



Universidad
Politécnica
de Cartagena



industriales
etsii UPCT

Optimización de recursos en el proceso de ejecución de órdenes de trabajo en la refinería de Cartagena mediante técnicas de simulación

Titulación: Ingeniería de Organización Industrial

Alumno/a: David Climent Andrés
Director/a/s: María Victoria de la Fuente Aragón
Lorenzo Ros McDonnell

Cartagena, 28 de Septiembre de 2015

Índice:

1. OBJETO DEL PROYECTO.....	2
2. LA EMPRESA.....	2
3. COMPLEJO INDUSTRIAL DE CARTAGENA.....	4
3.1 Introducción.....	4
3.2 Descripción.....	5
4. AREA DE ENERGÍAS (AREA EMISORA O SOLICITANTE).....	7
5. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACION DE TRABAJOS. FLUJO DE LA ORDEN DE TRABAJO.....	9
5.1 Generación de solicitud de trabajo.....	10
5.2 Recepción y aceptación de la solicitud de trabajo.....	11
5.3 Planificación de las Ot`s.....	12
5.4 Programación.....	15
5.5 Flujograma.....	19
6 SIMULACION MEDIANTE METODO MONTECARLO.....	20
6.1 Método Montecarlo.....	21
6.2 Identificación de las variables.....	22
6.3 Toma, registro y ordenación de los datos.....	23
7 CONSTRUCCIÓN DE MODELO MATEMÁTICO PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA.....	27
7. 1 Obtención de las funciones de probabilidad para las variables a simular. 27	
7. 1.1 Adaptación a una función de Distribución Normal.....	27
7. 1.2 Ley de "Los Grandes Números".....	34
7. 1.3 Cálculos de las probabilidades. Resultados.....	36
7. 2 Diseño de la simulación.....	42
7. 3 Simulación basada en la variable prioridad.....	48
7. 4 Simulación basada en la variable prioridad, con dos operarios.....	52
8 EXPOSICIÓN DE RESULTADOS.....	54
9 CONCLUSIONES.....	57
10 BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXO 1.....	59
ANEXO 2.....	60
ANEXO 3.....	61

1. OBJETO DEL PROYECTO

El presente proyecto final de carrera consiste en la simulación matemática del proceso de generación y ejecución de órdenes de trabajo en el taller de mantenimiento de la refinería de Cartagena, más concretamente de la especialidad de instrumentación. Este proceso incluye la emisión de la orden de trabajo, la aceptación, la planificación y la ejecución.

Los datos son reales ya que el alumno que suscribe forma parte de dicha especialidad y serán tratados junto con los profesores del área de Organización Industrial del departamento de economía de empresa de la UPCT. Los datos forman parte de la base de datos del año 2013 de las solicitudes de trabajo emitidas por el área de Energías (utilities) al departamento de instrumentación.

Se pretende por tanto, a partir de datos reales, obtener la simulación de dicho proceso de emisión de órdenes de trabajo, mediante la técnica basada en el método Montecarlo. Ésta simulación (elaborada en Excel) permitirá conocer el comportamiento futuro de las variables lo cual sirve de base para obtener conclusiones en cuanto a optimización de recursos, dando así un servicio de calidad que permitirá el buen funcionamiento de la sección contribuyendo a la minimización de tiempos en reparaciones, paradas, indisponibilidades de plantas etc. con el consecuente ahorro económico que conlleva.

Se partirá describiendo el funcionamiento de la refinería y más concretamente del departamento solicitante de las órdenes de trabajo. Además es necesario conocer el sistema de gestión de mantenimiento implantado en la refinería mediante el cual se definen las relaciones entre el emisor de la orden de trabajo (energías en este caso) y el ejecutante (mantenimiento, instrumentación) de la misma y los pasos por los que pasa la orden de trabajo (aceptación, planificación, ejecución etc.)

Posteriormente se pasará a analizar los datos, definir las variables a analizar y me centraré en el análisis de la dotación de personal como conclusión al estudio.

2. LA EMPRESA

La actividad de Repsol se enmarca en diversas fases de la producción y comercialización de derivados del petróleo y especialidades químicas. El Complejo Industrial de Cartagena pertenece a la Dirección Ejecutiva de Refino España. Refino España ocupa una posición de liderazgo en diversos mercados. Sus refinerías producen

una amplia gama de productos petrolíferos, incluyendo combustibles industriales y para automoción, lubricantes, productos de petroquímica básicos, asfaltos y coque.

La distribución geográfica de las refinerías españolas de REPSOL, junto con su proximidad a los principales centros de consumo, proporciona ventajas competitivas significativas. Dos de sus refinerías, Tarragona y Cartagena, se encuentran en la costa del Mediterráneo; la de Bilbao, en la del Cantábrico; La Coruña, está ubicada en la costa noroeste del país y Puertollano en el interior, junto a la principal red de oleoductos.



Refino España tiene programadas inversiones que se van materializando para modificar Unidades existentes e instalar otras nuevas, adaptar las especificaciones de los productos, adecuarse a la demanda de productos ligeros, automatizar el control de procesos, aumentar el ahorro energético y conseguir mejoras en la seguridad en el trabajo y en las instalaciones. De este modo, las refinerías están dotadas en todo momento de las más modernas y competitivas tecnologías.

3. COMPLEJO INDUSTRIAL DE CARTAGENA

3.1 Introducción

El Complejo industrial de Cartagena está situado en el Valle de Escombreras a unos 10 Km de la ciudad de Cartagena, perteneciente a la Comunidad Autónoma de Murcia. La Refinería de Petróleo fue fundada, en 1.949, con el nombre de Refinería de Petróleos de Escombreras, S.A. (REPESA), con una capacidad inicial de destilación de 1.200.000 Tm/año. En 1.974 se produjo la fusión con ENCASO (Empresa Nacional Calvo Sotelo, construida en 1942 por el Instituto Nacional de Industria con sede en Puertollano) y ENTASA (Empresa Nacional de Petróleos de Tarragona), cambiando la denominación de la Empresa a ENPETROL, dependiente del INI (Instituto Nacional de Industria). Con la creación del I.N.H. (Instituto Nacional de Hidrocarburos) en 1.981, la Empresa cambió de nombre a EMP, integrándose en el Grupo la Refinería de La Coruña (Petroliber). En 1.987 se produce el cambio de denominación a REPSOL PETROLEO, S.A. En 2007 se inició la ampliación de la refinería hasta su capacidad actual.

El Complejo Industrial de Cartagena, que tiene actualmente una capacidad de destilación de 11.000.000 tm/año, engloba las siguientes áreas de trabajo:

- Terminal Marítimo para carga y descarga de crudo y productos petrolíferos.
- Oleoductos Cartagena-Puertollano (crudo y destilados)
- Estación Terminal de Crudos donde se encuentran los tanques de almacenamiento de los crudos descargados.
- Área de Refinería con las instalaciones de las Áreas Operativas de Combustibles, Hidrotratamiento, Conversión y Lubricantes.
- Unidades de Cogeneración.
- Planta de Calderas generadoras de vapor.
- Laboratorio de Control.
- Talleres de Mantenimiento
- Estaciones de Productos Terminados.
- Tratamiento de Aguas Residuales.
- Oficinas Generales y Técnicas.

Se adjunta imagen con la implantación del Complejo Industrial en su entorno, que constituye el ANEXO 1. También se añade un plano del Complejo Industrial con del esquema en planta de las diferentes áreas, en el ANEXO 2.

3.2 Descripción

La gran variedad de productos comerciales que se pueden obtener con el crudo como única materia prima, así como los diferentes procesos que entran en juego, hacen que la industria del refino sea de las más complejas.

La instalación está dividida en las siguientes Áreas Operativas:

- Combustibles
- Conversión
- Hidrotratamiento
- Lubricantes

Dentro del área de Combustibles se encuentran la Destilación Atmosférica del Crudo e Hidrocráquer y todos los procesos de tratamiento de las corrientes obtenidas para adaptar sus características a las especificaciones de los productos finales.

En el área de Conversión se encuentra la unidad de Conversión profunda de Córquer y unidades asociadas para procesamiento de las corrientes obtenidas.

En el área de Hidrotratamiento se encuentran las unidades de producción de hidrógeno, unidades para procesamiento de las corrientes de nafta y gasoil procedente del área de Conversión.

En el área de Lubricantes se engloban las unidades y procesos en los que se obtienen Bases Lubricantes a partir de determinados tipos de Residuo Atmosférico.

Además de las unidades estrictamente dedicadas a la fabricación de Combustibles y Lubricantes existen otras áreas sin las cuales no sería posible la obtención de estos productos:

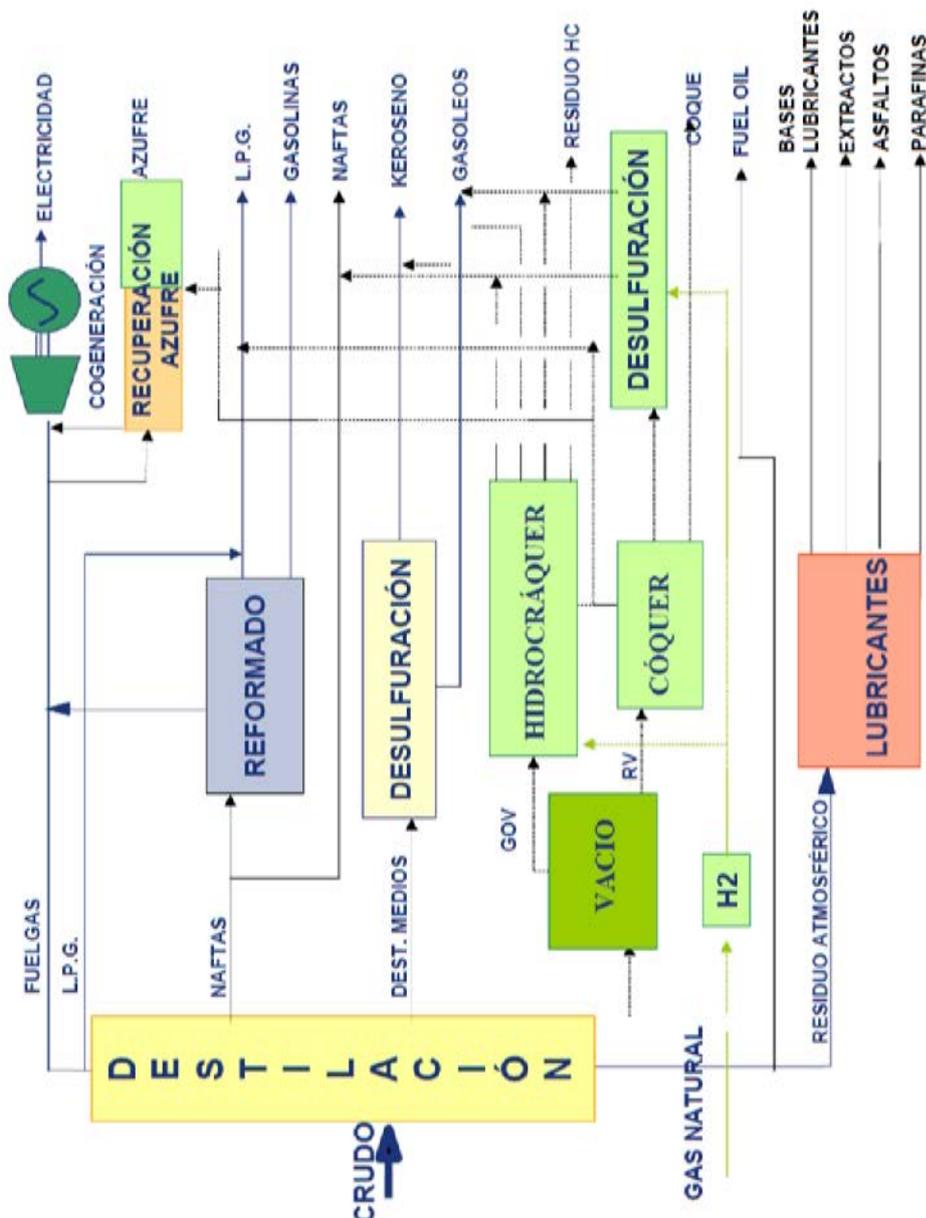
- Tanques y Terminal: gestiona el trasiego y almacenamiento de crudo y productos intermedios y finales.
- **Energías:** suministra energía eléctrica, vapor, aire de servicios e instrumentos, agua de alimentación a calderas, agua de refrigeración, etc.

Éste es el área emisora de las órdenes de trabajo a tratar en el presente proyecto.

- Laboratorio de Control: se encarga de analizar las muestras de materias primas, productos intermedios y finales.
- Fiabilidad y **Mantenimiento**, Paradas y Construcción: realizan tareas de inspección, reparación y mejora en las instalaciones del Centro Industrial. **Mantenimiento, y en concreto la especialidad de instrumentación será el ejecutante de las órdenes de trabajo, correctivo y preventivo.**

El proceso de fabricación es continuo, por lo que el trabajo en las áreas de Combustibles, Lubricantes, Conversión, Hidrotratamiento Tanques y Terminal, Energías y Laboratorio se lleva a cabo con personal a turnos.

En la Figura se puede visualizar el Esquema general de Fabricación de la Refinería.



4. AREA DE ENERGÍAS (AREA EMISORA O SOLICITANTE)

El area de energías suministra a las unidades de proceso y demás áreas del Complejo, los servicios necesarios para su funcionamiento (utilities).

SUMINISTRO DE AGUA

El Complejo Industrial se abastece de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, disponiendo de una reserva de agua de 85.000 m³. Existen redes independientes para el agua de refrigeración, potable, servicio contra incendios y servicios.

TRATAMIENTO DE AGUA

Dado que el agua que emplean las calderas ha de reunir una serie de características, se hace necesario un tratamiento previo de la misma, el cual consiste fundamentalmente en las siguientes fases: ablandamiento con cal y filtración, intercambio iónico, tratamiento por ósmosis inversa y desgasificación. La capacidad de tratamiento es unos 900 m³/hora. De esta forma se obtiene un agua en óptimas condiciones para alimentar las calderas de generación de vapor.

GENERACION DE VAPOR

La Planta dispone de seis calderas con una producción, de las cuales cuatro de ellas producen unas 40 Tm/hora de vapor de 40 Kg/cm² de presión y las otras dos 75 Tm/hora. Estas calderas emplean como combustible fuelgas y fuelóleo.

Se produce, además, vapor de 40, 20 y 11 Kg/cm² en las zonas convectivas de los hornos de proceso, aprovechando el calor residual de los humos de la combustión, y en las calderas de Cogeneración.

PLANTAS DE COGENERACION

En estas Plantas, aprovechando el fuelgas de la refinería, se obtiene vapor de agua y electricidad suficiente para la demanda del Complejo Industrial, quedando un excedente para exportación a la Red Eléctrica Nacional.

TORRES DE REFRIGERACION

El Complejo Industrial dispone de dos Torres de Refrigeración de tiro inducido. Los ventiladores están situados en la parte alta de las torres y están accionados por motores con reductoras de velocidad.

Se tiene la posibilidad de que estos ventiladores trabajen a dos velocidades: lenta o rápida. En caso de condiciones ambientales favorables se pueden parar, trabajando en este caso la torre a tiro natural.

SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

La red de aire en la refinería está distribuida en dos colectores, uno de Aire de Servicios y otro de Aire de Instrumentos o Control. El primero mantiene una presión de 6,5-7,0 Kg/cm² y el segundo de unos 3,5 Kg/cm².

Para comprimir el aire se dispone de compresores centrífugos.

La calidad del aire de instrumentos es muy importante para evitar el deterioro de los elementos de control de las unidades, por lo que ha de estar desprovisto de agua y aceite. Para ello, se dispone de equipos separadores y secadores.

DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

La Compañía Iberdrola suministra corriente a la Subestación Principal a 132 KV. La tensión a que se distribuye la corriente por el Complejo es de 30, 11 y 6,3 KV y en diversos lugares de las Plantas se transforma la tensión de distribución en una de utilización que puede ser de 3,3 KV, 550 V y 220 V. Estas estaciones de transformación secundaria están localizadas normalmente cerca de las Unidades a las que suministran energía.

Como se ha indicado anteriormente, en las Plantas de Cogeneración se produce, mediante una turbina de gas, más energía eléctrica de la necesaria para el funcionamiento del Complejo Industrial. El exceso se exporta a la red de Iberdrola.

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En esta Plantas se reciben la aguas residuales generadas en las instalaciones de Complejo Industrial. Con una configuración completa, moderna y adaptada a las exigencias medioambientales consta de:

- Tratamiento Físico (desbaste y decantación API)
- Tratamiento Químico (DAF)
- Tratamiento Biológico
- Emisario Submarino

En el modo de operación habitual, el efluente del Tratamiento Biológico se recircula en su práctica totalidad para su reutilización; también, previa comprobación de que se encuentra dentro de los límites de calidad fijados por la Autorización de vertido, se envía una pequeña parte al Emisario Submarino.

Los lodos generados en el tratamiento siguen caminos diferentes según su origen:

- Lodos API: se reprocessan en la Refinería.
- Lodos DAF y BIOX: son gestionados por un gestor autorizado.

5. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACION DE TRABAJOS. FLUJO DE LA ORDEN DE TRABAJO

Las actividades de Planificación y Programación en el caso del Mantenimiento Diario, tienen como finalidad la elaboración del Programa Diario de Trabajos de Mantenimiento. En este sentido podemos establecer dos objetivos fundamentales: en primer lugar la eliminación en la medida de lo posible de interferencias o imprevistos que generen improductivos e ineficiencias en el desarrollo de las actividades, y en segundo lugar la nivelación de la carga de trabajo diaria logrando la máxima utilización de los recursos disponibles, trabajando con horizontes de planificación y programación de +2 / +3 / +5 días.

Cabe distinguir entre los trabajos que componen el Programa Diario de Trabajos entre mantenimiento correctivo y preventivo. El mantenimiento preventivo a realizar en cada sección, se encuentra planificado previamente generándose de forma automática las solicitudes de trabajo siguiendo un programa de periodicidad establecida en función de los requerimientos de cada acción, la ejecución de estos trabajos presenta generalmente un margen de tiempo de actuación mayor, por lo cual su inclusión en el programa de mantenimiento diario está supeditada a la carga de trabajo de correctivo ejecutable de carácter urgente, programándose de forma habitual las actividades de preventivo para equilibrar la carga de trabajo diaria. Por esta razón y para los fines perseguidos en este capítulo, centraremos el análisis desde el punto de vista de la planificación y programación de los trabajos de correctivo y para el análisis de los datos en bruto no se hará distinción entre preventivo y correctivo, se diferenciarán por la urgencia del trabajo.

De forma genérica las fases a las que se ajusta un trabajo de mantenimiento diario a partir de la detección de su necesidad son las siguientes:

- Generación de la solicitud de trabajo (ST).
- Recepción de la solicitud por la especialidad de mantenimiento a la que corresponde su ejecución, en este caso Instrumentación.
- Chequeo de la cumplimentación de datos previa aceptación de la ST
- Chequeo en campo del trabajo solicitado previa aceptación de la ST.
- Planificación del trabajo.
- Programación del trabajo planificado dentro del Plan Diario de Trabajos.
- Análisis de la ejecución realizada y finalización.

En los apartados siguientes se definen para cada una de las fases, las personas que intervienen dentro de la organización, cuáles son las pautas de su actuación y cómo se refleja ésta en el sistema informático de gestión del mantenimiento.

5.1 Generación de solicitud de trabajo

Mantenimiento recibe diariamente solicitudes de trabajo de las distintas áreas que pueden actuar como emisores o generadores de las mismas y que básicamente son: Operación (Energías en este caso), Mantenimiento (preventivos), Fiabilidad y Otros Departamentos (tareas).

El Solicitante del trabajo (Emisor de ST), una vez detectada la necesidad de ejecución de un determinado trabajo de mantenimiento, debe emitir la correspondiente solicitud a través del sistema informático de gestión, comprobando que no exista una OT previa para el mismo trabajo; en este caso se podrá reclamar el trabajo a través del Planificador de Mantenimiento correspondiente, modificando si es necesario la Prioridad o las fechas de comienzo y fin preferentes.

El solicitante cumplimentará los diferentes datos reflejados en la pantalla, prestando especial atención al campo de TAG (nombre del equipo) del equipo, indicando las FECHAS DE NECESIDAD DE EJECUCION y los COMENTARIOS que se estimen oportunos, describiendo de forma clara y detallada los síntomas de la

avería, así como reflejando todos aquellos aspectos del trabajo solicitado que ayuden a Mantenimiento a efectuar una planificación correcta de los mismos p. ejemplo, especificación de auxilios requeridos (¿ANDAMIO?, ¿CALORIFUGADO?), condiciones que caracterizarán la situación del equipo en el momento en el que deba realizarse la intervención, si se solicita que el trabajo se realice de forma ininterrumpida, si trata de corregir condiciones inseguras en el equipo en la operación o en su mantenimiento, si afecta a la Seguridad e Higiene o Medio Ambiente, etc.

Asimismo se adjuntarán si es posible, los documentos y planos que sean necesarios para ejecutar el trabajo, como listas de bloqueos, informes de inspección, informes de auditorías, inspecciones de orden y limpieza, etc...

El estado de las Solicitudes de Trabajo una vez preparadas pasaran del estado “PENDIENTE de AUTORIZACIÓN” (PA) a el de “PENDIENTE DE ACEPTACIÓN POR MANTENIMIENTO” (AC).

La correcta ejecución de esta primera fase, agiliza la fase de recepción evitando devoluciones y simplifica de forma importante el proceso de planificación de los trabajos, por tanto resulta importante la colaboración de los departamentos solicitantes de los trabajos, consiguiendo de ellos que la información aportada en la solicitud sea lo más correcta y completa posible.

De igual forma, la aplicación de un criterio racional por parte de los solicitantes a la hora de establecer las urgencias requeridas para la realización de los trabajos, es necesaria para poder realizar la planificación y programación de los mismos, permitiendo de esta forma equilibrar la carga de trabajo y mejorando la eficiencia de las actuaciones de mantenimiento, redundando en un claro beneficio para el Complejo Industrial.

5.2 Recepción y aceptación de la solicitud de trabajo

La recepción de las solicitudes de trabajo tiene por objeto verificar los datos y aceptar, en representación de Mantenimiento, las Solicitudes de Trabajo (ST) emitidas, pasando a partir de este momento a Orden de Trabajo (OT).

El planificador filtrará las solicitudes de trabajo, aceptándolas o devolviéndolas al solicitante si fuese necesario, no siendo necesario informar de ello ni al Solicitante ni a ninguna otra persona de la organización.

Las tareas a desarrollar son:

➤ Verificar los datos de las Solicitudes de Trabajo, verificar que están correctamente cumplimentadas.

➤ Devolver, pasando la solicitud de trabajo a estado “DV”, aquellas Solicitudes no urgentes que entienda no deben ser ejecutadas, presenten datos significativos incorrectos, o que estén duplicadas, describiendo en el campo de comentario: quién las devuelve y dando una explicación del motivo. Será responsabilidad del solicitante revisar diariamente las órdenes de trabajo en estado DV del área de su competencia.

➤ Aceptar la OT

Una vez comprobados y depurados los datos, si el trabajo se considerará aceptado se asignarán el planificador y coordinador (o mando intermedio, este es mi puesto en la estructura) correspondientes; y se cambiará el estado de la Solicitud a EJ (EJECUTABLE), EE (EN EJECUCIÓN) para las Prioridades 0 (Trabajos de ejecución Inmediata) o a PENDIENTE DE PLANIFICACION (PP) para el resto de Prioridades, convirtiendo la Solicitud en Orden de Trabajo.

5.3 Planificación de las OT's

Los objetivos perseguidos con la planificación de los trabajos a realizar son principalmente los siguientes:

➤ **Establecer el método de trabajo** a emplear, determinando los materiales y repuestos, útiles y herramientas, mano de obra y tiempo necesarios para la ejecución de los trabajos. Los métodos de trabajo constituyen el capital de conocimiento de Mantenimiento y se hace necesaria la supervisión propia durante la ejecución, para garantizar que ésta se realiza con la calidad y la duración establecidas.

➤ **Establecer y controlar los riesgos** de la realización de las actividades del trabajo (contenidas en el Plan de Trabajo), asignando el Plan de Seguridad adecuado.

➤ **Evitar improductivos** generados por desconocimiento detallado del trabajo a realizar, por insuficiencia de recursos de mano de obra, materiales o medios para la ejecución del trabajo.

➤ **Garantizar la eficiencia** en la distribución de recursos y la nivelación de la carga de trabajo, permitiendo la confección de programas de mantenimiento diarios que permitan la utilización máxima de los recursos disponibles.

La planificación de la carga de trabajo diaria, será realizada por los planificadores asignados a cada especialidad de Mantenimiento, y que realizarán fundamentalmente las siguientes actividades:

Planificación de tiempos: La estimación debe ser lo más correcta posible, basada en la avería más probable según la experiencia y el histórico del equipo. Esta estimación será realizada por cualquiera de los métodos ya conocidos (estimación directa, UMS o Planes de Trabajo).

Planificación de materiales: Los planificadores se encargarán de realizar la estimación del material necesario para la ejecución del trabajo, activando la lista de materiales y comprobando las existencias de almacén.

La utilización de listas de almacén para retirar el mismo día se hará únicamente en caso necesario (materiales que no se han podido prever y trabajos urgentes imprevistos).

Planificación de herramientas especiales: Se incluirá en la planificación de los trabajos las herramientas especiales necesarias para la ejecución, entendiendo por herramientas especiales las que normalmente un operario no lleva a cualquier trabajo.

Finalizada la planificación del trabajo, se cambiará el estado de la orden a TRABAJO PLANIFICADO CON CAUSA DE RETRASO (PN) si existen causas de retraso que impidan su ejecución y convirtiéndose en CARGA DE TRABAJO NO EJECUTABLE, hasta el momento en que desaparezcan dichas causas. Si no existen causas de retraso se cambiará su estado al de EJECUTABLE (EJ) y pasará a la

CARGA DE TRABAJO EJECUTABLE. En mi caso supondré todos los trabajos ejecutables o que ya han pasado por PN en caso de haber sufrido algún retraso.

Planificación en función de la urgencia de las intervenciones

Para los trabajos aceptados se actuará en función de su urgencia o prioridad con los siguientes criterios:

➤ Trabajo de Ejecución Inmediata. Trabajo muy urgente (Prioridad 0).

Debido a la urgencia para iniciar los trabajos, la emisión de Tareas y la cumplimentación del ciclo de la OT se harán, si fuese necesario, una vez terminados los trabajos. Se interrumpirán los trabajos en curso, rompiendo la programación, pero siempre en condiciones de seguridad. Las urgencias cero generadas fuera del horario de trabajo supondrán una llamada del personal de retén (personal de guardia).

➤ Trabajo Urgente (Prioridad A).

Se dará prioridad a estos trabajos, con el objetivo de que se inicien los trabajos antes de 72 horas, realizando una planificación de los trabajos a nivel de:

- Determinación del ejecutante principal.
- Asignación de los recursos principales. Mano de obra propia (M.O.P.) o contratada (M.O.C.).
- Petición y comprobación de la existencia de los materiales necesarios. (lista de materiales)
- Solicitud de ayudas a otros grupos (TAREAS de auxilio).

➤ Trabajo de prioridad normal o no urgentes. (Prioridad B).

Se realizará una estimación previa de todos los trabajos de este grupo, en términos económicos y de horas hombre necesarias. Para realizar esta estimación, el Planificador utilizará las siguientes fuentes de información:

- Datos UMS(estudios de tiempos por tipo de trabajo).
- Experiencia personal y consulta con los ejecutantes responsables.
- Historial de reparaciones en casos repetitivos.

- Planes de Trabajos Estándar.
- Formación recibida en valoración de trabajos.

➤ **Trabajo de parada (Prioridad C).**

Son los trabajos menos urgentes para los que suele haber mucho tiempo de planificación. Se ejecutarán en paradas previstas o imprevistas. Durante las paradas se ejecutan muchos trabajos de todas las especialidad por lo que han de estar perfectamente planificados y coordinados.

5.4 Programación

El Planificador con la información de la que dispone y con la experiencia adquirida, consensuado en la reunión diaria de coordinación con los M.I (mandos intermedios) y con el Jefe de Especialidad, realizará una propuesta de programación de la OT indicando la fecha de comienzo y finalización, dejando la OT en estado EJ; esta información será confirmada por los M.I en la reunión diaria con Operación (solicitante de la OT).

Al realizar la propuesta de programación se intentará agrupar los trabajos por Localización, a fin de minimizar los tiempos perdidos en firmas de permisos de trabajo y desplazamientos.

El Programa de Trabajos de Mantenimiento a realizar el día siguiente se hará con las OT's ejecutables sin causa de retraso.

Los M.I recogerán diariamente en la reunión de la mañana las preferencias de Producción en cuanto a trabajos a realizar en los días siguientes, con esta información el planificador revisará los trabajos pendientes y de la confección del programa de trabajo diario, siguiendo los siguientes criterios:

➤ Cada Especialidad gestionará los trabajos de su especialidad y responsabilidad, actuando sobre la Carga de Trabajo pendiente.

➤ Diariamente programará el trabajo a efectuar en los próximos 3 – 5 días, teniendo en cuenta las fechas planificadas y las fechas de necesidad reflejadas por el peticionario. **En función de la carga de trabajo se podrá ir al día o tener mayor horizonte de trabajo si hay trabajos en cola.**

➤ Esta programación será compatible con los recursos disponibles y dejará margen de actuación ante urgencias e imprevistos. Este margen se conseguirá, incorporando a la programación diaria, trabajos con holgura entre la fecha de planificación y la necesidad (trabajos no urgentes), como pueden ser las reparaciones no críticas (urgencias B) o los Trabajos de Mantenimiento Preventivo. **No obstante la programación se podrá romper por una urgencia cero y las urgencias A tendrán prioridad ante las B.**

➤ Así mismo se utilizará la programación a 3 y 5 días vista como bolsa de trabajo ante posibles roturas de programación, minimizando así las pérdidas de tiempo por espera de asignación de trabajos.

➤ En aquellos casos en los que estén implicadas varias especialidades, y por la naturaleza del trabajo puedan existir complicaciones o ineficiencias durante la ejecución, el M.I de la actividad principal se encargará de coordinar las intervenciones de cada uno de los ejecutantes, con el objetivo de agilizar la resolución.

La preparación de un trabajo para iniciar el día siguiente implicará que:

- Los materiales y repuestos necesarios están disponibles.
- Las Ayudas solicitadas han sido facilitadas.
- Se dispone del herramental y recursos especiales previstos.
- El equipo sobre el que se debe actuar estará preparado.
- Habrá personal disponible para ejecutarlo.
- Se dispone de los planos, normas técnicas, procedimientos de trabajo y medidas de seguridad necesarios.

Una vez comprobados los puntos anteriores cada M.I solicitará el “Permiso de Trabajo” (PT). Dicho documento contractual se firma entre el solicitante (mando intermedio), el ejecutante (operario\s de mantenimiento) y el autorizante (el solicitante del trabajo, energías en este caso). Este documento conlleva cierto tiempo de rellenar que está contemplado en los tiempos totales de ejecución de cada OT.

Obligaciones de Producción para el cumplimiento del Programa de Trabajo

El incumplimiento del Programa Diario de trabajos es una importante causa de ineficiencia para la Organización de Mantenimiento.

La ejecución del Programa depende tanto de la correcta actuación de Mantenimiento como de la coordinación de los medios necesarios por parte de Producción. Se observarán las siguientes acciones con el objetivo de garantizar su cumplimiento:

➤ Diariamente los Jefes de Unidades y supervisores de Operación se reunirán con los M.I (mandos intermedios), para acordar aquellos trabajos que por su prioridad, consideran que deben ser incluidos en el programa de trabajos de los próximos días; nunca del día actual, ello conllevaría la emisión de una urgencia “0”.

➤ Los M.I son los encargados de transmitir a los Planificadores de las Especialidades dichas preferencias. Con esta información, los Planificadores confeccionan el Programa de Trabajos y modificarán las fechas propuestas para las OT si fuese necesario.

➤ Una vez disponible el informe de Programación de trabajos, éste adquiere el grado de compromiso entre las dos organizaciones, siendo ambas responsables de su cumplimiento. Producción será responsable de coordinar los medios que dentro de su ámbito de actuación, sean necesarios para ejecutar los trabajos de Mantenimiento.

Obligaciones de la Empresa Contratista para el cumplimiento del Programa de Trabajo

Cuando la ejecución de los trabajos va a ser realizada por una Empresa Contratista, la optimización de los recursos depende necesariamente de la correcta programación de actividades por parte de ésta. Para que esto sea posible se entregará al contratista, con antelación suficiente, el Programa de Trabajo.

Las bases de funcionamiento son las siguientes:

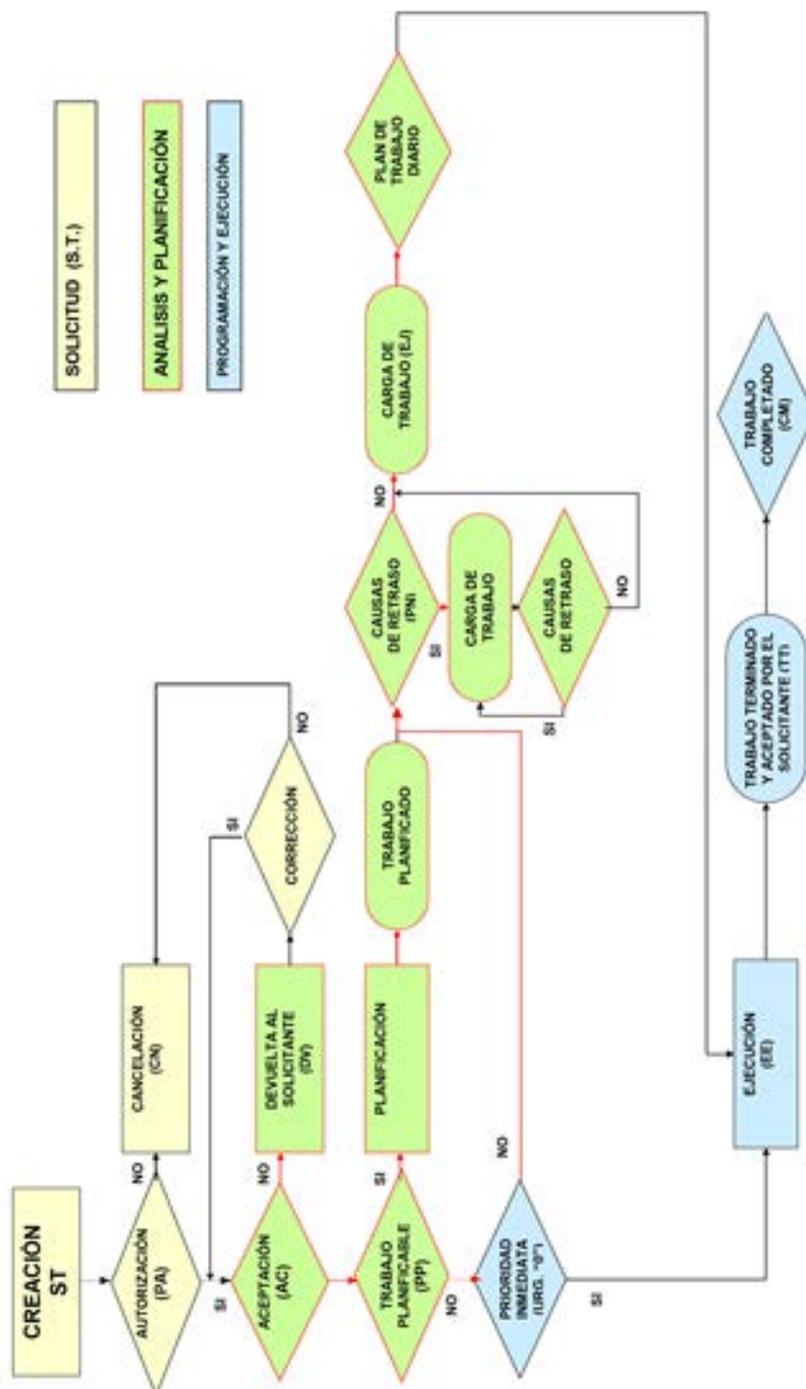
➤ El Responsable del contratista contactará diariamente con los Mandos Intermedios de las especialidades, para efectuar una reunión denominada de “Programación Diaria”, con el objeto de programar los trabajos a realizar en los próximos días. En esta reunión se concretarán los trabajos a efectuar y se entregará la documentación necesaria para los trabajos planificados. La documentación contendrá la siguiente información:

- Orden de Trabajo con la descripción de la avería o de la intervención, el plan de trabajo correspondiente y las fechas de inicio/finalización.

- N° Permiso de Trabajo, para su cumplimentación y tramitación previa a la realización del trabajo.
- Relación de materiales necesarios, a retirar de Almacén, cuando los haya.
- Información adicional, como planos, equipos adicionales a utilizar, etc.
 - Una vez definidos los trabajos a efectuar en los próximos días el contratista retirará los materiales necesarios para la ejecución de aquellos trabajos previamente planificados, del punto que se haya fijado como entrega de los citados materiales (Taller, Unidad, Almacén)
 - Los Responsables de Ejecución del contratista, con la antelación necesaria para que no se produzcan retrasos en el comienzo habitual de la jornada de trabajo, comprobará que el permiso de trabajo este cumplimentado, autorizado y firmadas todas y cada una de las comprobaciones por el Operador de Campo ó Responsables de área, antes del inicio de los trabajos.
 - El Mando Intermedio debe asegurarse al inicio de su jornada que los trabajos bajo su responsabilidad se inician sin retrasos ni imprevistos.
 - Antes de finalizar la jornada el Jefe de Obra del contratista contactará con el Mando Intermedio encargado de la supervisión para efectuar una corta reunión comunicándose el estado en que quedan los trabajos y definir aquellos que a juicio de Repsol sea necesaria su continuidad.
 - El Contratista deberá entregar al Mando Intermedio encargado de la supervisión la documentación correspondiente a los trabajos realizados el día anterior. Como parte de esta información se relacionarán los improductivos y sus causas, que se produzcan durante la realización de los trabajos.
 - Además entregará el Informe de reparación del trabajo y el estadillo de Problema -Causa-Solución, una vez finalizada la OT.

Con objeto de conocer los parámetros que definen la eficiencia de los trabajos realizados, y por tanto el grado de utilización de la mano de obra y el rendimiento de ésta, el Contratista deberá aportar datos a solicitud de Repsol en cualquier momento de carga de trabajo en H/H (horas hombre) pendiente, número de órdenes de trabajo pendientes, causas de retraso, incumplimiento de las fechas de programación, H/H reales de los trabajos realizados, cálculo de rendimientos por operario en base a las horas planificadas y reales y cualquier otra información que se le solicite en relación con la carga de trabajo pendiente.

5.5 Flujograma



6. SIMULACION MEDIANTE METODO MONTECARLO

El proyecto tiene como objetivo elaborar una simulación para su posterior empleo en la optimización de recursos. Para ello es necesaria la técnica apropiada que incorpore las distintas variables que intervienen en el proceso de las órdenes de trabajo y además es necesario en primer lugar tener claro que se entiende por simulación:

Thomas T. Goldsmith Jr. y Estle Ray Mann (1947) la definen así: "Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos."

Una definición más formal, formulada por R. E. Shannon (1975) es: "La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema."

En este caso se pretende obtener la variabilidad de una o varias variables importantes en el proceso de resolución de Ordenes de trabajo en Instrumentación y la interacción entre ellas mediante una hoja de cálculo, que aportará información valiosa sobre ociosidad, saturación de trabajo, incumplimientos o cumplimientos de prioridades, según el modelo diseñado. Esta información se podrá emplear en la toma de decisiones importantes sobre la organización de personal, la necesidad de incorporar o no más recursos humanos, identificar qué eslabón del modelo de gestión es susceptible de ocasionar retrasos en la resolución de la avería, los costes asociados, etc.

Esta simulación es del tipo probabilística con variables aleatorias que siguen una determinada función de distribución continua, es decir, se refieren a situaciones con un limitado número de sucesos posibles, que siguen una determinada función de densidad y que será la que habrá que determinar como punto de partida. En éste punto es pues donde se incorpora el **Método Montecarlo**, el cual es el idóneo como técnica matemática para la simulación, en concreto, de variables probabilísticas.

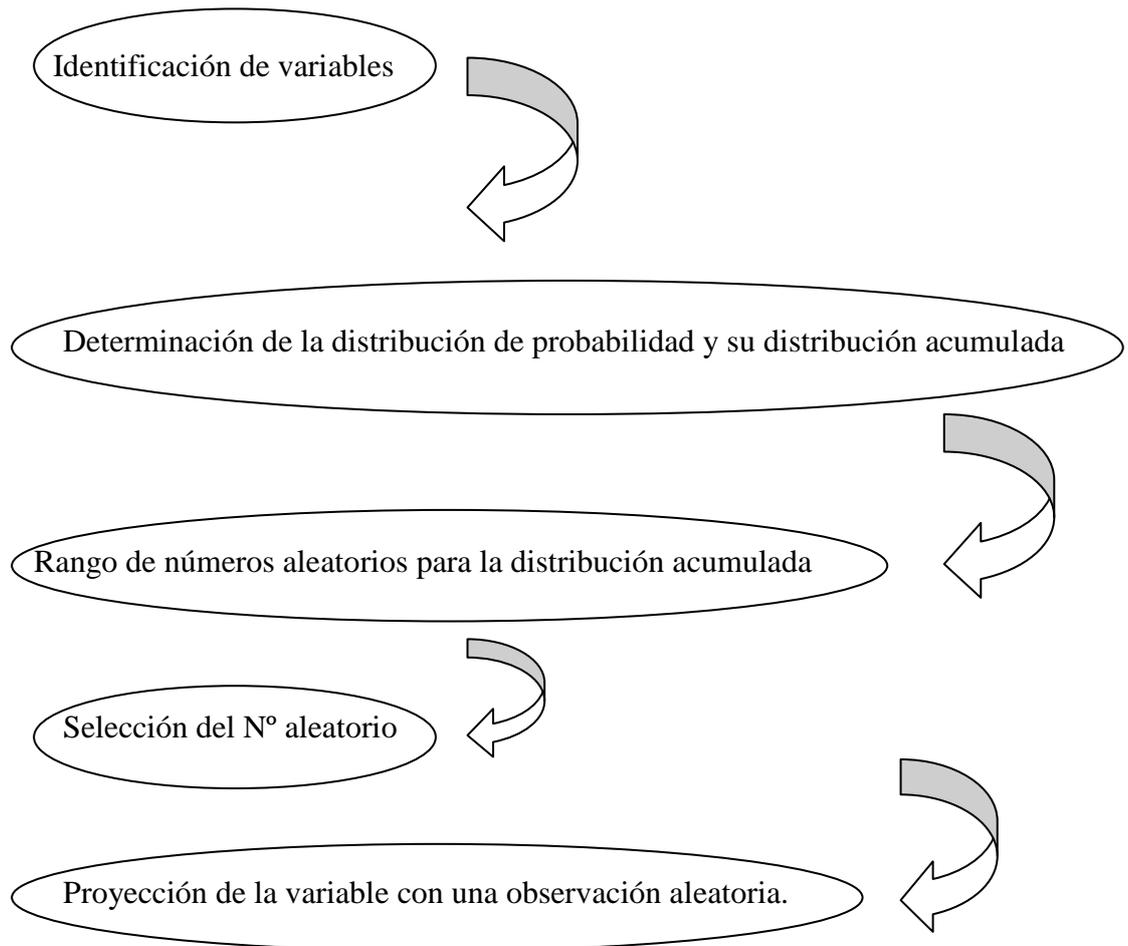
6.1 Método Montecarlo

La elección de esta técnica matemática, además de su amplia utilización para el estudio de variables probabilísticas, permitirá descomponer el modelo de gestión a estudiar en varias partes (relacionadas con las variables a simular) y a partir de su implementación en una hoja de cálculo Excel, permite interactuar y relacionar las variables.

El problema que puede generar este método es la dependencia de los datos históricos disponibles y empleados. Por ejemplo en el caso de las reparaciones en la refinería, los tiempos disminuyen acorde a las mejoras técnicas y organizativas. Para minimizar este efecto los datos obtenidos son recientes, son todas las órdenes de trabajo emitidas desde el área de Energías al taller de instrumentación de energías (a partir de ahora TIE) en el año 2013. Esto debe reflejar unos resultados altamente fiables.

La metodología de simulación Montecarlo conlleva las siguientes fases:

- Identificación de las variables características del modelo.
- Obtención de las funciones de probabilidad de cada variable que indiquen los valores que pueden tomar, junto a su probabilidad de aparición dentro del modelo.
- Creación de una tabla de probabilidades acumuladas y obtención de la tabla de intervalos que refleje la correspondencia de intervalos de probabilidades acumuladas y los rangos correspondientes formados por números aleatorios.
- Selección de un número aleatorio para proyectar el correspondiente valor de la variable.



6.2 Identificación de las variables

La descripción de las variables del proceso a simular es una parte vital cara a la interpretación futura de los resultados, por lo que hay que definir las de forma clara. En este caso las variables a simular serán:

- TIEMPO ENTRE OT`s. Es el tiempo que transcurre entre dos órdenes de trabajo consecutivas.
- FECHA EMISION-FECHA PROG. Es el tiempo que transcurre desde el momento que se emite la orden de trabajo hasta el momento en el cual se ha programado su ejecución. Se podría decir que es el tiempo de gestión y preparativo que transcurre desde que se recibe la Ot hasta que se ejecuta. Son las fases de recepción y aceptación, planificación y programación anteriormente descritas.

- TOTAL HORAS TRABAJADAS. Es el tiempo que se tarda en la ejecución y finalización de trabajo.
- PRIORIDAD. 0, A, B o C como se vio anteriormente. Es una variable cualitativa.

Partiendo de los datos ya mencionados del año 2013, ordenados y filtrados se obtendrá la simulación. El objetivo será ver si el sistema de gestión es válido y se cumplen las fechas de programación atendiendo a las prioridades de las ordenes de trabajo, o si por el contrario deben prevalecer los servicios a las prioridades. Además se podrá establecer el personal necesario para la consecución de dicho objetivo. El personal de mantenimiento trabaja a jornada ordinaria de 8:00 a 17:00 para trabajos ordinarios (prioridad A y B) y se dispondrá de un retén a 24 horas para dar servicio a las urgencias 0 emitidas fuera de jornada. Se ha de recordar que la refinería es un proceso continuo a 24 horas, con personal a turnos en Operación. En caso de no conseguir los resultados esperados se podría aumentar la plantilla a jornada ordinaria o añadir personal de mantenimiento a turnos.

6.3 Toma, registro y ordenación de los datos

Como es sabido, el éxito de la simulación y de cualquier estudio de tiempos, es realizar una correcta toma de datos. Es quizás la parte que más tiempo y dificultad conlleva, pero al mismo tiempo la que garantiza unos resultados verídicos, fehacientes y correctos si se hace de la forma más exigente posible.

En este caso como ya se ha explicado se trata de los datos del año 2013 de las OT's emitidas al taller de instrumentación que da servicio al área de Energías (TIE) en la refinería de Cartagena, resultando un total de 1240 OT's registradas y analizadas en el presente proyecto mediante hoja de cálculo. Dichos datos hay que ordenarlos y filtrarlos de forma conveniente. En el CD se adjuntan los datos filtrados. Posibles causas de valores a eliminar:

- Variable TIEMPO ENTRE OT'S.

Valores de tiempo "0" debido por ejemplo a duplicación o generación de tareas masivas por error. Una práctica habitual que facilita la generación de OT es la duplicación de una existente, esto requiere la introducción de menos datos y agiliza su

emisión, el problema es que se puede introducir por error un número distinto a “uno” y generar varias, con lo que éstas aparecerían con tiempo de ejecución de OT de 0 horas. Esto mismo sucede al generar tareas (auxilios) a otras especialidades de mantenimiento desde una OT existente.

- Variable EMISION-FECHA PROG.

Esta es una variable que nace de la diferencia de la fecha de programación menos la fecha de emisión (ambas fechas son datos de origen y mediante la diferencia de ambas obtengo un tiempo que se convierte en una variable de la simulación). Esta variable sumada a la mayor entre la hora calculada de entrada al sistema o la hora programada de n-1, dará la hora calculada de inicio del trabajo. Aquí los problemas surgen en la definición de la fecha de programación. Se trata de un proceso complejo (se vio en el ciclo de vida de la OT) que no siempre se realiza de forma correcta y eficiente. El día a día, las urgencias cero en ésta u otra área, problemas con la firma de permisos de trabajo, problemas con las plantas, problemas de personal, problemas de coordinación etc. impiden en muchas ocasiones que dicha fecha no sea fiel a la realidad, puede ser que se ponga una fecha optimista que luego no sea posible cumplir o todo lo contrario, que se ponga una fecha conservadora y se ejecute antes de dicha fecha por múltiples motivos. Es por todo ello que se han eliminado tiempos excesivos (no reales). Periodos cortos de este valor responden a urgencias cero.

- Variable TOTAL HORAS TRABAJADAS.

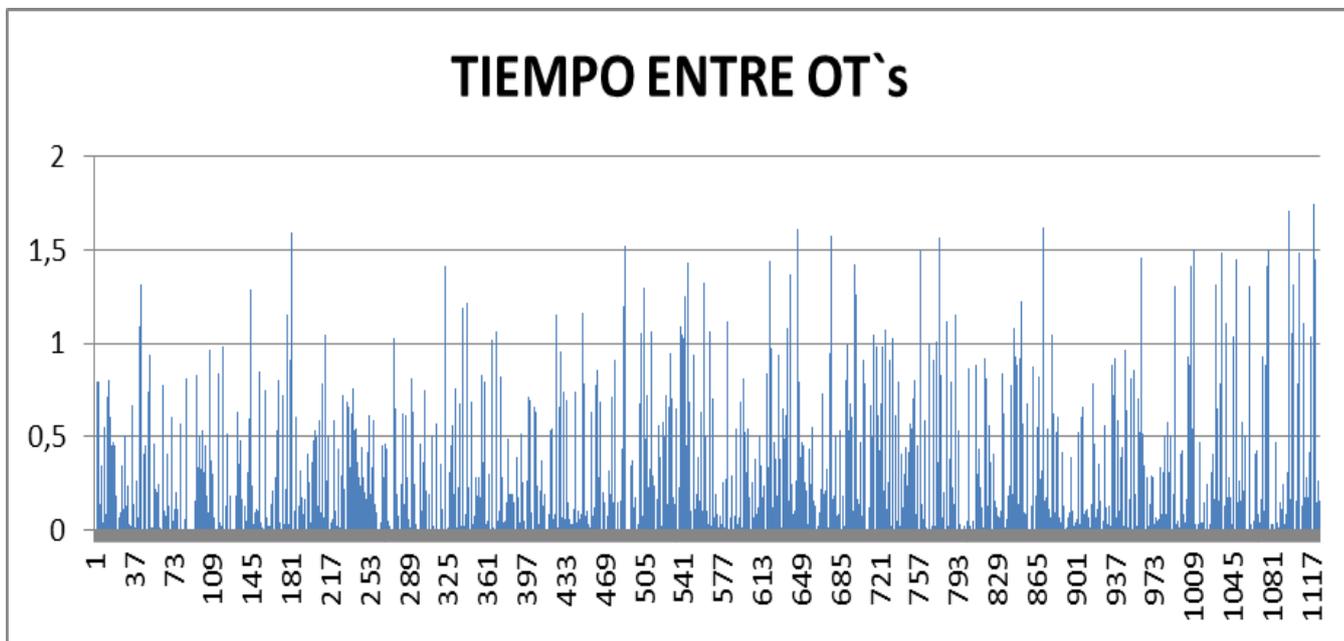
Esta variable nace de un “punteo” (son tablillas generadas a mano por los operarios donde contabilizan el tiempo empleado en cada trabajo), dicho punteo pasa a la OT a través de otra persona (gestores de sistemas). El problema nace del factor humano en el momento del punteo: órdenes con punteo cero, punteos excesivos etc.

- Variable PRIORIDAD.

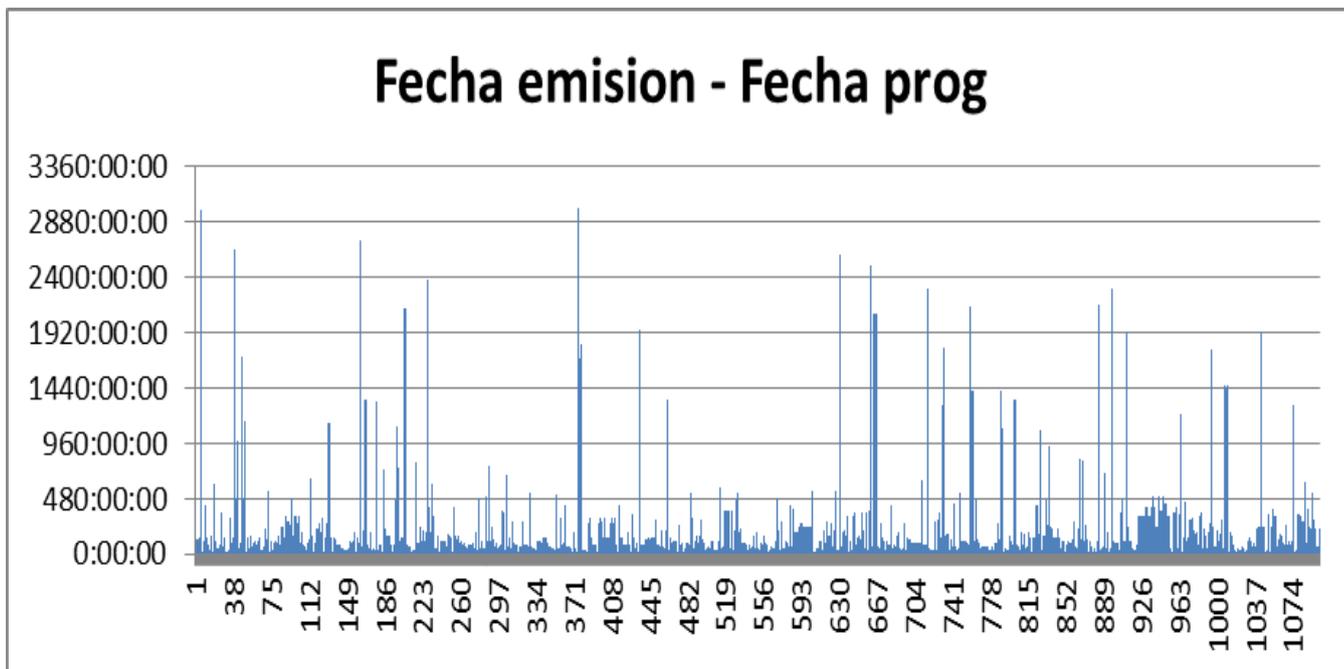
No se ha visto alterada.

A continuación se exponen dichos en datos en forma gráfica:

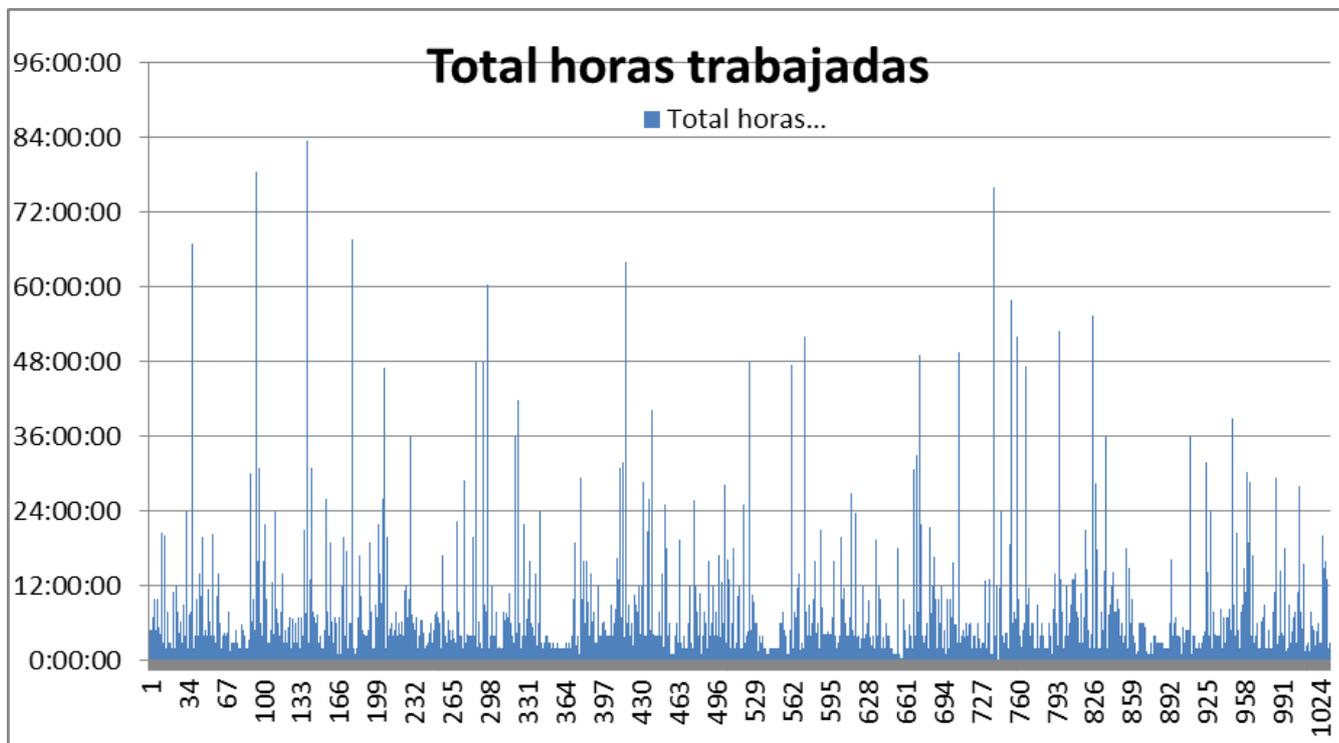
- Variable TIEMPO ENTRE OT'S.



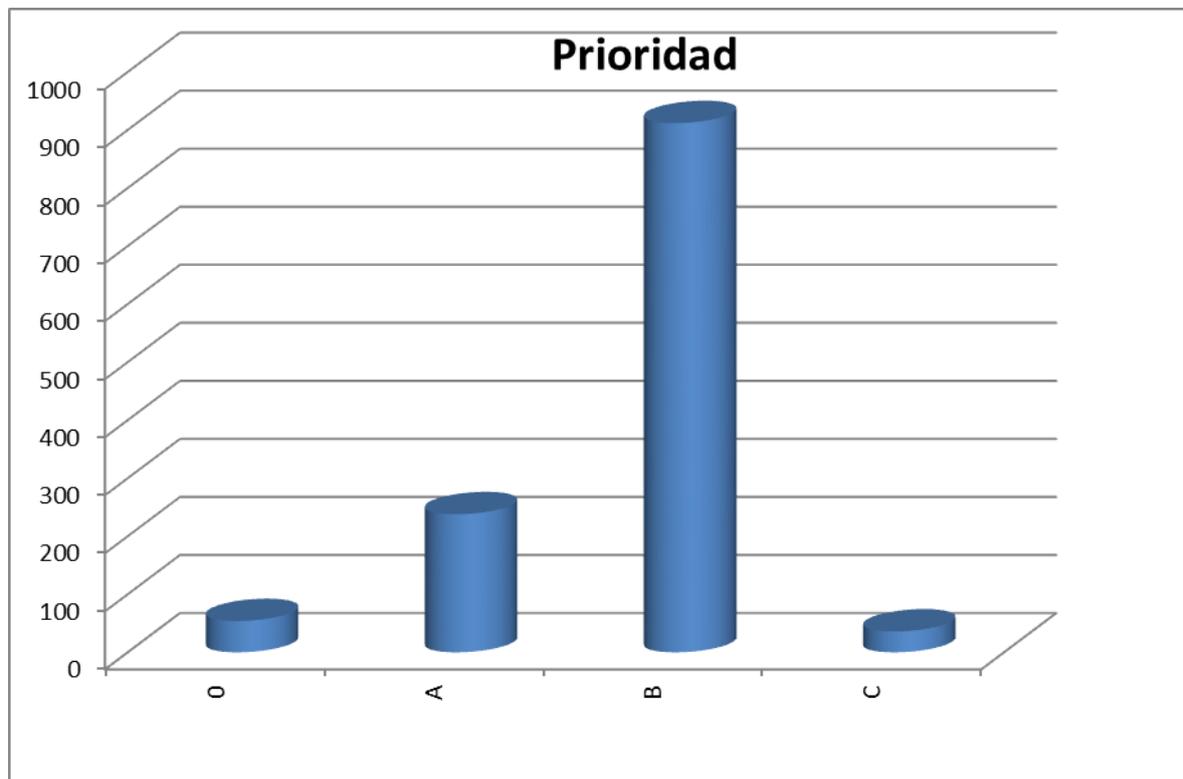
- Variable EMISION-FECHA PROG.



- Variable TOTAL HORAS TRABAJADAS.



- Variable PRIORIDAD.



Observando los gráficos se pueden obtener ciertas conclusiones de manera general. Se trata de una población muy elevada con valores muy dispares, que a priori no siguen una distribución, pero el método Montecarlo de simulación considerará la probabilidad real de aparición de dicha variable, para lo que es necesario la obtención de la función de densidad de cada variable que permita obtener la probabilidad de aparición de la misma en el conjunto de datos para la muestra estudiada.

7. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA.

A continuación se pasará a realizar cada uno de los pasos y cálculos necesarios descritos en el apartado 6.1 sobre las fases de las que consta la construcción de la hoja de cálculo Excel que implemente el método Montecarlo de Simulación.

7.1 Obtención de las funciones de probabilidad para las variables a simular

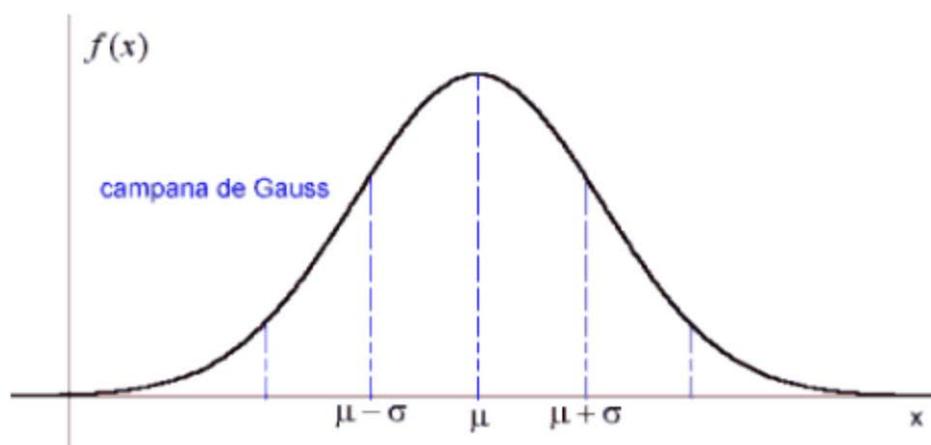
En este apartado se van a exponer los cálculos matemáticos necesarios para obtener las funciones de probabilidad de las variables comentadas en el apartado anterior. Es un paso crucial para el correcto desarrollo del método, ya que influirá de forma considerable en los resultados obtenidos. Al mismo tiempo hay que tener en cuenta las dificultades que puede llevar este cometido, ya que encontrar una función de probabilidad que represente la frecuencia de aparición de una variable en una determinada muestra, en este caso bastante elevada, puede ser dificultoso, por ello se va a intentar comprobar a través de una función muy típica en la estadística industrial, y que será la de intentar obtener la función de densidad a través de una función de *Distribución Normal*.

7.1.1 Adaptación a una función de Distribución Normal

Una función de distribución normal, como se sabe, viene definida esencialmente por dos parámetros, que son la media del conjunto de datos dentro de la población y su desviación típica $N(\mu, \sigma)$, donde μ es la media y σ la desviación. La función de densidad que corresponde pues a una distribución normal, viene dada por la expresión:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

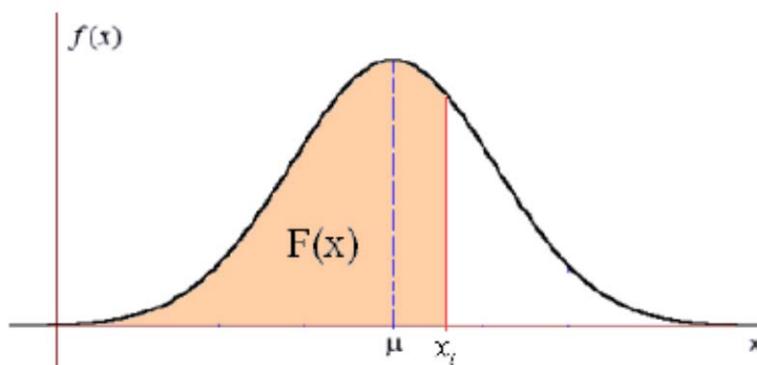
Cuya representación gráfica sería:



Función de distribución correspondiente a una variable aleatoria X distribuida según una $N(\mu, \sigma)$ será integrando la función de densidad de probabilidad:

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad -\infty < X < +\infty$$

Cuya representación gráfica es:



Suponiendo que los conjuntos de datos que tenemos para cada variable a analizar siguen una función de distribución normal, se dispondría de una expresión

sencilla para obtener las probabilidades de aparición de dicha variable en la muestra simplemente calculando la media y la desviación típica de los datos, lo cual resultaría bastante sencillo. Suponer esto sería un error, ya que podría no representar la realidad, por lo que sería muy atrevido. Por lo tanto lo que hay que hacer es demostrar si realmente se trata o no de una distribución normal. Se va a proceder a ello.

Comprobación matemática de requisitos para una distribución normal.

Para que una distribución sea normal, debe cumplir ciertos requisitos, que son los que en este apartado del proyecto se analizan.

Se propondrán pues dos pruebas diferentes pero complementarias que asegurarán si podemos considerar la distribución normal como función representativa para la obtención de las probabilidades de aparición de cada valor de cada variable en el conjunto de la población, y que son el **Análisis de Simetría** y el **Test basado en el Coeficiente de Curtosis**. Para ello se realizará paso a paso el análisis de la variable **Total Horas Trabajadas** para mostrar la metodología usada y el resto de variables (cuantitativas) se analizan directamente con la hoja de cálculo y se expondrán los resultados en el ANEXO 3 del presente proyecto. Los datos de las variables están expresados en horas y minutos (Sistema Sexagesimal) por lo que para realizar los cálculos he de pasar al sistema decimal. Finalmente se mostrarán los datos en ambos sistemas.

Test basado en el Análisis de Simetría (Variable TOTAL HORAS TRABAJADAS).

El análisis de simetría como herramienta para validar una distribución determinada como normal es muy importante, debido a dos razones: la primera porque es una condición necesaria (pero no suficiente) para la normalidad de la distribución; en segundo lugar porque algunos test no paramétricos que constituyen las alternativas naturales de los correspondientes paramétricos, requieren de la simetría del modelo. Para calcular la asimetría, una posibilidad, es utilizar el llamado ***coeficiente de FISHER*** que representaremos como **G₁** y responderá a la siguiente expresión matemática:

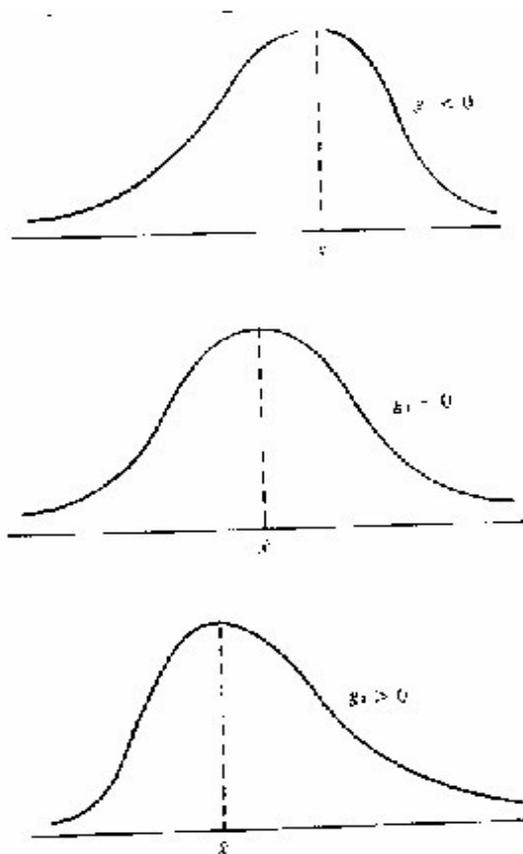
$$G_1 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{nS^3}$$

Según sea el valor de G_1 , diremos que la distribución es asimétrica a derechas o positiva, a izquierdas o negativa, o simétrica, o sea:

Si $G_1 > 0 \rightarrow$ la distribución será asimétrica positiva o a derechas (desplazada hacia la derecha).

Si $G_1 < 0 \rightarrow$ la distribución será asimétrica negativa o a izquierdas (desplazada hacia la izquierda).

Si $G_1 = 0 \rightarrow$ la distribución será simétrica.



Dónde:

\bar{x} = media muestral

S = cuasidesviación típica muestral, cuyo valor se obtiene:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n-1}}$$

En definitiva el valor de G_1 toma el valor 0 en distribuciones simétricas, y un valor positivo o negativo en distribuciones asimétricas a la derecha e izquierda, respectivamente. Evidentemente en muy raras ocasiones el valor de G_1 será cero, por lo que habrá que contrastar cuando esa diferencia con cero es debido al azar o debido a que realmente la distribución es asimétrica. En este caso se estudiará el hecho de que el valor esperado para G_1 es cero en una distribución simétrica, y que su desviación típica es:

$$\sqrt{\frac{6}{n}}$$

ya que bajo la suposición de normalidad el coeficiente de asimetría tiene distribución asintótica normal de media cero y varianza $6/n$, (cuando el número de datos sea al menos de 50, como es el caso). Por tanto tendremos que el estadístico de contraste será:

$$\text{Si } \left| \frac{G_1}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \right| \geq 2 \quad \text{Rechazamos la simetría de los datos}$$

$$\text{Si } \left| \frac{G_1}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \right| \leq 2 \quad \text{Aceptamos la simetría de los datos}$$

Si se quisiera apurar si cabe aún más aceptando unos márgenes de significación, se podría realizar un contraste de hipótesis estadístico considerando la hipótesis nula H_0 "los datos son simétricos", frente a la alternativa H_1 "los datos no son simétricos". Si se considera un tamaño muestral lo suficientemente grande (en las bibliografías se considera $n > 50$, que para los más de mil datos disponibles es más que suficiente), fijado un nivel de significación α , tenemos que:

$$\text{Se acepta } H_0 \text{ si } \left| \frac{G_1}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \right| < \frac{Z_\alpha}{2}$$

$$\text{Se rechaza } H_0 \text{ si } \left| \frac{G_1}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \right| \geq \frac{Z_\alpha}{2}$$

Expresada la metodología de esta prueba matemática, y las expresiones que la conforman, se aplicarán para el conjunto de 1032 datos de la variable filtrada “TOTAL HORAS TRABAJADAS”, con ayuda de la hoja Excel:

	MEDIA	Error típico	Mediana	Moda
Sexagesimal	7:34:04	0:17:50	4:00:00	2:00:00
Decimal	7,57	0,30	4,00	2,00

Max	Min	Rango	Total
83:30:00	0:06:00	83:24:00	1032
83,50	0,10	83,40	

TOTAL HORAS TRABAJADAS		
Desviación estándar	Coeficiente asimetría	Varianza
9:33:25	3:46:52	91:16:54
9,56	3,78	91,28

Como se comprueba G_1 es mayor que cero y además sustituyendo su valor (3,78) en la expresión:

$$\left| \frac{G_1}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \right| = 49,61 \geq 2$$

Por estos dos motivos no podemos aceptar la simetría de los datos de ésta variable. Aún queda otra opción consistente en realizar una transformación matemática de los datos de la variable para ver si ésta cumple el test de simetría. Dicha transformación consiste en la Transformación a la raíz cuadrada de los datos. Así realizando la raíz cuadrada de los datos obtenemos un nuevo valor de $G_1 = 1,98$, que mejora bastante el anterior resultado. Igualmente sustituyendo en la expresión:

$$\left| \frac{G_1}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \right| = 25,98 \geq 2$$

que aunque también mejora considerablemente, sigue estando muy lejos de cumplir las condiciones especificadas. El hecho de que la raíz cuadrada mejore los

resultados, hace suponer, en primera instancia, que distintas transformaciones (como por ejemplo a la raíz cúbica, logarítmica, etc.) podría hacer llegar a resultados satisfactorios en algún momento, aunque serían demasiadas suposiciones. Por ello se va a proceder a aplicar la segunda prueba (Curtosis) que se planteó para verificar la condición de normalidad de la distribución, de forma que si resultara exitosa, volveríamos al test de simetría para buscar la transformación adecuada y en caso contrario no sería necesario y se deduce que la distribución no puede ser normal para esta variable.

Test basado en el Coeficiente de Curtosis (Variable TOTAL HORAS TRABAJADAS).

Al igual que el coeficiente de asimetría G1 proporcionaba un valor numérico fácilmente interpretable en términos de simetría de datos, el coeficiente de Curtosis (k), mide si los datos y en consecuencia la distribución de la que proceden tienen colas menores que la normal ($k > 0$), mayores que la normal ($k < 0$) o aproximadamente normales ($k \approx 0$). El valor de éste coeficiente k, se puede calcular mediante la expresión:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(nS^4) - 3}$$

Una distribución simétrica de Curtosis aproximadamente cero puede ser calificada como de normal. La determinación de si la diferencia con cero de este coeficiente puede ser calificada de falta de simetría o debida al azar, debe ser de nuevo analizada mediante su distribución en el muestreo. Si se tienen suficientes datos (como es el caso), se verifica que "k" se distribuye aproximadamente como una normal asintótica de media cero, varianza $24/n$ y por tanto desviación típica:

$$\sqrt{\frac{24}{n}}$$

por lo que considerando la hipótesis nula H_0 de normalidad de la distribución frente a la alternativa H_1 de falta de normalidad del modelo, fijado un nivel de significación α , tenemos que el estadístico de contraste es:

Se acepta H_0 si: $\left| \frac{k}{\sqrt{\frac{24}{n}}} \right| < \frac{Z_{\alpha}}{2}$

Se rechaza H_0 si:
$$\left| \frac{k}{\sqrt{\frac{24}{n}}} \right| \geq \frac{Z_{\alpha}}{2}$$

Volviendo pues a sustituir todos los valores de la variable que se están considerando (habrá que recordar que se está usando primeramente los valores de la variable TOTAL HORAS TRABAJADAS), en las expresiones mencionadas o con la hoja de cálculo, se obtienen los siguientes resultados:

CURTOSIS	
18:19:30	Sexagesimal
18,32	Decimal

Como se ve, el valor $k=18,32$, está muy lejos del valor cero deseado. Lo que se verifica que ésta variable (y el resto también tal y como queda reflejado en las tablas del ANEXO 3) **NO cumplen** las condiciones necesarias de normalidad, por lo que hay que buscar otra forma de obtener las funciones de probabilidad de las variables.

7. 1.2 Ley de “Los Grandes Números”

Una vez que, desafortunadamente, no se ha podido obtener la función de probabilidad de las variables del proceso mediante una simple función basada en la distribución normal, hay que buscar otra forma matemáticamente de poder hacerlo. Para ello, y dado el carácter “caótico” que tienen los datos (tal y como se ha podido comprobar aplicando el test de normalidad y de Curtosis a las variables), se utilizará un método matemático que, lejos de ser complicado, permitirá obtener la probabilidad de aparición de cada valor de cada variable en el conjunto de la población de una forma rigurosa, y que en la rama estadística de las matemáticas se denomina “*Aproximación al método teórico de la distribución de probabilidad de un conjunto de datos por muestras grandes*”; (**Ley de los Grandes Números**).

Esta ley es bastante sencilla de interpretar y básicamente viene a indicar que la frecuencia relativa de los resultados de un cierto experimento aleatorio, tienden a estabilizarse en cierto número, que es precisamente la probabilidad, cuando el experimento se realiza muchas veces. En el contexto de teoría de probabilidad, esto viene a decir que el promedio de una secuencia de variables elegidas al azar con una

distribución de probabilidad común, converge a su valor esperado en el límite mientras el tamaño de la secuencia se aproxima al infinito. Para explicarlo de una forma sencilla, se pondrá un ejemplo.

Supongamos que se quiere obtener la probabilidad de aparición de una determinada cara de un dado cuando éste es lanzado al azar. Como es sabido, dicha probabilidad es $1/6$, pero si se lanza el dado al azar y se quiere saber la probabilidad de aparición que tiene de salir por ejemplo un “dos”, aunque se sabe que existe una esperanza de que esto ocurra una de cada seis veces, si tiramos el dado 6 veces se verá que probablemente no salga ni una vez el “dos”, o que por el contrario salga más de una vez, cuando en teoría, si lanzamos el dado 6 veces, probabilísticamente hablando existe una esperanza matemática de que al menos salga una vez; pero si en vez de lanzar el dado 6 veces, se lanza 12 veces, existen “más posibilidades” en la esperanza de que salga un “dos”; y si se lanza de nuevo el dado 24 veces en vez de 12, y así sucesivamente hasta el infinito, entonces se verá que el conjunto de apariciones de la cara del dado con el número “dos” será $1/6$, o al menos tenderá a serlo muy exactamente. Es decir, conforme aumenta el conjunto de lanzamientos, se irá demostrando efectivamente que la probabilidad de aparición de la cara del dado con el número “dos” será $1/6$. Esto viene a indicar que si $X_1, X_2, X_3...$ es una secuencia infinita de variables aleatorias que son independientes e idénticamente distribuidas con:

$$E(|x_i|) < \infty$$

y donde el valor esperado es μ , entonces se verifica que:

$$P\left(\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{X}_n = \mu\right) = 1$$

Para un conjunto de datos muy elevado, esto significa esencialmente que la probabilidad de aparición de un determinado valor de la variable dentro de una muestra bastante grande, coincide, prácticamente, con la frecuencia de aparición de dicho valor en dicha muestra. Para el caso particular del presente proyecto, que es calcular la probabilidad de aparición de cada variable, es totalmente aplicable ésta ley matemática, ya que se disponen de más de mil datos para cada variable analizada, por lo que dicha ley es aplicable a los propósitos expuestos.

7. 1.3 Cálculos de las probabilidades. Resultados

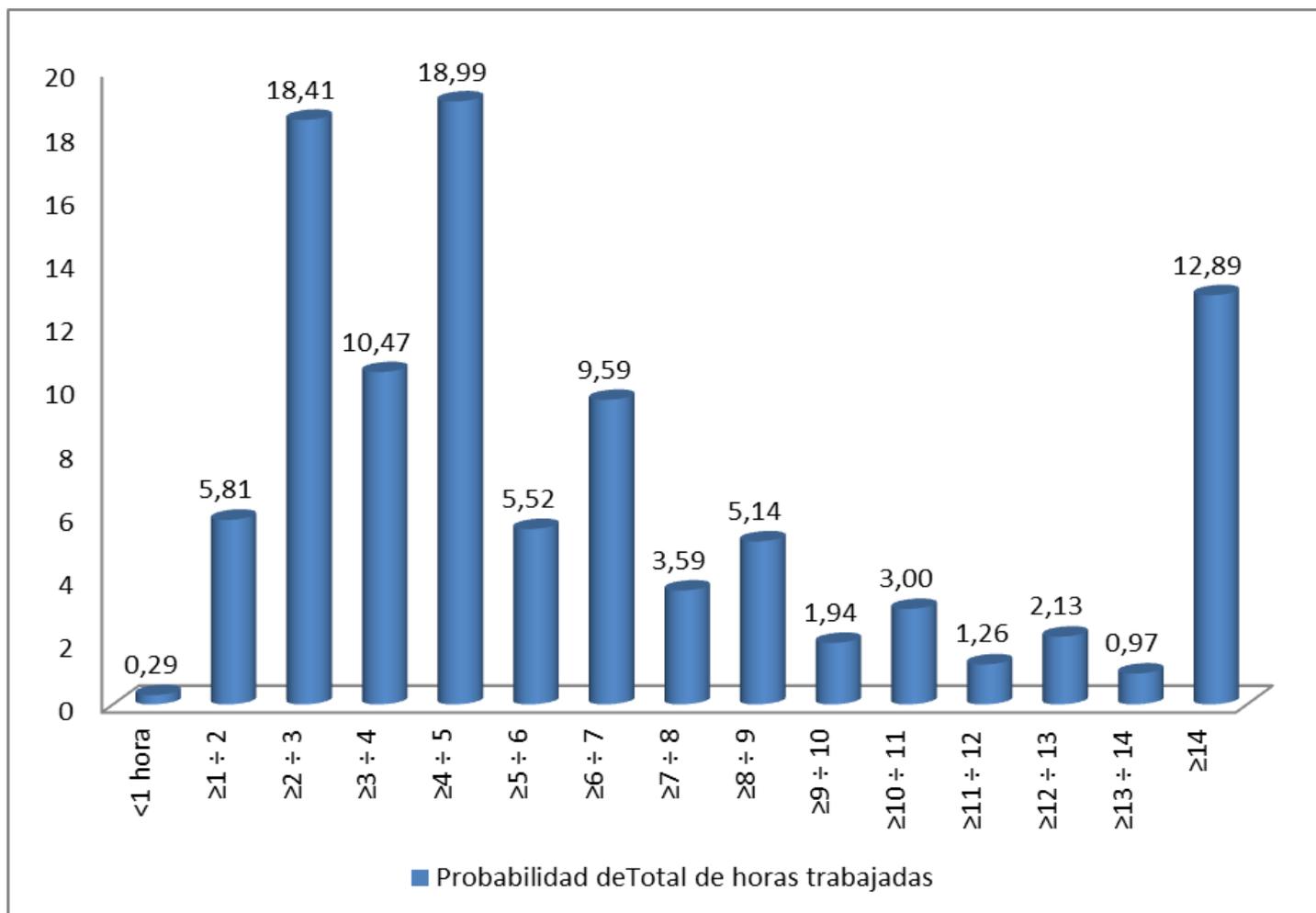
Una vez demostrado que la Ley de los Grandes Números es aplicable en el presente proyecto como herramienta de cálculo para obtener las probabilidades de aparición de cada valor de las variables en el conjunto de datos, se pasará a su obtención, para poder aplicar posteriormente de forma correcta el método Montecarlo a ésta simulación.

En este momento se pretende obtener básicamente la frecuencia de aparición de cada valor para cada variable. Pero, lógicamente, si se dispone de más de mil datos, no se va a obtener la probabilidad puntual de cada uno de dichos valores, sino que se tendrán que definir previamente unos intervalos, que cubran de una forma más o menos práctica el conjunto de datos. Para definir dichos intervalos o clases de datos dentro de la propia muestra, se utilizarán, las gráficas expuestas anteriormente en el punto 6.3 del presente proyecto, donde, para ser lo más exactos y rigurosos posible, se utilizarán intervalos más cortos en la parte de la muestra donde se concentren más valores. De esa forma, con un error prácticamente despreciable en las clases más significativas, se supondrá la misma probabilidad de aparición de los datos de dicha clase en el conjunto de datos. Una vez predefinidas las clases, se calculará, con ayuda de la hoja Excel, el número de veces que aparecen en la muestra los conjuntos de datos que conforman cada clase (frecuencia de aparición), correspondientemente dicho valor con la probabilidad buscada, aplicando la Ley de los Grandes Números comentada.

Para considerar la longitud y el número de clases a utilizar objetivamente, se utilizarán los datos tomados y expuestos ordenadamente en el apartado 6.3 del presente proyecto, y se realizarán los correspondientes cálculos para los datos de cada variable con la hoja Excel.

Variable TOTAL HORAS TRABAJADAS

Clase	Observaciones	%	% Acum	Rango
<1 hora	3	0,29	0,29	0-29
≥1 ÷ 2	60	5,81	6,10	30-610
≥2 ÷ 3	190	18,41	24,52	611-2452
≥3 ÷ 4	108	10,47	34,98	2453-3498
≥4 ÷ 5	196	18,99	53,97	3499-5397
≥5 ÷ 6	57	5,52	59,50	5398-5950
≥6 ÷ 7	99	9,59	69,09	5951-6909
≥7 ÷ 8	37	3,59	72,67	6910-7267
≥8 ÷ 9	53	5,14	77,81	7268-7781
≥9 ÷ 10	20	1,94	79,75	7782-7975
≥10 ÷ 11	31	3,00	82,75	7976-8275
≥11 ÷ 12	13	1,26	84,01	8276-8401
≥12 ÷ 13	22	2,13	86,14	8402-8614
≥13 ÷ 14	10	0,97	87,11	8615-8711
≥14	133	12,89	100,00	8712-10000
	1032	100,00		

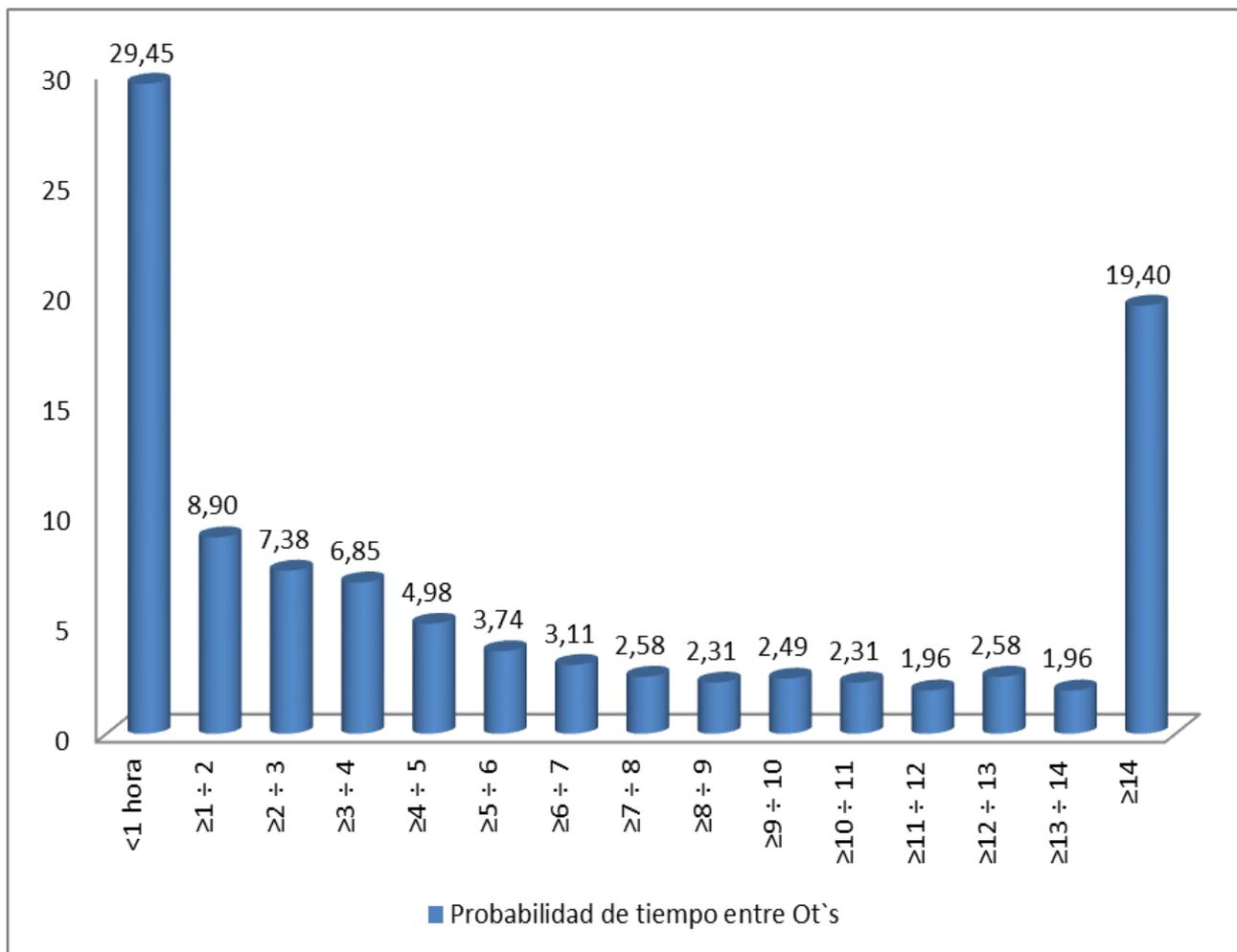


Se observa en la gráfica que la mayor parte de los trabajos se ejecutan entre 2 y 5 HH (horas hombre). Son trabajos relativamente cortos en el tiempo debido a la especialidad que se está tratando, Instrumentación. Esta especialidad trata un volumen elevado de órdenes de trabajo de corto plazo de ejecución y de una importancia para el complejo muy elevada ya que se encarga del buen funcionamiento de elementos que forman parte de los sistemas de control, monitorización, enclavamientos y seguridad de la planta. Son trabajos de relativa poca planificación, donde prima la agilidad para programar los trabajos, al contrario que especialidades como "Equipos dinámicos" (reparación de bombas, compresores, turbinas, etc.) o "Equipos estáticos" (reparación de columnas, tanques, depósitos, tuberías, etc.) donde al tratarse de grandes equipos se requiere de muchos medios, maquinaria, materiales, grandes equipos de personal, dando lugar a ejecuciones más largas en el tiempo pero también menor número de OT`s.

A la hora de introducir los datos de una clase en la simulación, he tomado como referencia el **mayor valor del rango de cada clase**. Lo he hecho para partir del valor "1" y no del cero. También podría haber cogido los valores centrales pero así evito trabajar con medias horas que no es habitual. Además en la práctica no se contemplan trabajos inferiores a una hora, ya que el simple hecho de firmar los permisos de trabajo, preparar los equipos y todo el proceso que conlleva el empezar a trabajar se supone como mínimo una hora.

Variable TIEMPO ENTRE OT`S

Clase	Observaciones	%	% Acum	Rango
<1 hora	331	29,45	29,45	0-2945
≥1 ÷ 2	100	8,90	38,35	2946-3835
≥2 ÷ 3	83	7,38	45,73	3836-4573
≥3 ÷ 4	77	6,85	52,58	4574-5258
≥4 ÷ 5	56	4,98	57,56	5259-5756
≥5 ÷ 6	42	3,74	61,30	5757-6130
≥6 ÷ 7	35	3,11	64,41	6131-6441
≥7 ÷ 8	29	2,58	66,99	6442-6699
≥8 ÷ 9	26	2,31	69,31	6700-6931
≥9 ÷ 10	28	2,49	71,80	6932-7180
≥10 ÷ 11	26	2,31	74,11	7181-7411
≥11 ÷ 12	22	1,96	76,07	7412-7607
≥12 ÷ 13	29	2,58	78,65	7608-7865
≥13 ÷ 14	22	1,96	80,60	7866-8060
≥14	218	19,40	100,00	8061-10000
	1124	100,00		



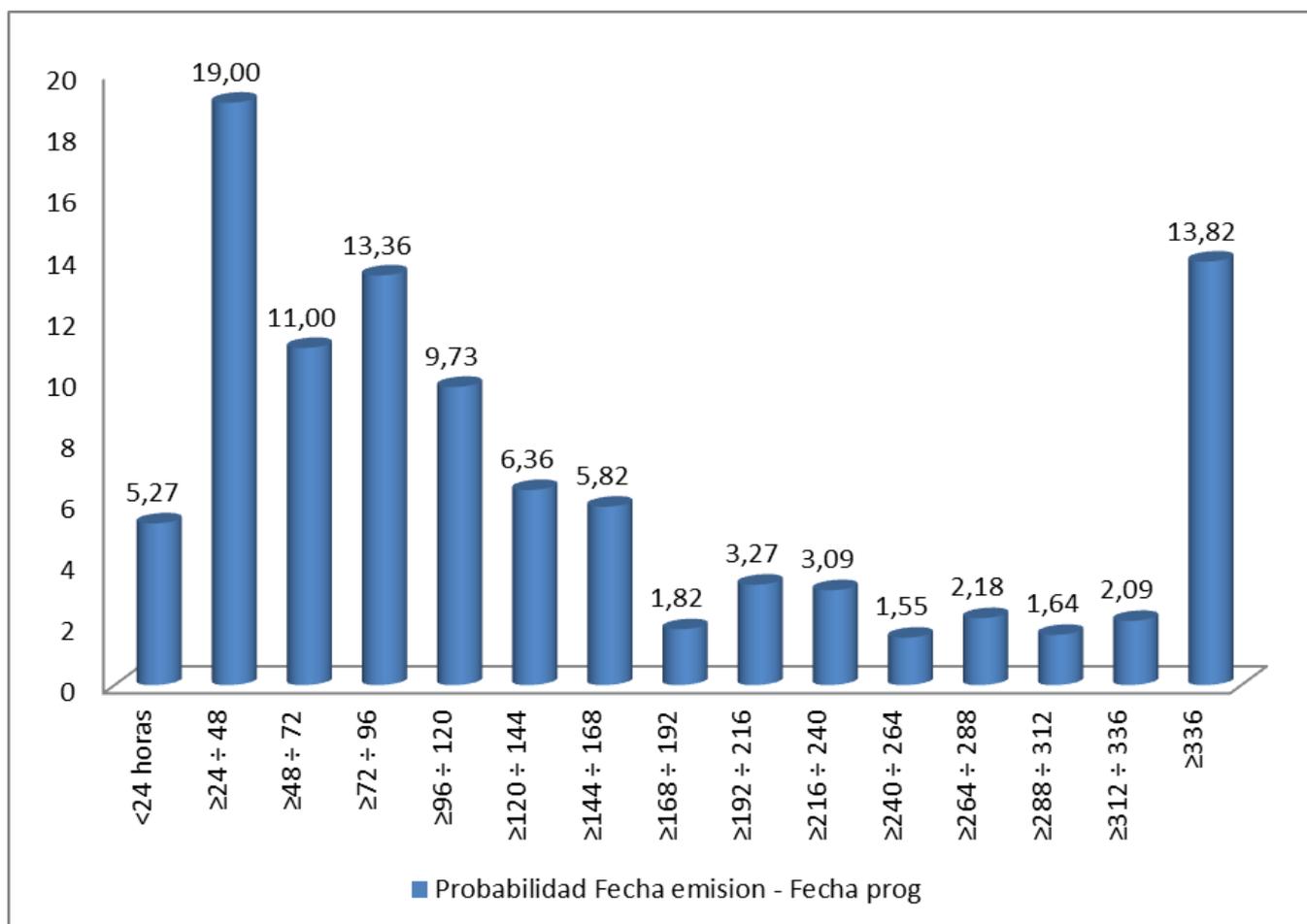
En este caso lo más habitual es la generación de órdenes de trabajo de 0 a 1 hora. Esto tiene varias causas posibles:

- La emisión del preventivo se realiza de forma automática a primero de mes, se vuelcan de forma instantánea gran número de órdenes de trabajo.
- Cuando un operador hace una ronda por planta y detecta varias averías, las comunica a sus superiores y estos generan las órdenes de varios elementos simultáneamente. Esto se hace para trabajos de poca urgencia, prioridades "B". El mismo caso es que un turno anota varios trabajos pendientes y antes de finalizar dicho turno se emiten todos los trabajos al mismo tiempo, con separación de minutos entre ellos.
- Ante una parada o una avería de un equipo complejo (caldera, horno, unidad completa, etc.) se emiten varias órdenes de trabajo ya que al fallar una unidad se requieren múltiples intervenciones simultáneas.

Aquí si voy a tomar como valor representativo de una "clase" **el valor intermedio** excepto el de "14" para dar entidad a la primera clase que he comentado de 0 a 1 hora.

Variable FECHA EMISION-FECHA PROGRAMACIÓN

	Días	Horas	Observaciones	%	% Acum	Rango
Urg0; 0 horas	<1	<24 horas	58	5,27	5,27	0-527
	≥1 ÷ 2	≥24 ÷ 48	209	19,00	24,27	528-2427
	≥2 ÷ 3	≥48 ÷ 72	121	11,00	35,27	2428-3527
	≥3 ÷ 4	≥72 ÷ 96	147	13,36	48,64	3528-4864
	≥4 ÷ 5	≥96 ÷ 120	107	9,73	58,36	4865-5863
	≥5 ÷ 6	≥120 ÷ 144	70	6,36	64,73	5864-6473
	≥6 ÷ 7	≥144 ÷ 168	64	5,82	70,55	6474-7055
	≥7 ÷ 8	≥168 ÷ 192	20	1,82	72,36	7056-7236
	≥8 ÷ 9	≥192 ÷ 216	36	3,27	75,64	7237-7564
	≥9 ÷ 10	≥216 ÷ 240	34	3,09	78,73	7565-7873
	≥10 ÷ 11	≥240 ÷ 264	17	1,55	80,27	7874-8027
	≥11 ÷ 12	≥264 ÷ 288	24	2,18	82,45	8028-8245
	≥12 ÷ 13	≥288 ÷ 312	18	1,64	84,09	8246-8409
	≥13 ÷ 14	≥312 ÷ 336	23	2,09	86,18	8410-8618
	≥14	≥336	152	13,82	100,00	8619-10000
			1100	100,00		

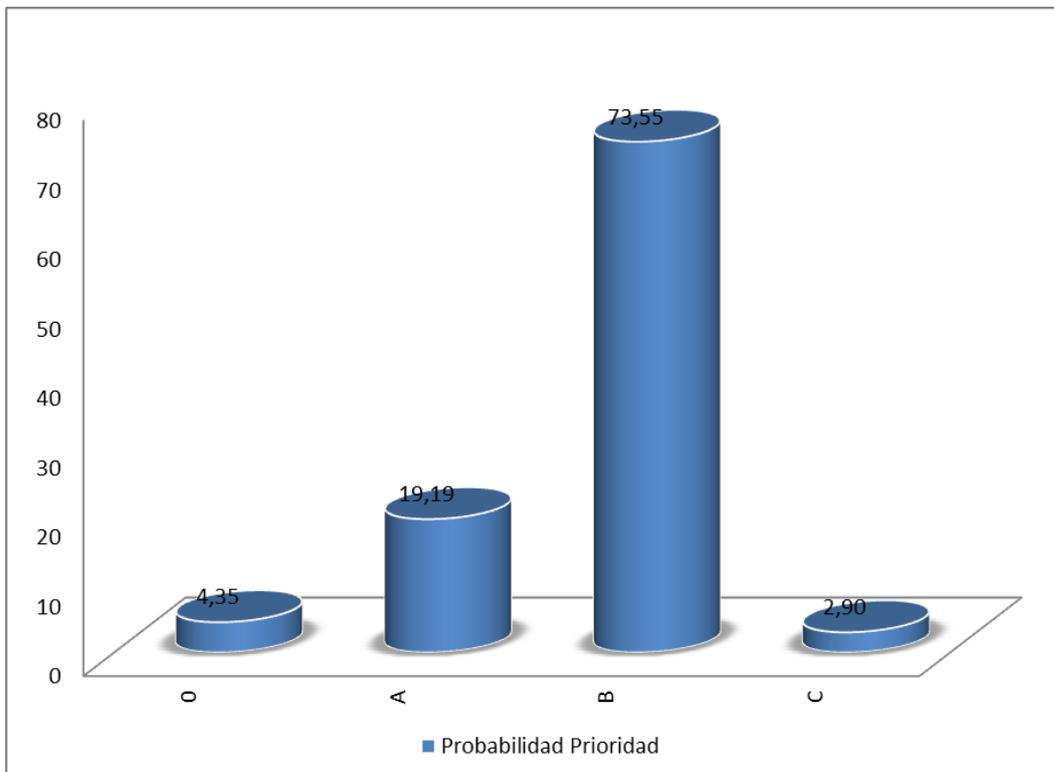


En esta variable se muestra el tiempo en horas que transcurre desde la emisión de la orden (entrada al sistema) hasta la fecha de programación teórica (dicha fecha de programación es un dato obtenido de la OT y puesto por el planificador como se explicó en el apartado 5.4). Cumpliendo la guía de programación donde se establece un plazo de hasta 5 días de previsión para la programación, se observa aquí la mayor probabilidad de las observaciones. Posteriormente veremos que en la práctica esto es complejo de cumplir para ésta especialidad y se reducen bastante los tiempos de programación. Se tiende a trabajar al día.

Aquí he optado por tomar el **menor valor de la clase como representativo**, para que se tenga en cuenta el tiempo por debajo de las 24 horas, que es en el marco donde se encuentran las urgencias "0" o algunas urgencias "A".

Variable PRIORIDAD

Urgencia	Observaciones	%	% Acum	Rango
0	54	4,35	4,35	0-435
A	238	19,19	23,55	436-2355
B	912	73,55	97,10	2356-9710
C	36	2,90	100,00	9711-10000
	1240	100,00		



Lo más frecuente son los trabajos normales o prioridades "B".

7.2 Diseño de la simulación

Una vez obtenidas las probabilidades de aparición de cada clase definida para cada variable, se pasará a crear la hoja de cálculo donde quedará implementada la simulación, según las fases del método Montecarlo comentadas con anterioridad en el presente proyecto. El proceso será el siguiente:

- Se creará la simulación en la primera variable, que es **Tiempo en entre OT`s**:

Nº OT	NA	Tiempo entre OT	Hora de entrada al sistema
1	431	00:30:00	1-1-00 8:00
2	6453	07:30:00	1-1-00 8:30
3	9452	14:00:00	1-1-00 16:00
4	754	00:30:00	2-1-00 6:00
5	5438	04:30:00	2-1-00 6:30
6	8944	14:00:00	2-1-00 11:00
7	9579	14:00:00	3-1-00 1:00
8	1006	00:30:00	3-1-00 15:00
9	7505	11:30:00	3-1-00 15:30
10	8198	14:00:00	4-1-00 3:00
11	9884	14:00:00	4-1-00 17:00
12	1944	00:30:00	5-1-00 7:00
13	5123	03:30:00	5-1-00 7:30
(...)	(...)	(...)	(...)

Primeramente como se observa en la tabla, se exponen los números aleatorios obtenidos mediante Excel con la función “ALEATORIO.ENTRE”, y mostrados en la columna “NA”. Con estos aleatorios vamos a la tabla correspondiente de probabilidad de la variable Tiempo entre OT`s en el apartado anterior (7.1.3), y con el rango de números aleatorios que corresponda se obtiene el “TIEMPO ENTRE OT” correspondiente. En este caso por ejemplo para el número aleatorio 431, corresponde a la primera clase de valor 00:30:00 (la clase es <1 hora pero como se detalló para esta variable se tomarán los valores intermedios excepto para >14) ya que su rango para los números aleatorios es de 0 a 2945. Para hacer esto en automático se ha empleado la función BUSCAR de Excel, donde se introducen todos los rangos de números aleatorios y las variables de cada clase.

Una vez proyectado el valor del número aleatorio y obteniendo el tiempo simulado que corresponde a la entrada de la siguiente orden de trabajo, y considerando que la primera orden de trabajo entra al sistema por ejemplo el “1-1-00 8:00”, el resto de valores de la simulación para ésta variable se realiza correlativamente, obteniendo el valor simulado que pretendemos de forma simple, sumando a la hora de entrada de la OT n-1, el valor simulado de la variable para la OT n.

➤ Una vez obtenido los tiempos simulados de entrada de las Ordenes de trabajo al sistema, se pasa a simular la variable **Fecha emisión-Fecha programación**:

Nº OT	NA	Fecha emisión-Fecha programación
1	725	24:00:00
2	5281	96:00:00
3	2959	48:00:00
4	5032	96:00:00
5	7125	168:00:00
6	9746	336:00:00
7	9929	336:00:00
8	6966	144:00:00
9	9129	336:00:00
10	2025	24:00:00
11	8858	336:00:00
12	1545	24:00:00
13	6597	144:00:00
(...)	(...)	(...)

Comienza la simulación igual que con la variable anterior, es decir, se proyecta la variable a partir de un valor aleatorio dado, en este caso, se ha escogido como el valor representativo de la clase el menor valor.

Con esta variable simulada se puede obtener mediante una regla el cálculo la **hora programada o de inicio del trabajo**. Dicha regla consistirá en que la hora de inicio del trabajo será la “hora de entrada al sistema” + “fecha emisión-programación” siempre y cuando la suma de estas dos variables sea mayor a la “hora programada (inicio)” calculada de n-1, en dicho caso será “hora programada (inicio) de n-1”+ “fecha emisión-programación”. Este cálculo se ejecuta en Excel con la función “SI”:

$$=SI((H_n+K_n)>L_{n-1}; K_n+H_n; H_n+L_{n-1})$$

Siendo: H= fecha emisión-programación

K= hora de entrada al sistema

L= hora programada (inicio)

Nº OT	Hora programada (Inicio)
1	2-1-00 8:00
2	5-1-00 8:30
3	7-1-00 8:30
4	11-1-00 8:30
5	18-1-00 8:30
6	1-2-00 8:30
7	15-2-00 8:30
8	21-2-00 8:30
9	6-3-00 8:30
10	7-3-00 8:30
11	21-3-00 8:30
12	22-3-00 8:30
13	28-3-00 8:30
(...)	(...)

➤ La última variable a simular en este caso será **Total Horas Trabajadas**.

Es el último valor que necesitamos para obtener la “hora de finalización” de la OT.

Nº OT	NA	Total horas trabajadas	Hora finalización
1	252	02:00:00	2-1-00 10:00
2	2918	04:00:00	5-1-00 12:30
3	6458	07:00:00	7-1-00 15:30
4	7139	08:00:00	11-1-00 16:30
5	4242	05:00:00	18-1-00 13:30
6	6441	07:00:00	1-2-00 15:30
7	6512	07:00:00	15-2-00 15:30
8	8143	11:00:00	21-2-00 19:30
9	6026	07:00:00	6-3-00 15:30
10	7655	09:00:00	7-3-00 17:30
11	8248	11:00:00	21-3-00 19:30
12	7159	08:00:00	22-3-00 16:30
13	4527	05:00:00	28-3-00 13:30
(...)	(...)	(...)	(...)

Como se hizo anteriormente, se proyectará la variable a partir de un valor aleatorio dado de la columna NA correspondiente, para que de esa forma se obtenga un

valor de tiempo de resolución para la OT n. Para este caso, el valor representativo será el mayor valor de la clase incluyendo la clase >14 en la cual se emplearán 15 horas como valor representativo.

Para obtener finalmente la hora real de finalización de la OT, en la cual se ha finalizado el trabajo y la orden se pasa al estado TT (terminada), se tiene que implementar en la simulación el condicionante lógico de que el tiempo real de finalización se obtendrá de sumarse el “total horas trabajadas” de la OT n a la hora mayor de entre la “hora de finalización” de la OT anterior n-1 y la “hora programada (inicio)” de la OT n. Esta regla queda implementada en la hoja de cálculo Excel de la siguiente forma:

$$=SI(M_{n-1} >= L_n; M_{n-1} + J_n; L_n + J_n)$$

Siendo: M= Hora finalización

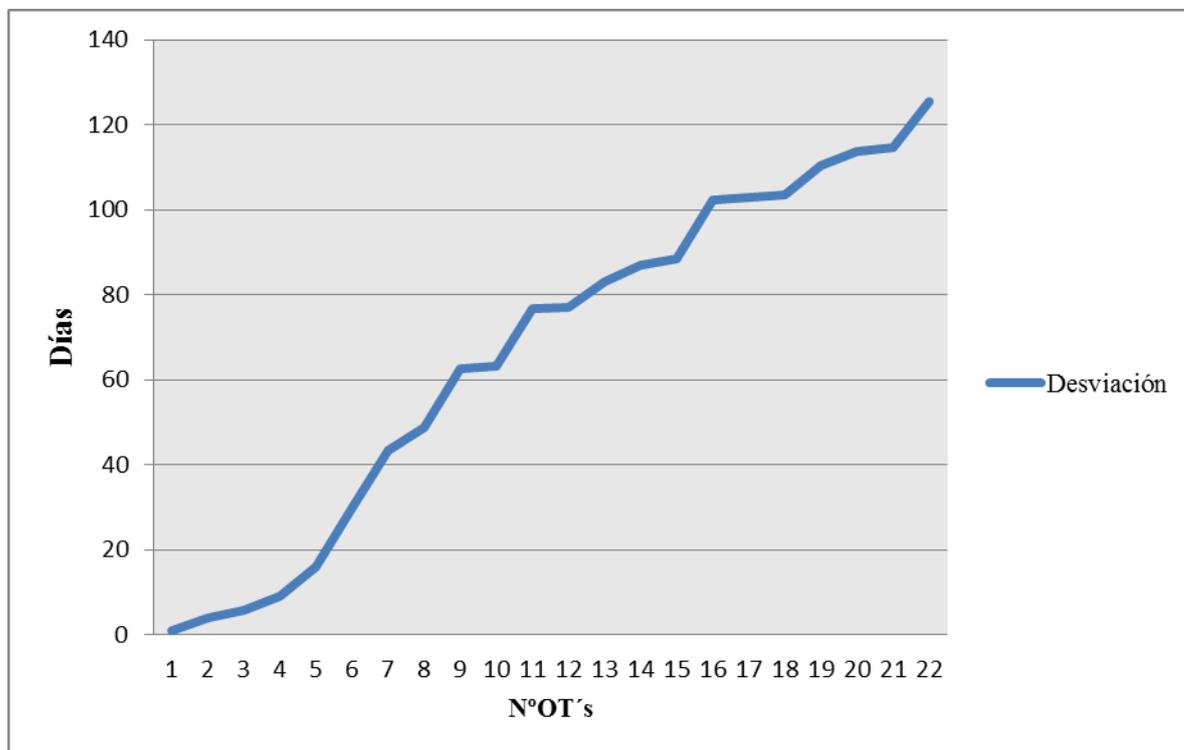
J= Total horas trabajadas

L= hora programada (inicio)

Con todos estos datos la simulación queda confeccionada, ya que el hecho de haberla implementado en una hoja de cálculo permitirá disponer del algoritmo base, pudiéndose realizar variaciones o modificaciones cualesquiera para obtener distintos resultados, estudios, pruebas, etc., de forma totalmente automática:

Nº OT	NA	Tiempo entre OT	NA	Fecha emisión- Fecha programación	NA	Total horas trabajadas	Hora de entrada al sistema	Hora programada(Inicio)	Hora finalización
1	431	00:30:00	725	24:00:00	252	02:00:00	1-1-00 8:00	2-1-00 8:00	2-1-00 10:00
2	6453	07:30:00	5281	96:00:00	2918	04:00:00	1-1-00 8:30	5-1-00 8:30	5-1-00 12:30
3	9452	14:00:00	2959	48:00:00	6458	07:00:00	1-1-00 16:00	7-1-00 8:30	7-1-00 15:30
4	754	00:30:00	5032	96:00:00	7139	08:00:00	2-1-00 6:00	11-1-00 8:30	11-1-00 16:30
5	5438	04:30:00	7125	168:00:00	4242	05:00:00	2-1-00 6:30	18-1-00 8:30	18-1-00 13:30
6	8944	14:00:00	9746	336:00:00	6441	07:00:00	2-1-00 11:00	1-2-00 8:30	1-2-00 15:30
7	9579	14:00:00	9929	336:00:00	6512	07:00:00	3-1-00 1:00	15-2-00 8:30	15-2-00 15:30
8	1006	00:30:00	6966	144:00:00	8143	11:00:00	3-1-00 15:00	21-2-00 8:30	21-2-00 19:30
9	7505	11:30:00	9129	336:00:00	6026	07:00:00	3-1-00 15:30	6-3-00 8:30	6-3-00 15:30
10	8198	14:00:00	2025	24:00:00	7655	09:00:00	4-1-00 3:00	7-3-00 8:30	7-3-00 17:30
11	9884	14:00:00	8858	336:00:00	8248	11:00:00	4-1-00 17:00	21-3-00 8:30	21-3-00 19:30
12	1944	00:30:00	1545	24:00:00	7159	08:00:00	5-1-00 7:00	22-3-00 8:30	22-3-00 16:30
13	5123	03:30:00	6597	144:00:00	4527	05:00:00	5-1-00 7:30	28-3-00 8:30	28-3-00 13:30
14	7660	12:30:00	5296	96:00:00	556	02:00:00	5-1-00 11:00	1-4-00 8:30	1-4-00 10:30
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)

Echando un breve vistazo a la simulación se observan que los datos no son convincentes en cuanto al plazo transcurrido desde que se emite la OT (hora de entrada al sistema) hasta que se programa para su inicio. Se observa una desviación (retraso) muy acusada, tal y como muestra el siguiente gráfico:



Se observa como únicamente en las primeras 22 OT's hay una desviación de más de 120 días, y sigue en aumento hasta dar por realizadas todas las órdenes del origen de datos en un total de 16 años. Está claro que algo falla en esta simulación, se trata de la variable “**Fecha emisión-Fecha programación**”. Dicha variable contiene valores elevadísimos que demoran en exceso el trabajo. Este problema viene de los datos originales de las órdenes de trabajo. Tal y como se expuso con anterioridad la programación de las órdenes de trabajo es una labor compleja, que casi trata de predecir el futuro, y en el entorno de la refinería esto se hace imposible. Es una labor de precisión, que en muchas ocasiones se hace tras finalizar la orden de trabajo (mal hecho) dando lugar a estos disparates y dando lugar al incumplimiento de las prioridades de trabajo, lo que es intolerable por operatividad de la planta. Prima la operatividad y más en una especialidad como Instrumentación, donde los trabajos son relativamente cortos, hay un alto volumen de trabajo y de elevada repercusión.

Con todo ello, en la práctica, dicha fecha de programación no se usa como es debido, únicamente es de utilidad en trabajos con un horizonte muy lejano (por ejemplo

paradas, grandes reparaciones, etc.) y se atiende a la prioridad de la orden de trabajo, que como es un dato que también tenemos de origen, probaremos a simular de acuerdo a estas prioridades. Esta prioridad también se tuvo en cuenta para fijar la fecha de programación y que de forma indirecta debió de ser válido, pero multitud de factores del día a día también afectan a la fecha de programación con lo que se simulará directamente con la cuarta variable que se estudió: **“PRIORIDAD”**

7.3 Simulación basada en la variable prioridad

En este caso se sustituye la variable “Fecha emisión-Fecha programación” por la variable “Prioridad”. Las variables “tiempo entre OT” y “total horas trabajadas” se proyectan igual que antes. La “hora de entrada al sistema” se obtiene igual que antes y en este caso las órdenes se van iniciando en función de la prioridad:

- B y C se ejecutan de manera normal por orden de entrada.
- A se cuelan sobre las B y C pero nunca dejando un trabajo a medias.
- 0 se ejecutan en el momento de entrada al sistema aun dejando trabajos a medias. Incluso fuera de jornada. Para ello se dispone de un retén formado por una pareja de oficiales y si el caso lo requiere un encargado de la especialidad.

El objetivo es ejecutar las prioridades A y sobre todo 0 en el plazo establecido permitiendo ejecutar las prioridades normales sin excesiva demora y acumulación en el tiempo. Para la consecución de los objetivos, dada la relevancia de la no ejecución de los trabajos (cantidades millonarias por averías de equipos o paradas de unidades), se podrá disponer del personal necesario, siempre y cuando no haya excesivos tiempos ociosos.

Se considerará la jornada de 8:00 a 17:00. Como ya se ha comentado trabajando fuera de horario empleando el retén. El inicio de la simulación será el 1-1-00 8:00.

Se considera para ésta primera simulación un único operario. Por tanto la variable “total horas trabajadas” en horas hombre queda igual que antes.

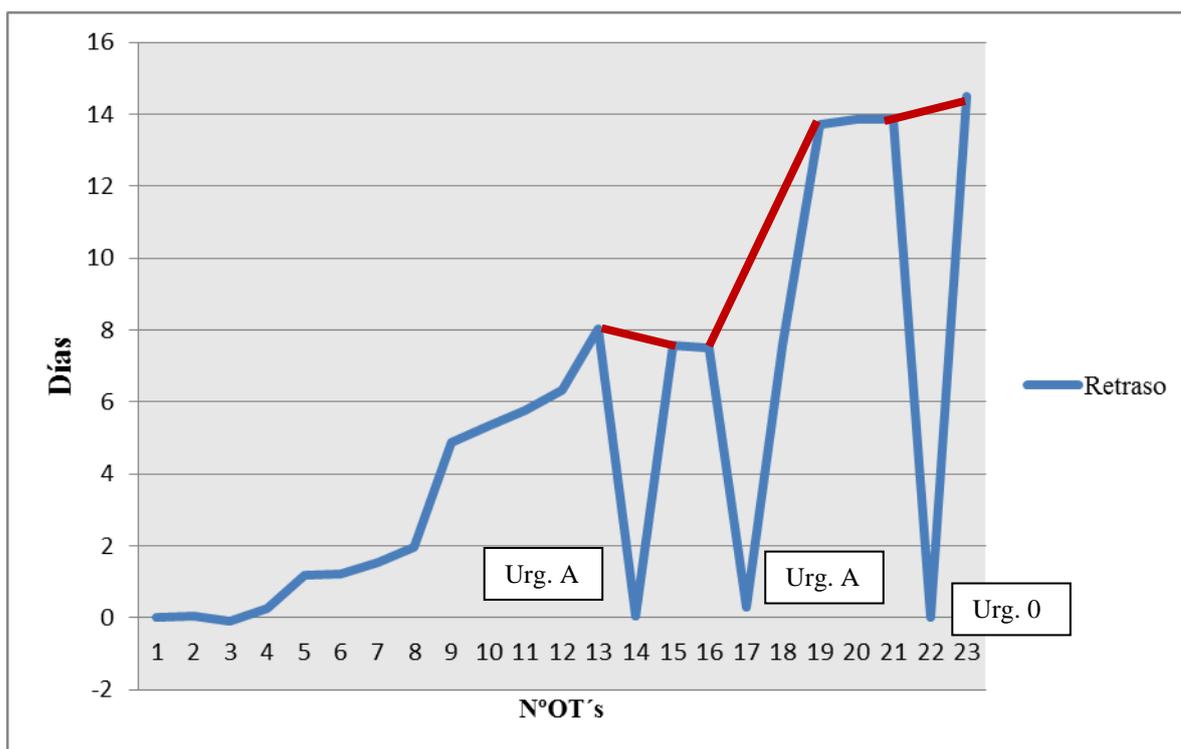
Proyecto final de carrera: "Optimización de recursos en el proceso de ejecución de órdenes de trabajo en la refinería de Cartagena mediante técnicas de simulación"

Nº OT	NA	Tiempo entre OT	NA	Prioridad	NA	Total horas trabajadas	Hora de entrada al sistema	INICIO	FIN
1	431	00:30:00	1364	A	252	02:00:00	1-1-00 8:00	1-1-00 8:00	1-1-00 10:00
2	6453	07:30:00	3500	B	2918	04:00:00	1-1-00 8:30	1-1-00 10:00	1-1-00 14:00
3	9452	14:00:00	5466	B	3765	05:00:00	1-1-00 16:00	1-1-00 16:00	2-1-00 12:00
4	754	00:30:00	7321	B	7139	08:00:00	2-1-00 6:00	2-1-00 12:00	3-1-00 11:00
5	5438	04:30:00	5998	B	4242	05:00:00	2-1-00 6:30	3-1-00 11:00	3-1-00 16:00
6	8944	14:00:00	5726	B	6441	07:00:00	2-1-00 11:00	3-1-00 16:00	4-1-00 14:00
7	9579	14:00:00	6001	B	6512	07:00:00	3-1-00 1:00	4-1-00 14:00	5-1-00 12:00
8	1006	00:30:00	6504	B	8143	11:00:00	3-1-00 15:00	5-1-00 14:00	6-1-00 16:00
9	7505	11:30:00	4025	B	6026	07:00:00	3-1-00 15:30	8-1-00 13:00	9-1-00 11:00
10	8198	14:00:00	6663	B	7655	09:00:00	4-1-00 3:00	9-1-00 11:00	10-1-00 11:00
11	9884	14:00:00	9071	B	8248	11:00:00	4-1-00 17:00	10-1-00 11:00	11-1-00 15:00
12	1944	00:30:00	5052	B	7159	08:00:00	5-1-00 7:00	11-1-00 15:00	12-1-00 14:00
13	5123	03:30:00	9509	B	4527	05:00:00	5-1-00 7:30	13-1-00 8:00	13-1-00 13:00
14	7660	12:30:00	1601	A	556	02:00:00	5-1-00 11:00	5-1-00 12:00	5-1-00 14:00
15	5392	04:30:00	2730	B	2359	03:00:00	5-1-00 23:30	13-1-00 13:00	13-1-00 16:00
16	5345	04:30:00	6486	B	4023	05:00:00	6-1-00 4:00	13-1-00 16:00	14-1-00 12:00
17	8407	14:00:00	1110	A	9090	15:00:00	6-1-00 8:30	6-1-00 16:00	8-1-00 13:00
18	921	00:30:00	4132	B	1174	03:00:00	6-1-00 22:30	14-1-00 12:00	14-1-00 17:00
19	8503	14:00:00	7957	B	928	03:00:00	6-1-00 23:00	20-1-00 16:00	21-1-00 10:00
20	6090	05:30:00	7635	B	4174	05:00:00	7-1-00 13:00	21-1-00 10:00	21-1-00 15:00
21	5890	05:30:00	6408	B	5783	06:00:00	7-1-00 18:30	21-1-00 15:00	22-1-00 12:00
22	2442	00:30:00	132	0	1018	03:00:00	8-1-00 0:00	8-1-00 0:00	8-1-00 3:00
23	6058	05:30:00	7087	B	3647	05:00:00	8-1-00 0:30	22-1-00 12:00	22-1-00 17:00
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)

Aquí se observa como las prioridades A y 0 se cuelan sobre las B. Así quedarían los retrasos o demoras en el inicio de ejecución mostrados en horas:

Nº OT	NA	Prioridad	Retraso
1	1364	A	0:00:00
2	3500	B	1:30:00
3	5466	B	-2:00:00
4	7321	B	6:00:00
5	5998	B	28:30:00
6	5726	B	29:00:00
7	6001	B	37:00:00
8	6504	B	47:00:00
9	4025	B	117:30:00
10	6663	B	128:00:00
11	9071	B	138:00:00
12	5052	B	152:00:00
13	9509	B	192:30:00
14	1601	A	1:00:00
15	2730	B	181:30:00
16	6486	B	180:00:00
17	1110	A	7:30:00
18	4132	B	181:30:00
19	7957	B	329:00:00
20	7635	B	333:00:00
21	6408	B	332:30:00
22	132	0	0:00:00
23	7087	B	347:30:00

Las prioridades A tienen muy poca demora, aceptable dentro del plazo máximo de ejecución de 72 horas y las 0 no tienen demora. Incluso se da un tiempo ocioso para el trabajo nº3 de 2 horas. El problema está en las urgencias B que generan un retraso acumulado en el tiempo que nunca se reduce y no se vuelven a dar tiempos ociosos. Mostrado gráficamente queda:



Esta tendencia (en rojo) al alza sigue siendo intolerable en cuanto a cumplimiento de plazos. Se generaría una cola de trabajo insostenible, se perdería la capacidad de supervisión por parte del encargado del área, no se cumplirían los plazos para ejecutar los preventivos descuidando la fiabilidad de los equipos, dando lugar a más y más órdenes, teniendo que acudir a contrataciones puntuales de personal externo para normalizar la situación. Esta solución intenta evitarse en mantenimiento por el sobre coste y por la poca cualificación de la mano de obra, la cual requiere muchas horas de supervisión (esta solución se emplea en grandes obras como por ejemplo la ampliación de la refinería, el proyecto C10). Por ello se va a plantear una nueva simulación pero disponiendo de **dos operarios** (reduciendo las HH de la variable "total horas trabajadas" a la mitad).

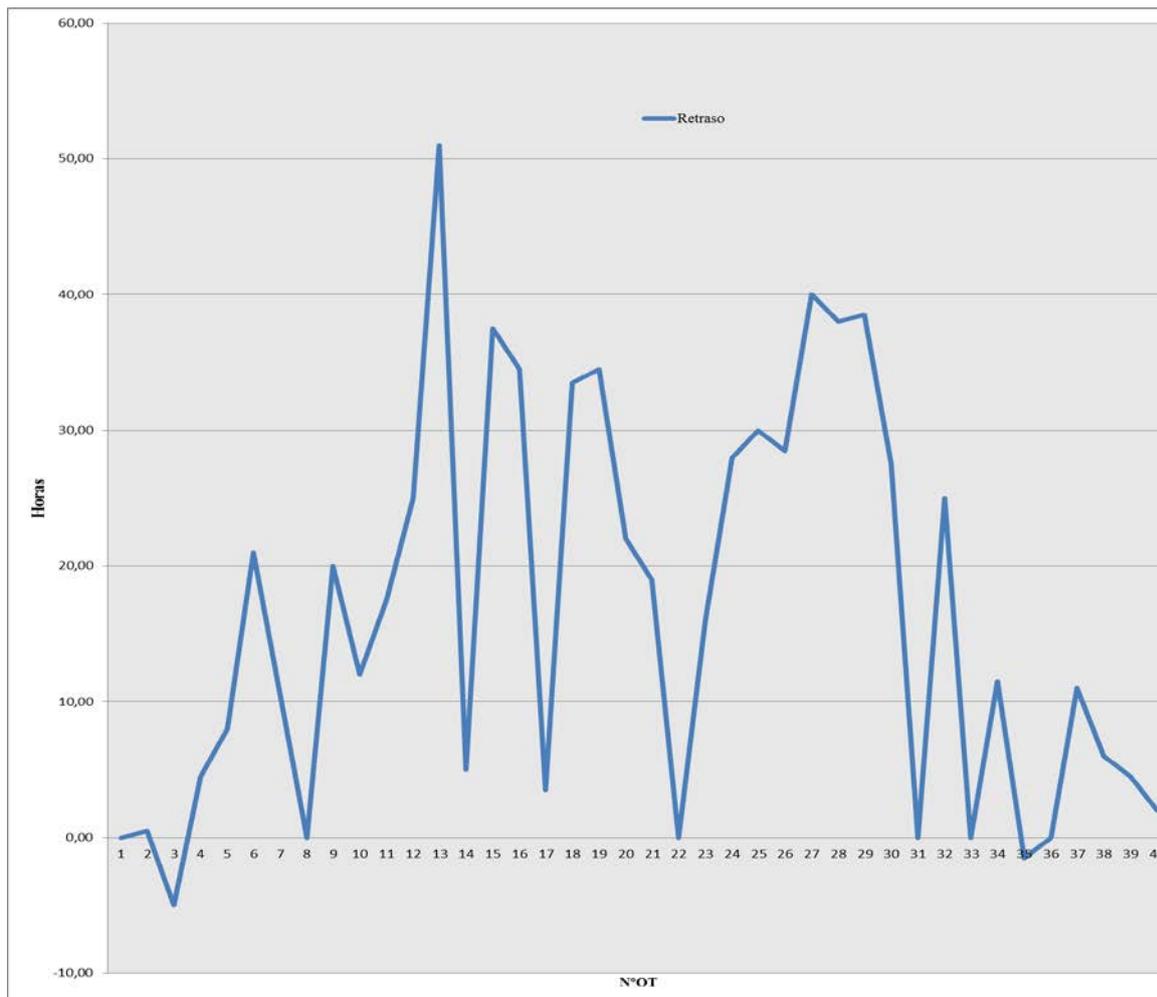
7.4 Simulación basada en la variable prioridad, con dos operarios

Nº OT	NA	Tiempo entre OT	NA	Prioridad	NA	Total horas	Total horas dos operarios	Hora de entrada al sistema	INICIO	FIN
1	431	00:30:00	1364	A	252	02:00:00	1:00:00	1-1-00 8:00	1-1-00 8:00	1-1-00 9:00
2	6453	07:30:00	3500	B	2918	04:00:00	2:00:00	1-1-00 8:30	1-1-00 9:00	1-1-00 11:00
3	9452	14:00:00	5466	B	6458	07:00:00	3:30:00	1-1-00 16:00	1-1-00 16:00	2-1-00 10:30
4	754	00:30:00	7321	B	7139	08:00:00	4:00:00	2-1-00 6:00	2-1-00 10:30	2-1-00 14:30
5	5438	04:30:00	5998	B	4242	05:00:00	2:30:00	2-1-00 6:30	2-1-00 14:30	2-1-00 17:00
6	8944	14:00:00	5726	B	6441	07:00:00	3:30:00	2-1-00 11:00	3-1-00 8:00	3-1-00 11:30
7	9579	14:00:00	6001	B	6512	07:00:00	3:30:00	3-1-00 1:00	3-1-00 11:30	3-1-00 15:00
8	1006	00:30:00	6504	B	8143	11:00:00	5:30:00	3-1-00 15:00	3-1-00 15:00	4-1-00 11:30
9	7505	11:30:00	4025	B	6026	07:00:00	3:30:00	3-1-00 15:30	4-1-00 11:30	4-1-00 15:00
10	8198	14:00:00	6663	B	7655	09:00:00	4:30:00	4-1-00 3:00	4-1-00 15:00	5-1-00 10:30
11	9884	14:00:00	9071	B	8248	11:00:00	5:30:00	4-1-00 17:00	5-1-00 10:30	5-1-00 16:00
12	1944	00:30:00	5052	B	7159	08:00:00	4:00:00	5-1-00 7:00	6-1-00 8:00	6-1-00 12:00
13	5123	03:30:00	9509	B	4527	05:00:00	2:30:00	5-1-00 7:30	7-1-00 10:30	7-1-00 13:00
14	7660	12:30:00	1601	A	556	02:00:00	1:00:00	5-1-00 11:00	5-1-00 16:00	5-1-00 17:00
15	5392	04:30:00	2730	B	2359	03:00:00	1:30:00	5-1-00 23:30	7-1-00 13:00	7-1-00 14:30
16	5345	04:30:00	6486	B	4023	05:00:00	2:30:00	6-1-00 4:00	7-1-00 14:30	7-1-00 17:00
17	8407	14:00:00	1110	A	9090	15:00:00	7:30:00	6-1-00 8:30	6-1-00 12:00	7-1-00 10:30
18	921	00:30:00	4132	B	1174	03:00:00	1:30:00	6-1-00 22:30	8-1-00 8:00	8-1-00 9:30
19	8503	14:00:00	7957	B	928	03:00:00	1:30:00	6-1-00 23:00	8-1-00 9:30	8-1-00 11:00
20	6090	05:30:00	7635	B	4174	05:00:00	2:30:00	7-1-00 13:00	8-1-00 11:00	8-1-00 13:30
21	5890	05:30:00	6408	B	5783	06:00:00	3:00:00	7-1-00 18:30	8-1-00 13:30	8-1-00 16:30
22	2442	00:30:00	132	0	1018	03:00:00	1:30:00	8-1-00 0:00	8-1-00 0:00	7-1-00 1:30
23	6058	05:30:00	7087	B	3647	05:00:00	2:30:00	8-1-00 0:30	8-1-00 16:30	9-1-00 10:00
24	3554	01:30:00	5084	B	6662	07:00:00	3:30:00	8-1-00 6:00	9-1-00 10:00	9-1-00 13:30
25	5010	03:30:00	8631	B	3018	04:00:00	2:00:00	8-1-00 7:30	9-1-00 13:30	9-1-00 15:30
26	5925	05:30:00	8101	B	3055	04:00:00	2:00:00	8-1-00 11:00	9-1-00 15:30	10-1-00 8:30
27	6172	06:30:00	5834	B	7472	09:00:00	4:30:00	8-1-00 16:30	10-1-00 8:30	10-1-00 13:00
28	1411	00:30:00	3567	B	543	02:00:00	1:00:00	8-1-00 23:00	10-1-00 13:00	10-1-00 14:00
29	7820	12:30:00	6310	B	1466	03:00:00	1:30:00	8-1-00 23:30	10-1-00 14:00	10-1-00 15:30
30	8945	14:00:00	7321	B	2615	04:00:00	2:00:00	9-1-00 12:00	10-1-00 15:30	11-1-00 8:30
31	5953	05:30:00	311	0	5844	06:00:00	3:00:00	10-1-00 2:00	10-1-00 2:00	10-1-00 5:00
32	8444	14:00:00	9688	B	2787	04:00:00	2:00:00	10-1-00 7:30	11-1-00 8:30	11-1-00 10:30
33	3554	01:30:00	81	0	4755	05:00:00	2:30:00	10-1-00 21:30	10-1-00 21:30	11-1-00 0:00
34	8952	14:00:00	3676	B	246	02:00:00	1:00:00	10-1-00 23:00	11-1-00 10:30	11-1-00 11:30
35	1799	00:30:00	3503	B	6656	07:00:00	3:30:00	11-1-00 13:00	11-1-00 13:00	12-1-00 8:30
36	7037	09:30:00	166	0	311	02:00:00	1:00:00	11-1-00 13:30	11-1-00 13:30	11-1-00 14:30
37	4933	03:30:00	7226	B	5987	07:00:00	3:30:00	11-1-00 23:00	12-1-00 10:00	12-1-00 13:30
38	6275	06:30:00	1909	A	1884	03:00:00	1:30:00	12-1-00 2:30	12-1-00 8:30	12-1-00 10:00
39	5704	04:30:00	8108	B	3479	04:00:00	2:00:00	12-1-00 9:00	12-1-00 13:30	12-1-00 15:30
40	7322	10:30:00	4424	B	3456	04:00:00	2:00:00	12-1-00 13:30	12-1-00 15:30	13-1-00 8:30
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)

Aquí se observa directamente que el último trabajo simulado (OT nº40), que siendo urgencia B se ejecuta el mismo día que se emite, lo cual indica que se mantiene el equilibrio, sin una tendencia al alza en el tiempo. Gráficamente se observa mejor el fenómeno:

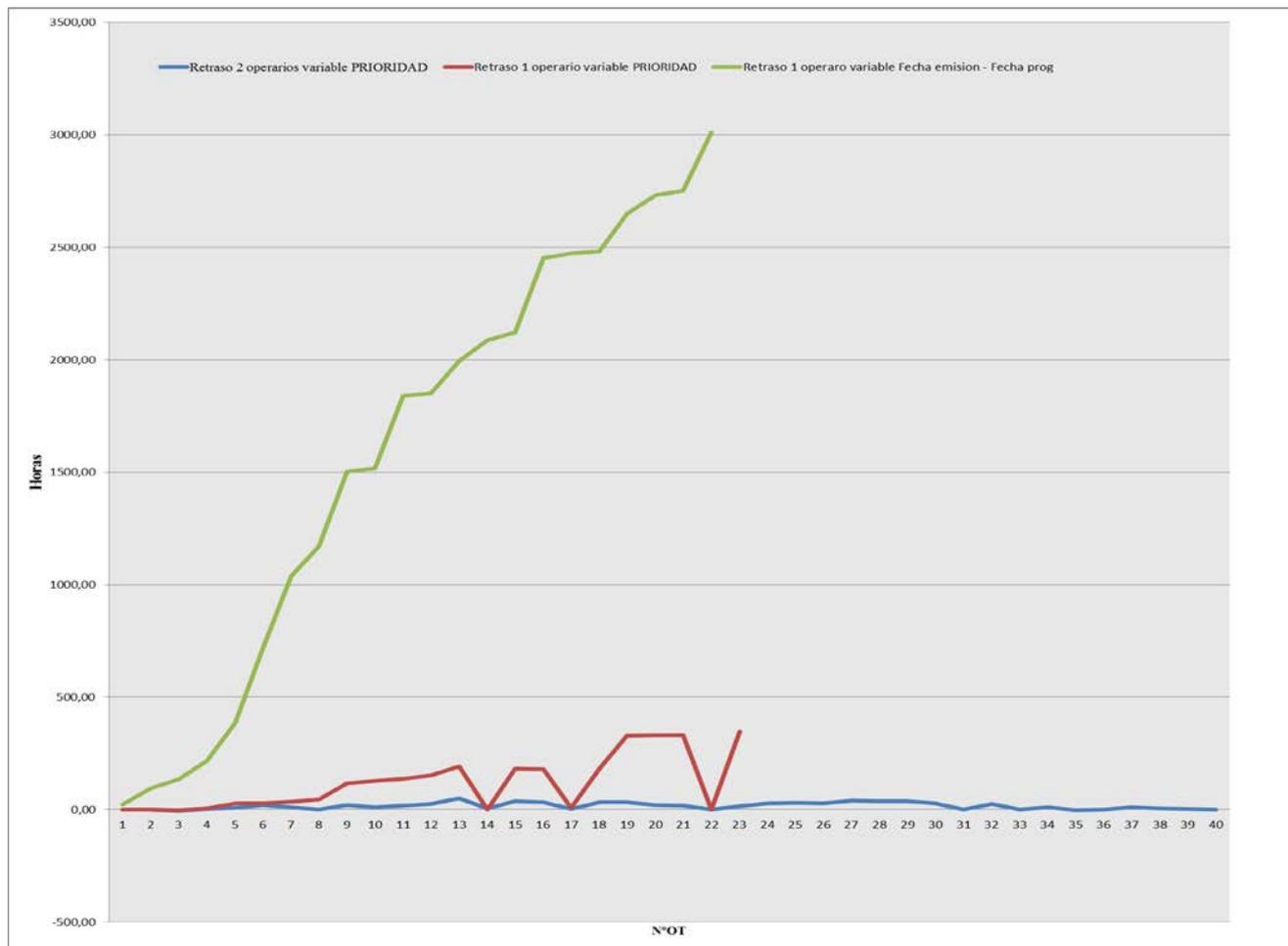
Nº OT	Prioridad	Retraso(horas)
1	A	0,00
2	B	0,50
3	B	-5,00
4	B	4,50
5	B	8,00
6	B	21,00
7	B	10,50
8	B	0,00
9	B	20,00
10	B	12,00
11	B	17,50
12	B	25,00
13	B	51,00
14	A	5,00
15	B	37,50
16	B	34,50
17	A	3,50
18	B	33,50
19	B	34,50
20	B	22,00
21	B	19,00
22	0	0,00
23	B	16,00
24	B	28,00
25	B	30,00

Nº OT	Prioridad	Retraso(horas)
26	B	28,50
27	B	40,00
28	B	38,00
29	B	38,50
30	B	27,50
31	0	0,00
32	B	25,00
33	0	0,00
34	B	11,50
35	B	-1,50
36	0	0,00
37	B	11,00
38	A	6,00
39	B	4,50
40	B	2,00
(...)	(...)	(...)



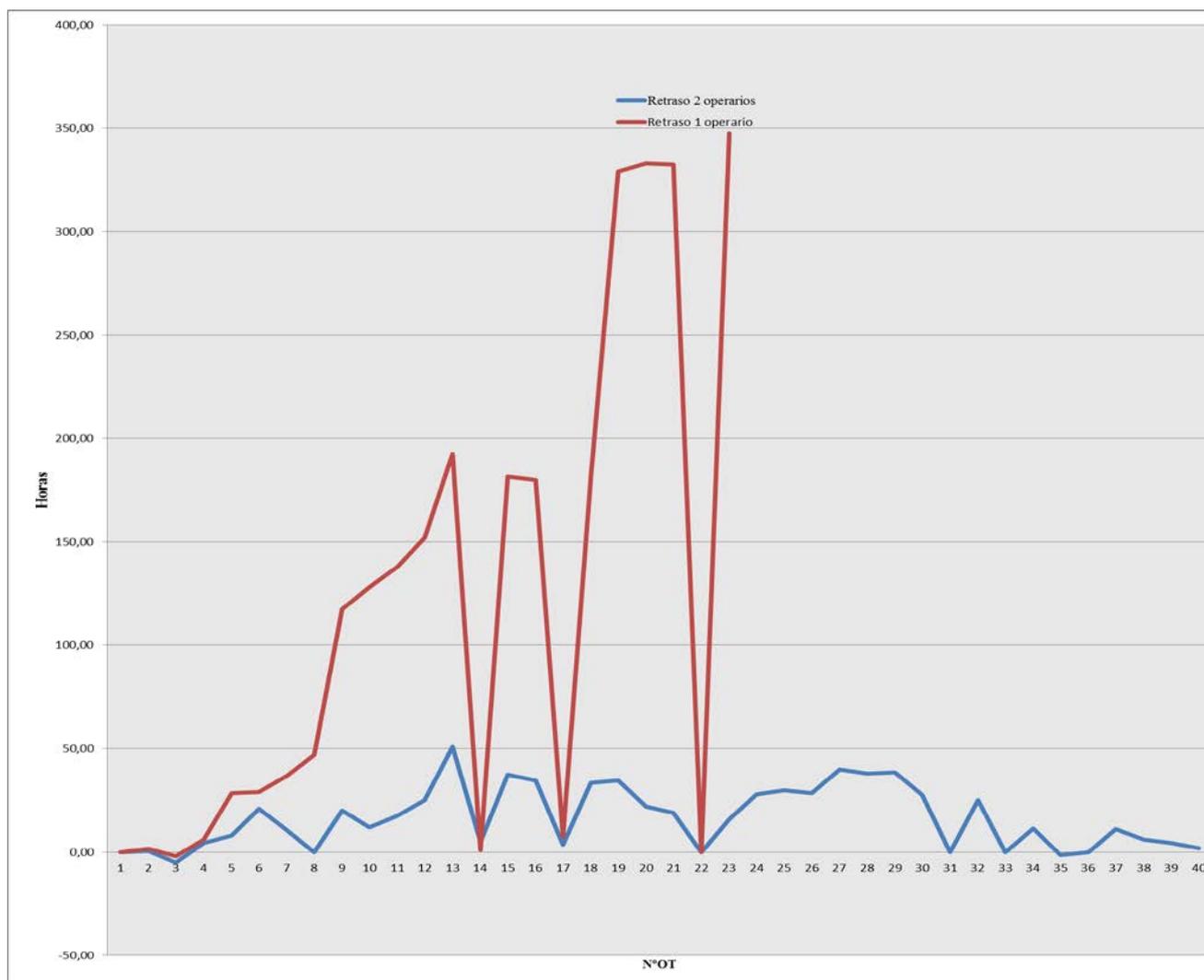
8. EXPOSICIÓN DE RESULTADOS

Aunque a priori parece bastante claro que el tercer caso (2 operarios atendiendo a la variable PRIORIDAD) es la mejor opción, se van a comparar los retrasos generados por los 3 casos y valorar de forma gráfica la forma de operar correctamente:



El primer caso (línea verde, 1 operario, variable Fecha emisión - Fecha prog) queda descartado, ya que los retrasos generados son muy superiores a los casos que emplean la variable PRIORIDAD. Esto es causado por la variable “Fecha emisión - Fecha prog” que no es válida para el estudio, tal y como se detalla en el apartado 7.2.

Posteriormente se detalla la comparación entre los casos que emplean a variable PRIORIDAD:



Queda descartado el caso 2 (línea roja, 1 operario variable PRIORIDAD).

A continuación se muestran los valores medios de retrasos (en horas), en función de la prioridad, para comprobar el cumplimiento de los plazos para la simulación basada en la prioridad con dos operarios (caso 3, línea azul):

	Retraso medio Prioridad B,C	Retraso medio Prioridad A	Retraso medio Prioridad 0
Decimal	20,15625	3,625	0
Sexagesimal	20:09:22	3:37:30	0:00:00

Se han obtenido de forma automática con la función “PROMEDIO.SI.CONJUNTO” de Excel.

Los retrasos son correctos para el periodo simulado, observándose una correcta tendencia para los trabajos “B” y “C”, y cumpliendo los plazos para las urgencias “A” y

"0", siendo el máximo retraso para una urgencia "A" de 6 horas y de 0 horas para las "0". El máximo retraso de la prioridad "B" es de 51 horas en la simulación, siendo un valor normal, incluso necesario para trabajos con cierta necesidad de planificación por necesidad de auxilios, materiales u otros recursos.

También hay tiempos ociosos en las OT 3 y 35, lo que es un buen indicativo de la estabilidad de la bolsa de trabajo. Son tiempos ociosos reducidos y normales en la vida real.

9. CONCLUSIONES

En definitiva la manera correcta de trabajar para el taller de instrumentación que da servicio al área de Energías (TIE), impidiendo el aumento de la bolsa de trabajo, cumpliendo con los plazos tanto de preventivos como de correctivos y aportando al buen funcionamiento y a la seguridad de la refinería, sería con **dos operarios**.

Esto es así en el caso real pero con ciertos matices ya que no siempre se dispone de una pareja de operarios. Hay momentos que ya sea por vacaciones, bajas, licencias o por cesiones a otras áreas con mayor volumen de trabajo, se dispone únicamente de un operario en días o épocas concretas, o incluso ninguno. En estos casos se producen desajustes o incrementos de la bolsa de trabajo que son compensados de forma inversa con aumentos de personal en la zona o con personal de mano de obra contratista. Para ello el taller de instrumentación en su conjunto además del personal de REPSOL, tiene personal contratista que se emplea en las áreas en función de la necesidad, para en el caso del TIE mantener una media de 2 personas.

Otras áreas dentro del taller de instrumentación requieren mayor dotación de personal para dar servicio a su correspondiente área de operación, que pueden oscilar entre 2 y 6 operarios, debido al mayor número de órdenes de trabajo.

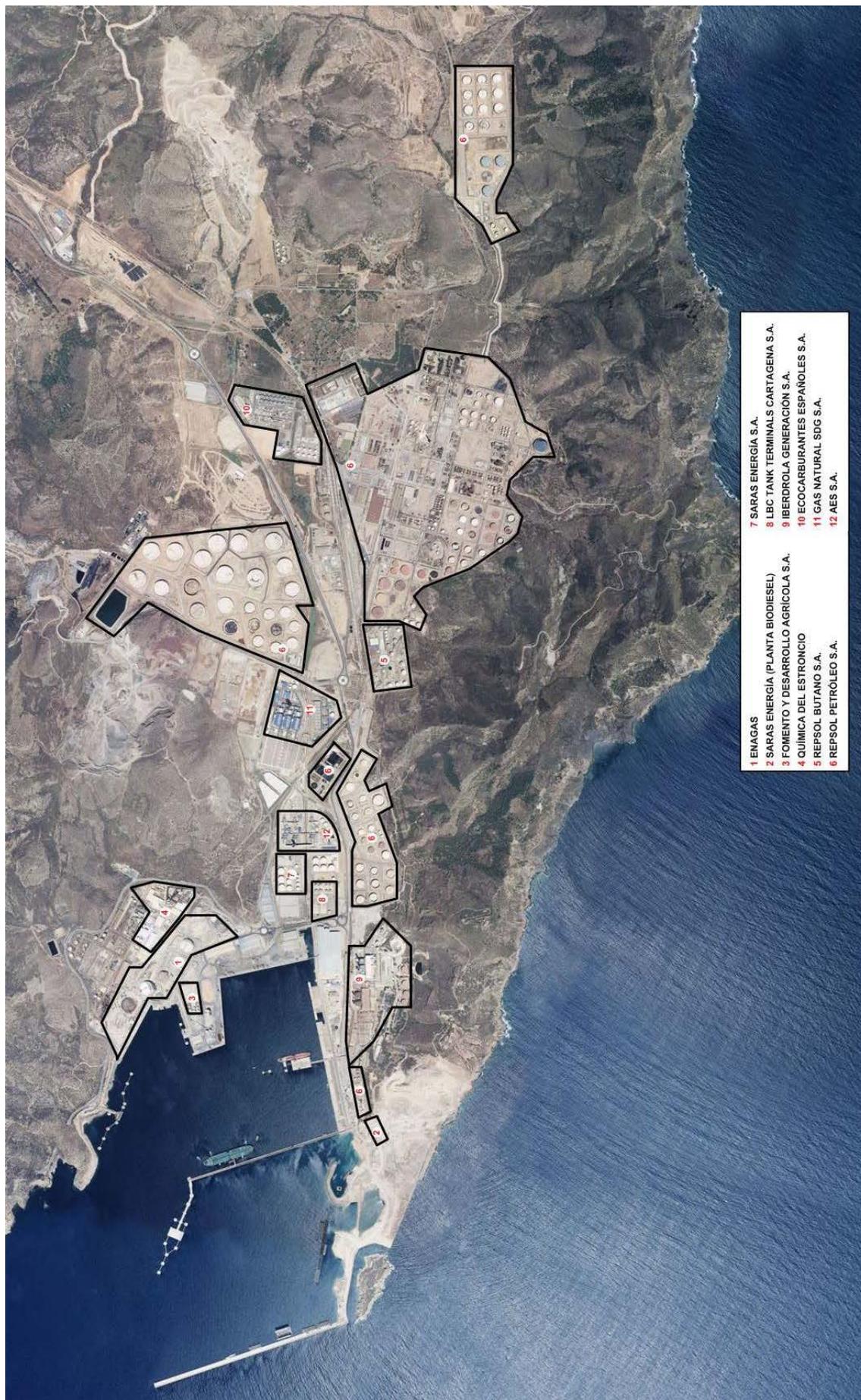
No se puede justificar el resultado desde el punto de vista económico ya que no se cuenta con datos del valor de las H/H del personal de mano de obra de Repsol ni del contratista. Tampoco se puede valorar o cuantificar las pérdidas por una posible avería causada por un retraso o un incumplimiento en las prioridades de los trabajos. Se asume que dichos costes por averías o paradas en unidades, ya sean costes materiales (pueden suponer millones de euros en pérdidas de producción o daños en equipos), personales (desde heridas leves hasta muertes) o medioambientales (vertidos o emisiones con sus correspondientes cánones) son de una magnitud muy superior al coste de las H/H del

personal. Por éste motivo el objetivo es mantener la carga de trabajo en niveles aceptables en función de las prioridades.

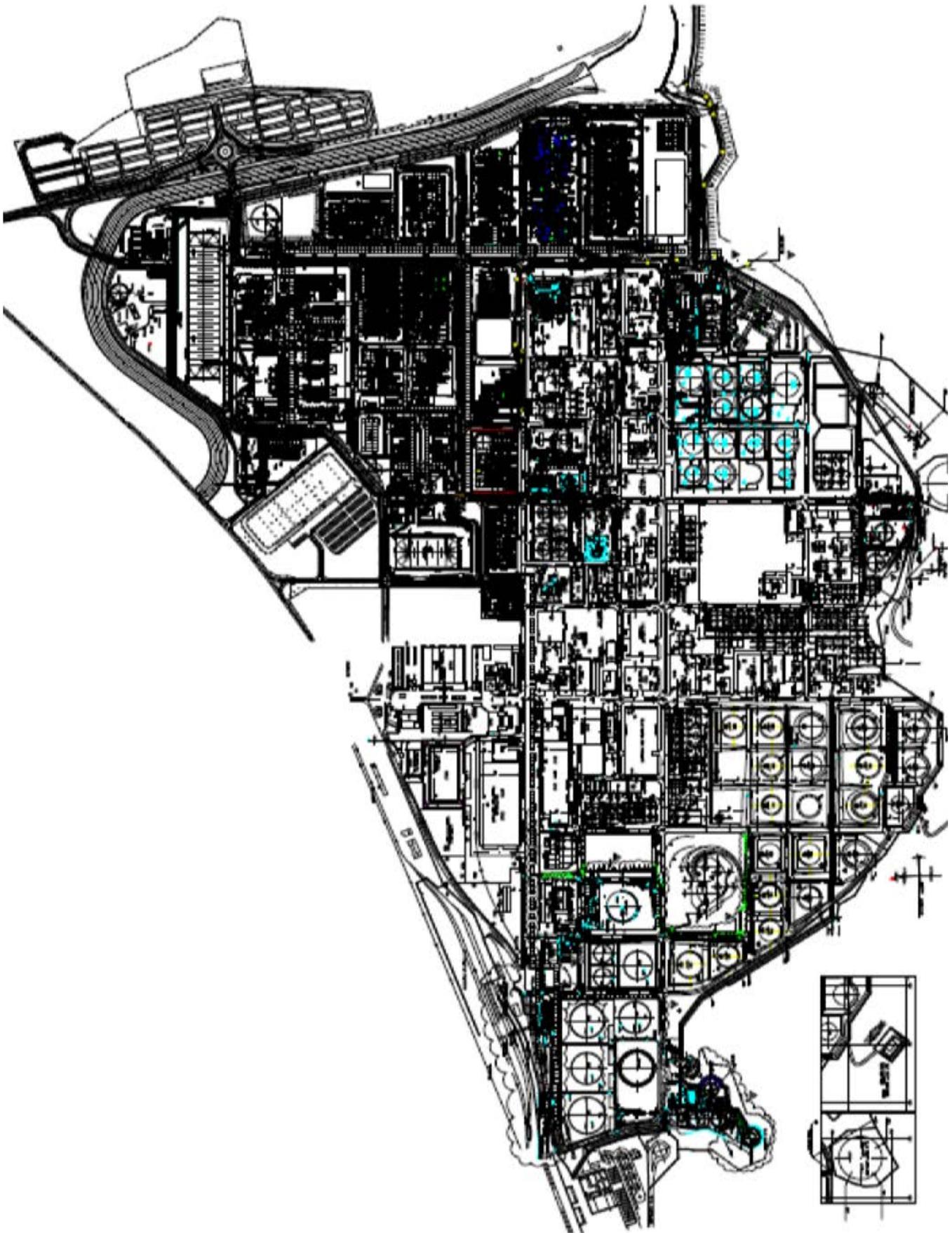
10. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado V.M. (2014) Probabilidad y estadística. Libro electrónico
- Apuntes asignatura “Modelos de decisión” (UPCT)
- Apuntes de estadística industrial. Kessler, M.
- Apuntes de Investigación operativa (UPCT)
- García J (1990) Técnicas de investigación operativa. Ed. Paraninfo
- Manual de Gestión de la Seguridad. Presentación de la empresa (2009) (Repsol, complejo industrial de Cartagena)
- Manual de procedimientos. Guía de planificación y programación del mantenimiento diario (2013) (Repsol, complejo industrial de Cartagena)
- Manual de procedimientos. Organizaciones y Responsabilidades (2012) (Repsol, complejo industrial de Cartagena)
- Martínez A. (1964) La Investigación operativa en la industria. Ed. Deusto
- Robert Shannon (1975) Systems Simulation: The Art and Science- Prentice-Hall
- www.repsol.com

ANEXO 1



ANEXO 2



ANEXO 3

COEFICIENTE ASIMETRÍA VARIABLE TIEMPO ENTRE OT'S

	MEDIA	Error típico	Mediana	Moda
Sexagesimal	7:14:12	0:15:23	3:37:00	0:03:00
Decimal	7,24	0,26	3,62	0,05

Max	Min	Rango	Total
41:57:00	0:01:00	41:56:00	1125
41,95	0,02	41,93	

Desviación estándar	Coeficiente asimetría	Varianza
8:36:08	1:30:51	73:55:55
8,60	1,51	73,93

CURTOSIS	
1:50:32	Sexagesimal
1,84	Decimal

COEFICIENTE ASIMETRÍA VARIABLE FECHA EMISIÓN-FECHA PROG.

	MEDIA	Error típico	Mediana	Moda
Sexagesimal	210:48:32	11:11:22	98:35:00	238:42:00
Decimal	210,81	11,19	98,58	238,70

Max	Min	Rango	Total
2992:35:00	0:19:00	2992:16:00	1100
2992,58	0,32	2992,27	

Desviación estándar	Coeficiente asimetría	Varianza
371:06:54	4:21:06	137686:03:56
371,12	4,35	137686,07

CURTOSIS	
21:19:59	Sexagesimal
21,33	Decimal