAP. | SERVICIOS | ∞ | |
| | TRAT. SUPERF. | | | |
| | TRAT. TÉRMICO | | | |
| | MECANIZADO | | | |

Tabla 3: Centros de trabajo
Fuente: elaboración propia

5 El símbolo infinito hace referencia a que la cantidad de proveedores de materiales o proveedores de servicios externos a la empresa, es indeterminada y debe considerarse a los fines del modelo, como un número muy alto.

En la Tabla 3 se presenta la nómina centros de trabajo determinados aplicando el método propuesto. Algunos procesos fueron agrupados en un único centro de trabajo, debido a que comparten exactamente el mismo número y calidad de recursos. La columna balance muestra el grado de ajuste entre esta organización, la tabla de requerimientos y la matriz de polivalencia.

Análisis de Consistencia

El esquema obtenido pretende ser una representación fiel y simple del sistema real. No obstante, a pesar de que la agrupación de actividades se ha realizado de manera racional, no fue posible distribuir los recursos de manera perfecta. A continuación, se analiza el desbalance admitido en dos centros de trabajo.

La operación de chaveteado tiene menos del 1% de incidencia sobre los mecanizados en general. La actividad comparte operador con el fresado, existiendo una cepilladora, dos máquinas fresadoras y dos individuos calificados para realizar tal tarea. La opción de unir las operaciones y limitar la capacidad de fresado a un solo procesador, genera una subasignación de efecto mucho más perjudicial que el que implica sobreasignar un operador de fresado a una actividad tan poco frecuente.

Por su parte, la labor de ayudante, es muy requerida en su rol de apoyo a diversos centros de trabajo. Para el caso de estudio, contar con suficientes operarios para suplir todos los procesos a plena capacidad, implicaría nada menos que duplicar la cantidad de individuos afectados a labores de asistencia. La decisión de asumir una sobreasignación de colaboradores, se fundamenta en dos características notables.

En primer lugar, cualquier operario puede desempeñarse como ayudante, pues a pesar de que pueda ser más útil en otra ocupación, podrá ejercer como colaborador en periodos ociosos. En segundo lugar, el rol del ayudante es el más fácil de incrementar debido a la baja calificación que exige. Por tanto, la labor del ayudante se trata como una variable de ajuste, asumiendo que no tendrá mayor influencia en la estructura de la programación.

Por último, cabe indicar que la formulación propuesta solo debe asumirse como una aproximación preliminar al modelo definitivo del problema. La forma más apropiada no se obtendrá sino por medio de la propia aplicación y ajuste constante del modelo.

3.2.3.3. Suministro de Datos

Si bien no es objetivo de este trabajo final es diseñar un sistema de gestión integral de la producción, es propicio dar tratamiento a las condiciones mínimas que aseguran una correcta implementación del modelo propuesto.

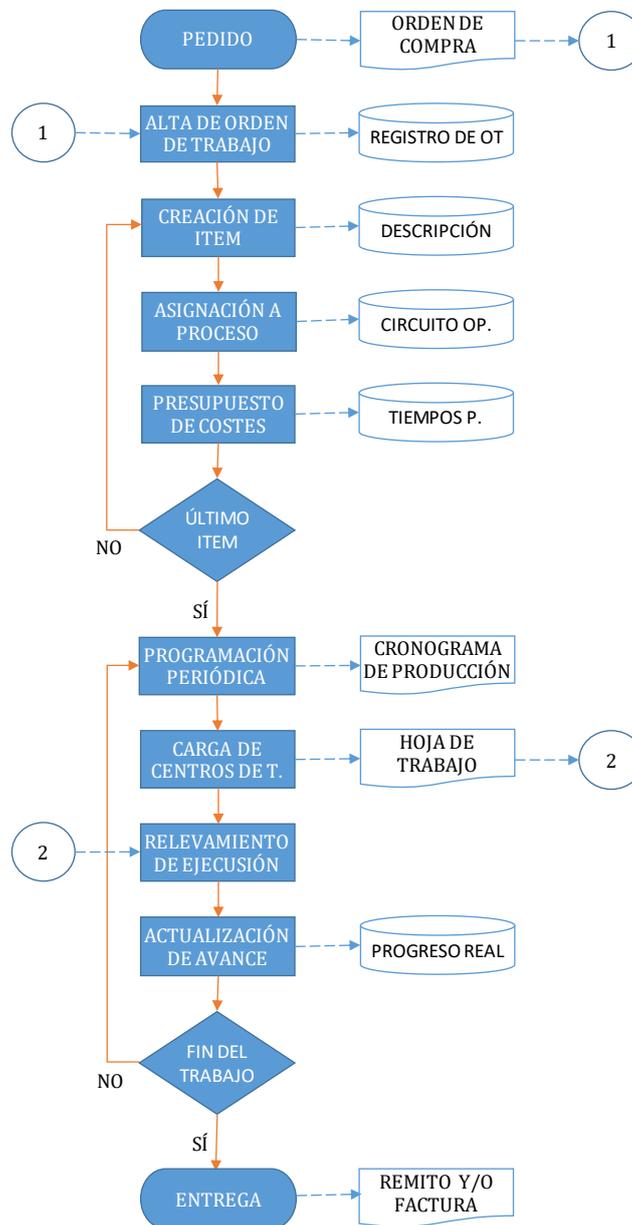


Figura 18: Diagrama de flujo
Fuente: elaboración propia

El desafío más importante del sistema de información, es brindar en tiempo real, soporte a las funciones de dirección y control de la producción. Cada procesador debe conocer con exactitud el momento de inicio y el momento de fin previsto para las operaciones a ejecutar. Recíprocamente, es necesario tomar nota del avance real de las tareas, a fin de mantener una programación actualizada.

El diagrama de flujo presentado en la Figura 18, deja en evidencia la naturaleza cíclica del proceso de gestión de pedidos. Sobre el mismo se da referencia de la información ingresada al sistema y la documentación emitida.

Al ingresar un pedido a la nómina de trabajos pendientes, se le asigna un título genérico cuyo objeto es representar la naturaleza común de los elementos que lo componen. Se le asocian también un cliente y un número de orden de compra, este último, solo en caso de corresponder. En algunas ocasiones el pedido ingresará por mostrador, en otras se llevará a cabo formalmente mediante documentación

Posteriormente se divide el contenido del pedido, en elementos más pequeños, cada uno de los cuales se identifica con un único proceso genérico. A estos componentes de la orden principal se les asigna una descripción individual, una cantidad y una fecha de entrega convenida.

La siguiente etapa consiste en completar la definición de los ítems de trabajo para poder incluirlos en la programación. Cada ítem se corresponde con uno de los procesos predeterminados y por transición, con uno de los circuitos predefinidos. Finalmente, se asocia tiempos de proceso a las estaciones de trabajo que tengan acción efectiva sobre el elemento.

Considerando solo los ítems para los cuales se completó su definición, se realiza la programación. Concluido el proceso de cómputo se generan dos documentos, el cronograma de entregas que servirá de informe para uso de la dirección, las hojas de trabajo que servirán para transmitir las ordenes de producción a los procesadores.

La ejecución de los trabajos se monitorea de forma permanente, su estado operativo se actualiza periódicamente conforme la frecuencia de registro estipulada. Cuando surgen discrepancias entre el rendimiento esperado y el observado, se evalúa la conveniencia de ajustar el desempeño previsto. El ciclo de programación se repite de manera indefinida.

Cuando un ítem finaliza, se procede a retirarlo de la nómina de actividades a programar. Posteriormente se realizará la entrega del producto al cliente, haciendo el debido registro, mediante la documentación pertinente.

3.2.3.4. Cubo de Tiempo

El suministro continuo de datos confiables y exactos al modelo de programación, depende en gran medida de la manera en que se registra el tiempo y la forma en que se

determinan los períodos de reprogramación. De estas dos variables deriva el balance entre el nivel de detalle pretendido y la dificultad en el manejo de la información.

El concepto de cubo de tiempo define a una unidad temporal finita y arbitraria, que constituye el mínimo lapso de tiempo imputable a una operación. Este elemento tiene como objetivo simplificar el manejo de datos, al convenir el uso de una unidad de medida discreta.

Una correcta definición del cubo de tiempo requiere contrastar el mínimo tiempo imputable a una operación en las condiciones de proceso habituales, y el mínimo lapso de tiempo que es posible registrar, sin que el ingreso de datos implique en sí mismo una relación costo beneficio negativa.

Para el caso de estudio, se constató en base a la información histórica disponible, la existencia de trabajos con una duración mínima aproximada de 15 minutos. El registro de fracciones de tiempo como esta, parece aceptable, a consideración de que no todos los trabajos tendrán esta duración.

Por otra parte, el cubo de tiempo también representa la mínima unidad de cotización, por ello establecer un valor demasiado grande penalizaría los trabajos más simples, haciéndolos corresponderse con costos no incurridos. Asimismo, el procesador involucrado permanecería virtualmente ocioso por un período igual al excedente entre el tiempo asignado y el real.

3.2.3.5. Frecuencia de Actualización y Frecuencia de Reprogramación

La frecuencia con la cual es posible actualizar los registros depende de cuánto tarda la información en retornar desde los procesadores al centro de cómputos. Para el caso considerado, en el cual el operador dispone de una lista impresa sobre la cual consigna los datos de su desempeño, el plazo de retorno más conservador es de una jornada laboral completa.

En tanto, la frecuencia necesaria para reprogramar depende de cuánto tarda la secuenciación en volverse obsoleta. La situación puede quedar en evidencia por el ingreso de nuevos pedidos al sistema o por la ocurrencia de una considerable cantidad de operaciones finalizadas.

Por último, cabe indicar que una cosa es reprogramar y otra es comunicar a los actores correspondientes. Cuando no se cuenta con soporte informático en los puestos de trabajo, la imposibilidad de comunicar rápidamente se transforma en la principal limitación.

Consecuentemente la frecuencia en que es posible reprogramar debe ser menor o igual a la frecuencia de actualización. Para el caso de estudio la frecuencia se establece de manera fundamentada, en una jornada laboral completa.

3.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El análisis realizado sobre el caso en estudio, lo describe como un sistema de producción por lotes, que adopta una distribución de actividades de tipo funcional. Las condiciones de flujo aleatorio, propias de este sistema productivo, hacen que el problema de secuenciación resultante sea considerado el de mayor complejidad en su especie.

Pretender contemplar todo tipo de situaciones particulares es impráctico. El límite a la complejidad del problema no lo acota solo el algoritmo de cálculo, sino que en mayor medida se ve restringido por la viabilidad en los intercambios y por los registros de información requeridos para mantener al sistema en correcto funcionamiento.

3.3.1. Condiciones de Contorno

Los supuestos que se adoptan en el presente trabajo, se realizan a conciencia de que su aplicación concuerda con los rasgos principales del caso de estudio y no afecta la exactitud de los resultados obtenidos. En adelante se asume que el flujo de proceso se corresponde con las siguientes características específicas.

- ◆ Relaciones de precedencia absoluta: dado un trabajo compuesto de varias operaciones ordenadas, una operación determinada no puede comenzar hasta que la operación precedente haya finalizado.
- ◆ Asignación única: una operación puede ejecutarse en un único centro de trabajo a la vez.
- ◆ No existe recirculación: un trabajo no puede pasar dos veces por un mismo procesador. Si el problema de programación se representara mediante un grafo, todas las trayectorias de trabajo constituirían caminos eulereanos⁶.
- ◆ Ausencia de costes de preparación: administrar en tiempo real una tabla actualizada y fiable de los costes de transición para las diferentes combinaciones de trabajos, resulta una

⁶ En la teoría de grafos, un camino euleriano es aquel que pasa solo una vez por cada arista del diagrama.

tarea excesiva cuando se juzga que su influencia no es determinante en la secuencia, o el nivel de error admisible en la función objetivo supera los valores de preparación.

- ◆ Invariabilidad de los Procesadores: no se admitirá que las unidades de producción sean poli funcionales, o que diferentes combinaciones de recursos puedan dar lugar a nuevos centros de trabajo.
- ◆ Multiplicidad de los Procesadores: se considera que para un tipo de procesador podrán existir varias unidades equivalentes.

3.3.2. Formalización del Problema

Se realiza a continuación la definición formal del problema de secuenciación, indicando los diferentes elementos que lo conforman y las relaciones de cálculo que se utilizan en su tratamiento.

Dimensiones

N - Designa un número finito de trabajos a considerar en la programación.

M - Designa un número finito de tipos de centros operativos a considerar en la programación.

L - Designa un número finito máximo de multiplicidad para un tipo de centro operativo. Se entiende por multiplicidad al número de centros de trabajo idénticos que existen.

Índices

i, u - Designan un trabajo en particular entre los N trabajos considerados.

j, v - Designan una operación en particular entre las M posibles operaciones componentes de un trabajo.

k - Designan un centro operativo en particular entre los M centros considerados.

l - Designa un centro operativo en particular entre los L centros del mismo tipo considerados.

Componentes

J_i - Trabajo: conjunto ordenado de operaciones ejecutadas para el logro de un producto.

J_{ijk} - Operación: actividad componente de un trabajo que es individualizable en función de los medios requeridos para su ejecución.

O_{kl} - Centro operativo: unidad funcional dotada de los recursos necesarios para ejecutar una determinada familia de tareas.

P_{ijk} - Tiempo de procesamiento: pronóstico del tiempo necesario para completar una tarea en un determinado centro operativo.

Elementos de Tiempo

t_0 - Momento "0" de la programación, a partir del cual inicia la asignación y secuenciación de operaciones. Se puede asociar a una fecha real según convenga.

E_i - Momento de entrega: diferencia entre la fecha asumida como t_0 y la fecha de entrega comprometida. Para establecer el momento de entrega de cada trabajo es preciso fijar la fecha de inicio asociada a t_0 , una vez hecho esto, el bloque programado no podrá desplazarse temporalmente dado que ya existen referencias estáticas a fecha reales.

S_{ijk_l} - Momento de inicio: momento respecto a t_0 , en que se prevé inicie la ejecución de una operación.

C_{ijk_l} - Momento respecto a t_0 , en que se prevé finalice la ejecución de una operación

Restricciones

- ◆ Recurrencia.
Por definición M número máximo de operaciones componentes de un trabajo, es igual al número de centros operativos considerados.
- ◆ Condición de discretitud, positividad y finitud.
 $i, j, u, k, v, l, P, N, M, L \in \mathbb{N}; 1 \leq i \leq N; 1 \leq j, u, k, v \leq M; 1 \leq l \leq L; 0 \leq P$
- ◆ Condición de trabajo no vacío.
 $\forall i \exists P_{ijk} > 0 \rightarrow$ Para que un trabajo exista debe contener al menos una operación con un tiempo de proceso mayor a cero.
- ◆ Definición compacta.
 $\text{si } P_{ijk} = 0 \forall k \rightarrow P_{ivk} = 0 \forall v > j \rightarrow$ Un trabajo se define como una lista compacta y ordenada de operaciones. Si de esta lista una operación tiene asignado un tiempo de proceso

igual a cero, entonces todas las operaciones restantes incluidas en la lista tienen asociado un tiempo de proceso igual a cero.

◆ Asignación unívoca.

si $\sum_{k=1}^M P_{ijk} > 0 \rightarrow \exists ! k: P_{ijk} > 0 \rightarrow$ Una operación puede asignarse a un único tipo de centro de trabajo.

◆ Condición de precedencia entre operaciones de un mismo trabajo.

$C_{ij+1} \geq P_{ij+1} + C_{ij} \forall i, j \rightarrow$ El tiempo de fin de una operación posterior a otra es necesariamente igual o mayor al tiempo de fin de la operación precedente más el tiempo de ejecución previsto para la propia operación.

◆ Condición de asignación única.

$C_{ijk_l} \geq P_{ijk} + C_{uvk_l} \vee C_{uvk_l} \geq P_{uvk} + C_{ijk_l} \forall i, j, u, v, k, l \rightarrow$ No es posible asignar simultáneamente dos operaciones diferentes a un mismo centro de trabajo.

Métricas individuales

D_i - Demora: para un trabajo J_i diferencia entre su momento de entrega E_i y el momento de finalización de su última operación C_{iMk_l} .

$$D_i = E_i - C_{iMk_l}$$

T_i - Tardanza: para un trabajo J_i se define como la demora positiva D_i de dicho trabajo.

$$T_i = D_i \leftrightarrow D_i > 0 \vee T_i = 0 \leftrightarrow D_i \leq 0$$

H_{ij} - Holgura: para una operación J_{ijk} se define como la diferencia entre el tiempo de procesamiento restante para finalizar el trabajo J_i y su momento de entrega E_i .

$$H_{ij} = E_i - \sum_{h=j}^M P_{ihk}$$

Funciones objetivo

Minimizar el lapso de trabajo: métrica asociada a la planificación en general, que se define como el máximo C_{ijk_l} .

$$Z = \max_{\forall i} C_{iMk_l}$$

Minimizar el flujo medio: métrica asociada a la planificación en general, que se calcula como la sumatoria del momento de fin previsto para cada trabajo, dividido entre el número total de trabajos considerados.

$$\bar{F}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_{iMk_i}$$

Minimizar la tardanza media: métrica asociada a la planificación en general, que se calcula como la sumatoria de la tardanza prevista para cada trabajo, dividida entre el número total de trabajos considerados.

$$\bar{T}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i$$

Minimizar la tardanza máxima: métrica asociada a la planificación en general, que se calcula como la máxima tardanza entre todos los trabajos considerados.

$$T_{max} = \max_{\forall i} T_i$$

Minimizar el número de tareas tardías: métrica asociada a la planificación en general, que se calcula como la cuenta de todos los trabajos cuya demora es mayor a "0".

$$NTT \text{ (Número de Trabajos Tardíos)} = \sum_{i=1}^N 1 \leftrightarrow T_i \neq 0$$

3.4. MODELO DE ASIGANACIÓN Y SECUENCIACIÓN DE OPERACIONES

La definición del modelo de programación de operaciones propuesto, plantea la adaptación de alguna de las técnicas de asignación y secuenciación existente. A estos efectos se procedió a evaluar los métodos disponibles de acuerdo a consideraciones de forma, practicidad y eficiencia.

Del análisis precedente se optó por utilizar una técnica constructiva basada en la aplicación de reglas heurísticas. La decisión se fundamenta en que estas técnicas garantizan un resultado aceptable en contraposición al bajo nivel de complejidad que involucran, y porque el acotado volumen de datos requerido es apropiado a circunstancias de trabajo dinámicas.

En consecuencia, los lineamientos del modelo propuesto quedan establecidos de la siguiente forma:

1. En primer lugar, se deberá obtener una planificación válida, lo que significa que durante la construcción de la solución deberán considerarse simultáneamente tanto restricciones de precedencia como restricciones de capacidad.
2. En segundo lugar, la planificación obtenida deberá ser activa, entendiendo por ello que la alternativa propuesta no es mejorable sino por medio de un cambio drástico en el ordenamiento de las operaciones.
3. En tercer lugar, se deberá definir una regla heurística, cuya lógica se relacione a un comportamiento eficiente, de acuerdo a la métrica seleccionada para evaluar el rendimiento de la programación.

3.4.1. Generación de Secuencias

Un mecanismo generador de secuencias, es un método que permite seleccionar una a una las operaciones a programar, y las asigna a su procesador asociado en un momento dado.

Tal como fue descrito, este mecanismo no es suficiente para generar soluciones consistentes. Debe por tanto aplicarse en conjunto con distintas estrategias que permita refinar el resultado obtenido.

3.4.1.1. Generación de secuencias válidas

Para generar las secuencias válidas, es indispensable contar con información relativa a las relaciones de precedencia entre operaciones y a la capacidad operativa de cada centro de trabajo. Desde allí basta con generar una línea temporal para cada procesador, sobre la cual se asignarán operaciones dependiendo de la disponibilidad de las máquinas. El proceso concluirá cuando todas las operaciones se hayan programado.

Analíticamente se requerirá una tabla donde se registre el orden de las operaciones componentes de cada trabajo, es decir, el circuito entre procesadores. Asimismo, cada operación deberá tener un tiempo de proceso estimado, necesario para calcular los momentos de inicio y fin esperados.

Por otro lado, será también necesaria una tabla donde almacenar la fecha de disponibilidad para cada centro de trabajo. Esta fecha cambiará con cada nueva asignación realizada sobre alguno de los procesadores, coincidiendo con el momento de fin esperado para la operación implicada.

Si se respetan las restricciones de disponibilidad de los procesadores y el orden de procesamiento entre las operaciones componentes, entonces se habrá obtenido una secuencia válida.

3.4.1.2. Generación de secuencias activas

Para analizar la forma en que es posible generar secuencias activas, es útil establecer una analogía entre los períodos de tiempo asociados a las operaciones, con bloques de longitud equivalente y la capacidad de los procesadores, con un espacio continuo. Desde esta óptica se puede interpretar que una secuencia activa es aquella en la que los bloques se disponen de manera tal, que no existen “huecos” que permitan reubicar unos por delante de otros, sin realizar más que un desplazamiento a la vez.

Si no existieran reglas de precedencia, resulta obvio que los bloques podrían disponerse en cualquier orden y de manera compacta. En tal circunstancia el tiempo total de procesamiento óptimo sería constante, los cambios de orden entre “bloques” solo tendrían efecto sobre los tiempos de entrega particulares y no sobre la fecha de fin general.

La existencia de reglas de precedencia, implica que un bloque correspondiente a un determinado trabajo, no puede ubicarse antes del extremo final de su predecesor. En consecuencia, aparecen espacios vacíos que son imposibles de ocupar. El requerimiento que debe cumplir una secuencia activa en este caso es igual al ya enunciado, que no puedan ubicarse bloques por delante de otros ya dispuestos. Simplemente que como condicionante se deben considerar además las restricciones de correlación.

En algoritmos constructivos, donde las operaciones se asignan en diferentes etapas, las secuencias activas se pueden construir preseleccionando las operaciones que pueden programarse en un determinado procesador. La condición necesaria y suficiente que deben cumplir las tareas asignables, es que el momento de inicio más temprano de cualquiera de ellas, sea previo al momento de fin más temprano existente entre el conjunto de tareas ejecutables en el mismo procesador. De esta forma se garantiza que ningún “bloque” quepa en el hueco temporal resultante.

El procedimiento de generación de secuencias activas solo considera la nómina de operaciones ejecutables en un momento dado, es por ello eficaz para cada estado determinado del algoritmo, no obstante, puede tener alguna deficiencia si se evalúa desde el resultado final.

3.4.1.3. Generación de planificaciones activas

Por definición una planificación activa es una planificación formada exclusivamente por secuencias activas, donde cada una de estas representa el ordenamiento de tareas programadas para un determinado procesador. Por esto basta con aplicar el procedimiento descrito anteriormente.

3.4.1.4. Reglas de despacho

Las reglas de despacho constituyen criterios de asignación que permiten dirimir que tarea ejecutar, cuando existen varias que cumplen las condiciones establecidas para la construcción de secuencias activas.

Se supone que una regla tiene por definición, un desempeño acorde respecto al criterio de selección que representa. Por ejemplo, seleccionar las operaciones con fecha de entrega más temprana debería, frente a otras reglas, disminuir la tardanza general.

Lamentablemente, solo existen demostraciones que comprueban la optimalidad de distintas reglas de prioridad, para el caso de un único procesador. La aplicación de estos criterios a problemas de mayor complejidad se hace por extensión. En la práctica, se obtienen resultados que sin ser óptimos son aceptables en términos de la complejidad. Se observa asimismo coherencia entre la definición del criterio utilizado y la métrica que se pretende mejorar.

Existen tantas reglas de prioridad como métricas a mejorar. Siendo tres los parámetros clásicos; disminuir el inventario en proceso, minimizar la tardanza de los trabajos y reducir el lapso de trabajo, es que se van a utilizar las reglas definidas para estos conceptos.

Operación de fin más temprano: Se programan primero aquellas operaciones (entendidas como las partes componentes de un trabajo), que finalizan de manera más temprana.

Trabajo con plazo de entrega más temprano: Se programan primero aquellos trabajos cuya fecha de entrega comprometida es más temprana.

Trabajo con menor holgura según fecha de entrega: Se programan primero aquellos trabajos cuya holgura contra fecha de entrega es menor. Se entiende por holgura a la diferencia entre la fecha de entrega comprometida y la fecha actual.

Trabajo con mayor trabajo restante: Se programan primero aquellos trabajos cuya ejecución restante requiere de mayor tiempo.

3.4.1.5. Búsqueda restringida.

Si bien no se definió entre los objetivos de este trabajo, se aprovechará el desarrollo del algoritmo generador de secuencias activas, para implementar un mecanismo de solución por búsqueda aleatoria. En efecto, partiendo del grupo de tareas secuenciables, en lugar de realizar una selección por reglas de prioridad, se recurrirá a un método estocástico basado en la generación de números aleatorios.

La construcción de las planificaciones avanzará en tanto su rendimiento frente a una métrica a optimizar, no sea menor al rendimiento de una planificación anteriormente construida. En caso de que una planificación parcial sea descartada, se iniciará una nueva a partir de las mismas condiciones iniciales. Este proceder se repetirá tantas veces como se haya predefinido en un valor cota de iteración.

La ventaja de este método por sobre las reglas de prioridad es que es posible asociar la construcción de la planificación, directamente con la métrica de interés y, que puede mejorarse su precisión tanto como sea necesario aumentando el número de iteraciones admisible. La principal desventaja, radica en que el tiempo de procesamiento supera ampliamente el requerido para la generación de soluciones basadas en reglas de prioridad, muchas veces, sin que la complejidad se justifique en una mejora ostensible del resultado.

3.4.2. Método G&T

El algoritmo G&T desarrollado por Giffler y Thompson, es considerado el algoritmo padre de las heurísticas basadas en reglas de prioridad (Márquez Delgado, 2012). Esto se debe a que el procedimiento permite generar secuencias activas de manera simplificada en Q ciclos de iteración, siendo Q el número total de operaciones a programar.

El método está diseñado para tratar un problema de secuenciación de flujo general de N trabajos a ejecutar en M procesadores únicos. Sobre la lista de tareas ejecutables en un momento dado, se identifica la operación con fecha de fin más temprana y el centro de trabajo asociado.

Posteriormente se forma una lista de tareas candidatas, identificando todas aquellas operaciones ejecutables en el procesador en cuestión, cuya fecha de inicio es anterior o igual

a la fecha de fin de la operación de fin más temprano. Entre esta lista de tareas se selecciona aquella actividad que se precie mejor de acuerdo a un regla de selección específica.

La operación seleccionada se secuencia, dando lugar a un nuevo estado del algoritmo. El procedimiento se repite hasta programar todas las actividades. El pseudocódigo correspondiente puede consultarse en el anexo I.

3.4.2.1. Critica sobre el método G&T

El algoritmo G&T es un algoritmo determinista, simple y eficaz para generar secuencias activas, pero adolece de “miopía” al no ver más allá que las operaciones ejecutables en un estado específico.

Se espera que el análisis de una planificación basada en reglas de despacho, muestre un ordenamiento de operaciones coherente con el criterio aplicado. En la práctica no es así, debido a que la evaluación de prioridades no se realiza siempre en la misma instancia temporal. Este problema intrínseco a los métodos de lanzamiento, no puede evitarse por completo.

Para clarificar los defectos que pueden derivarse de la aplicación del método G&T, es útil analizar un ejemplo concreto que ilustre la problemática, ver Figura 19. Sean tres trabajos a ejecutar en tres procesadores diferentes, se establece una regla de prioridad que va desde uno a tres, dónde tres el trabajo más prioritario.

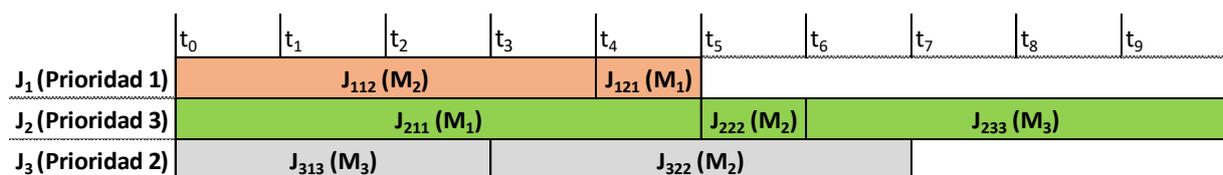


Figura 19: Planteo de un problema de secuenciación
Fuente: elaboración propia

Si se aplica el algoritmo G&T sobre el planteo realizado, se obtiene la planificación de la Figura 20. Sin considerar los estados de decisión, se observa que se ha privilegiado la ejecución de la operación J_{322} por sobre la operación J_{222} , para la cual se indicó la mayor prioridad (3). Asimismo, esta asignación relegó excesivamente a la operación J_{122} , aumentando drásticamente el lapso de trabajo.

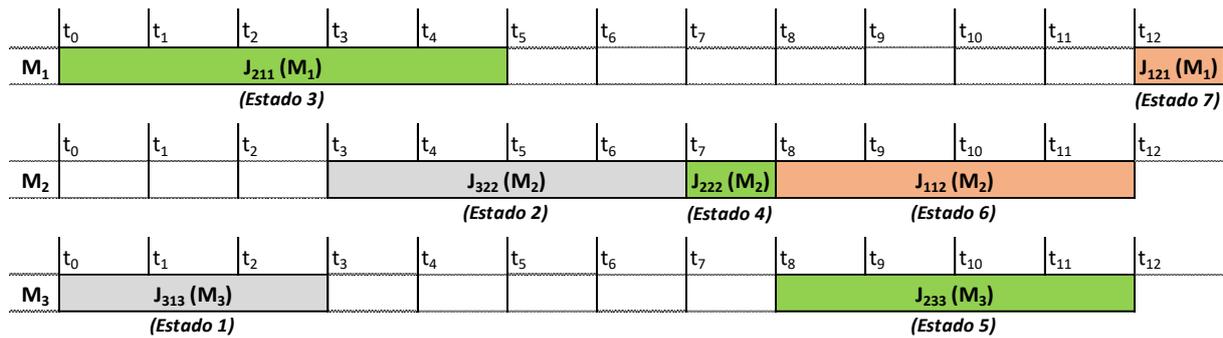


Figura 20: Planificación obtenida aplicando G&T
Fuente: elaboración propia

Es posible reordenar lógicamente las operaciones, obteniendo una planificación superadora en términos temporales, que resulta más coherente con las reglas de prioridad establecidas. Ver Figura 21.

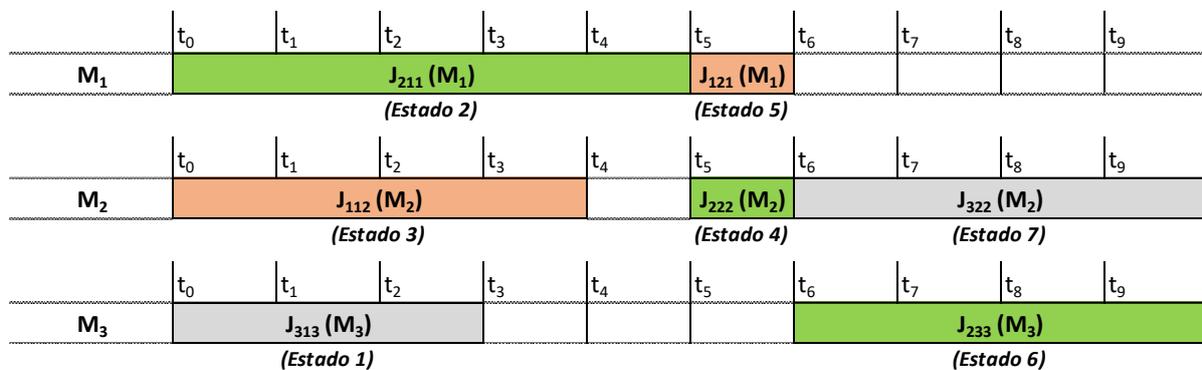


Figura 21: Planificación obtenida aplicando la regla propuesta
Fuente: elaboración propia

El desafío es formalizar un método que permita obtener la planificación indicada, sin recurrir a elementos que excedan a la definición de los algoritmos constructivos.

3.4.3. Método Propuesto

Con base en la lógica del método G&T, se ha diseñado otro, con el objeto de mejorar su comportamiento respecto a los criterios de prioridad. La modificación afecta la manera en que se construye el subconjunto de operaciones seleccionables y la forma en secuencia desde este.

Para cada estado del algoritmo, se considera un subgrupo de operaciones, que incluye una operación por cada procesador con actividades a ejecutar. Cada una de estas candidatas, se determina en función de las relaciones de prioridad y las fechas de disponibilidad correspondientes a las operaciones ejecutables en el mismo centro.

En cada instancia de ejecución, las operaciones asignables a un procesador se ordenan según una regla de decisión preestablecida, desde la más relevante a la menos

relevante. Sobre la lista resultante, se preselecciona la primera operación como candidata a secuenciar.

Posteriormente, la nómina se recorre buscando actividades cuya fecha de fin sea igual o más temprana que la fecha de inicio de la operación preseleccionada. Si se haya una tarea que cumple con esta condición, se reemplaza la candidata inicial. El procedimiento se repite hasta finalizar la evaluación de todas las actividades, momento en el cual se habrá determinado la candidata definitiva.

A continuación, en la Figura 22 se ilustra la aplicación del método propuesto, para el caso de tres operaciones a ejecutar en un determinado procesador.

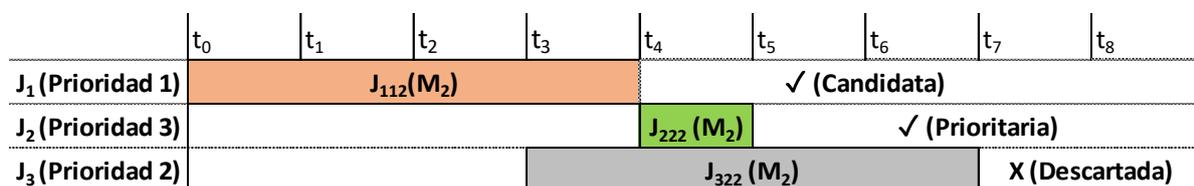


Figura 22: Cálculo de operaciones candidatas por regla de la cadena
Fuente: elaboración propia

En el ejemplo se ve como la operación J_{222} eclipsa a la operación J_{322} , la cual a pesar de ser más prioritaria que J_{112} queda descartada. Si se hubiese aplicado G&T, la operación seleccionada habría sido J_{322} .

El método indicado asegura que se respeten las prioridades establecidas, considerando la cadena de asignaciones más allá del estado actual.

3.4.3.1. Selección de la operación a secuenciar

Pese a que cada uno de los elementos del grupo de tareas candidatas representa a un procesador diferente, no se los debe considerar completamente independientes. En efecto, el problema de tomar las decisiones observando un único estado del algoritmo radica en que una asignación hecha en un procesador en un “estado 1”, puede bloquear la asignación de una operación de mayor prioridad que llega al procesador en un “estado 2” o posterior.

Para evitar este problema, basta con seleccionar entre las operaciones candidatas, aquella que ostente la fecha de fin más temprano. De esta manera, no hay posibilidades que una tarea bloquee la asignación posterior de otra. Ninguna operación subsecuente podrá comenzar antes que termine su predecesora, siendo esta la propia operación seleccionada u otra que necesariamente termina después de esta.

Esta regla de decisión es clave para asegurar el correcto funcionamiento del método. Para ilustrar su utilidad, se analiza el “Estado 2” de la planificación expuesta en la Figura 23.

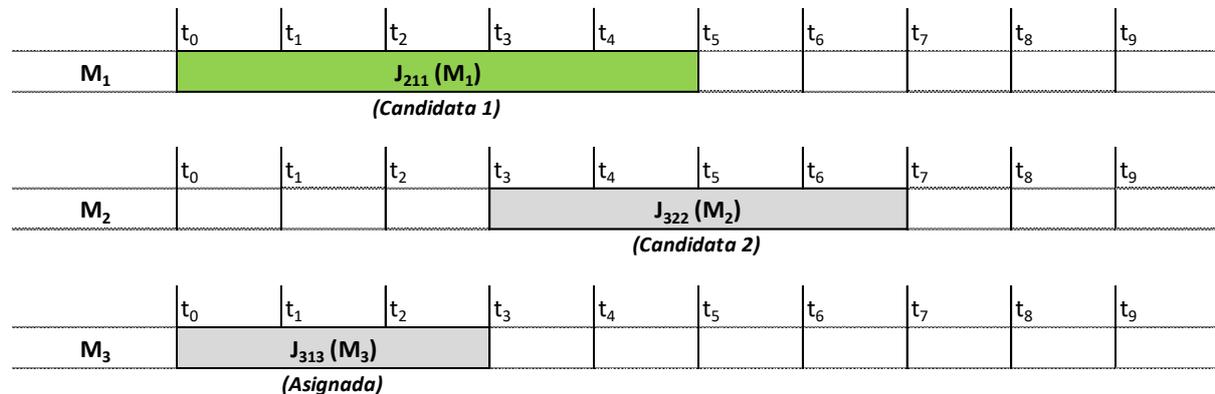


Figura 23: Selección de la operación a secuenciar
Fuente: elaboración propia

Dado que la fecha de fin de J_{211} es menor a la de J_{322} , en el “Estado 2” de la planificación corresponde la asignación de J_{211} . El efecto de esta decisión, modifica la cadena de prioridades del procesador M_2 con el ingreso de J_{222} , tal como se mostró en la Figura 22.

3.4.3.2. Reflexión sobre el método propuesto

Respecto a los requerimientos fundamentales, el algoritmo propuesto genera secuencias activas que respetan de forma estricta las prioridades establecidas en un momento dado. Aunque el planteo del método parece más complejo que el procedimiento descrito para G&T, la realidad es que puede resultar incluso más eficiente. A continuación, se muestra en la Tabla 4 una comparativa, donde se oponen las principales características de estos métodos.

| REGLA DE LA CADENA | ALGORITMO G&T |
|---|---|
| Ordena por prioridad las operaciones programables en cada procesador en un estado dado. | Selecciona la operación de fin más temprano considerando todas las operaciones programables en un estado dado. |
| Compara fechas entre los elementos del grupo ordenado y por descarte selecciona una única operación. | Genera un subgrupo de operaciones según sus fechas de ejecución, para el procesador que contiene a la operación seleccionada. |
| Genera un subgrupo de operaciones con una tarea candidata por cada procesador. | Compara por prioridad las operaciones candidatas y selecciona aquella que se secuenciará. |
| Compara fechas de las operaciones candidatas (una por procesador) y selecciona aquella que se secuenciará. | Repite todo, de manera completa hasta que finaliza la planificación. |
| Hecha una asignación, repite el cálculo de candidatas solo para el procesador donde se ha hecho la asignación y para aquel donde se ha habilitado una nueva operación a ejecutar. | |

Tabla 4: Comparativa entre la regla de la cadena y el algoritmo G&T
Fuente: elaboración propia

La posibilidad de reutilizar datos entre una iteración y otra, es lo que en algún punto compensa la mayor complejidad de cálculo del algoritmo propuesto.

3.4.3.3. Limitaciones propias a los algoritmos de lanzamiento

Si bien el enfoque propuesto mejora notablemente el desempeño de la solución final respecto a las reglas de prioridad, aun así, no constituye una solución completa. La consideración de la cadena crítica tiene limitaciones; con cada iteración ingresa una nueva operación a un procesador, pudiendo esta modificar drásticamente la cadena crítica original, y por ende contradecir las asignaciones previamente hechas en base a esta.

Para reglas dinámicas no es posible salvar este inconveniente, pues la condición de dinamismo requiere que se vuelvan a evaluar las condiciones de prioridad entre una etapa y otra. Para reglas estáticas si es posible lograr una asignación completamente coherente, pero esta alternativa requiere la aplicación de algoritmos de inserción.

3.4.4. Extensión del método propuesto, a la gestión de instancias múltiples

El planteo del problema de secuenciación, ajustado al caso de estudio, requiere la consideración de múltiples centros operativos del mismo tipo. Es claro entonces que se tendrá una línea de asignación por cada instancia de un procesador, pero no es tan evidente como se adaptará el algoritmo propuesto para contemplar esta situación.

En primer lugar, se tendrá una operación candidata por instancia, es decir si se tienen dos centros con dos y tres instancias respectivamente, habrá como máximo cinco operaciones candidatas. Puede haber un número menor, dependiendo de si la cantidad de operaciones a ejecutar en algún centro, es menor que su multiplicidad.

El método diseñado para el tratamiento de este caso, requiere el análisis de operaciones desde la instancia de fecha de disponibilidad más temprana hasta la instancia de fecha de disponibilidad más tardía. Para cada una de estas, se construye una cadena crítica de actividades, aplicando el mismo procedimiento que el enunciado para el caso de un procesador único.

La clave reside en que el grupo de actividades considerado en etapas subsecuentes, excluye las operaciones que han formado parte activa de las cadenas críticas evaluadas en etapas anteriores. Asimismo las fechas de inicio de las operaciones, se actualizan según la fecha de disponibilidad asociada a la instancia en análisis. El pseudoalgoritmo correspondiente, puede consultarse en el anexo I.

El planteo enunciado, es significativamente más complejo que el original, no obstante la posibilidad de programarlo de manera modular hace posible su implementación. A continuación, se muestra un ejemplo de aplicación, para el caso de un procesador con tres instancias y cuatro operaciones a secuenciar.

Tal como se definió, todas las fechas de inicio están calculadas considerando la fecha de disponibilidad más temprana, la cual corresponde a la instancia M_{12} .

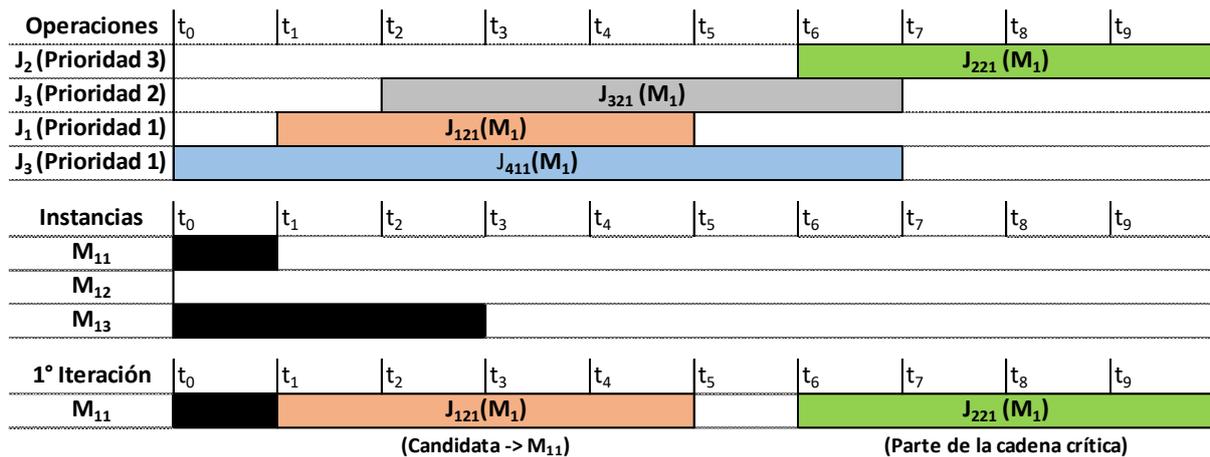


Figura 24: Determinación de operaciones candidatas por instancia, 1° iteración
Fuente: elaboración propia

Figura 24: 1° iteración, se construye una cadena crítica que involucra a las operaciones J_{221} y J_{121} , siendo esta última la candidata. Dado que J_{121} comienza en t_1 , la cadena puede reubicarse en la instancia M_{11} . Operaciones e instancias implicadas se eliminan del planteo original.

Figura 25: 2° iteración, se conforma una cadena crítica de una única operación J_{321} . Dado que J_{321} comienza en t_2 , la cadena no puede reubicarse en M_{13} y permanece en M_{12} . La operación y la instancia implicadas se eliminan del problema original.

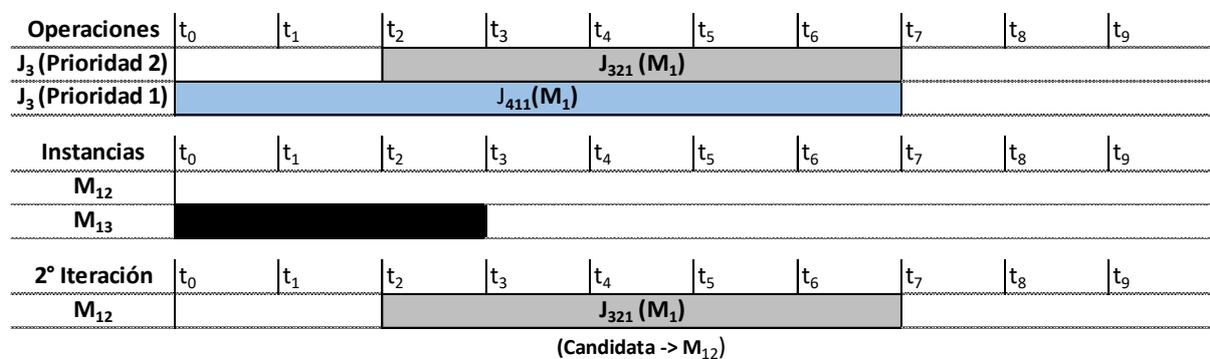


Figura 25: Determinación de operaciones candidatas por instancia, 2° iteración
Fuente: elaboración propia

Figura 26: 3° iteración, el inicio de la operación J_{411} se recalcula según la fecha disponibilidad de la única instancia disponible. Finalmente J_{411} se asigna como candidata M_{13} .

| Operaciones | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | t_5 | t_6 | t_7 | t_8 | t_9 |
|---------------------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| J_3 (Prioridad 1) | | | | $J_{411}(M_1)$ | | | | | | |
| Instancias | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | t_5 | t_6 | t_7 | t_8 | t_9 |
| M_{13} | | | | | | | | | | |
| 3° Iteración | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | t_5 | t_6 | t_7 | t_8 | t_9 |
| M_{13} | | | | $J_{411}(M_1)$ | | | | | | |

(Candidata -> M_{13})

Figura 26: Determinación de operaciones candidatas por instancia, 3° iteración
Fuente: elaboración propia

Al no existir más instancias y/o operaciones a programar en M_1 , el procedimiento termina para este procesador. La información recabada servirá para posteriores iteraciones del algoritmo principal, en tanto y en cuanto no aparezca una nueva operación a programar en el centro o, se programe una de las candidatas identificadas.

3.4.5. Extensión del método propuesto para contemplar prioridades indicadas

Hasta el momento se ha hecho alusión al concepto de prioridad, como a una regla de decisión basada en características internas del problema de asignación y secuenciación. Así definida, esta jerarquización de operaciones se establece de manera independiente a la naturaleza del problema a tratar.

En la práctica, resulta útil incluir algún mecanismo que permita priorizar un trabajo frente a otro. Ya sea con motivo de privilegiar a un cliente, o reflejar la importancia monetaria de alguna actividad determinada.

Dado que el algoritmo propuesto se basa en una secuencia de ordenamientos, basta incluir en la misma la consideración de distintos criterios de orden, jerarquizados de manera conveniente. Esta implementación de menor complejidad, da al usuario un mayor control del modelo, mejorando ostensiblemente la utilidad de los resultados obtenidos.

3.4.5.1. Jerarquía de prioridades

Establecer una jerarquía de prioridades no es una posibilidad más del algoritmo, sino un requisito para mantener la coherencia y la estabilidad del modelo cuando se aplican a éste distintas reglas de decisión.

Por ejemplo, establecer asignaciones según el criterio de seleccionar las operaciones que pertenecen a trabajos cuya fecha de entrega comprometida es más temprana, no significa

dejar de lado la intención de minimizar el lapso de trabajo. Prescindir completamente de una función objetivo puede devenir en resultados que en la práctica son inaplicables, debido a la falta de coherencia para con lo que se presume es una buena solución.

Lo indicado es establecer una batería de criterios, los cuales se aplican en orden de prioridad. Las diferentes “capas lógicas” permiten tener el proceso de decisión controlado, dirimiendo cuestiones conflictivas y evitando que una métrica se desequilibre excesivamente respecto a las demás.



Figura 27: Jerarquía de prioridades
Fuente: elaboración propia

La Figura 27, resume la lógica que se aplica para combinar las reglas de despacho. En primera instancia se consideran las prioridades indicadas, en segundo lugar la métrica seleccionada y por último, la operación con fecha de fin más temprano. La última regla tiende a “compactar” la planificación, contribuyendo a la reducción del lapso de trabajo.

3.4.5.2. Dinámica de criterios

Es útil indicar que para un criterio dado, entre los múltiples que pueden considerarse, la prioridad asignada a una actividad puede variar con el transcurso de la operación. Es el caso de las reglas basadas en métricas de ejecución, las cuales lógicamente varían conforme avanza el proceso de programación.

Otras prioridades, como las indicadas de manera directa y aquellas que se asocian a la fecha de entrega comprometida para un trabajo, permanecerán estáticas durante toda la secuenciación.

Naturalmente, los procesos de optimización están ligados al empleo de reglas dinámicas, ya que implican por definición una evaluación y una toma de decisiones acorde a cada estado de la planificación. Las reglas estáticas por el contrario, condicionan el resultado reduciendo los grados de libertad de la solución.

En resumen, mientras más reglas de prioridad estática existan menos se acercará el resultado al óptimo, por este motivo habrá que ser cuidadoso con la indicación de prioridades de manera directa.

3.4.6. Algoritmo de búsqueda restringida

Se propuso, como extensión a los objetivos del presente trabajo, incluir el desarrollo de un método de búsqueda restringida. A continuación, se expone brevemente la forma en que se logra implementar este algoritmo.

Se utiliza la regla de la cadena extendida a centros con multiplicidad, para generar el grupo de operaciones candidatas. Mayor es la cantidad de restricciones aplicadas menor es la eficiencia del método, por ello para la construcción el subconjunto, se incluyen únicamente los criterios que resultan indispensables:

- Las prioridades indicadas no pueden excluirse del análisis, pues no aplicarían las prioridades establecidas para clientes o trabajos específicos.
- Las fechas de inicio/fin, son necesarias para restringir las secuencias generadas al tipo activo.

Del grupo seleccionable, se escoge aleatoriamente una operación para programar. El procedimiento continúa hasta seleccionar todas las tareas a ejecutar, o hasta que la métrica objetivo de la programación parcial, sea peor que la métrica registrada para una planificación completa hecha con anterioridad.

Conforme a lo indicado en el párrafo precedente, es necesario que con cada iteración se recalculen el valor de referencia. Las métricas con las que se contrastan las programaciones generadas, coinciden con las definidas en forma general: Lapso de trabajo, Flujo Medio, Tardanza Media, Tardanza Máxima y Número de Trabajos Tardíos.

3.5. Aplicación de los algoritmos a un contexto real

Los métodos expuestos trabajan con un extracto mínimo suficiente de datos, que describe los rasgos fundamentales de un problema de programación. La forma en que la realidad se simplifica y la manera en que las soluciones se interpretan, es una cuestión clave de la cual depende la utilidad del modelo.

En este apartado se abordan uno a uno, los diferentes aspectos que permiten transformar el problema real en el problema estructurado y, la manera en que los resultados obtenidos se traducen a soluciones aplicables.

3.5.1. Calendarización

La dimensión temporal en la que se lleva a cabo la planificación, se trata como una escala discreta que sigue la distribución de los números naturales positivos, y cuyas divisiones

se asocian al tamaño del cubo de tiempo predefinido. Los lapsos temporales se referencian sobre esta recta finita, con un momento de inicio y un momento de fin.

La precisión con la que se vincula un momento de la planificación a un instante real, depende del tamaño asociado al cubo de tiempo. En este trabajo se definió que dicha unidad puede representar fracciones horarias, y en consecuencia, la referencia necesaria es de la forma “Día/Mes/Año Hora: Minutos”.

La exactitud depende de que tan bien se correlacionen las horas de actividad real con las horas planificadas. El enfoque propuesto permite ajustar el horario laboral normal y establecer jornadas por defecto o por exceso de manera excepcional.

El único factor limitante es que a manera de simplificación, se considera un horario de trabajo uniforme para todos los procesadores. Esto significa que no pueden considerarse horas extras de manera selectiva.

3.5.1.1. Momento Cero

El momento cero se define con la fecha de inicio de la planificación, y se corresponde con el punto 0 de la recta numérica. Una vez establecido, todo otro evento con referencia a un calendario, puede representarse como una distancia temporal al punto t_0 .

Si la programación no se fija a un calendario real, el bloque de actividades programadas podría desplazarse hasta hacer coincidir su principio o su fin con una fecha arbitraria. Por el contrario, en la práctica es normal que los lotes a programar tengan un punto de la recta numérica vinculado a una fecha real, sea cual sea la naturaleza del evento en cuestión.

3.5.1.2. Fecha de entrega

Al igual que cualquier otro hito de la programación, la fecha de compromiso para un trabajo dado, se identifica como una distancia temporal al momento cero. Para el cálculo de las métricas vinculadas a las reglas de despacho, es necesario que todas las fechas de entregas que se hayan especificado, se traduzcan a momentos de entrega.

3.5.1.3. Gestión de fechas de disponibilidad

La posibilidad de indicar una fecha determinada a partir de la cual es posible iniciar la ejecución de una operación, dota de mayor realismo a la planificación en general. Para evitar crear estructuras de datos secundarias, tanto para indicar la fecha en cuestión como

para ejecutar las asignaciones, se recurrió a un artilugio que permitió integrar la funcionalidad a la estructura del algoritmo general.

Se incluye un centro ficticio con multiplicidad infinita, al cual se asocia una operación cuya duración se corresponde con la fecha de disponibilidad estipulada. Para lograr que la asignación se lleve a cabo de manera inmediata, se les asocia una prioridad dinámica mayor a las demás.

Al efectuarse la programación de una operación en el centro "0", se actualiza la fecha de disponibilidad de la operación siguiente, según el tiempo de proceso asociado al procesador ficticio. Se establece de esta forma la fecha de disponibilidad real del trabajo.

3.5.1.4. Resultados

El resultado de una planificación en el contexto del modelo planteado, se compone de una tabla que contiene el momento de inicio de cada operación componente y su referencia a la instancia de un procesador.

Antes de que este resultado pueda presentarse como una solución del problema general, habrá que establecer un paralelo entre cada uno de los momentos referidos y un calendario real. Para ello se utilizará una tabla de correlaciones, que empareja las fechas reales a la dimensión temporal utilizada en el modelo.

3.5.2. Adición de funcionalidades específicas

Un planteo demasiado rígido del problema programación, puede echar por tierra la posibilidad práctica de aplicar los resultados obtenidos. De entre las muchas particularidades que pueden afectar el modelo, se ha considerado procedente, permitir el tratamiento de dos circunstancias específicas.

3.5.2.1. Inclusión de operaciones de mantenimiento

La posibilidad de establecer períodos de mantenimiento asociados a determinados procesadores, permite obtener una programación mucho más realista cuando se trabaja con plazos extendidos. El correcto comportamiento del algoritmo propuesto, frente a la jerarquía de prioridades indicadas, permite abordar este problema de manera simple.

El procedimiento requiere crear un trabajo, que refiera al mantenimiento que se pretende establecer. Este trabajo se compone de dos operaciones, la primera de ellas asignada al centro "0", sirve para establecer el momento de inicio de la labor de mantenimiento. La segunda operación está asociada de forma permanente, a una instancia

específica de un procesador (centro de trabajo a intervenir). La indicación de una prioridad “extraordinaria”, asegura que se privilegie la programación de esta actividad por sobre otras.

3.5.2.2. Gestión de eficiencias

Rara vez una instalación opera al 100% de sus capacidades, es útil contar con una herramienta que permita ajustar rendimiento general a valores realistas, sin tener que afectar los registros de tiempos de proceso de manera individual. La misma consideración se aplica para establecer eficiencias por procesador.

3.5.3. Problema del “enganche” entre una programación y otra

Tal como se mencionó en el marco teórico, es normal que las programaciones se sucedan unas detrás de otras, variando poco a poco las condiciones de análisis. La dificultad principal de este tratamiento “realista”, es que tanto las operaciones como los procesadores pueden estar comprometidos en una asignación corriente.

Lidiar con el enganche entre una programación y otra requiere además de los datos definidos para el problema general, trasladar información que describa el estado actual de las operaciones. Habrá que describir las asignaciones en curso, identificando la relación operación - centro - instancia y el tiempo de ejecución restante asociado a una actividad.

La manera en que se gestiona el enganche en la implementación propuesta, es mediante la asignación de prioridades dinámicas. De esta manera se fuerza la secuenciación de las tareas en curso antes que las demás. El beneficio de este proceder, es que no es necesario migrar la fecha de disponibilidad de cada instancia de manera independiente, sino que dicho dato es calculado directamente por el algoritmo.

3.5.3.1. Gestión del Avance

La existencia de operaciones en curso al momento de lanzamiento de una nueva programación, requiere considerar el trabajo restante y la instancia donde la operación se está ejecutando.

Para transmitir la información relacionada a la instancia, no queda más remedio que indicar el dato de manera explícita. La consideración del trabajo restante puede interpretarse de diferentes maneras, a fin de proyectar el tiempo de ejecución de manera más realista. En el presente trabajo se admiten cinco interpretaciones del avance porcentual.

- ◆ Horas Presupuestadas. El trabajo restante se calcula en función del avance indicado y del tiempo de ejecución previsto: $P_{ijk}^P = P_{ijk} \cdot \left(1 - \frac{Av}{100}\right)$
- ◆ Horas Reales. El trabajo restante se calcula en función del avance indicado y del tiempo de ejecución real que se haya registrado: $P_{ijk}^R = R_{ijk} \cdot \left(1 - \frac{Av}{100}\right)$
- ◆ Horas Mínimas. Mínimo entre las proyecciones anteriores: $P_{ijk}^{Min} = \min\{P_{ijk}^R; P_{ijk}^P\}$
- ◆ Horas Máximas. Máximo entre las proyecciones anteriores: $P_{ijk}^{Max} = \max\{P_{ijk}^R; P_{ijk}^P\}$
- ◆ Horas Promedio. Promedio entre las proyecciones anteriores: $P_{ijk}^{Med} = \frac{P_{ijk}^R + P_{ijk}^P}{2}$

Queda a preferencia del usuario dotar a la planificación de una determinada característica. Por ejemplo, la aplicación de P_{ijk}^{Max} es propia de una planificación de tipo conservador.

3.5.3.2. Gestión de Prioridades

La posibilidad de incluir prioridades asignadas de manera dinámica a los algoritmos basados en reglas de despacho, permite forzar la secuenciación de determinadas operaciones antes que otras en un estado específico del algoritmo.

Esta funcionalidad es aprovechada en la carga de información relacionada con operaciones en curso, en la indicación de fechas de disponibilidad específicas y en la programación de labores de mantenimiento.

El modelo desarrollado se basa en la existencia de una única prioridad de tipo dinámico, que se actualiza dependiendo de determinadas consideraciones, conforme transcurre el proceso de secuenciación. A continuación, se describe la estructura y la lógica mediante la cual se gestiona esta medida de referencia.

Debido a que la mayoría de los criterios de decisión basados en métricas, establecen una jerarquía de menor a mayor, las prioridades se invierten para ser consistentes con dicha generalidad. El valor dinámico asociado a una actividad depende de, el número representativo indicado originalmente y el grado de avance de la primera operación del lote.

| Calificador | Tipo | P. Estática | Avance | P. Dinamica | Instancia A. |
|----------------|-----------|-------------|----------------|-------------|--------------|
| Normal | Indicada | 1 | Av = 0 | -1 | Ninguna |
| | | | 0 < Av < 100 | -5 | Temporal |
| Prioritario | Indicada | 2 | Av = 0 | -2 | Ninguna |
| | | | 0 < Av < 100 | -5 | Temporal |
| Urgente | Indicada | 3 | Av = 0 | -4 | Ninguna |
| | | | 0 < Av < 100 | -5 | Temporal |
| Extraordinario | Implícita | 4 | 0 <= Av <= 100 | -6 | Permanente |

Figura 28: Tabla de prioridades
Fuente: elaboración propia

Las prioridades directamente asignables van de “1” hasta “3”, mientras que el “4” se asocia implícitamente cuando se prevén labores de mantenimiento. Estos valores estáticos se traducen a referencias dinámicas según la lógica mostrada en la Figura 28.

Si la operación considerada está en curso, independientemente de que tenga una referencia de “1”, “2” o “3”, se le asigna un valor de “-5”. Si se trata de una labor de mantenimiento, el estado de referencia permanece en “-6”, sin importar la condición de avance. En otras condiciones las prioridades se invierten, a excepción de la referencia “3” que se transforma en “-4” por conveniencia algorítmica.

Cabe destacar que para las operaciones con avance, el concepto de prioridad se utiliza en conjunto con una referencia a la instancia asociada a la operación en ejecución. Para el caso de labores de mantenimiento esta referencia se aplica en forma permanente.

3.6. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Sea cual sea el método de programación utilizado, la correcta presentación de los resultados, es el entregable fundamental que justifica su aplicación. Si bien es posible obtener todo tipo de información complementaria, partiendo únicamente desde un cronograma de operaciones, en la práctica la cantidad de actividades y procesadores involucrados dificulta el análisis directo.

Ante el requerimiento de instrumentos de evaluación específicos, los reportes constituyen un elemento fundamental para la organización productiva y la toma de decisiones racional. En su versión más básica, combinan la descripción de las condiciones de contorno del problema, con la especificación de los parámetros de cálculo aplicados y la información provista por las métricas de secuenciación clásicas.

3.6.1. Definición de indicadores productivos

Las métricas utilizadas para comparar la eficiencia de una programación sobre otra, surgen del análisis de los resultados obtenidos, con enfoque crítico sobre ejecución de los trabajos. Es de interés complementar el cuadro informativo, incorporando indicadores que describan las planificaciones desde la perspectiva de los recursos. Esta ampliación, representa una gran contribución al problema de sopesar la carga de trabajo con la capacidad instalada, en sistemas de producción de tipo funcional.

La demanda se puede medir del lado de la salida cuando la variedad de lotes producidos es similar. Para casos como las instalaciones tipo taller, la carga de trabajo debe estimarse del lado de la entrada, identificando el volumen de trabajo que cada operación representa sobre cada recurso. Este análisis pormenorizado puede integrarse con relativa facilidad, sobre los procesos de cálculo que son propios a los algoritmos de secuenciación.

| INDICADOR | DESCRIPCIÓN | CÁLCULO |
|---------------------------|--|---|
| Tiempo Laboral Disponible | <i>Considera la capacidad laboral de todos los procesadores para el período actividad general.</i> | <i>Cuenta de horas laborales comprendidas entre la fecha de inicio más temprana y la fecha de fin más tardía de una planificación, multiplicada por la cantidad de procesadores disponibles.</i> |
| Tiempo Laboral Programado | <i>Considera en forma conjunta, la capacidad de trabajo correspondiente al período de actividad de cada uno de los procesadores.</i> | <i>Sumatoria de la cuenta de horas laborales comprendidas entre la fecha de inicio más temprana y la fecha de fin más tardía, correspondiente a la secuencia establecida en cada uno de los operadores disponibles.</i> |
| Tiempo Laboral Efectivo | <i>Considera el tiempo total efectivo de trabajo programado.</i> | <i>Sumatoria de ejecución correspondiente al total de actividades programadas.</i> |
| Porcentaje de Ocupación | <i>Porcentaje de uso de la instalación en el período de actividad.</i> | $\left(\frac{\text{Tiempo Laboral Efectivo}}{\text{Tiempo Laboral Disponible}} \right) \cdot 100$ |

Tabla 5: Indicadores propuestos
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 5, se muestra el conjunto de indicadores incorporados al modelo de asignación y secuenciación de operaciones. Para cada uno de ellos se da una descripción y se detalla la forma de cálculo.

4. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos, tras el tratamiento de múltiples casos de estudio, demostró que el desempeño de los algoritmos heurísticos propuestos es consistente con su lógica de diseño. Tal es así que para la mayoría de las pruebas realizadas se ha observado el siguiente comportamiento.

- ◆ Operación de fin más temprano: Contribuyó a la reducción del flujo medio planificado.
- ◆ Trabajo con menor plazo de entrega: Favoreció la reducción a la tardanza media.
- ◆ Trabajo con mayor trabajo restante: Pese a mostrar un comportamiento inestable, se pudo observar su vinculación con la reducción del lapso de trabajo.
- ◆ Trabajo con menor holgura contra plazo de entrega: Minimizó el número de trabajos tardíos.

Corresponde insistir en que el desempeño de las técnicas mencionadas, no es infalible bajo las condiciones del problema convencional. Es de esperar que la consideración de restricciones adicionales, tales como las prioridades indicadas, condicione aún más su rendimiento, pasando este más que nunca a depender de las condiciones particulares.

Por otra parte, tal como se indicó en el desarrollo de este trabajo, el empleo de las heurísticas de lanzamiento clásicas no asegura resultados que respeten la jerarquía de decisión establecida en base a prioridades estáticas. En un esfuerzo por mejorar este comportamiento, se introdujo como novedad, una variante algorítmica.

La aplicación del denominado “Método de la Cadena”, mostró estabilidad para lidiar con el problema, solo cuando entró en juego un máximo de tres jerarquías. Bajo la existencia de cuatro o más prioridades estáticas, no fue posible asegurar resultados consistentes con la lógica de secuenciación utilizada.

Finalmente, se observó una relación directa entre los algoritmos basados en el método de búsqueda restringida, para con las métricas que rigen su funcionamiento. No obstante, para que este comportamiento sea evidente, fue necesario fijar un número de iteraciones suficientemente alto.

El valor de la cota establecida dependió del “tamaño” del problema, entendiendo por tal al número de operaciones y procesadores existentes. Para el ejemplo del anexo III, el límite

se estableció observando los resultados obtenidos al aplicar las diferentes métricas al problema, mientras se incrementaba paulatinamente el límite de repeticiones aplicado.

En resumen, la herramienta desarrollada, permitió ejecutar rápidamente el conjunto de algoritmos diseñados. La incorporación de indicadores enfocados en el desempeño de los recursos, extendió su funcionalidad hacia una solución integral, de notable utilidad para la toma de decisiones operativas y estratégicas.

La posibilidad de personalizar y ajustar el modelo propuesto parece no tener límite definido, las modificaciones necesarias para adaptar y especificar el sistema, pueden agregarse de manera incremental sobre la base general. Esta posibilidad permite representar el problema real de manera certera, logrando soluciones integrales más robustas y eficientes

5. BIBLIOGRAFIA

Bedworth, David D. y Bailey, James E. 1992. *Sistemas Integrados de Control de Producción*. México DF : Limusa, 1992.

Carro Paz, Roberto y González Gómez, Daniel. 2000. *Administración de las Operaciones*. Mar del Plata : Universidad Nacional de Mar del Plata, 2000.

Domínguez Machuca, José Antonio, y otros. 1995. *Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. México : McGraw-Hill, 1995.

Franklin, E. 2009. *Procedimientos y procesos. En Organización de empresas*. México, D.F : McGraw Hill, 2009.

García Sabater, JJ., Valero Herrero, M. y Marín García, JA. 2011. *Matriz de Versatilidad/Polivalencia*. <http://hdl.handle.net/10251/12945> : Universidad Politécnica de Valencia, 2011.

González de Diego, Clara M. 2015. *Algoritmos Constructivos para la Programación de Operaciones en Entornos Job Shop Flexibles*. Tesis de Grado. Valladolid : Universidad de Valladolid, 2015.

González Fernández, Miguel Ángel. 2011. *Soluciones Metaheurísticas al Job Shop Scheduling Problem Wth Sequence-Dependent Set Up Times*. Tesis Doctoral. Oviedo : Universidad de Oviedo, 2011.

Márquez Delgado, José Eduardo. 2012. *Optimización de la Programación en Talleres de Mecanizado*. Tesis Doctoral. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2012.

Nogueira, Agustín Alejandro. 2015. *Algoritmos para el problema de Job-Shop Scheduling Basados en Programación Dinámica*. Tesis dde Licenciatura. Buenos Aires : Universidad de Buenos Aires, 2015.

Vélez Gallego, Mario César, Castro Zuluaga, Carlos Alberto y Jairo, Maya Toro. 2003. *Algoritmo de Búsqueda Aleatoria para la Programación de la Producción en un Taller de Fabricación*. s.l. : REVISTA Universidad EAFIT, Vol. 39. No. 131. 2003. pp. 76-86, 2003.

6. ANEXO I: PSEUDOCÓDIGOS

En este apartado se agrupa a los pseudocódigos correspondientes a algunas de las técnicas de asignación y secuenciación de operaciones, enunciadas en el cuerpo de este trabajo.

El pseudocódigo es una representación por pasos de las instrucciones ejecutadas por un algoritmo para la resolución de un problema específico. Se escribe en un lenguaje intermedio entre el léxico habitual utilizado por el humano y el código fuente, ejecutable por un ordenador. Su función es organizar y estructurar los procedimientos, antes de proceder a la programación.

6.1. PSEUDOCÓDIGO DEL ALGORITMO G&T

Sea $Q \neq \emptyset$ el conjunto de operaciones a programar, definimos $1 \leq q \leq Q \wedge q \in \mathbb{N}$

- 0- *Iniciar el estado cero, $q = 0$*
- 1- *Establecer un nuevo estado del algoritmo, $q = q + 1 \rightarrow S_q$ (identificador del estado).*
- 2- *Determinar para el momento t_q la operación $J_{ijk} \in Q$ cuyo C_{ijk} sea mínimo.*
- 3- *Construir un subconjunto W que incluya a todas las operaciones a programar en el procesador O_k en el estado S_q , cuyo momento de inicio sea más temprano a C_{ijk} .*
- 4- *Seleccionar alguna operación $J_{uvw} \in W$ de acuerdo a algún criterio de decisión.*
- 5- *Programar la tarea J_{uvw} en el procesador O_{k_l} . Actualizar la fecha de disponibilidad de O_{k_l} , la fecha de inicio de las operaciones programables en dicho centro y quitar la operación del conjunto Q .*
- 6- *Verificar $Q \neq \emptyset$, si es así dar por finalizada la programación, en otro caso, volver al punto 1 del algoritmo.*

6.2. REGLA DE LA CADENA

- 1- *Se ordenan las operaciones ejecutables en un centro operativo, desde la más prioritaria a la menos prioritaria.*
- 2- *Se toma como candidata a la primera operación listada y como referencia su fecha de inicio más temprano.*
- 3- *Se recorre la lista evaluando una a una las demás operaciones: cuando la fecha de fin de una de ellas es menor o igual a la fecha de referencia, se reemplaza la candidata anterior por la tarea actualmente evaluada y se hace lo propio con la fecha de referencia.*

4- *Al finalizar la evaluación de la lista, se habrá determinado la tarea candidata para el centro en cuestión.*

6.3. REGLA DE LA CADENA PARA CENTROS CON MULTIPLICIDAD

1- *Se ordenan las operaciones ejecutables en un centro operativo, desde la más prioritaria a la menos prioritaria.*

2- *Se referencian las fechas de inicio de cada operación a la instancia del centro que tenga fecha de disponibilidad más temprana.*

3- *Se toma como candidata a la primera operación listada y como referencia su fecha de inicio más temprano.*

4- *Se recorre la lista evaluando una a una las demás operaciones: cuando la fecha de fin de una de ellas es menor o igual a la fecha de referencia, se reemplaza la candidata anterior por la tarea actualmente evaluada y se hace lo propio con la fecha de referencia. Cada vez que se actualiza la operación candidata, se registran las operaciones que forman parte de su cadena crítica.*

5- *Al finalizar la evaluación de la lista, se habrá determinado la 1° tarea candidata.*

6- *Se evalúa si la operación candidata puede reubicarse en otra instancia del procesador, en tanto que su fecha de inicio sea posterior o igual a la fecha de disponibilidad de este. Se busca que la diferencia entre la fecha de inicio de la operación candidata y la fecha de disponibilidad del procesador sea mínima.*

7- *Asignada la operación candidata a un procesador específico, se quitan las operaciones que formaron parte de su cadena de prioridades y se quita la instancia del procesador a la cual se asignó la operación.*

8- *Si existen operaciones pendientes a secuenciar y quedan instancias disponibles, volver al punto 2. En otro caso el procedimiento finaliza.*

7. ANEXO II. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA

Es este apartado se describe la estructura de la herramienta desarrollada. Se muestran los elementos componentes y se detalla la lógica de uso desde la perspectiva del usuario. La información aquí contenida, complementa el planteo algorítmico principal.

7.1. SELECCIÓN DEL LENGUAJE Y EL SOFTWARE DE DESARROLLO

En este trabajo se planteó desde el inicio la necesidad de plasmar el modelo obtenido, en una herramienta informática que facilite la ejecución de la gran cantidad de cálculos implicados, pudiendo corroborar de esta forma la consistencia de los resultados.

Desde otra perspectiva, el desarrollo de una aplicación constituye un entregable que sirve para poner en práctica las metodologías diseñadas, en circunstancias de trabajo real. Este enfoque motivó a que se dotase a la herramienta de funcionalidades y posibilidades de personalización, muy cercanas a la de un sistema comercial.

La complejidad del problema tratado excede las prestaciones comunes a una aplicación de oficina. Es necesario en cambio, un entorno que permita integrar estructuras de datos estáticas, con un algoritmo capaz de manipular matrices n - dimensionales.

Según la descripción anterior, puede parecer que el lenguaje más apropiado para el tratamiento del problema sea R. No obstante, la utilización de matrices no es la única cuestión a analizar, de hecho, se pretende también disponer de una interfaz que permita una carga realista de datos.

Un sistema de gestión de bases de datos como PostgreSQL, proporcionaba un entorno apropiado para diseñar y manipular la estructura del problema. Su uso fue sopesado en combinación con el lenguaje JAVA, como medio para la definición de los algoritmos. Más allá del potencial de esta implementación, la puesta en práctica significaba un esfuerzo que excedía con creces el alcance del presente trabajo.

Sin perder de vista la motivación académica, se optó por emplear las funcionalidades del software Excel, considerando que las mismas eran suficientes para soportar la implementación del modelo de secuenciación propuesto. La estructura estática del problema se creó haciendo uso de tablas de referencias relativas, mientras que la estructura dinámica y los algoritmos de cálculo se programaron en Visual Basic para Aplicaciones.

Más allá de la accesibilidad, la principal ventaja de la alternativa seleccionada radica en la dinámica con que se da retroalimentación a las modificaciones sobre el algoritmo y sobre

la información suministrada. Esta característica agiliza enormemente el desarrollo de procedimientos complejos.

7.1.1. Entorno de desarrollo

Visual Basic para Aplicaciones (VBA), es un lenguaje que permite desarrollar aplicaciones, con objeto de aumentar y/o personalizar la funcionalidad de los programas nativos del sistema operativo Windows.

VBA es un lenguaje de alto nivel, pues permite escribir instrucciones en un idioma muy parecido al inglés así como hacer uso de notaciones matemáticas comunes. Es asimismo un lenguaje compilado, pues requiere de un programa que traduce la sintaxis original en código máquina ejecutable por el ordenador.

Microsoft Excel es una hoja de cálculo desarrollada por Microsoft, la cual cuenta con funcionalidades de cálculo, gráficas y tablas automáticas. Desde su versión 5.0 (1993), el programa soporta rutinas programadas en VBA y desde la versión 8.0 (1997), incluye un editor de código.

Las versiones más recientes cuentan con un Entorno de Desarrollo Integrado VBA, que permite la creación y edición de código, además de proveer diferentes herramientas de desarrollo tales como; formularios, controles y funciones. El entorno también cuenta con mecanismos de depuración para el control de errores de sintaxis.

7.2. ESQUEMA GENERAL DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA

Para que la herramienta desarrollada sea aplicable en un contexto real, es necesario dotar a la misma de la flexibilidad suficiente, para adaptarla a los cambios suscitados en la estructura productiva. Se pretende el usuario pueda establecer los elementos fundamentales del modelo, de acuerdo a los requerimientos del caso.

Naturalmente, una parte del desarrollo es rígida, principalmente aquella ligada al relevamiento de la información mínima y suficiente para abastecer al algoritmo de cálculo. Otros aspectos, a pesar de ser manipulables, se han estructurado de manera tal de facilitar el ingreso correcto de los datos. A continuación, se describen las decisiones más importantes tomadas al respecto.

7.2.1. Jerarquía de operaciones

Para cada orden de compra o pedido de un cliente, se crea una orden de trabajo asociada. A esta entidad general pueden corresponder una o más líneas de detalle, cuyo objeto es la representación de artículos o servicios diferentes.

Cada ítem cuenta con una descripción, una cantidad, una fecha de entrega y un proceso productivo específico. También de manera individual se configura la información relativa al proceso de programación, control y seguimiento de operaciones.

La notación utilizada para el registro de las actividades a ejecutar utiliza cuatro dígitos para referir la orden de trabajo y dos para indicar el ítem. Ambos constituyen campos auto numéricos que incrementan en uno para cada nuevo registro.

7.2.2. Definición de estados

Se establece como invariante la estructura de estados mostrada en la Figura II-1, la cual fue diseñada para estratificar la información y facilitar el seguimiento de las operaciones. En efecto, además de ser útil como filtro descriptivo, se usa en el algoritmo de secuenciación para determinar qué operaciones están disponibles para programar.

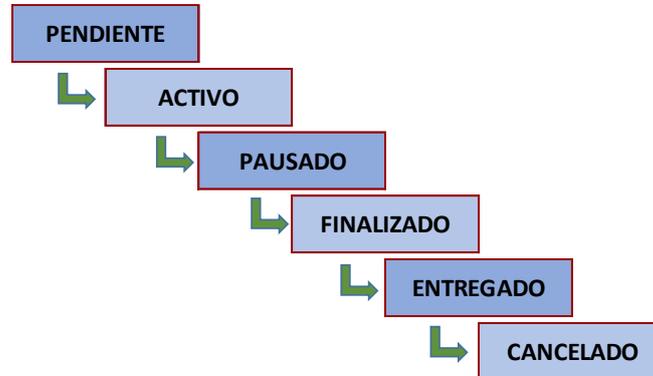


Figura II-1: Estado de los trabajos
Fuente: elaboración propia

Un trabajo recién ingresado se establece automáticamente como pendiente, una vez comenzada su ejecución pasa también automáticamente a activo y una vez indicado un avance total pasa a finalizado. Los estados pausado y cancelado son manuales, no obstante, un trabajo puede salir de estos cuando vuelve a ejecución.

El estado entregado también se determina de forma manual, pero a diferencia de los demás, es de carácter permanente ya que indica el fin de la actividad asociada.

7.2.3. Trazabilidad de registros y estados

El registro de cambios asociado a cada línea de detalle, se establece sobre sus hitos de existencia. Un trabajo se crea cuando es ingresado en la base de datos, se actualiza conforme se registran sus labores de ejecución y se entrega, luego de ser finalizado.

- Al crear un trabajo, se almacena la fecha de ingreso.
- Con el registro de la primera actividad ejecutada, se registra la fecha de inicio.
- Con cada carga de horas reales y registro de avance, se actualiza la fecha de actividad.
- Al entregar el producto o servicio, se almacena la fecha de entrega.

Se mantiene auditoría sobre los datos de seguimiento que afectan las tablas principales. Tras cada registro, se almacena el detalle de los valores actuales y el valor modificado.

7.2.4. Asignación de prioridades

En la práctica el concepto de prioridad suele utilizarse para privilegiar los trabajos asociados a un cliente por sobre los demás. Puede por esto, establecerse una relación no absoluta, entre la clasificación de clientes y la forma en que se ejecutan los trabajos asociados.

Se define el concepto de clases de clientes, como grupos homogéneos a los cuales corresponde una de las prioridades admitidas (ver punto 3.5.3.2). Necesariamente la asignación de prioridad a un trabajo, puede corregirse manualmente según se prefiera, no obstante, el proceso de vinculación automática mejora la coherencia y consistencia del proceso.

7.2.5. Configuración del sistema de producción

Es potestad del usuario definir los elementos estructurales del problema de secuenciación, fundamentalmente los centros de trabajo. Sobre cada uno de ellos cabe la determinación del número de instancias programables y las eficiencias aplicables.

A la existencia de las unidades productivas, precede la definición de los circuitos de operaciones. Si bien el planteo original admite que todo trabajo puede tener una secuencia de operaciones única, en la práctica la variabilidad se reduce a unos cuantos esquemas comunes.

La posibilidad de predefinir los circuitos operativos normaliza la estructura de los trabajos y facilita enormemente la carga de datos. Como actividades muy disimiles pueden

compartir el mismo circuito productivo, se implementa el concepto de proceso, como elemento intermedio. A un proceso se asigna un único circuito, pudiendo existir más de un proceso para la misma secuencia, luego es el proceso el que se asocia a cada trabajo.

7.2.6. Parámetros de cálculo

Antes de lanzar el algoritmo de cálculo, deben fijarse las circunstancias particulares bajo las cuales se lleva a cabo la programación. Esto constituye el marco referencial desde el cual se interpreta y procesa la información relativa a operaciones y procesadores.

En primera instancia, es indispensable establecer la capacidad de trabajo. Tal determinación comprende la definición de las jornadas de trabajo normal y la especificación del conjunto de excepciones aplicables a un período dado. También es posible afectar los recursos, indicando un factor de eficiencia general.

Por el lado de la demanda, es necesario definir la unidad fundamental sobre la cual se establecerá la estructura de asignaciones. La correspondencia entre el cubo de tiempo y las dimensiones temporales reales debe fijarse de la manera más certera posible, ya que posteriores modificaciones en su definición, afectaran considerablemente la utilidad de los registros existentes.

7.3. LÓGICA DE USO

La aplicación de la herramienta, como instrumento soporte a la gestión productiva, se ha estructurado en conformidad con el procedimiento expuesto en el punto 3.2.3.3. En consecuencia, la ejecución del algoritmo de cálculo es precedida por la carga de la información requerida a tal efecto.

Para el tratamiento de las entidades programables, se asume que cada solicitud de trabajo por parte de un cliente, puede estar compuesta de diferentes líneas de detalle. La razón de ser de este agrupamiento, se explica fácilmente cuando existe un documento comercial asociado. En otros casos, la simple contemporaneidad del pedido es más que suficiente, para dar tratamiento homogéneo a las partes.

Lógicamente, el sistema soporta que cada línea de un pedido, se asocie a una descripción operativa individual. De allí en más, a programación y control, se abordan de forma particular.

7.3.1. Carga de órdenes de trabajo.

La carga de órdenes de trabajo, requiere la asociación de un título genérico para describir la operación. Este título, puede estar precargado, puede precargarse en el mismo contexto del ingreso principal o, simplemente puede indicarse de manera única para la orden que se está creando.

El cliente es un componente indispensable de la orden de trabajo. Por su condición de universalidad, necesariamente debe estar precargado en una tabla secundaria, antes de proceder a su inclusión como referencia a un pedido. El cliente puede crearse de manera independiente o, en el mismo contexto de la carga principal.

A un cliente debe siempre asociarse una clase, por tanto, si esta no existe, habrá que crearla primero. El concepto de clase es un criterio básico de categorización de clientes, asimismo se utiliza para asignar de manera automática una prioridad a todas las líneas de detalle asociadas a un mismo cliente. Posteriormente a esta asignación preliminar, la prioridad puede configurarse de manera arbitrara para cada línea.

A continuación, se presenta en la Figura II-2, el diagrama de flujo para el proceso de carga de órdenes de trabajo. El conector "1", refiere al proceso de creación de ítems, el cual se describe en el próximo apartado.

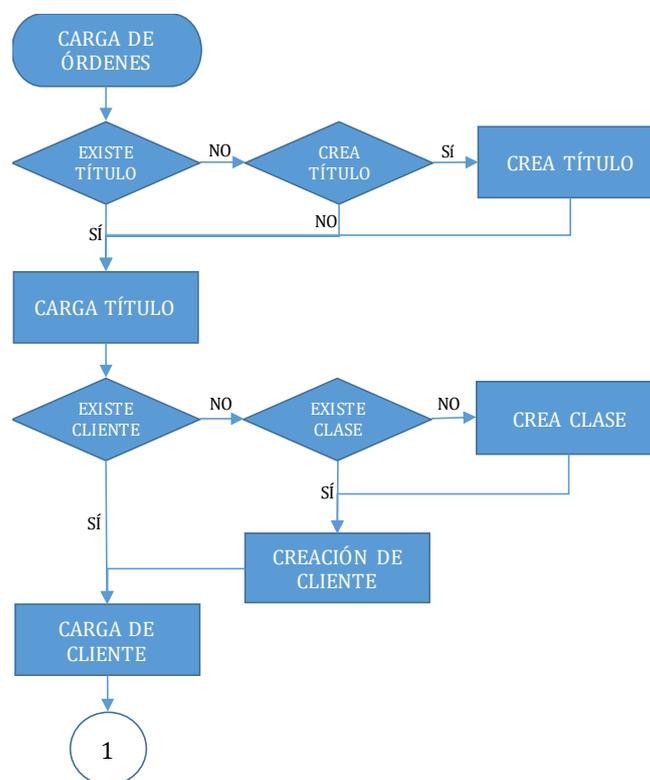


Figura II-2: Carga de órdenes de trabajo
Fuente: elaboración propia

7.3.2. Carga de ítems

Toda solicitud de trabajo debe contener al menos una línea de detalle, la cual por conveniencia se nombrará como ítem. La Figura II-3 contiene el diagrama de flujo para el proceso de carga de ítems.

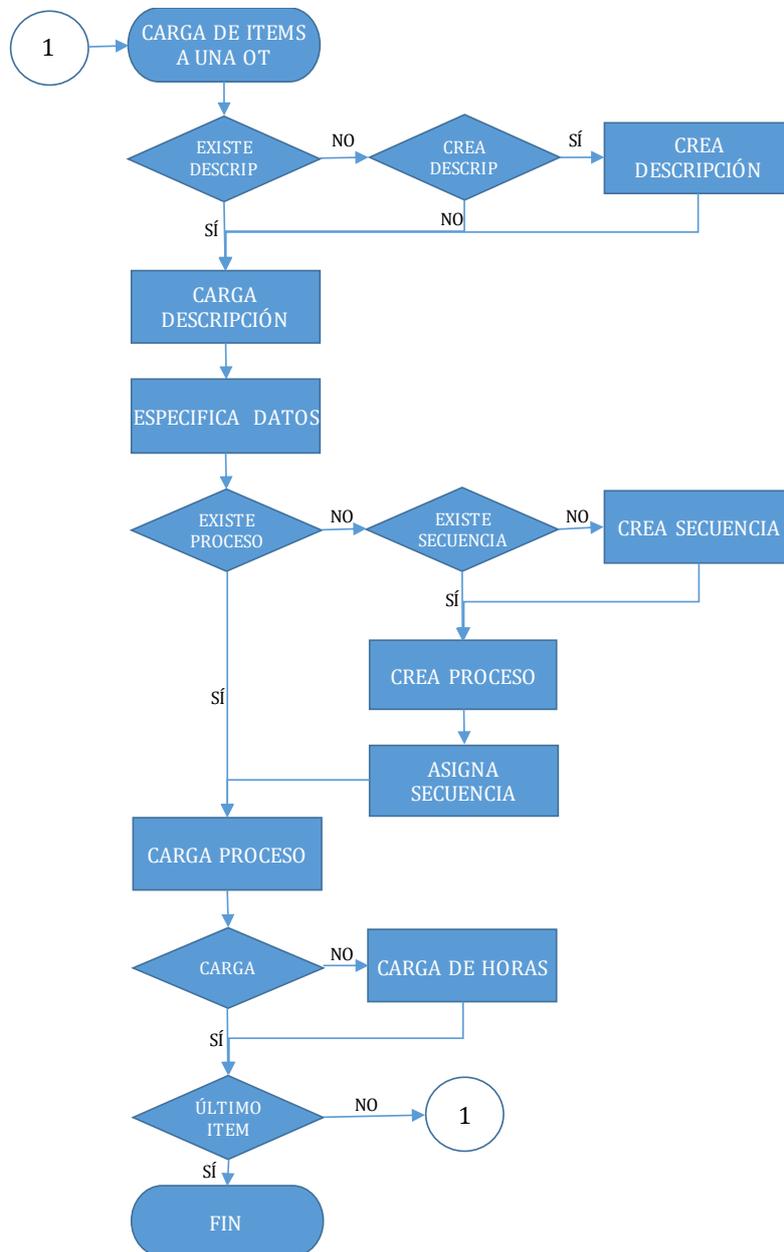


Figura II-3: Carga de ítems
Fuente: elaboración propia

La creación del primer ítem de una orden de trabajo, forma necesariamente parte del proceso de creación de esta. Las siguientes líneas de detalle pueden agregarse, editarse o eliminarse en cualquier momento.



De acuerdo al diagrama, el primer elemento necesario para constituir un registro es la descripción. Esta es al ítem lo que el título es a la orden, por tanto, puede estar predefinida, definirse en contexto o, indicarse de forma individual para el ingreso en curso.

La cantidad, el estado y la prioridad son datos de existencia obligatoria. La cantidad es indicada manualmente por el usuario, el estado se establece por defecto como “pendiente” (puede cambiarse), la prioridad viene predeterminada desde la elección del cliente (puede cambiarse). La fecha de entrega comprometida, referida como plazo, es un dato importante pero opcional debido a que no siempre está disponible.

A fin de llevar adelante la programación, es necesario vincular todo ítem a un circuito operativo. Como se explicó, esta asociación se realiza seleccionando un proceso asociado a una secuencia, donde ambas deben ser elementos preexistentes. De no estar creados podrán definirse en contexto.

El circuito operativo no es más que una lista ordenada de centros, que puede no contener todos los procesadores definidos. En virtud de esta, se realizarán las asignaciones de costes horarios previstos.

La carga de horas puede hacerse en contexto de la definición de ítems o, postergarse a un momento posterior. Mientras un ítem no tenga tiempos de proceso previstos, no será considerado en el proceso de programación.

La asignación de horas se basa en el circuito de procesadores definidos. Partiendo de este, se cargan horas solo a aquellos centros que realmente intervienen en el trabajo en cuestión. Procesadores sin asignación horaria son ignorados en la programación.

De manera estándar se plantea que el ingreso de ítems de una misma orden de trabajo sea un proceso cíclico y continuo, no obstante, puede finalizar de manera completa o parcial, pudiéndose en un momento posterior agregar más líneas.

7.3.3. Cálculo y generación de reportes

Contando con información suficiente de los trabajos a programar, pueden lanzarse los algoritmos de cálculo disponibles. En la Figura II-4 se describe el procedimiento correspondiente.

La primera acción a realizar se corresponde con la fijación temporal del bloque a programar. Debe establecerse fecha y hora hábil, en caso de que se fije un instante de tiempo

que está fuera del calendario laboral, el sistema automáticamente deriva al momento válido siguiente más próximo.

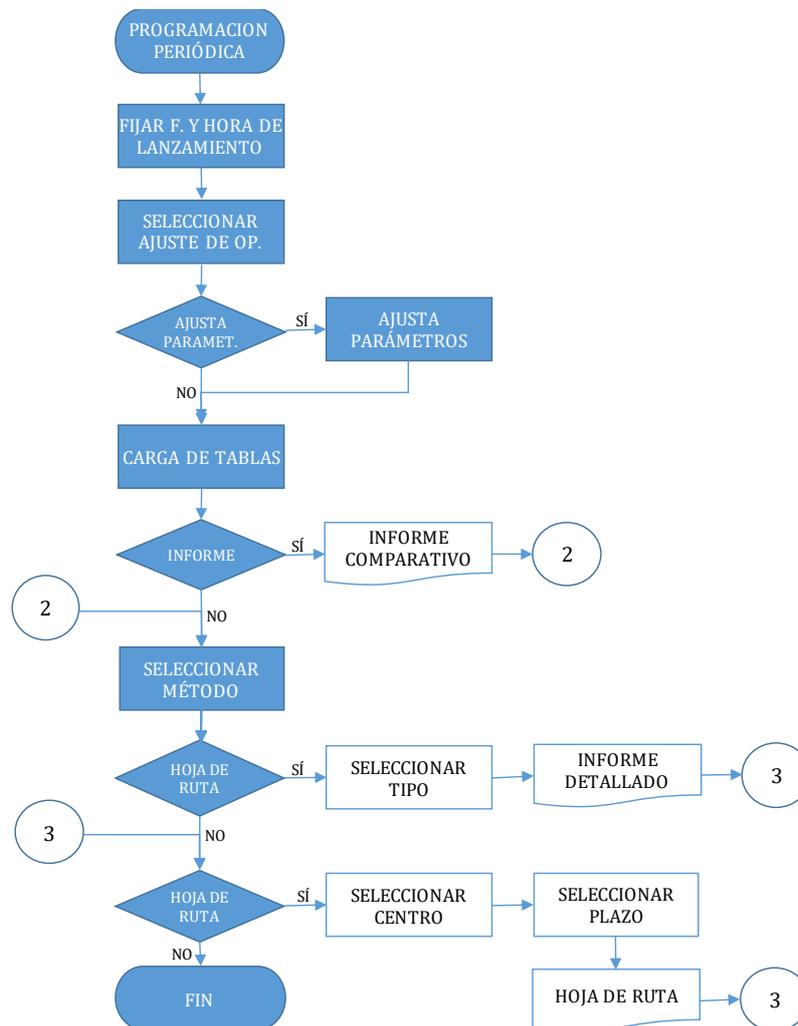


Figura II-4: Cálculo y generación de reportes
Fuente: elaboración propia

Acto seguido debe seleccionarse de qué manera debe el sistema interpretar los datos de avance y tiempo de trabajo transcurrido. Esta decisión modifica el contenido de horas operáticas previstas para operaciones cuya ejecución se encuentra en curso.

La configuración de parámetros es opcional, entendiéndose que ya existe una predefinida. En efecto los parámetros de cálculo pueden modificarse de manera espontánea o en contexto del lanzamiento de la programación.

Las opciones parametrizables incluyen, el tamaño del cubo de tiempo, el inicio de la jornada laboral, la fijación del número de iteraciones del algoritmo de búsqueda aleatoria restringida, la definición del factor de eficiencia global y del factor de eficiencia por centro de trabajo.

Suministrada la información preliminar, pueden cargarse las tablas de datos operativos. Los datos que se encuentran almacenados en la base de datos permanente se reinterpretan según el momento de lanzamiento y el ajuste de operaciones en curso. Cada vez que se modifiquen estos datos de base, deberán cargarse las tablas nuevamente.

Una vez cargados los datos de cálculo puede extraerse el informe comparativo, esta acción ejecuta uno a uno todos los algoritmos disponibles y, condensa los rendimientos individuales respecto a las métricas definidas. La utilidad de esta funcionalidad es detectar cual es el algoritmo más eficiente de acuerdo a un requerimiento particular.

Seleccionado un algoritmo específico, puede en base a este, extraerse informes detallados que muestran indicadores respecto a la utilización de las instalaciones y, la ejecución de los trabajos. Asimismo, es posible graficar el diagrama de Gantt de la planificación obtenida con el empleo del algoritmo utilizado.

Finalmente, dependiendo también de un algoritmo específico, es posible seleccionar un centro operativo y extraer para este una hoja de ruta de trabajos para un plazo indicado. Dicho reporte es un medio para comunicar las tareas a realizar a los operadores y sirve de base para que estos detallen el trascurso real de las operaciones.

Partiendo de una misma tabla de datos base, cada algoritmo se ejecuta una única vez. Los resultados obtenidos en cada caso son almacenados hasta que el algoritmo se detenga o hasta que las tablas de datos se carguen nuevamente.

Todos los reportes se imprimen como pdf y se guardan en un directorio específico, bajo una denominación compuesta por: el nombre del reporte, el número de iteración (número de veces que se ejecutó el algoritmo general) y la fecha y hora de creación.

7.3.4. Carga del parte de horas.

El registro de avance se piensa como un proceso de retroalimentación, que utiliza la misma hoja de ruta de proceso para relevar la información de ejecución real. La actualización se realiza desde un formulario específico diseñado a tal efecto.

Debe indicarse el ítem sobre el cual se cargará una actualización. Hecho esto el sistema traerá el centro al cual corresponde realizar una carga de horas de trabajo, el ítem y un operario en caso de que ya exista un avance para la operación en cuestión. Ítem y operario pueden modificarse, mientras que el centro no. Finalmente se indicará los cubos de tiempo y el avance que se desea consignar.

7.4. ESTRUCTURA DE LA HERRAMIENTA

La aplicación presentada, se construye sobre cinco elementos fundamentales, cada uno de los cuales cumple un rol funcional específico. En este apartado se describen los rasgos más significativos de estos componentes.

- Las tablas y los algoritmos de cálculo, constituyen la base del modelo, sobre la cual se almacena, manipula y procesa la información.
- Los formularios y los reportes son medios necesarios para permitir el ingreso y el egreso de datos desde y hacia el sistema.
- La interfaz es el elemento integrador, que posibilita al usuario el acceso a la información y a las funcionalidades desarrolladas.

7.4.1. Tablas de datos

Las tablas de datos son un elemento básico, para el funcionamiento del modelo de programación. Su naturaleza depende de la utilidad de la información contenida, la accesibilidad a la misma y, el tiempo de existencia del registro.

Toda la información que es ingresada por el usuario es almacenada en diferentes rangos asociados a hojas de cálculo. A estos rangos se los redefine apropiadamente como “tablas”, entendiendo con tal denominación al elemento nativo de Excel, cuya utilidad fundamental es permitir el uso de referencias relativas en el manejo de datos. Estos registros de carácter permanente, se almacenan en el disco rígido del ordenador, prolongándose su existencia más allá de una sesión específica.

En el esquema de la Figura II-5, se muestran las tablas de existencia permanente, clasificadas en cuatro categorías principales. Algunos de los elementos contenidos en estos grupos son editables por el usuario, mientras que otros son de carácter invariable, como es el caso de las prioridades y estados.

- Las tablas de configuración, se utilizan para definir condiciones de contexto, que afectan directamente al proceso de cálculo.
- Las tablas de estructura permiten describir, de manera flexible, los elementos componentes del sistema productivo.
- Las tablas secundarias se utilizan para predeterminar elementos referenciales en otras tablas.
- Las tablas principales contienen la información descriptiva y operativa de cada uno de los trabajos a considerar en la programación.

Dado que el entorno de desarrollo seleccionado no provee las funciones normales asociables a un sistema de administración de base de datos, se han desarrollado los mecanismos necesarios para poder llevar adelante la gestión de la información. De aquí que todas las tablas contienen un campo índice, el cual es utilizado de manera excluyente, para vincular las tablas y para implementar los procesos de escritura y edición mediante formularios.

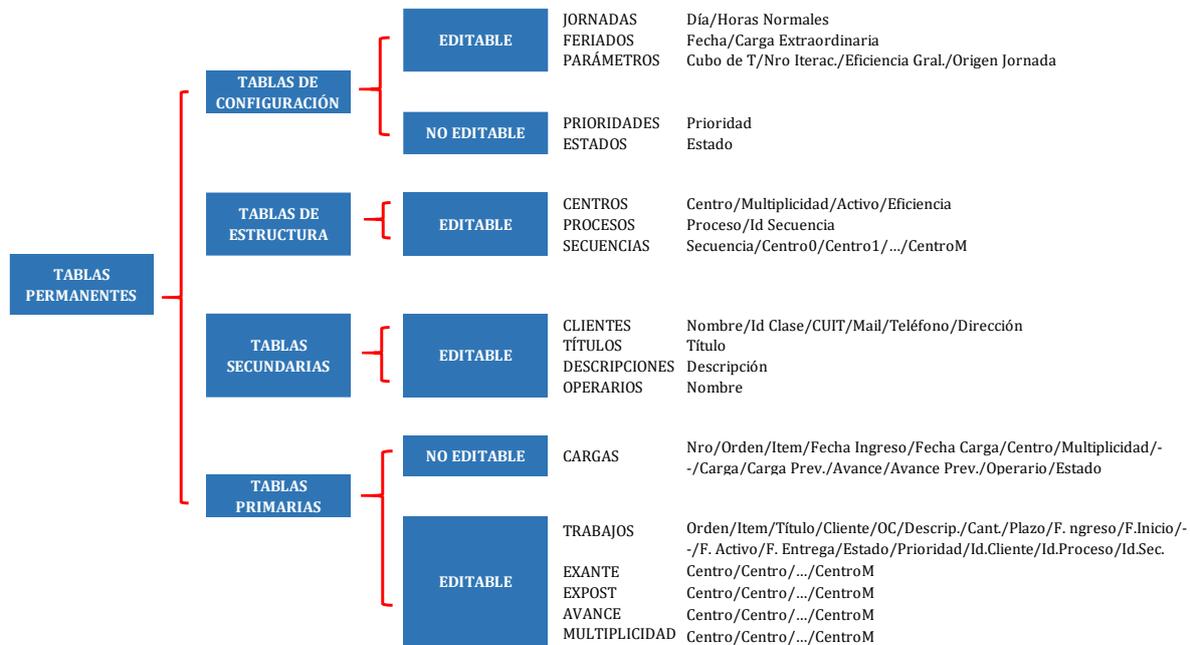


Figura II-5: Tablas permanentes
Fuente: elaboración propia

Si bien es posible diseñar el motor del programa para que opere directamente sobre la estructura de datos contenida en las hojas de cálculo, se ha comprobado que esta estrategia vuelve inestable al algoritmo y ralentiza demasiado los cálculos. Por esta razón se resolvió traspasar los datos originales a una estructura de matrices temporales, definida en el mismo espacio de ejecución.

La estructura de datos temporal está diseñada para uso exclusivo de los algoritmos de cálculo, razón por la cual su naturaleza es mucho más compleja que la de su par permanente.

En la Figura II-6, se muestra el esquema de matrices generadas en tiempo de ejecución. Cada elemento se representa con un nombre, seguido de un conjunto de valores que indica el tamaño del objeto. El significado de las variables consignadas es el mismo que se estableció en el punto **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Las matrices indicadas como estáticas, contienen información operativa básica para el cálculo. Permanecen inalteradas tras la ejecución de los diferentes algoritmos, se cargan solamente al inicio de la ejecución o cuando cambian los parámetros de configuración (se corresponde con la acción de “cargar tablas”, descrito en la Figura II-4).

| | | | |
|-----------|-------------------|---|--|
| ESTÁTICAS | MEMBRETES | MMT (N,3) MMC (M) | Matriz Membrete de Trabajos: Orden / item Descripción / Cliente Matriz Membrete de Centros: Nombre |
| | DATOS | MTP0 (N, M0) MTP (N, M0) MOP (N, M0) MPE (N, 6) VI (M) VE (N) Ef (M0) | Matriz Tiempos de Proceso 0: Cubos de tiempo por operación, según ajuste de trabajo restante. Matriz Tiempos de Proceso: Matriz MTP0 ajustada por avance. Matriz de Operaciones: Indica el centro de proceso por operación. Matriz de Prioridades Estáticas: Contiene información relativa a cada trabajo. Prioridad Indicada/ Cubos a Fecha de Entrega/Avance/Instancia en Op/Cantidad de Op x Trabajo/-/Tpo. Trabajo Tot. Vector de Instancias por Centro: Indica el número de instancias por centro. Vector de Fechas de Entrega: Indica la fecha de entrega comprometida por trabajo (si la hay). Vector de Eficiencia: Indica la eficiencia establecida para cada centro. |
| | FECHAS | VS (7) VX (cte2) VN (cte2) VF (cte3) MCF (cte3,2) | Vector de Jornadas Estándar: Indica horas laborales por día. Vector de Jornadas Excepcionales: Listado de fechas excepcionales. Vector de Horas Excepcionales: Listado de horas asociadas a fechas excepcionales. Vector de Fechas de Conversión: Listado de fechas desde "momento 0" hasta cota superior (cte3). Matriz de Conversión de Fechas: Contiene las horas asociadas a cada día calendario, expresadas en el vector VF. |
| DINÁMICAS | SOLUCIÓN | MFI (N,M0) MAI (N,M0) | Matriz de Fechas de Inicio: Registra las fechas de inicio de cada operación programada. Se describe con la ejecución de cada algoritmo. Matriz de Asignación de Instancias: Registra la instancia en la que se programó cada operación. Se describe en cada algoritmo. |
| | RESULTADO | RMFI (N,M0,9) RMAI (N,M0,9) RFII (N,L,9) RFFI (N,L,9) RTAI (N,L,9) | Matriz Resultado de Rechas de Inicio: Registra una copia de la MFI, por cada algoritmo ejecutado. Matriz Resultado de Asignación de Instancias: Registra una copia de la MAI, por cada algoritmo ejecutado. Matriz Resultado de Inicio por Instancia: Registra la fecha de inicio de la primer operación programada cada instancia, según algoritmo ejecutado. Matriz Resultado de Fin por Instancia: Registra la fecha de fin de la primer operación programada cada instancia, según algoritmo ejecutado. Matriz de Trabajo Acumulado por Instancia: Registra el total del trabajo acumulado por instancia, según algoritmo ejecutado. |
| | GRÁFICA | GMAO (M, L, N) GMFI (M, L, N) GMFF (M, L, N) GMIO (M, L, N) | Matriz Gantt de Asignación de Operaciones: Para un procesador/instancia, se registra el trabajo Matriz Gantt de Momento de Inicio: Para un procesador/instancia, se registra el momento de inicio asociado a una asignación. Matriz Gantt de Momento de Fin: Para un procesador/instancia, se registra el momento de fin Matriz Gantt de Índice de Operaciones: Para un procesador/instancia, se registra un valor índice que sirve para ordenar los trabajos asignados en la escala de tiempo. |
| | CÁLCULO GENERAL | MCC (M, L) MCO (N, 4) VA (N) | Matriz de Control de Centros: Contiene la fecha de disponibilidad más temprana para cada instancia de centro. Matriz de Control de Operaciones: Controla el estado de cada trabajo, respecto a su estado de programación. Vector de Instancias Asignables: Se utiliza para forzar la asignación a una instancia específica. Aplica a labores de mantenimiento. |
| | CÁLCULO CADENA | CCO (N, M0) CIO (N, L) CFI (N, L) CFF (N, L) CMO (N, L) VD (N) | Matriz Control de Operaciones Cadena: contiene una lista las operaciones que están en condiciones de ejecutarse en un centro dado, en un estado específico del algoritmo. Matriz Índice de Operaciones Centro: contiene una lista de las operaciones que están en condiciones de ejecutarse en una instancia dada de un centro dado, en un estado específico del algoritmo. Matriz Fechas de Inicio: contiene las fechas de inicio más tempranas de las operaciones que pueden ejecutarse en una instancia dada de un procesador dado, en un estado específico del algoritmo. Matriz Fechas de Fin: contiene las fechas de fin más tempranas de las operaciones que pueden ejecutarse en una instancia dada de un procesador dado, en un estado específico del algoritmo. Matriz de Métricas por Instancia: contiene el valor de una métrica específica para cada operación, según la instancia donde se la está considerando. Vector de Asignación Dinámica: contiene un valor verdadero o falso que indica si la operación debe ser o no considerada para programar en una determinada instancia. |
| | CÁLCULO ALEATORIO | VC (N) ACO (N, 2) VL (M) VO (5) | Vector de Tareas Candidatas: contiene las tareas candidatas a programar en el algoritmo aleatorio. Matriz Control de Operaciones Aleatorias: contiene la fecha de inicio y la fecha de fin más temprana por operación ejecutable. Vector Instancia con FDMT: contiene el índice de la instancia que cuenta con la fecha de disponibilidad más temprana. Vector Objetivo: contiene el valor de la métrica objetivo, utilizado para contrastar diferentes iteraciones del mismo algoritmo. |

Figura II-6: Tablas temporales
Fuente: elaboración propia

Las matrices membretes son de naturaleza descriptiva, se utilizan para presentar los resultados obtenidos en forma comprensible para el usuario. Las matrices de datos contienen la descripción de los procesadores, la vinculación de las operaciones a determinados centros operativos y la carga horaria asociada. También almacenan información complementaria, tal como prioridades e instancias con procesos en curso. Las matrices de fecha contienen referencias al calendario real, las cuales tras las transformaciones pertinentes, se reinterpretarán como puntos notables de la escala de cubos de tiempos.

Las matrices dinámicas sufren cambios totales o parciales durante el procedimiento de programación. Las matrices de solución, por ejemplo, cambian su contenido con la ejecución de cada algoritmo. Las matrices de resultados en cambio, conservan los resultados hasta que un mismo algoritmo no vuelva a ejecutarse (este hecho solo se da cuando se replantean los datos de entrada).

Las matrices gráficas se utilizan en el contexto de la creación de un diagrama de Gantt asociado a una planificación específica. Los datos se refrescan cada vez que cambia el método de origen del resultado que pretende graficarse.

Las matrices de cálculo, sirven de soporte a los mecanismos de control integrados al proceso de asignación y secuenciación de operaciones. Su existencia permite avanzar de manera iterativa, registrando los cambios en las fechas de disponibilidad de procesadores.

Dependiendo del grado de identificación de los elementos dinámicos para con los algoritmos definidos, se reconoce una utilidad específica.

7.4.2. Estructura algorítmica

La complejidad inherente al proceso de asignación y secuenciación de operaciones, es razón más que suficiente para justificar el diseño de una aplicación que automatice los cálculos. De otra manera, resultaría extremadamente difícil realizar evaluaciones sobre los modelos de evaluación propuestos.

Sin ignorar la premisa original, se abordó el problema de manera ambiciosa, planteando el desarrollo de una herramienta que constituya un soporte para la gestión productiva en un ambiente de trabajo real. En consecuencia, el alcance se extendió a más que la simple aplicación del modelo de asignación y secuenciación.

El enfoque adoptado obligó a implementar medios que asistan al usuario, en los procesos de creación y edición de datos. El mismo criterio aplicó a la parametrización del problema, el cálculo y la generación de reportes.

Las extensiones funcionales mencionadas, requirieron no solo el diseño de formularios, sino que implicaron la programación de rutinas automáticas. Volviendo sobre la premisa original, se juzga que la descripción detallada de estos elementos no aporta sustancialmente a la exposición del método propuesto. Por esta razón, la descripción algorítmica se centrará exclusivamente sobre los procesos de carga, cálculo y reporte.

La herramienta se diseñó bajo el paradigma modular, el problema principal se segmentó en una serie de elementos más pequeños, para los cuales se plantearon rutinas específicas. Finalmente, la ejecución se estructuró en ocho procedimientos principales, uno dedicado a la carga de datos, dos rutinas específicas de programación y cinco módulos orientados a la presentación de los datos. Resulta de esta forma el esquema expuesto en la Figura II-7.

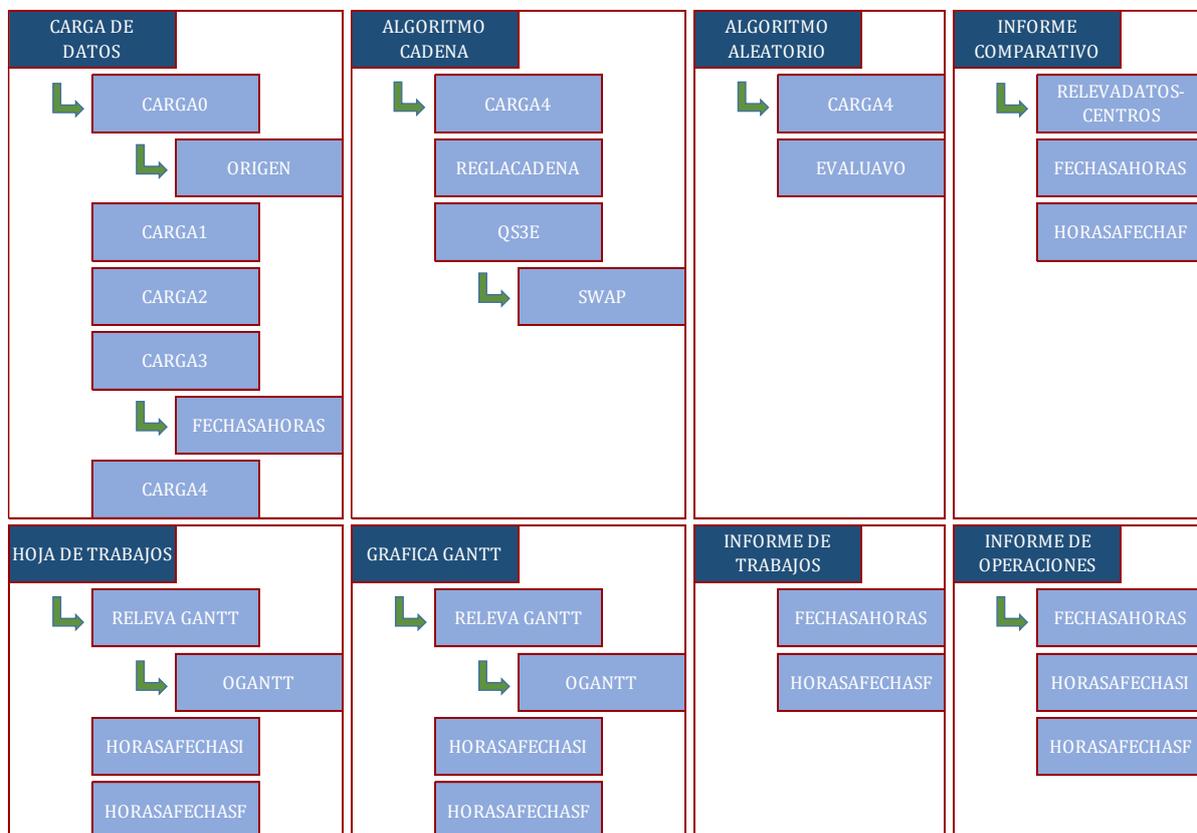


Figura II-7: Estructura modular de la aplicación
Fuente: elaboración propia

7.4.2.1. Carga de datos

El procedimiento de carga de datos, comprende el traspaso de información desde tablas permanentes, a la estructura matricial existente en tiempo de ejecución. Naturalmente, esta transferencia involucra diferentes procesos de transformación. A continuación, se realiza una reseña de los subprocesos componentes.

- **Carga0:** Comprende la carga de datos operativos a las matrices estáticas. Calcula el trabajo restante de operaciones en curso en función del avance y la regla de ajuste seleccionada. Se relevan valores límites, cantidad de trabajos a programar, cantidad de procesadores e instancias asociadas. Se dimensionan las matrices estáticas, las matrices solución y las matrices de resultados.
- **Origen:** Subprograma que verifica y corrige la fecha de lanzamiento fijada por el usuario. Necesariamente esta fecha-hora debe representar un punto del calendario que se corresponde con un día y horario hábil.
- **Carga1:** Carga las fechas reales y feriados en vectores estáticos. Procesa la información para generar tablas posteriormente utilizadas para la conversión entre la escala temporal del modelo y el calendario real.
- **Carga2:** Afecta la carga de trabajo a los factores de eficiencia establecidos por centro y de forma general.
- **Carga3:** Calcula y almacena valores de control estáticos, comunes a todos los algoritmos de secuenciación. Convierte fechas de entrega en puntos en la escala de cubos de tiempo, almacena la cantidad de operaciones por trabajo, la cantidad de operaciones totales y el tiempo total de ejecución previsto para cada ítem.
- **FechasAHoras:** Corresponde a una subrutina que utiliza la tabla de conversión de fechas a horas laborales, para calcular las horas laborales contenidas entre dos fechas/horas indicadas como argumento.
- **Carga4:** Dimensiona las matrices de control dinámicas, comunes a todos los algoritmos de secuenciación. Programa las operaciones asociadas al "Centro 0". Convierte las prioridades indicadas según las reglas expuestas en el apartado 7.2. Este procedimiento sirve para reiniciar las matrices a utilizar tras la ejecución de un algoritmo de secuenciación.

7.4.2.2. Algoritmo cadena

Es el algoritmo basado en la regla de la cadena, extendida al caso de procesadores con multiplicidad mayor a uno. Se articula con las cuatro reglas de despacho definidas para este trabajo: operación de fin más temprano, trabajo con plazo de entrega más temprano, trabajo con menor holgura según fecha de entrega y trabajo con mayor trabajo restante.

- **Carga4:** La misma subrutina ya descrita, utilizada para reiniciar las matrices de control general.
- **ReglaCadena:** Es un subproceso que genera una métrica crítica según la regla de despacho seleccionada por el usuario. La medida se obtiene sobre las condiciones de contexto del algoritmo cadena y se asocia a una tarea candidata.

- QS3E: subrutina de ordenamiento, corresponde a un QuickSort de tres criterios estabilizado. Se utiliza en contexto del algoritmo cadena para ordenar la lista de tareas candidatas de acuerdo a una jerarquía de tres criterios.
- SWAP: algoritmo de intercambio subsidiario a QS3E, se aplica cuando las condiciones de la rutina de ordenamiento lo ameritan.

7.4.2.3. Algoritmo aleatorio

Corresponde a la implementación del algoritmo de búsqueda restringida. Utiliza la función de generación de números pseudoaleatorios, disponibles en el entorno de programación VBA, para seleccionar una operación de la lista de candidatas.

El procedimiento “sortea” en primera instancia, uno de entre todos los procesadores que cuentan con operaciones pendientes de ejecutar. Posteriormente se evalúa la cadena crítica de operaciones. Se incluye parte del código fuente del algoritmo cadena y dos subrutinas secundarias.

- Carga4: La misma subrutina ya descrita, utilizada para reiniciar las matrices de control general.
- EvaluaVo: subproceso utilizado para contrastar los valores objetivos de una programación parcial con los valores objetivos propios a programaciones previas. Sirve para descartar una planificación ineficiente, sin necesidad de llegar a su versión completa.

7.4.2.4. Informe Comparativo

El objetivo de esta rutina es la presentación de un resumen estadístico, basado en los resultados obtenidos por aplicación de todos los algoritmos disponibles. De acuerdo a un vector utilizado como control de ejecución, el procedimiento dispara uno a uno, los algoritmos de programación según se hayan o no ejecutado con anterioridad.

Posteriormente, genera y formatea un resumen informativo, que finalmente plasma en un reporte específico. Al código principal se integran es subrutinas.

- RelevaDatosCentros: Releva las fechas de inicio y de fin para cada instancia-centro existente. Esta información se utiliza luego para el cálculo del factor de eficiencia de la instalación.
- FechasAHoras: Calcula las horas laborales contenidas entre dos fechas/horas indicadas como argumento.

- **HorasAFechaF:** Con base en la fecha establecida como T0, calcula una nueva fecha de acuerdo a la cantidad de horas laborales transcurridas. Se utiliza para indicar el fin previsto de una operación.

7.4.2.5. Hoja de Trabajos

Partiendo del resultado asociado a un algoritmo en particular, gestiona los cálculos y filtros correspondientes, para extraer y presentar la información de ejecución específica de un centro de trabajo. El reporte presentado, se estructura agrupando las fechas de inicio y fin de las operaciones programadas, en cada instancia existente.

- **RelevaGantt:** Partiendo de las tablas de resultados asociadas a un algoritmo de cálculo específico, se almacena por cada instancia centro, ítem ejecutado, fecha prevista de inicio y fecha prevista de fin.
- **OGantt:** Las tablas generadas por aplicación de “RelevaGantt” se indexan con un valor correlativo. La rutina “OGantt” ordena estos índices según fecha de inicio más temprana, obteniendo la secuencia de operaciones ejecutadas en cada instancia.
- **HorasAFechaF:** Con base en la fecha establecida como T0, calcula una nueva fecha de acuerdo a la cantidad de horas laborales transcurridas. Se utiliza para indicar el fin previsto de una operación.
- **HorasAFechaI:** Con base en la fecha establecida como T0, calcula una nueva fecha de acuerdo a la cantidad de horas laborales transcurridas. Se utiliza para indicar el inicio previsto de una operación.

7.4.2.6. Grafica de Gantt

Identifica la secuencia ordenada de operaciones ejecutadas en cada instancia perteneciente a un centro de trabajo. En base a las fechas de inicio y a las fechas de fin correspondientes, grafica bloques de colores sobre una escala de tiempo real. Cada color representa un trabajo específico y cada renglón una instancia.

Las subrutinas aplicadas son exactamente las mismas que las definidas en el punto anterior. En efecto en dicho reporte la información aparece presentada en forma analítica mientras que en el diagrama de Gantt aparece en forma gráfica.

7.4.2.7. Informe de Trabajos

Este procedimiento presenta un detalle estadístico, desagregado por cada ítem de trabajo. La información se obtiene del análisis de una planificación construida desde un

algoritmo de secuenciación específico. Los subprocesos integrados son los ya descritos “FechasAHoras” y “HorasAFechaF”.

7.4.2.8. Informe de Operadores

Similar al informe anterior, pero orientado a la descripción estadística, del rendimiento de cada uno de los operadores. Los elementos componentes ya fueron explicados.

7.5. FORMULARIOS Y REPORTE

La actual implementación de los algoritmos de programación, se abastece desde una colección de organizada de datos. Esta estructura no se corresponde con una base de datos propiamente dicha, debido a la naturaleza del software que soporta la información.

La planilla de cálculo es un elemento diseñado originalmente para el uso de pocos usuarios y posee por tanto, limitaciones sobre volumen de información almacenada y restricciones a la edición simultánea. En contraposición, la posibilidad de acceder a los datos de manera no estructurada, le confiere gran flexibilidad.

La dinámica de uso de la hoja de cálculo, es útil en el contexto teórico de desarrollo, pero no contribuyen a asegurar la consistencia de los datos ingresados. En un esfuerzo por mejorar esta prestación, se programaron diferentes mecanismos de control sobre la información.

Las restricciones establecidas, sobre el acceso y edición de datos desde el propio entorno de trabajo, concretó la necesidad de contar con formularios de ingreso y reportes de resultados. A continuación, se realiza una reseña de cada uno de estos elementos.

7.5.1. Formularios

Un formulario, constituye una representación gráfica de un conjunto de campos pertenecientes a una base de datos. La función principal de esta herramienta es asistir al usuario en el ingreso de información, mediante la instrumentación de mecanismo de control y validación. Se consigue así traspasar datos a los registros receptores, de un modo mucho más fiable que en la edición directa.

En el contexto de la herramienta desarrollada, los formularios se han estructurado en dos categorías, según puede observarse en la Figura II-8. Los formularios de derivación contienen opciones que despliegan formularios de detalle. Desde estos últimos se accede a la gestión de datos, ejecución de cálculos y emisión de reportes.

Cada formulario tiene injerencia sobre su tabla homónima, excepto por el formulario de cálculo, desde el cual se controlan los algoritmos de programación y la emisión de reportes.

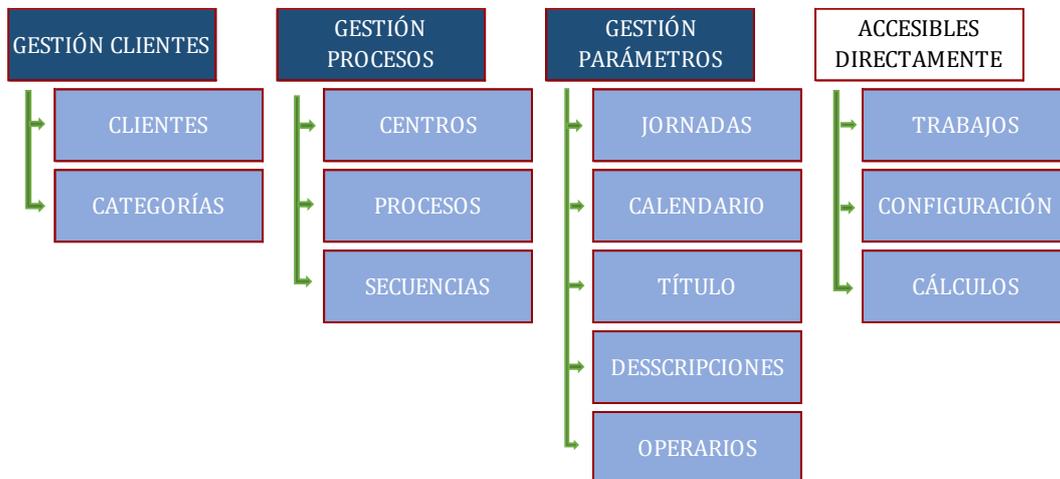


Figura II-8: Estructura de formularios
Fuente: elaboración propia

7.5.2. Reportes

Los reportes, son elementos gráficos que organizan y exhiben la información de forma estética y comprensible para el usuario. Su diseño implica la traducción de los resultados obtenidos, a un formato compatible con el problema real.

Normalmente, un reporte se compone de un encabezado y un cuerpo principal. El encabezado tiene como fin identificar el documento y especificar claramente las condiciones bajo las cuales fue elaborado. Incluye el título, la fecha de emisión, los parámetros de cálculo y demás condiciones de contorno.

| DIRECTORIO | SUBDIRECTORIO | NOMBRE |
|--|---------------------------------------|--|
| Inf.JSSP (Se crea en la misma carpeta donde se almacene el archivo principal "Data.xlsm") | Inf.JSSP/IC (Informe Comparativo) | "IC-N" & Nro Iter. & "." & Nro Repet. & "-" & Día & "." & Mes (Ej.: IC-N408-14.11) |
| | Inf.JSSP/IT (Informe de Trabajos) | "IT-N" & Nro Iter. & "." & Nro Repet. & "-" & Día & "." & Mes (Ej.: IT-N411-15.11) |
| | Inf.JSSP/IO (Informe de Recursos) | "IO-N" & Nro Iter. & "." & Nro Repet. & "-" & Día & "." & Mes (Ej.: IO-N404-14.11) |
| | Inf.JSSP/GANTT (Diagrama de Gantt) | "GT-N" & Nro Iter. & "." & Nro Repet. & "-" & Día & "." & Mes (Ej.: GT-N394-14.11) |
| | Inf.JSSP/HT (Hoja de Trabajo) | Nombre Centro & "-HT-N" & Nro Iter. & "." & Nro Repet. & "-" & Día & "." & Mes (Ej.: Centro1-HT-N134-10.11) |

Tabla II-1: Codificación de reportes
Fuente: elaboración propia

El contenido del cuerpo, depende de la naturaleza específica del informe. Puede tratarse de un registro detallado de las actividades programadas, o la descripción estadística de los métodos de secuenciación aplicados.

Todos los reportes están configurados para que una vez emitidos se impriman y muestren en formato.pdf. Estos archivos también se guardan automáticamente en una estructura de directorios, bajo una codificación preestablecida, ver Tabla II-1.

7.5.3. Informe comparativo

Muestra un resumen estadístico de cada uno de los algoritmos de programación disponible. Contiene una línea de detalle por cada método utilizado, en donde se contrata, el rendimiento individual frente a las métricas de planificación clásicas y las métricas de recursos propuestas.

7.5.4. Informe de operadores

Para un algoritmo previamente seleccionado, muestra un resumen estadístico de asociado al desempeño de cada uno de los procesadores disponibles. Contiene una línea de detalle por cada instancia, donde se contrasta el rendimiento individual, respecto a las métricas de recursos propuestas.

Como detalle, cabe indicar que para la evaluación individual de un recurso, el “Tiempo Laboral Disponible” y el “Tiempo Laboral Programado”, son elementos coincidentes.

7.5.4.1. Informe de trabajos

Para un algoritmo previamente seleccionado, muestra un resumen estadístico de asociado a la ejecución de cada uno de los ítems disponibles. Contiene una línea de detalle por cada trabajo, donde se detalla fecha de inicio, fecha de fin, flujo de trabajo y demora.

7.5.5. Gráfica de Gantt

Para un algoritmo previamente seleccionado, se muestra una gráfica de Gantt específica. Cada línea del diagrama, representa una instancia particular de un operador. Las operaciones pertenecientes a un mismo trabajo, aparecen representadas con bloques de color uniforme.

La escala temporal se ajusta para admitir el período comprendido entre la fecha de inicio más temprana y la fecha de fin más tardía. Las marcas de graduación principales se

establecen por períodos de una hora, se admiten tantas subdivisiones como cubos de tiempo existan sobre este lapso.

7.5.6. Hoja de Trabajos

La hoja de trabajos es un documento de gestión, cuyo fin es proveer a los operadores de la información necesaria para poder abordar las labores que se le han asignado de manera ordenada. Contiene un registro de detalle de las actividades programadas y, un registro vacío cuyo fin es recibir la información de ejecución real.

Para emitir el reporte se requiere seleccionar un algoritmo de secuenciación e indicar un procesador específico. Se obtendrá una lista calendarizada de las operaciones programadas sobre cada instancia específica, la cantidad de horas de trabajo asignadas y el porcentaje de avance esperado. Los campos por completar son análogos.

7.6. INTERFAZ

La interfaz de la herramienta de gestión y control de operaciones, se configura personalizando el espacio de trabajo de Microsoft Excel, de forma tal que la mayoría de las herramientas y comandos nativos sean inaccesibles para el usuario general. De esta forma se reducen las posibilidades de error, permaneciendo visible solo la información y los comandos estrictamente necesarios para el uso previsto.

En la Figura II-9 puede observarse una imagen del entorno de trabajo, tal como fue descrito en el párrafo precedente. La única tabla mostrada constituye el registro principal, desde el cual es posible visualizar la descripción general de los trabajos ingresados.

El acceso dinámico a la información completa, es posible solo a través de formularios específicos. Estos proveen funcionalidades de búsqueda, modificación y edición, necesarias para la gestión integral de los registros.

| Orden | Item | Título | Cliente | OC | Descripti | Cantidad | Plazo | F.Ingres | F.Inicio | F.Activo | F.Entreg | Estado |
|-------|------|---------------|-----------|----|-----------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 0001 | 1 | Orden 1 | Pepoto | | Item 1 | 1 | 23/10/2020 | 10/11/2020 | 14/11/2020 | 15/11/2020 | 15/11/2020 | Entregado |
| 0002 | 1 | Orden 2 | Cliente 2 | | Item 1 | 1 | 19/10/2020 | 10/11/2020 | 14/11/2020 | 18/9/2021 | | Activo |
| 0003 | 1 | Orden 3 | Cliente 3 | | Item 1 | 1 | 19/10/2020 | 10/11/2020 | 15/11/2020 | 15/11/2020 | | Activo |
| 0004 | 1 | Orden 4 | Cliente 4 | | Item 1 | 1 | 19/10/2020 | 10/11/2020 | 15/11/2020 | 15/11/2020 | | Activo |
| 0005 | 1 | Orden 5 | Cliente 5 | | Item 1 | 1 | 19/10/2020 | 10/11/2020 | 15/11/2020 | 15/11/2020 | | Activo |
| 0006 | 1 | Orden 6 | Cliente 6 | | Item 1 | 1 | 19/10/2020 | 10/11/2020 | 15/11/2020 | 15/11/2020 | | Activo |
| 0007 | 1 | Orden 7 | Cliente 7 | | Item 1 | 1 | 19/10/2020 | 10/11/2020 | 14/11/2020 | 15/11/2020 | | Activo |
| 0008 | 1 | Mantenimiento | Cliente 7 | | Item 1 | 1 | 12/10/2021 | 10/11/2020 | 15/11/2020 | 15/11/2020 | 15/11/2020 | Entregado |

Figura II-9: Interfaz
Fuente: elaboración propia

En la parte superior izquierda de la figura, puede observarse la barra de herramientas de acceso rápido. Este elemento contiene siete iconos vinculados a controles programados, cuya funcionalidad se describe a continuación.

 - Botón “Clientes”: Despliega un formulario de derivación, que conduce a otros dos formularios. El primero corresponde a la definición de clientes y el segundo a la definición de categorías.

 - Botón “Procesos”: Despliega un formulario de derivación, que conduce a otros tres formularios. El primero corresponde a la definición de procesadores, el segundo a la definición de procesos y el tercero a la definición de secuencias.

 - Botón “Parámetros”. Despliega un formulario de derivación, que conduce a otros cinco formularios. Cada uno de estos se corresponde respectivamente con la gestión de: jornadas normales, jornadas feriados, títulos de órdenes, descripciones de ítems y nombres de colaboradores.

 - Botón “Órdenes”: Despliega el formulario de carga principal, diseñado para el ingreso y edición de órdenes e ítems de trabajo. Permite la vinculación a un circuito de operativo y la asociación de horas de ejecución previstas.

 - Botón “Parte de horas”: Despliega el formulario de seguimiento, donde es posible asociar una instancia específica de un centro de trabajo a operación en ejecución, vincular un operario a la actividad e indicar horas reales y porcentaje de avance.

 - Botón “Configuración”: Despliega un formulario desde el cual pueden modificarse las variables que parametrizan la ejecución de los algoritmos de cálculo.

 - Botón “Cálculo”. Despliega el formulario que permite realizar configuraciones de cálculo, lanzar los algoritmos de programación y extraer reportes.

7.7. VALORES LÍMITES DEL MODELO

Los valores límites que rigen la ejecución del algoritmo, están dados por el tipo de dato empleado en las variables involucradas, existiendo distintos ámbitos de aplicación.

Para el almacenamiento de los valores discretos contenidos en las matrices, se utilizan variables tipo *integer*, admitiendo por tanto un rango numérico que va desde 0 a 32767.

Para establecer el tamaño de las matrices, se utiliza también variables tipo *integer*.

Para controlar el número de iteraciones ejecutadas en el algoritmo de búsqueda aleatoria, se utilizan variables tipo *long*, con un rango numérico que va de 0 a 2.147.483.647.

Existen también una serie de constantes de control, cuyo objeto es servir de cota de comparación y límite para la construcción de tablas de referencia. Si se ignora a estos límites de referencia, por ejemplo, desfasando las fechas de entrega excesivamente, el algoritmo puede volverse inestable.

- **cte1:** valor de cota superior, límite de evaluación temporal del algoritmo. Se utiliza para contrastar los momentos de inicio o fin asociados a operaciones reales, con un momento ficticio suficientemente grande para estar fuera de la escala de operaciones contemplada. El valor de la constante es configurable únicamente por código y depende de la relación entre el horizonte temporal normalmente evaluado y el cubo de tiempo definido. Inicialmente se ha establecido en 2000.
- **cte2:** valor cota superior para cantidad de jornadas excepcionales. Limita la cantidad de días para los que se puede establecer un período laboral diferente al normal. Esta establecido en 20.
- **cte3:** valor cota superior para cálculo de la tabla de conversión de fechas. La transformación de fechas a cubos de tiempo es calculable de manera directa. Por el contrario, la conversión de cubos a fechas requiere de una tabla de referencia sobre la cual seleccionar un momento calendario correspondido con un momento dado. Por este motivo, el valor de la cte3 es útil para limitar el tamaño de la tabla en cuestión. Se ha fijado en 400, considerando un horizonte temporal normal aproximado de un año.

8. ANEXO III: CASO DE EJEMPLO

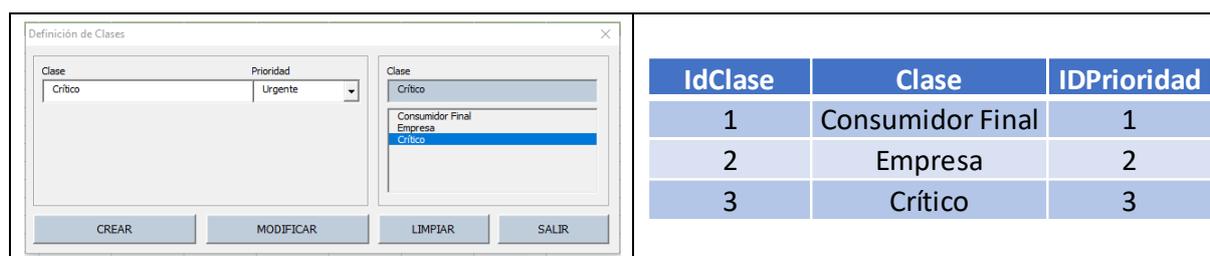
Con el fin de evaluar los métodos de programación desarrollados, se ha hecho uso de la herramienta informática creada, para llevar adelante diferentes ejemplos prácticos. Los datos se escogieron de manera arbitraria, cuidando que su definición se enmarque dentro de la estructura productiva utilizada para modelar el problema de secuenciación.

8.1. DESARROLLO

En este apartado, se expone el tratamiento de un caso específico. Se detalla la secuencia de ejecución, comenzando por la configuración de los elementos del sistema productivo, la parametrización del cálculo y la carga de datos operativos.

8.1.1. Creación de Clases

Paso previo a la creación de clientes, se crean las clases o categorías, elemento al cual se asociarán prioridades. Detalle en Figura III-1.



The image shows a screenshot of a software window titled 'Definición de Clases'. The window contains two input fields for 'Clase' (one with 'Crítico' and another with a list including 'Crítico', 'Consumidor Final', 'Empresa', and 'Crítico') and a 'Prioridad' dropdown menu set to 'Urgente'. Below these are buttons for 'CREAR', 'MODIFICAR', 'LIMPIAR', and 'SALIR'. To the right of the screenshot is a table with three columns: 'IdClase', 'Clase', and 'IDPrioridad'. The table contains three rows of data.

| IdClase | Clase | IDPrioridad |
|---------|------------------|-------------|
| 1 | Consumidor Final | 1 |
| 2 | Empresa | 2 |
| 3 | Crítico | 3 |

Figura III-1: Creación de clases
Fuente: elaboración propia

8.1.2. Creación de Clientes

Existe una única nómina de clientes, Figura III-2, allí se consignan los datos de contacto y se vincula el registro a una categoría específica.

| IdCliente | Cliente | IdClase | Cuit | Mail | Telefono | Direccion |
|-----------|---------------|---------|-------------|------|------------|-----------|
| 1 | Nuevo Cliente | 0 | | | | |
| 2 | Cliente 1 | 1 | 25200000003 | | 2236012323 | A 1A |
| 3 | Cliente 2 | 2 | 20253230546 | | 2236322354 | A 1B |
| 4 | Cliente 3 | 2 | 30279456253 | | 2235116233 | A 1C |
| 5 | Cliente 4 | 1 | 20453252262 | | 2235896568 | A 1D |
| 6 | Cliente 5 | 3 | 30552563231 | | 2235712758 | A 1E |
| 7 | Cliente 6 | 1 | 23271586432 | | 2236582536 | A 1F |
| 8 | Cliente 7 | 3 | 30252589761 | | 2236231576 | A 1G |
| 9 | Cliente 8 | 2 | 30321566542 | | 223632115 | A 1H |

Figura III-2: Creación de clientes
Fuente: elaboración propia

8.1.3. Creación de Centros

Los centros de trabajo constituyen el elemento principal de la estructura productiva. A cada centro corresponde una multiplicidad y un estado, activo/inactivo. Este estado permite excluir rápidamente a un centro de la programación, ver Figura III-3

| IdCentro | Centro | Multip | Activo | Eficiencia |
|----------|-----------------|--------|-----------|------------|
| 1 | Demora | 0 | VERDADERO | 0 |
| 2 | Oxicorte | 1 | VERDADERO | 1 |
| 3 | Corte y Plegado | 1 | VERDADERO | 1 |
| 4 | Rolado | 1 | VERDADERO | 1 |
| 5 | Tomo // | 3 | VERDADERO | 1 |
| 6 | Torno CNC | 1 | VERDADERO | 1 |
| 7 | Fresa | 2 | VERDADERO | 1 |
| 8 | Inoxidable | 4 | VERDADERO | 1 |
| 9 | Pulido | 1 | VERDADERO | 1 |
| 10 | Acero | 2 | VERDADERO | 1 |
| 11 | Pintura | 2 | VERDADERO | 1 |
| 12 | R.Mecanico | 1 | VERDADERO | 1 |
| 13 | E.Mecanico | 1 | VERDADERO | 1 |
| 14 | Varios | 2 | VERDADERO | 1 |

Figura III-3: Creación de centros
Fuente: elaboración propia

8.1.4. Creación de Secuencias

Existiendo centros de trabajo, procede construir los circuitos o secuencias de trabajo, las cuales representan el transcurso de ejecución de las operaciones a través de los mismos. El formulario y tabla correspondiente se exhibe en la Figura III-4

The screenshot shows a software window titled 'Secuenciación'. It contains two 'Secuencia' input fields, both with 'T. Inoxidable' entered. The right-hand 'Secuencia' field has a dropdown menu open, listing options: 'Completa', 'T. Inoxidable' (highlighted), 'T. Acero', 'Mecanizado', 'Rep.Mecanica', 'T.Obra', and 'Conformado'. Below these are two columns of center names: 'CENTROS DISPONIBLES' (Oxicorte, Acero, Pintura, R.Mecanico, E.Mecanico) and 'CENTROS SECUENCIADOS' (Demora, Rolado, Corte y Plegado, Torno CNC, Torno //, Fresa, Inoxidable, Pulido, Varios). There are 'Agregar >>' and '<< Quitar' buttons between the columns. At the bottom are 'CREAR', 'MODIFICAR', 'LIMPIAR', and 'SALIR' buttons.

| Op.0 | Op.1 | Op.2 | Op.3 | Op.4 | Op.5 | Op.6 | Op.7 | Op.8 | Op.9 | Op.10 | Op.11 | Op.12 | Op.13 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | 4 | 3 | 6 | 5 | 7 | 8 | 9 | 14 | | | | | |
| 1 | 2 | 4 | 3 | 6 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 14 | | |
| 1 | 2 | 4 | 3 | 8 | 10 | 6 | 5 | 7 | 11 | 14 | | | |
| 1 | 12 | 2 | 4 | 3 | 8 | 10 | 6 | 5 | 7 | 13 | 14 | 11 | |
| 1 | 12 | 2 | 4 | 3 | 6 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 14 | |
| 1 | 2 | 4 | 3 | | | | | | | | | | |

Figura III-4: Creación de secuencias
Fuente: elaboración propia

8.1.5. Creación de Procesos

Pueden existir varios procesos asociados a una misma secuencia, para no repetir tal configuración, se define el concepto de procesos Figura III-5. El proceso tiene una denominación a fin a la clase de trabajo que se está ingresando y permite de esta forma, seleccionar el circuito de operaciones de manera certera.

The screenshot shows a software window titled 'Datos de Cliente'. It contains two 'Proceso' and 'Secuencia' input fields, both with 'Conformados' and 'Conformado' entered. The right-hand 'Proceso' field has a dropdown menu open, listing options: 'Mantenimiento', 'Trab.Inoxidables', 'Trab.Acero', 'Mecanizados', 'Rep.Mecanicas', 'Trab.en Obra', 'Conformados' (highlighted), 'Completa', 'T. Inoxidable', 'T. Acero', 'Mecanizado', 'Rep.Mecanica', and 'T.Obra'. Below are 'CREAR', 'MODIFICAR', 'LIMPIAR', and 'SALIR' buttons.

| IdProceso | Proceso | IdSec |
|-----------|------------------|-------|
| 1 | Mantenimiento | 1 |
| 2 | Trab.Inoxidables | 2 |
| 3 | Trab.Acero | 3 |
| 4 | Mecanizados | 4 |
| 5 | Rep. Mecanicas | 5 |
| 6 | Trab.en Obra | 6 |
| 7 | Conformados | 7 |

Figura III-5: Creación de procesos
Fuente: elaboración propia

8.1.6. Configuración de Jornada Laboral

Para poder traducir los datos de entrada a una forma interpretable por el modelo de cálculo y poder reinterpretar los resultados obtenidos, es necesario indicar la carga laboral. Con esta base se calculan las horas hábiles correspondientes a un período. Ver Figura III-6.



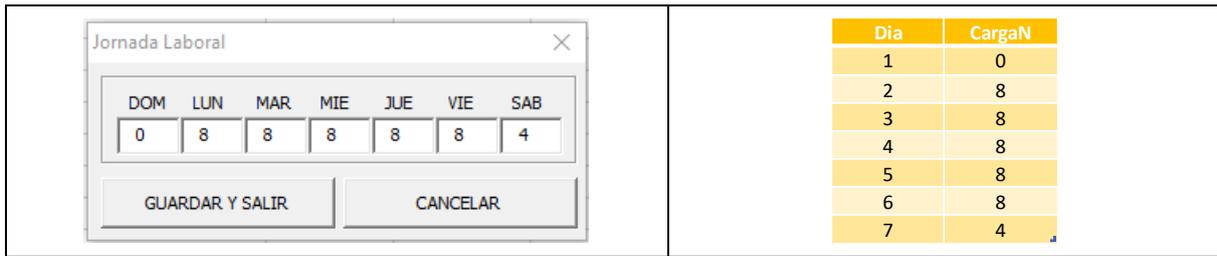


Figura III-6: Especificación de la jornada laboral
Fuente: elaboración propia

8.1.7. Especificación de Feriados

Es posible indicar una lista de feriados o más precisamente, una lista de días para los cuales aplica una configuración de horas laborales específica. Ver Figura III-7.

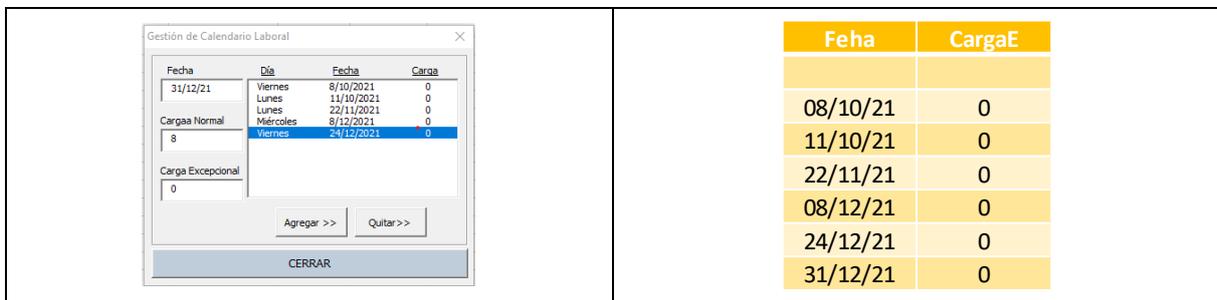


Figura III-7: Especificación de jornadas especiales
Fuente: elaboración propia

8.1.8. Creación de Trabajos

Creadas las estructuras secundarias, se ingresa la información directamente relacionada con las actividades a programar. Formulario y tabla se muestran en Figura III-8.

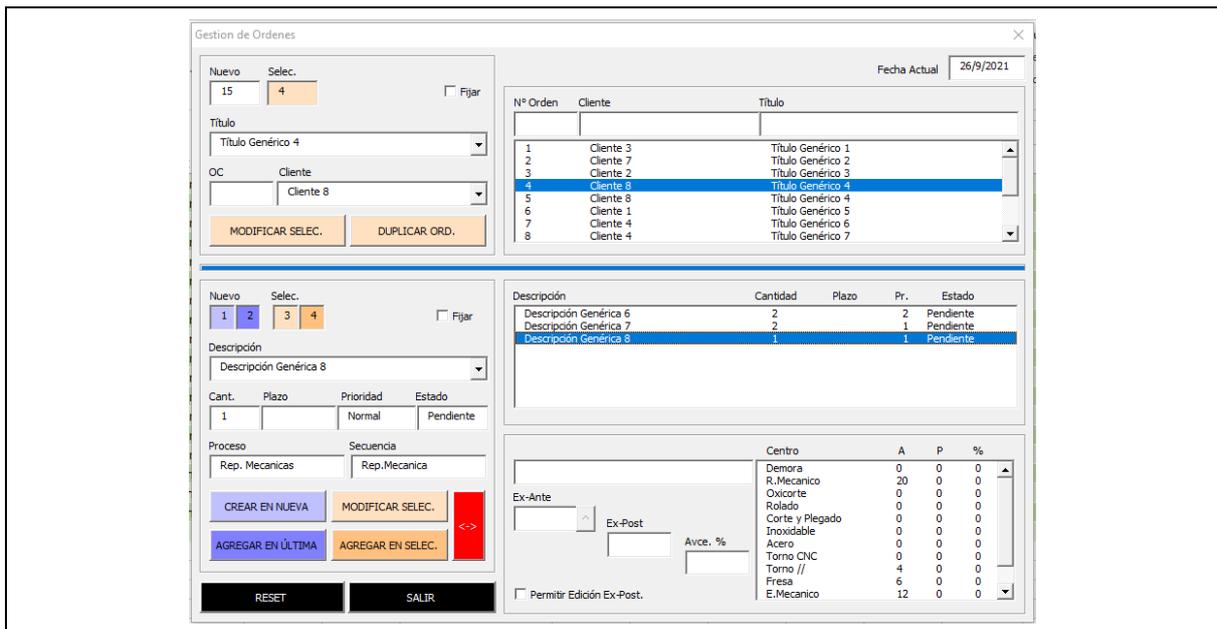


Figura III-8: Ingreso de trabajos
Fuente: elaboración propia



De igual manera que se crea un trabajo, es posible indicar operaciones de mantenimiento. Ver detalle de ingreso en Figura III-9.

The screenshot shows the 'Gestion de Ordenes' window. It has a top section with 'Nuevo' (15) and 'Selec.' buttons, and a 'Fecha Actual' of 26/9/2021. Below this is a table with columns 'Nº Orden', 'Cliente', and 'Titulo'. The table contains 8 rows of generic titles and clients. The bottom section has a 'Descripción' field, a table with columns 'Cant.', 'Plazo', 'Prioridad', and 'Estado', and a 'Proceso' dropdown set to 'Mantenimiento'. On the right, there is a table for 'Centro' with columns 'A', 'P', and '%', listing various manufacturing processes like 'Demora', 'Oxicorte', etc. At the bottom, there are buttons for 'CREAR EN NUEVA', 'AGREGAR EN ÚLTIMA', 'MODIFICAR SELEC.', 'AGREGAR EN SELEC.', 'RESET', and 'SALIR'.

Figura III-9: Ingreso de un mantenimiento
Fuente: elaboración propia

8.1.9. Carga de Operarios

La carga de operarios se realiza solo a fines de registrar las operaciones ya ejecutadas. Como tal permitirá obtener índices de rendimiento y tener trazabilidad, ver Figura III-10.

The screenshot shows the 'Personal' window. It has a 'Operario' field with 'Operario 7' entered. Below it is a list of operators from 'NN' to 'Operario 6'. At the bottom are buttons for 'CREAR', 'MODIFICAR', and 'SALIR'. To the right of the screenshot is a table with two columns: 'IdOp' and 'Operario'.

| IdOp | Operario |
|------|------------|
| 1 | NN |
| 2 | Operario 1 |
| 3 | Operario 2 |
| 4 | Operario 3 |
| 5 | Operario 4 |
| 6 | Operario 5 |
| 7 | Operario 6 |

Figura III-10: Ingreso de personal
Fuente: elaboración propia

8.1.10. Carga de Horas Reales

Para la carga de datos de ejecución, debe seleccionarse el trabajo a actualizar. El sistema autocompleta el centro de trabajo que corresponda, deberá indicarse la instancia específica, un porcentaje de avance, las horas reales y el colaborador afectado. El formulario y la tabla correspondiente se muestran en la Figura III-11.

PROPUESTA DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN TIPO TALLER

Parte de Producción

Fecha: 26/9/2021

Nº Orden: 4, It.: 2, Estado: Activo

ACTUALIZAR ESTADO

Centro: Fresa, Nro.: 1, Operario: Operario 1

Ex-Ante: 6, Ex-Post: 0, Avce. %: 0

CARGAR TRABAJO

Título: Título Genérico 4, Cliente: Cliente 8

| Nº Orden | It. | Descripción | Cant. | Estado (Filtro) |
|----------|-----|------------------------|-------|-----------------|
| 4 | 1 | Descripción Genérica 6 | 2 | Activo |
| 4 | 2 | Descripción Genérica 7 | 2 | Activo |
| 4 | 3 | Descripción Genérica 8 | 1 | Pendiente |

HISTORIAL, RESET, SALIR

| Nro | Orden | Item | F.Ingreso | F.Carga | Centro | Multiplicidad | Carga | CargAbsPrev | Avance | AvaPrev | Operario | Estado |
|-----|-------|------|-----------|-----------|-----------------|---------------|-------|-------------|--------|---------|------------|-----------|
| 1 | 4 | 1 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | Torno // | 2 | 10 | 0 | 25 | 0 | Operario 1 | Pendiente |
| 2 | 5 | 1 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | R.Mecanico | 1 | 10 | 0 | 30 | 0 | Operario 4 | Pendiente |
| 3 | 4 | 2 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | Torno // | 1 | 4 | 0 | 100 | 0 | NN | Pendiente |
| 5 | 9 | 2 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | Torno CNC | 1 | 16 | 0 | 25 | 0 | NN | Pendiente |
| 5 | 10 | 5 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | Corte y Plegado | 1 | 3 | 0 | 100 | 0 | Operario 1 | Pendiente |

Figura III-11: Registro de avance
Fuente: elaboración propia

8.1.11. Tabla Principal

Finalmente, se muestra la tabla principal luego de realizar la introducción de los datos del ejemplo desarrollado. Esta tabla es visible desde la interfaz principal, ver Figura III-12.

| Orden | Item | Título | Cliente | OC | Descripción | Cantidad | Plazo | F.Ingreso | F.Inicio | F.Activo | F.Entrega | Estado | Prioridad | IdCliente | IdProceso | IdSecuencia |
|-------|------|--------------------|-----------|------|-------------------------|----------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1 | 1 | Título Genérico 1 | Cliente 3 | 221 | Descripción Genérica 1 | 60 | 30/09/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 2 | 4 | 4 | 4 |
| 2 | 1 | Título Genérico 2 | Cliente 7 | 325 | Descripción Genérica 21 | 1 | 10/10/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 3 | 8 | 4 | 4 |
| 2 | 2 | Título Genérico 2 | Cliente 7 | 325 | Descripción Genérica 3 | 1 | 05/10/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 1 | 8 | 4 | 4 |
| 3 | 1 | Título Genérico 3 | Cliente 2 | 3352 | Descripción Genérica 4 | 5 | 28/9/2021 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 2 | 3 | 2 | 2 |
| 3 | 2 | Título Genérico 3 | Cliente 2 | 3352 | Descripción Genérica 5 | 1 | 03/10/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | Título Genérico 4 | Cliente 8 | | Descripción Genérica 6 | 2 | 26/09/2021 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | | Activo | 2 | 9 | 4 | 4 |
| 4 | 2 | Título Genérico 4 | Cliente 8 | | Descripción Genérica 7 | 2 | 26/09/2021 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | | Activo | 1 | 9 | 4 | 4 |
| 4 | 3 | Título Genérico 4 | Cliente 8 | | Descripción Genérica 8 | 1 | 26/09/2021 | | | | | Pendiente | 1 | 9 | 5 | 5 |
| 5 | 1 | Título Genérico 4 | Cliente 8 | | Descripción Genérica 8 | 1 | 29/9/2021 | 26/09/2021 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | | Activo | 3 | 9 | 5 | 5 |
| 6 | 1 | Título Genérico 5 | Cliente 1 | 5664 | Descripción Genérica 9 | 1 | 15/11/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 7 | 1 | Título Genérico 6 | Cliente 4 | | Descripción Genérica 10 | 1 | 26/09/2021 | | | | | Pendiente | 1 | 5 | 4 | 4 |
| 8 | 1 | Título Genérico 7 | Cliente 4 | 235 | Descripción Genérica 11 | 1 | 26/09/2021 | | | | | Pendiente | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 9 | 1 | Título Genérico 8 | Cliente 1 | 2354 | Descripción Genérica 12 | 50 | 26/09/2021 | | | | | Pendiente | 1 | 2 | 4 | 4 |
| 9 | 2 | Título Genérico 8 | Cliente 1 | 2354 | Descripción Genérica 13 | 100 | 26/09/2021 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | | | Activo | 1 | 2 | 4 | 4 |
| 10 | 1 | Título Genérico 9 | Cliente 1 | 325 | Descripción Genérica 21 | 2 | 13/11/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 10 | 2 | Título Genérico 9 | Cliente 1 | 325 | Descripción Genérica 15 | 1 | 25/11/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 10 | 3 | Título Genérico 9 | Cliente 1 | 325 | Descripción Genérica 15 | 1 | 25/11/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 10 | 4 | Título Genérico 9 | Cliente 1 | 325 | Descripción Genérica 15 | 1 | 25/11/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 10 | 5 | Título Genérico 9 | Cliente 1 | 325 | Descripción Genérica 15 | 1 | 25/11/21 | 26/09/2021 | 26/9/2021 | 26/9/2021 | | Activo | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 11 | 1 | Título Genérico 9 | Cliente 1 | 325 | Descripción Genérica 15 | 1 | 25/11/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 12 | 1 | Título Genérico 10 | Cliente 1 | 5664 | Descripción Genérica 16 | 1 | 15/11/21 | 26/09/2021 | | | | Pendiente | 1 | 2 | 5 | 5 |
| 13 | 1 | Título Genérico | Cliente 2 | | Descripción Genérica | 1 | 26/9/2021 | | | | | Pendiente | 4 | 3 | 1 | 1 |
| 14 | 1 | Título Genérico 11 | Cliente 3 | 754 | Descripción Genérica 17 | 3 | 30/09/21 | 26/9/2021 | | | | Pendiente | 2 | 4 | 2 | 2 |
| 14 | 2 | Título Genérico 11 | Cliente 3 | 754 | Descripción Genérica 18 | 2 | 02/10/21 | 26/9/2021 | | | | Pendiente | 1 | 4 | 2 | 2 |
| 15 | 1 | Título Genérico 12 | Cliente 7 | 112 | Descripción Genérica 19 | 1 | 05/10/21 | 26/9/2021 | | | | Pendiente | 3 | 8 | 6 | 6 |
| 16 | 1 | Título Genérico 13 | Cliente 1 | | Descripción Genérica 20 | 5 | 26/9/2021 | | | | | Pendiente | 1 | 2 | 4 | 4 |
| 16 | 2 | Título Genérico 13 | Cliente 1 | | Descripción Genérica 21 | 1 | 26/9/2021 | | | | | Pendiente | 1 | 2 | 4 | 4 |

Figura III-12: Tabla principal de datos
Fuente: elaboración propia

8.1.12. Informe de Cálculo

En base a la información introducida, puede procederse al cálculo de la programación. Es necesario ajustar parámetros de cálculo y es posible ajustar parámetros de eficiencia. Se muestran los formularios correspondientes y un detalle del rendimiento de cálculo en la Figura III-13.



PROPUESTA DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN TIPO TALLER

Cálculo Secuenciación e Informes

27/09/2021 19:41:28

F. de Lanzamiento: 28/09/2021 | H. de Lanzamiento: 8:00:00 | Ajuste de Tareas en Curso: H. Reales

CARGAR TABLAS | AJUSTAR PARÁMETROS

INFORME COMPARATIVO

INFORME DETALLADO

HC: Ítem con Menor Plazo de Entrega

TRABAJO | CENTROS | GANTT

CRONOGRAMA

Torno // | Dias Inc.: 10

HOJA DE RUTA

SALIR

Configuraciones de Cálculo

Parámetros de Cálculo

4 | Cubo de Tiempo / Hora | Oxicorte | Centro Operativo

100000 | N° Max. Iteraciones B.A. | 1 | Eficiencia de Centro

8:00:00 | Origen de Jornada | 1 | Factor de Eficiencia Gral.

GUARDAR Y SALIR | SALIR SIN GUARDAR

Datos de Cálculo: Informe Comparativo
 Nro de iteraciones: 100.000
 Tiempo de Proceso: 6'50"
 Memoria RAM: 4,00 GB
 Procesador: Intel(R) Pentium(R) CPU N3700 @ 1.60GHz 1.60 GHz
 Sistema: Windows 10 home - 64-bit

Figura III-13: Parámetros de cálculo
Fuente: elaboración propia

8.1.13. Matrices de Datos

A continuación, se exhiben las matrices de datos tal como son relevadas por la rutina de carga, desde las tablas estáticas, ver Figura III-14.

| MOP: Contiene el identificador de centro de trabajo, por operación. | MTP0: Contiene el tiempo de proceso, por operación. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|--------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|---|----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|---|----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|-----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|---|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th><th>OP1</th><th>OP2</th><th>OP3</th><th>OP4</th><th>OP5</th><th>OP6</th><th>OP7</th><th>OP8</th><th>OP9</th><th>OP10</th><th>OP11</th><th>OP12</th><th>OP13</th><th>OP14</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0001/1</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0002/1</td><td>1</td><td>4</td><td>6</td><td>13</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0002/2</td><td>4</td><td>6</td><td>13</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0003/1</td><td>2</td><td>6</td><td>3</td><td>7</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0003/2</td><td>2</td><td>7</td><td>8</td><td>13</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0004/1</td><td>4</td><td>6</td><td>13</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0004/2</td><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0004/3</td><td>11</td><td>4</td><td>6</td><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0005/1</td><td>11</td><td>4</td><td>6</td><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0006/1</td><td>11</td><td>1</td><td>9</td><td>4</td><td>6</td><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0007/1</td><td>1</td><td>2</td><td>9</td><td>4</td><td>6</td><td>13</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0008/1</td><td>2</td><td>9</td><td>10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0009/1</td><td>5</td><td>6</td><td>13</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0009/2</td><td>5</td><td>13</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0010/1</td><td>2</td><td>7</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0010/2</td><td>2</td><td>7</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0010/3</td><td>2</td><td>7</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0010/4</td><td>2</td><td>7</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0010/5</td><td>7</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0011/1</td><td>2</td><td>6</td><td>3</td><td>7</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0012/1</td><td>11</td><td>1</td><td>9</td><td>4</td><td>6</td><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0013/1</td><td>0</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0014/1</td><td>2</td><td>7</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0014/2</td><td>2</td><td>4</td><td>7</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0015/1</td><td>11</td><td>2</td><td>7</td><td>8</td><td>13</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0016/1</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0016/2</td><td>5</td><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> | | OP1 | OP2 | OP3 | OP4 | OP5 | OP6 | OP7 | OP8 | OP9 | OP10 | OP11 | OP12 | OP13 | OP14 | 0001/1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0002/1 | 1 | 4 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0002/2 | 4 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0003/1 | 2 | 6 | 3 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0003/2 | 2 | 7 | 8 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0004/1 | 4 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0004/2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0004/3 | 11 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0005/1 | 11 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0006/1 | 11 | 1 | 9 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0007/1 | 1 | 2 | 9 | 4 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0008/1 | 2 | 9 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0009/1 | 5 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0009/2 | 5 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0010/1 | 2 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0010/2 | 2 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0010/3 | 2 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0010/4 | 2 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0010/5 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0011/1 | 2 | 6 | 3 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0012/1 | 11 | 1 | 9 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0013/1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0014/1 | 2 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0014/2 | 2 | 4 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0015/1 | 11 | 2 | 7 | 8 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0016/1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0016/2 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th><th>OP1</th><th>OP2</th><th>OP3</th><th>OP4</th><th>OP5</th><th>OP6</th><th>OP7</th><th>OP8</th><th>OP9</th><th>OP10</th><th>OP11</th><th>OP12</th><th>OP13</th><th>OP14</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0001/1</td><td>60</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0002/1</td><td>2</td><td>16</td><td>24</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0002/2</td><td>24</td><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0003/1</td><td>5</td><td>15</td><td>10</td><td>30</td><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0003/2</td><td>2</td><td>24</td><td>16</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0004/1</td><td>40</td><td>48</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0004/2</td><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0004/3</td><td>20</td><td>4</td><td>6</td><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0005/1</td><td>33</td><td>4</td><td>6</td><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0006/1</td><td>64</td><td>4</td><td>8</td><td>48</td><td>4</td><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0007/1</td><td>4</td><td>6</td><td>16</td><td>32</td><td>16</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0008/1</td><td>2</td><td>16</td><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0009/1</td><td>24</td><td>50</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0009/2</td><td>64</td><td>12</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0010/1</td><td>2</td><td>8</td><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0010/2</td><td>3</td><td>5</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0010/3</td><td>3</td><td>5</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0010/4</td><td>3</td><td>5</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0010/5</td><td>5</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0011/1</td><td>3</td><td>5</td><td>3</td><td>10</td><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0012/1</td><td>64</td><td>4</td><td>8</td><td>48</td><td>4</td><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0013/1</td><td>200</td><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0014/1</td><td>12</td><td>48</td><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0014/2</td><td>16</td><td>8</td><td>32</td><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0015/1</td><td>32</td><td>12</td><td>16</td><td>12</td><td>32</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0016/1</td><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0016/2</td><td>2</td><td>16</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> | | OP1 | OP2 | OP3 | OP4 | OP5 | OP6 | OP7 | OP8 | OP9 | OP10 | OP11 | OP12 | OP13 | OP14 | 0001/1 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0002/1 | 2 | 16 | 24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0002/2 | 24 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0003/1 | 5 | 15 | 10 | 30 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0003/2 | 2 | 24 | 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0004/1 | 40 | 48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0004/2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0004/3 | 20 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0005/1 | 33 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0006/1 | 64 | 4 | 8 | 48 | 4 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0007/1 | 4 | 6 | 16 | 32 | 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0008/1 | 2 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0009/1 | 24 | 50 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0009/2 | 64 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0010/1 | 2 | 8 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0010/2 | 3 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0010/3 | 3 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0010/4 | 3 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0010/5 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0011/1 | 3 | 5 | 3 | 10 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0012/1 | 64 | 4 | 8 | 48 | 4 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0013/1 | 200 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0014/1 | 12 | 48 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0014/2 | 16 | 8 | 32 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0015/1 | 32 | 12 | 16 | 12 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0016/1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0016/2 | 2 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | OP1 | OP2 | OP3 | OP4 | OP5 | OP6 | OP7 | OP8 | OP9 | OP10 | OP11 | OP12 | OP13 | OP14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0001/1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0002/1 | 1 | 4 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0002/2 | 4 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0003/1 | 2 | 6 | 3 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0003/2 | 2 | 7 | 8 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0004/1 | 4 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0004/2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0004/3 | 11 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0005/1 | 11 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0006/1 | 11 | 1 | 9 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0007/1 | 1 | 2 | 9 | 4 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0008/1 | 2 | 9 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0009/1 | 5 | 6 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0009/2 | 5 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010/1 | 2 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010/2 | 2 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010/3 | 2 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010/4 | 2 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010/5 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0011/1 | 2 | 6 | 3 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0012/1 | 11 | 1 | 9 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0013/1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0014/1 | 2 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0014/2 | 2 | 4 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0015/1 | 11 | 2 | 7 | 8 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0016/1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0016/2 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | OP1 | OP2 | OP3 | OP4 | OP5 | OP6 | OP7 | OP8 | OP9 | OP10 | OP11 | OP12 | OP13 | OP14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0001/1 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0002/1 | 2 | 16 | 24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0002/2 | 24 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0003/1 | 5 | 15 | 10 | 30 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0003/2 | 2 | 24 | 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0004/1 | 40 | 48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0004/2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0004/3 | 20 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0005/1 | 33 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0006/1 | 64 | 4 | 8 | 48 | 4 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0007/1 | 4 | 6 | 16 | 32 | 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0008/1 | 2 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0009/1 | 24 | 50 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0009/2 | 64 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010/1 | 2 | 8 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010/2 | 3 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010/3 | 3 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010/4 | 3 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0010/5 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0011/1 | 3 | 5 | 3 | 10 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0012/1 | 64 | 4 | 8 | 48 | 4 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0013/1 | 200 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0014/1 | 12 | 48 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0014/2 | 16 | 8 | 32 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0015/1 | 32 | 12 | 16 | 12 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0016/1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0016/2 | 2 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura III-14: Matrices de datos primarios
Fuente: elaboración propia

8.1.14. Matrices de Datos Corregidas

Según los parámetros de cálculo, los parámetros de eficiencia y en base a una tabla de control, se corrige la tabla de tiempos. Ver Figura III-15.



PROPUESTA DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN TIPO TALLER

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|---------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|---|--|
| MPE: Contiene datos diversos asociados a la ejecución de las operaciones. | | | | | | | MTP: Contiene el tiempo de proceso, ajustado por avance, por operación. | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prioridad | M.Entrega | Avance | Instancia | Cant. Op. | T.Total | OP1 | OP2 | OP3 | OP4 | OP5 | OP6 | OP7 | OP8 | OP9 | OP10 | OP11 | OP12 | OP13 | OP14 | | |
| 0001/1 | 2 | 64 | 0 | 0 | 1 | 60 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0002/1 | 4 | 288 | 0 | 0 | 4 | 43 | 24 | 16 | 24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0002/2 | 1 | 176 | 0 | 0 | 3 | 28 | 24 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0003/1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 | 65 | 5 | 15 | 10 | 30 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0003/2 | 1 | 144 | 0 | 0 | 4 | 44 | 2 | 24 | 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0004/1 | 2 | 9872 | 25 | 2 | 3 | 79 | 30 | 48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0004/2 | 1 | 9872 | 0 | 0 | 1 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0004/3 | 1 | 9872 | 0 | 0 | 4 | 42 | 20 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0005/1 | 4 | 32 | 30 | 1 | 4 | 45 | 23 | 4 | 6 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0006/1 | 1 | 1136 | 0 | 0 | 6 | 160 | 64 | 4 | 8 | 48 | 4 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0007/1 | 1 | 9872 | 0 | 0 | 6 | 76 | 4 | 6 | 16 | 32 | 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0008/1 | 1 | 9872 | 0 | 0 | 3 | 34 | 2 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0009/1 | 1 | 9872 | 0 | 0 | 3 | 78 | 24 | 50 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0009/2 | 1 | 9872 | 25 | 1 | 2 | 60 | 48 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0010/1 | 1 | 1120 | 0 | 0 | 3 | 16 | 2 | 8 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0010/2 | 1 | 1376 | 0 | 0 | 3 | 12 | 3 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0010/3 | 1 | 1376 | 0 | 0 | 3 | 12 | 3 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0010/4 | 1 | 1376 | 0 | 0 | 3 | 12 | 3 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0010/5 | 1 | 1376 | 0 | 0 | 2 | 9 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0011/1 | 1 | 1376 | 0 | 0 | 5 | 27 | 3 | 5 | 3 | 10 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0012/1 | 1 | 1136 | 0 | 0 | 6 | 160 | 64 | 4 | 8 | 48 | 4 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0013/1 | 6 | 9872 | 0 | 0 | 2 | 32 | 200 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0014/1 | 2 | 64 | 0 | 0 | 3 | 92 | 12 | 48 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0014/2 | 1 | 128 | 0 | 0 | 4 | 72 | 16 | 8 | 32 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0015/1 | 4 | 176 | 0 | 0 | 5 | 104 | 32 | 12 | 16 | 12 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0016/1 | 1 | 9872 | 0 | 0 | 1 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 0016/2 | 1 | 9872 | 0 | 0 | 2 | 18 | 2 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Figura III-15: Matrices de datos primarios, corregidos
Fuente: elaboración propia

8.1.15. Informe Comparativo

Se extrae el informe comparativo para los datos introducidos. Este reporte conlleva la ejecución conjunta de los nueve algoritmos de cálculo disponibles. En la Figura III-16, se ve resaltados en rosa, los mejores resultados a cada método.

| INFORME COMPARATIVO | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| Nº Inf. | Nº de Items | Op. [Tiempo T.(h)] | Centros [Instancias] | Cubo de Tiempo [h] | Ajuste Op. Activas H. Reales | Fecha Lanzamiento | Fecha Ejecución |
| 4 | 27 | 90 [347] | 13 [22] | 4 | | 08:00 «» 28/09/2021 | 19:26 «» 27/09/2021 |
| MÉTRICAS GENERALES SOBRE OPERACIONES | | | | | | | |
| Método | Fecha Fin | Lapso (h) | Tardanza A. Máx. (h) | Tardanza A. Med. (h) | Nº Tjos. Tardíos | Flujo Med. (h) | |
| Operación Fin Más Temprano | 12/10/2021 10:45 | 74,75 | 16,25 | 8,65 | 5 | 14,80 | |
| T. Menor Plazo de Entrega | 9/10/2021 09:45 | 69,75 | 16,25 | 7,85 | 5 | 19,11 | |
| T. Menor Holgura Plazo de Entrega | 9/10/2021 09:45 | 69,75 | 33 | 11,45 | 5 | 17,88 | |
| T. Mayor Trabajo Restante | 9/10/2021 09:45 | 69,75 | 16,25 | 7,85 | 5 | 18,97 | |
| Minimizar el Lapso de Prog. | 7/10/2021 12:15 | 64,25 | 35,5 | 14,20 | 5 | 17,00 | |
| Minimizar Flujo Medio de T. | 9/10/2021 12:00 | 72 | 36 | 28,10 | 5 | 15,48 | |
| Minimizar la Tardanza Media | 12/10/2021 08:15 | 72,25 | 16,75 | 7,50 | 4 | 18,15 | |
| Minimizar Cantidad T. Tardíos | 12/10/2021 10:45 | 74,75 | 25,75 | 12,50 | 3 | 17,25 | |
| Minimizar la Tardanza Máxima | 12/10/2021 08:45 | 72,75 | 16,25 | 8,31 | 4 | 19,08 | |
| MÉTRICAS GENERALES SOBRE RECURSOS | | | | | | | |
| Método | Activo Desde | Activo Hasta | Tiempo L. Disp. (h) | Tiempo L. Prog. (h) | Ocupación (%) | Nº Rec. Empleados | |
| Operación Fin Más Temprano | 28/9/2021 08:00 | 12/10/2021 10:45 | 1644,5 | 629 | 0,21 | 20 | |
| T. Menor Plazo de Entrega | 28/9/2021 08:00 | 9/10/2021 09:45 | 1534,5 | 647 | 0,23 | 20 | |
| T. Menor Holgura Plazo de Entrega | 28/9/2021 08:00 | 9/10/2021 09:45 | 1534,5 | 616,75 | 0,23 | 20 | |
| T. Mayor Trabajo Restante | 28/9/2021 08:00 | 9/10/2021 09:45 | 1534,5 | 640,5 | 0,23 | 21 | |
| Minimizar el Lapso de Prog. | 28/9/2021 08:00 | 7/10/2021 12:15 | 1413,5 | 707,75 | 0,25 | 21 | |
| Minimizar Flujo Medio de T. | 28/9/2021 08:00 | 9/10/2021 12:00 | 1584 | 834,25 | 0,22 | 20 | |
| Minimizar la Tardanza Media | 28/9/2021 08:00 | 12/10/2021 08:15 | 1589,5 | 645,25 | 0,22 | 21 | |
| Minimizar Cantidad T. Tardíos | 28/9/2021 08:00 | 12/10/2021 10:45 | 1644,5 | 703 | 0,21 | 20 | |
| Minimizar la Tardanza Máxima | 28/9/2021 08:00 | 12/10/2021 08:45 | 1600,5 | 700 | 0,22 | 21 | |

Figura III-16: Informe comparativo
Fuente: elaboración propia



8.1.16. Informe de Trabajos

De acuerdo al análisis precedente, se ha optado por utilizar el método “Ítem con menor plazo de entrega”. Se juzga que la combinación de métricas resultantes de la aplicación de esta técnica, es la que más beneficios provee. Ver Figura III-17.

| INFORME DE SECUENCIACIÓN | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| N° Inf. | N° de Ítems | Op. [Tiempo T.(h)] | Centros [Intancias] | Cubo de Tiempo (/h) | Ajuste Op. Activas | Fecha Lanzamiento | Fecha Ejecución |
| 4 | 27 | 90 [347] | 13 [22] | 4 | H. Reales | 08:00 => 28/09/2021 | 19:26 => 27/09/2021 |
| Método | Fecha de fin | Lapso (h) | Tardanza A. Máx. (h) | Tardanza A. Med. (h) | N° Tjos. tardíos | Flujo med. (h) | |
| HC: Ítem con Menor Plazo de Entrega | 9/10/2021 09:45 | 69,75 | 16,25 | 7,85 | 5 | 19,11 | |
| DETALLE DE TRABAJOS | | | | | | | |
| Id. | Descripción | Fecha de inicio | Fecha de fin | Flujo (h) | Flujo/Trabajo (%) | Demora Real (d) | |
| 0001/1 | Descripción Genérica 1 | 28/9/2021 09:15 | 30/9/2021 08:15 | 15 | 100,00% | 0 | |
| 0002/1 | Descripción Genérica 21 | 28/9/2021 08:00 | 29/9/2021 10:45 | 10,75 | 100,00% | -11 | |
| 0002/2 | Descripción Genérica 3 | 28/9/2021 14:45 | 29/9/2021 13:45 | 7 | 100,00% | -6 | |
| 0003/1 | Descripción Genérica 4 | 28/9/2021 08:00 | 30/9/2021 08:15 | 16,25 | 100,00% | 2 | |
| 0003/2 | Descripción Genérica 5 | 29/9/2021 08:15 | 30/9/2021 12:45 | 12,5 | 113,64% | -3 | |
| 0004/1 | Descripción Genérica 6 | 28/9/2021 08:00 | 30/9/2021 12:30 | 20,5 | 103,80% | N/A | |
| 0004/2 | Descripción Genérica 7 | 28/9/2021 08:00 | 28/9/2021 09:30 | 1,5 | 100,00% | N/A | |
| 0004/3 | Descripción Genérica 8 | 5/10/2021 09:45 | 6/10/2021 12:45 | 11 | 104,76% | N/A | |
| 0005/1 | Descripción Genérica 8 | 28/9/2021 08:00 | 29/9/2021 11:15 | 11,25 | 100,00% | 0 | |
| 0006/1 | Descripción Genérica 9 | 29/9/2021 13:45 | 6/10/2021 09:45 | 40 | 100,00% | -40 | |
| 0007/1 | Descripción Genérica 10 | 28/9/2021 08:30 | 2/10/2021 10:45 | 34,25 | 180,26% | N/A | |
| 0008/1 | Descripción Genérica 11 | 29/9/2021 12:15 | 30/9/2021 12:45 | 8,5 | 100,00% | N/A | |
| 0009/1 | Descripción Genérica 12 | 29/9/2021 12:30 | 2/10/2021 08:15 | 19,75 | 101,28% | N/A | |
| 0009/2 | Descripción Genérica 13 | 28/9/2021 08:00 | 29/9/2021 15:00 | 15 | 100,00% | N/A | |
| 0010/1 | Descripción Genérica 21 | 29/9/2021 08:45 | 4/10/2021 09:15 | 26,5 | 712,50% | -40 | |
| 0010/2 | Descripción Genérica 15 | 29/9/2021 09:15 | 4/10/2021 10:15 | 29 | 966,67% | -52 | |
| 0010/3 | Descripción Genérica 15 | 29/9/2021 10:00 | 4/10/2021 11:15 | 29,25 | 975,00% | -52 | |
| 0010/4 | Descripción Genérica 15 | 29/9/2021 10:45 | 4/10/2021 12:15 | 29,5 | 983,33% | -52 | |
| 0010/5 | Descripción Genérica 15 | 28/9/2021 08:00 | 28/9/2021 10:15 | 2,25 | 100,00% | -58 | |
| 0011/1 | Descripción Genérica 15 | 29/9/2021 11:30 | 4/10/2021 13:45 | 30,25 | 448,15% | -52 | |
| 0012/1 | Descripción Genérica 16 | 1/10/2021 13:45 | 9/10/2021 09:45 | 40 | 100,00% | -37 | |
| 0013/1 | Descripción Genérica | 5/10/2021 14:00 | 6/10/2021 14:00 | 8 | 100,00% | N/A | |
| 0014/1 | Descripción Genérica 17 | 28/9/2021 09:15 | 1/10/2021 15:45 | 30,5 | 132,61% | 1 | |
| 0014/2 | Descripción Genérica 18 | 28/9/2021 12:15 | 2/10/2021 11:45 | 31,5 | 175,00% | 0 | |
| 0015/1 | Descripción Genérica 19 | 28/9/2021 13:45 | 1/10/2021 15:45 | 26 | 100,00% | -4 | |
| 0016/1 | Descripción Genérica 20 | 28/9/2021 08:00 | 28/9/2021 09:15 | 1,25 | 100,00% | N/A | |
| 0016/2 | Descripción Genérica 21 | 29/9/2021 12:00 | 30/9/2021 10:45 | 6,75 | 150,00% | N/A | |

Figura III-17: Informe de trabajos
Fuente: elaboración propia

8.1.17. Informe de Recursos

El reporte siguiente, contenido en la Figura III-18, muestra las métricas de desempeño de cada uno de los centros/instancias disponibles para el método seleccionado.

| INFORME DE SECUENCIACIÓN | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Nº Inf. | Nº de Items | Op. [Tiempo T.(h)] | Centros [Instancias] | Cubo de Tiempo (/h) | Ajuste Op. Activas | Fecha Lanzamiento | Fecha Ejecución |
| 4 | 27 | 90 [347] | 13 [22] | 4 | H. Reolias | 08:00 «» 28/09/2021 | 19:26 «» 27/09/2021 |
| Método | | Fecha de fin | Lapso (h) | Tardanza A. Máx. (h) | Tardanza A. Med. (h) | Nº Tjos. tardíos | Flujo med. (h) |
| HC: Ítem con Menor Plazo de Entrega | | 9/10/2021 09:45 | 69,75 | 16,25 | 7,85 | 5 | 19,11 |
| DETALLE DE OPERACIONES | | | | | | | |
| Id. | Denominación | Activo desde | Activo hasta | Tiempo activo (h) | Tiempo útil (h) | Ocupacion (%) | |
| 1 | Oxicorte(1) | 28/9/2021 08:00 | 5/10/2021 10:45 | 46,75 | 3,5 | 7,00% | |
| 2 | Corte y Plegado(1) | 28/9/2021 08:00 | 30/9/2021 10:15 | 18,25 | 17,25 | 95,00% | |
| 3 | Rollado(1) | 28/9/2021 13:00 | 29/9/2021 15:30 | 10,5 | 3,25 | 31,00% | |
| 4 | Torno //(1) | 28/9/2021 08:30 | 7/10/2021 08:45 | 60,25 | 23 | 38,00% | |
| 5 | Torno //(2) | 28/9/2021 08:00 | 5/10/2021 15:45 | 51,75 | 10,5 | 20,00% | |
| 6 | Torno //(3) | 28/9/2021 08:00 | 6/10/2021 14:00 | 58 | 44,25 | 76,00% | |
| 7 | Torno CNC(1) | 28/9/2021 08:00 | 30/9/2021 10:30 | 18,5 | 18,5 | 100,00% | |
| 8 | Fresa(1) | 28/9/2021 09:15 | 7/10/2021 09:45 | 60,5 | 24,75 | 41,00% | |
| 9 | Fresa(2) | 28/9/2021 08:00 | 1/10/2021 15:15 | 31,25 | 26 | 83,00% | |
| 10 | Inoxidable(1) | 28/9/2021 08:00 | 30/9/2021 12:45 | 20,75 | 14 | 67,00% | |
| 11 | Inoxidable(2) | 28/9/2021 12:15 | 30/9/2021 08:15 | 12 | 12 | 100,00% | |
| 12 | Inoxidable(3) | 29/9/2021 09:15 | 30/9/2021 13:45 | 12,5 | 12,5 | 100,00% | |
| 13 | Inoxidable(4) | 29/9/2021 08:45 | 30/9/2021 10:00 | 9,25 | 8,5 | 92,00% | |
| 14 | Pulido(1) | 28/9/2021 09:15 | 4/10/2021 13:45 | 40,5 | 27,25 | 67,00% | |
| 15 | Acero(1) | 29/9/2021 12:45 | 5/10/2021 12:45 | 36 | 12 | 33,00% | |
| 16 | Acero(2) | | | | | | |
| 17 | Pintura(1) | 30/9/2021 08:45 | 30/9/2021 12:45 | 4 | 4 | 100,00% | |
| 18 | Pintura(2) | | | | | | |
| 19 | R.Mecanico(1) | 28/9/2021 08:00 | 5/10/2021 14:45 | 50,75 | 50,75 | 100,00% | |
| 20 | E.Mecanico(1) | 29/9/2021 08:15 | 9/10/2021 09:45 | 61,5 | 22 | 36,00% | |
| 21 | Varios(1) | 29/9/2021 10:30 | 1/10/2021 15:45 | 21,25 | 9 | 42,00% | |
| 22 | Varios(2) | 29/9/2021 12:00 | 2/10/2021 10:45 | 22,75 | 4,75 | 21,00% | |

Figura III-18: Informe de operaciones
Fuente: elaboración propia

8.1.18. Hoja de Trabajos

Se extrae la hoja de trabajos según el método seleccionado, para el centro "torno //", para un lapso de 10 días hábiles. Ver Figura III-19.

| Cod. | | Nº de programa | | Fecha de emisión | | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-------------------------|-----------------|---------------------|-----------|------------|-----------|-----------|--------|-----------|------------|
| HC:MPE | | 4 | | 19:26 «» 27/09/2021 | | | | | | | |
| HOJA DE RUTA | | | | | | | | | | | |
| id. | Centro operativo | Desde | Hasta | H. Laborables | Días | | | | | | |
| 4 | Torno // | 28/9/2021 08:00 | 7/10/2021 08:45 | 60,75 | 10 | | | | | | |
| CRONOGRAMA DE TRABAJO | | | | | | | | | | | |
| Trabajo | | | Programado | | | Real | | | | | |
| Ins.-Op | Id. | Descripción | F. Inicio | H. Inicio | Carga (h) | Avance (%) | F. Inicio | H. Inicio | H. Fin | Carga (h) | Avance (%) |
| 1-(1) | 0002/1 | Descripción Genérica 21 | 28/09 | 08:30 | 4,00 | 100,00% | | | | | |
| 1-(2) | 0005/1 | Descripción Genérica 8 | 28/09 | 13:45 | 1,00 | 100,00% | | | | | |
| 1-(3) | 0002/2 | Descripción Genérica 3 | 28/09 | 14:45 | 1,25 | 20,83% | | | | | |
| 1-(3) | 0002/2 | Descripción Genérica 3 | 29/09 | 08:00 | 4,75 | 100,00% | | | | | |
| 1-(4) | 0012/1 | Descripción Genérica 16 | 05/10 | 12:45 | 3,25 | 27,08% | | | | | |
| 1-(4) | 0012/1 | Descripción Genérica 16 | 06/10 | 08:00 | 8,00 | 93,75% | | | | | |
| 1-(4) | 0012/1 | Descripción Genérica 16 | 07/10 | 08:00 | 0,75 | 100,00% | | | | | |
| 2-(1) | 0004/1 | Descripción Genérica 6 | 28/09 | 08:00 | 7,50 | 100,00% | | | | | |
| 2-(2) | 0014/2 | Descripción Genérica 18 | 29/09 | 08:15 | 2,00 | 100,00% | | | | | |
| 2-(3) | 0004/3 | Descripción Genérica 8 | 05/10 | 14:45 | 1,00 | 100,00% | | | | | |
| 3-(1) | 0016/1 | Descripción Genérica 20 | 28/09 | 08:00 | 1,25 | 100,00% | | | | | |
| 3-(2) | 0001/1 | Descripción Genérica 1 | 28/09 | 09:15 | 6,75 | 45,00% | | | | | |
| 3-(2) | 0001/1 | Descripción Genérica 1 | 29/09 | 08:00 | 8,00 | 98,33% | | | | | |
| 3-(2) | 0001/1 | Descripción Genérica 1 | 30/09 | 08:00 | 0,25 | 100,00% | | | | | |
| 3-(3) | 0007/1 | Descripción Genérica 10 | 30/09 | 14:15 | 1,75 | 21,88% | | | | | |
| 3-(3) | 0007/1 | Descripción Genérica 10 | 01/10 | 08:00 | 6,25 | 100,00% | | | | | |
| 3-(4) | 0006/1 | Descripción Genérica 9 | 02/10 | 08:45 | 3,25 | 27,08% | | | | | |
| 3-(4) | 0006/1 | Descripción Genérica 9 | 04/10 | 08:00 | 8,00 | 93,75% | | | | | |
| 3-(4) | 0006/1 | Descripción Genérica 9 | 05/10 | 08:00 | 0,75 | 100,00% | | | | | |
| 3-(5) | 0013/1 | Descripción Genérica | 05/10 | 14:00 | 2,00 | 25,00% | | | | | |
| 3-(5) | 0013/1 | Descripción Genérica | 06/10 | 08:00 | 6,00 | 100,00% | | | | | |

Figura III-19: Hoja de trabajos
Fuente: elaboración propia



8.1.19. Matrices Solución

Finalmente, se exponen las matrices que contienen los resultados “en bruto” del algoritmo, ver Figura III-20. A partir de la reinterpretación de estos valores, se obtienen referencias al calendario real.

| MFI: Contiene la fecha de inicio prevista para cada operación. | | | | | | | | | | | | | | | MAI: Contiene el índice de instancia asignada por cada operación. | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 1er Op | OP1 | OP2 | OP3 | OP4 | OP5 | OP6 | OP7 | OP8 | OP9 | OP10 | OP11 | OP12 | OP13 | OP14 | OP1 | OP2 | OP3 | OP4 | OP5 | OP6 | OP7 | OP8 | OP9 | OP10 | OP11 | OP12 | OP13 | OP14 |
| 0001/1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0002/1 | 1 | 0 | 2 | 18 | 42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0002/2 | 1 | 27 | 51 | 54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0003/1 | 1 | 0 | 5 | 20 | 30 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0003/2 | 1 | 33 | 35 | 65 | 81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0004/1 | 1 | 0 | 33 | 81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0004/2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0004/3 | 1 | 183 | 203 | 207 | 215 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0005/1 | 1 | 0 | 23 | 27 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0006/1 | 1 | 55 | 119 | 123 | 131 | 179 | 183 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0007/1 | 1 | 2 | 67 | 73 | 89 | 121 | 137 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0008/1 | 1 | 49 | 51 | 67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0009/1 | 1 | 50 | 75 | 125 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0009/2 | 1 | 0 | 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0010/1 | 1 | 35 | 37 | 143 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0010/2 | 1 | 37 | 60 | 149 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0010/3 | 1 | 40 | 45 | 153 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0010/4 | 1 | 43 | 50 | 157 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0010/5 | 1 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0011/1 | 1 | 46 | 54 | 59 | 62 | 161 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0012/1 | 1 | 119 | 183 | 187 | 195 | 243 | 247 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0013/1 | 2 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0014/1 | 1 | 5 | 17 | 95 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0014/2 | 1 | 17 | 33 | 55 | 127 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0015/1 | 1 | 23 | 55 | 67 | 83 | 95 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0016/1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0016/2 | 1 | 48 | 59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura III-20: Matrices de resultados
Fuente: elaboración propia



8.1.20. Diagrama de Gantt

En Figura III-21, se adjunta la primera hoja del diagrama de Gantt. Corresponde al ejemplo desarrollado según el método seleccionado. Observar que existen tramas para, diferenciar colores similares (se aclara para enfatizar que no hay superposición de operaciones).

Corresponde señalar que la utilidad del diagrama es limitada, cuando se evalúan planificaciones que involucran una gran cantidad de operaciones. Al respecto, talvez resultaría útil configurar la extracción de la gráfica, para que la misma represente un período temporal específico y un determinado segmento de la planificación.

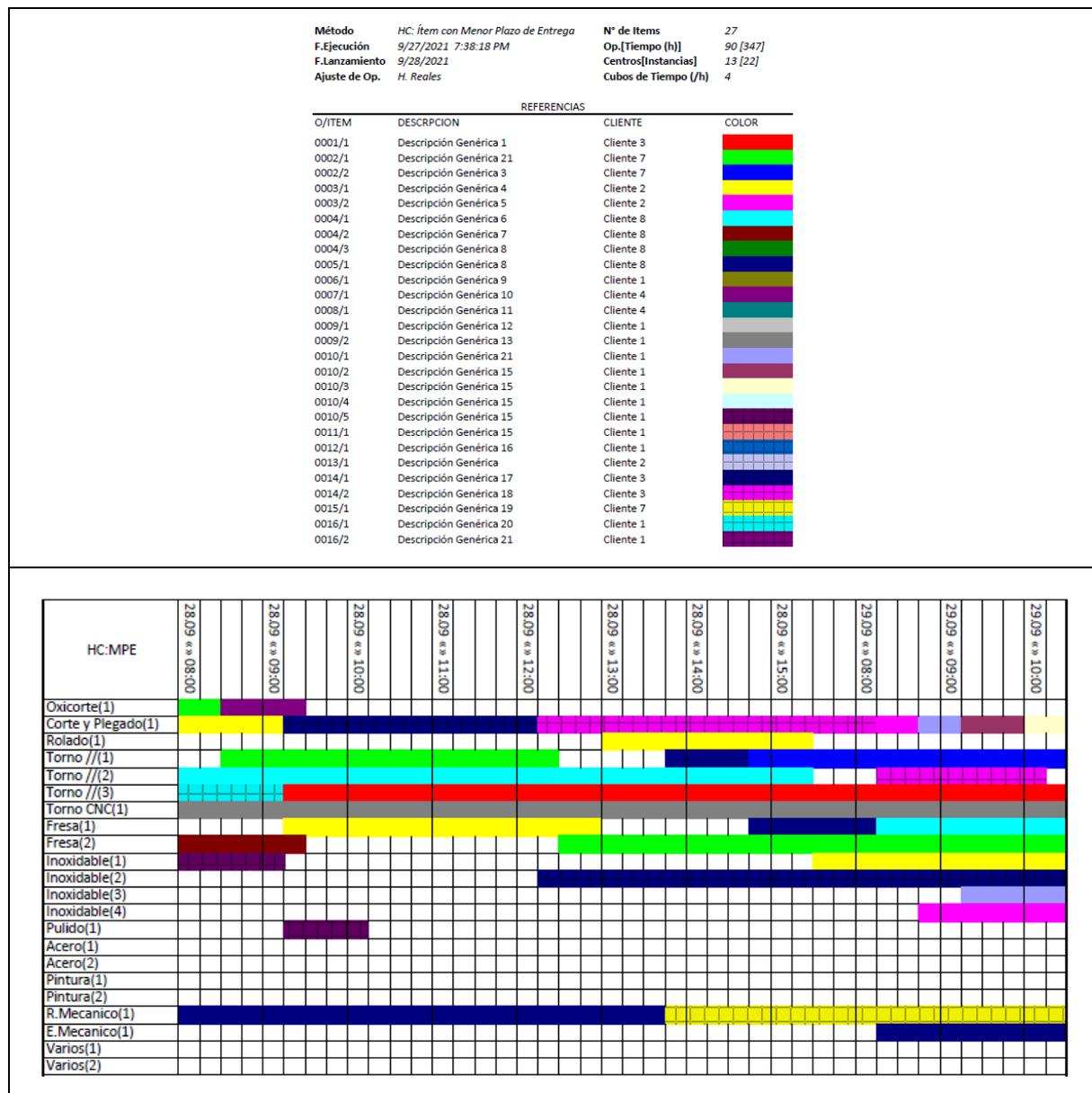


Figura III-21: Diagrama de Gantt
Fuente: elaboración propia

