

**Cayla Barry Obalat**

**Planificación y Desarrollo de la Etapa de Construcción,  
Comisionado y Puesta en Marcha de un Nuevo Reactor**

**Trabajo Fin de Máster  
dirigido por Daniel Lopez Piñol  
y Luca Sanminiatelli**

*(versión no confidencial - reducida)*

**Máster en Ingeniería Industrial**



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

**Tarragona**

**2021**

# Índice

<b>1</b>	<b>ABSTRACT .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>PROCESO DE PRODUCCIÓN DE POLIOLES FLEXIBLES .....</b>	<b>6</b>
3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	6
3.2	CONTROL DEL PROCESO .....	6
3.2.1	<i>Arquitectura de control .....</i>	6
<b>4</b>	<b>PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE LA PLANTA DE POLIOLES FLEXIBLES .....</b>	<b>7</b>
4.1	INTRODUCCIÓN AL PROYECTO .....	7
4.1.1	<i>Ingeniería conceptual .....</i>	7
4.1.2	<i>Ingeniería básica, de detalle y FEL .....</i>	7
4.2	EQUIPOS NUEVOS .....	7
4.3	IMPACTO EN EL SISTEMA DE CONTROL .....	7
<b>5</b>	<b>GESTIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>8</b>
5.1	SISTEMAS OPERATIVOS .....	8
5.2	ETAPAS DEL PROYECTO .....	9
5.2.1	<i>Preparación para la ejecución .....</i>	9
5.2.2	<i>Precomisionado .....</i>	9
5.2.3	<i>Comisionado .....</i>	9
5.2.4	<i>Puesta en marcha .....</i>	9
5.3	PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN ( <i>SCHEDULING</i> ) DE ACTIVIDADES .....	9
<b>6</b>	<b>EJECUCIÓN, PRECOMISIONADO, COMISIONADO Y PUESTA EN MARCHA .....</b>	<b>11</b>
6.1	SISTEMAS .....	11
6.1.1	<i>Prioridad de Entrega .....</i>	11
6.2	EJECUCIÓN .....	13
6.2.1	<i>Parada I .....</i>	13
6.2.2	<i>Parada II .....</i>	13
6.2.3	<i>Preparaciones .....</i>	13
6.2.4	<i>Puesta en marcha .....</i>	13
6.2.5	<i>Formaciones .....</i>	13
6.2.5.1	Formación Proyecto Nuevo Reactor Prepolímero .....	14
6.2.5.2	Formación Puesta en Marcha y Operación .....	14
6.3	PRECOMISIONADO, COMISIONADO Y PUESTA EN MARCHA (PEM) .....	15
6.3.1	<i>Actividades de verificación .....</i>	15
6.3.1.1	Equipos Dinámicos .....	15
6.3.1.2	Equipos Estáticos y Oficios Varios .....	16
6.3.1.3	Instrumentación .....	18
6.3.1.4	Electricidad .....	19
6.3.1.5	Operación .....	20
6.3.1.6	<i>Check-list's .....</i>	20
6.3.2	<i>Estimación de recursos .....</i>	21
6.3.2.1	Pruebas en campo .....	21
6.3.2.2	Recursos actividades normativa interna .....	22
	Tabla 6.17. Estimación de recursos, especialidad instrumentación. ....	24
6.3.3	<i>Precedencias .....</i>	25
6.3.3.1	Equipos Dinámicos .....	25
6.3.3.2	Equipos Estáticos y Oficios Varios .....	26
6.3.3.3	Instrumentación .....	26

6.3.3.4	Electricidad .....	27
6.3.3.5	Operación .....	27
6.4	PROGRAMACIÓN COMPLETA.....	27
6.4.1	<i>Camino críticos y previsión de retrasos.....</i>	28
6.4.1.1	Precomisionado.....	28
6.4.1.2	Comisionado.....	29
6.4.1.3	Puesta en marcha.....	29
<b>7</b>	<b>SEGUIMIENTO .....</b>	<b>30</b>
7.1	INDICADORES DE SEGUIMIENTO .....	30
7.1.1	<i>Avance por especialidades .....</i>	30
7.1.2	<i>Adelantos y retrasos en las actividades.....</i>	31
7.1.3	<i>Avance planificado vs. avance real.....</i>	32
<b>8</b>	<b>ESTIMACIÓN ECONÓMICA.....</b>	<b>33</b>
<b>9</b>	<b>EVALUACIÓN DE RIESGOS.....</b>	<b>34</b>
9.1	IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS .....	34
9.1.1	<i>Estudio Hazid.....</i>	34
9.1.2	<i>Índice de riesgo del reactor.....</i>	35
9.2	ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DE RIESGOS.....	35
9.2.1	<i>Análisis Cualitativo .....</i>	35
9.2.1.1	Efecto sobre el proyecto.....	36
9.2.1.2	Daño a personas y a la propiedad .....	37
9.2.2	<i>Medidas de Preventivas y de Mitigación.....</i>	39
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>11</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>41</b>
<b>A</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>42</b>

## 1 Abstract

The "Trabajo de Fin de Máster" or *TFM*, is created in collaboration with a Chemical Company in the Tarragona area. Specifically, with the Production department of a Flexible Poliols Production Plant, which is in charge of the day to day management of the Glycol and Poliols Plants. The project arises from the necessity of a methodical approach to the planification of tasks to be executed by the Production Department during the construction, commissioning and start-up of a new reactor. The project consists in the installation of a second reactor in the Flexible Poliols Plant. This second reactor will solely produce the intermediate product, a shorter poliols chain called prepolymer. The second reactor will decrease the current occupation of the main reactor, and therefore, allow larger flexibility in the final production mix which will allow the plant to reach new production objectives, as well as the possibility of future increased capacity in the plant.

The TFM consists in the Planification and Preparation of all the tasks to be realized by the production department, including generation of manuals, datasheets and other documentation to facilitate the execution of the project. The project is divided in phases, each of which is analyzed in this TFM as to create a guideline or manual for future projects. The requirements and tasks to be executed by the Production Department are studied and planned, with all documentation included in the annexes of this document.

A series of operation manuals are generated for the execution of preparation tasks that are necessary before the start of construction tasks. Also, as a part of the preparation is the division of the plant in different sections called Systems, which permit an organized and simpler approach to construction and commissioning works. For the commissioning, which consists in the evaluation and approval of the new installations, a detailed examination of necessary tasks and resources is performed, which allows the generation of a Gantt diagram for each specialty involved. Furthermore, a series of formation presentations are generated and imparted to all personnel in the Production department, to familiarize staff with the project, unit start-up procedures and new operation.

## 2 Introducción

El desarrollo del trabajo de fin de máster (en adelante, *TFM*), se centra en el proyecto de instalación de un nuevo reactor en la planta de polioles flexibles del complejo de Tarragona. En el momento de la realización del *TFM*, el proyecto se encuentra en la fase de construcción, habiéndose completado previamente las fases de diseño, con su correspondiente estudio de viabilidad económica, ingeniería básica y de detalle, FEL y la planificación detallada y temporal de la implantación del proyecto.

El *TFM* se plantea desde el punto de vista del departamento de producción, también llamado de operación, con el objetivo de planificar y desarrollar la etapa de construcción, comisionado y puesta en marcha del nuevo reactor de polioles flexibles.

De este modo, el *TFM* consiste en la planificación de las tareas y preparaciones que deberán ser realizadas por el departamento de producción, paralelamente a la ejecución ya planificada por el departamento de ingeniería, y que será realizada mayoritariamente por empresas subcontratistas.

El trabajo realizado durante el desarrollo del *TFM* se divide en dos grupos diferenciados, tareas con valor exclusivamente académico, que contribuyen a la cohesión global del trabajo y el aprendizaje por parte del estudiante y tareas con valor añadido para la empresa. Éstas últimas son aquellas que aportan utilidad a la empresa, al ser necesarias para un desarrollo óptimo de las etapas de construcción, comisionado y puesta en marcha.

Al contener información confidencial, el *TFM* se rige por un acuerdo de confidencialidad, localizado en el anexo A9.

El documento actual es una versión reducida del trabajo de fin de máster completo, que contiene gran cantidad de información confidencial.

## **3 Proceso de producción de polioles flexibles**

### **3.1 Descripción del proceso**

La planta de producción de polioles flexibles produce polioles a partir de la polimerización de óxido de propileno (OP) utilizando un iniciador de reacción con más de un hidrógeno activo y, según el grado también pueden contener óxido de etileno (OE). Se fabrican 4 grados de polioles flexibles—en las que varía el peso molecular y las concentraciones de prepolímero / óxido de propileno / óxido de etileno.

A continuación, se muestran los usos principales de estos productos:

- Aislamientos
- Pinturas
- sellantes
- Aglomerantes
- Calzados

### **3.2 Control del proceso**

Debido a que el proceso es de tipo *batch*, es decir, con una producción discontinua y por lotes, el control del sistema se realiza mediante el uso de secuencias. Éstas secuencias se dividen en masters i fases.

Las masters son secuencias principales que se encargan de lanzar operaciones específicas en función de distintos permisos. Estas secuencias son lanzadas por el operador o por otras masters de acuerdo al programa de producción. Las operaciones específicas, como pueden ser la adición de materias primas, se encuentran programadas en las fases que son lanzadas por las propias secuencias master. Los permisos son requisitos de obligado cumplimiento previo al lanzamiento de una nueva fase.

#### **3.2.1 Arquitectura de control**

La planta de polioles flexibles dispone de un sistema de control distribuido, por lo que tiene programas residentes en diferentes módulos. La infraestructura se divide en hardware y software. El hardware del sistema de control son todos los elementos físicos, de los que se encarga el departamento de instrumentación. El software del sistema de control contiene las configuraciones y aplicaciones donde se programan las masters y fases que controlan el proceso, los enclavamientos y los lógicos de control.

## **4 Proyecto de ampliación de la planta de polioles flexibles**

### **4.1 Introducción al proyecto**

Las distintas fases de diseño y la planificación del proyecto se realizan por la Dirección de Ingeniería, con participación del departamento de producción como asesor y fuente de información. El objetivo del proyecto es la instalación de un nuevo reactor para la producción de dos grados de prepolímero nuevos. Esta nueva configuración permite liberar ocupación del reactor existente, que pasará a producir exclusivamente poliol flexible.

#### **4.1.1 Ingeniería conceptual**

La ingeniería conceptual se realiza una vez finalizados los estudios previos del proyecto. En el documento de ingeniería conceptual se recogen las principales bases de diseño, descripción de modificaciones, balances de materia, estimación de inversión total, programa de ejecución del proyecto y calendario de desembolsos.

De este modo, contiene la información necesaria con tal de realizar una evaluación económica del proyecto y determinar la viabilidad de este. Según los resultados obtenidos en esta etapa, se toma la determinación de sobre la ejecución de la siguiente fase, correspondiente a la fase FEL.

#### **4.1.2 Ingeniería básica, de detalle y FEL**

En la fase de ingeniería básica se definen la información de diseño del proceso y especificaciones con el alcance del proyecto. En el estudio FEL se identifican los puntos más importantes del diseño y ejecución, analizando los condicionantes del proyecto para identificar riesgos potenciales y actividades críticas.

### **4.2 Equipos nuevos**

El proyecto consiste en la instalación de un nuevo reactor de prepolímero, además de todos los equipos asociados a este. El nuevo reactor opera de modo equivalente al reactor actual, con un circuito de refrigeración dotado de un sistema de enfriamiento, una línea hasta el depósito de almacenamiento de prepolímero y nuevas alimentaciones al reactor de materias primas y prepolímero.

Además, ya que los dos reactores operan de manera equivalente, se pueden establecer las equivalencias entre equipos mostradas en la tabla 7.1, a continuación.

### **4.3 Impacto en el sistema de control**

El proyecto tendrá un impacto tanto en la instalación de hardware como en la programación del software del sistema de control. Es decir, se deberán realizar nuevas conexiones físicas en el sistema de control distribuido, de enclavamientos, sala de racks y sala de control para integrar las nuevas señales. Además, se modificará la programación de las masters y fases del proceso para incluir las nuevas operativas.

Tal y como se ha expuesto anteriormente, las masters corresponden a las secuencias principales que a su vez lanzan operaciones específicas llamadas fases. De este modo, el proyecto incorpora una nueva master, que controla la producción de propolímero en el nuevo reactor. Esta master lleva asociada nuevas fases equivalentes a las existentes en el reactor actual, ya que la operativa de ambos reactores es casi idéntica.

## 5 Gestión del proyecto

El proyecto del nuevo reactor de prepolímero se divide en 5 etapas diferenciadas: fase de diseño, ejecución (construcción), precomisionado, comisionado y puesta en marcha. Durante estas fases hay un flujo de responsabilidades internas, que llevan consigo responsabilidades económicas asociadas.

Tal y como se ha especificado anteriormente, el TFM se realiza desde la perspectiva del departamento de operación. El objetivo del TFM es estructurar la información requerida con tal de realizar las preparaciones, precomisionado, comisionado y puesta en marcha de las nuevas instalaciones.

En la figura 5.1, a continuación, se muestran las etapas del proyecto y las actividades realizadas durante la ejecución del TFM. Cada una de las actividades se encuentra desarrollada en los siguientes apartados del informe e incluidas en los anexos.



Figura 5.1. Fases del proyecto y actividades realizadas para el TFM.

### 5.1 Sistemas operativos

Con tal de facilitar la entrega, precomisionando y comisionado de las instalaciones, se divide la instalación en sistemas operativos. Los sistemas operativos son conjuntos de líneas, equipos e instrumentos cuyos límites y componentes son claramente identificables y no compartidos con ningún otro sistema operativo. Los sistemas operativos se delimitan considerando secciones que aportan a la planta un servicio o que constituyan un conjunto funcionalmente relacionado e independiente. De este modo, se pueden realizar pruebas y ensayos sobre los sistemas de manera autónoma. Los límites físicos de los sistemas operativos deben poder ser aislados de la resta de la instalación, pudiéndose realizar mediante el cierre de válvulas o el uso de discos ciegos.

Además, en algunos casos puede haber entregas parciales de un sistema, por ejemplo, en el caso de los motores, y en este caso se habla de subsistemas. También se definen los llamados sistemas genéricos, que son independientes a los sistemas operativos, aún pudiendo compartir en algunos casos elementos. Algunos ejemplos de sistemas operativos son multicables, cajas de instrumentación, salas de racks, subestaciones, etc.

Tanto los sistemas operativos, subsistemas y sistemas operativos genéricos se encuentran definidos y delimitados en el anexo A2 del TFM confidencial.

## **5.2 Etapas del proyecto**

El proyecto se divide en 4 etapas diferenciadas: la ejecución (construcción), precomisionado, comisionado y puesta en marcha. El TFM se centra en las fases que afectan de modo directo al grupo de comisionado y al departamento de producción o operación de la planta. De este modo, se definen a continuación las fases de precomisionado, comisionado y puesta en marcha. Además, previo a ejecución y a las paradas se deben realizar una serie de preparaciones con tal de preparar las instalaciones.

### **5.2.1 Preparación para la ejecución**

Las preparaciones son todas aquellas actividades que deberán ser realizadas por parte del departamento de operación, previo a los trabajos de construcción, con tal de preparar las instalaciones para la ejecución de los trabajos planificados. Estas preparaciones pueden incluir lavados y vaporizados de líneas para asegurar que posteriormente se pueda trabajar en condiciones de máxima seguridad.

### **5.2.2 Precomisionado**

La fase de precomisionado tiene lugar antes de la entrega de instalaciones por parte de construcción. Tanto el precomisionado como el comisionado se realiza por sistemas operativos, es decir, por partes previamente delimitadas por el departamento de operación.

Las actividades de precomisionado son pruebas que se realizaran sobre los equipos, instrumentos, líneas, etc, que conforman un determinado sistema operativo, para verificar que todos los componentes requeridos en el diseño hayan sido instalados correctamente.

### **5.2.3 Comisionado**

La fase de comisionado tiene lugar después de la entrega de instalaciones por parte de construcción. La entrega de instalaciones y sistemas operativos es un hito del proyecto en el cual la responsabilidad pasa de construcción al grupo de comisionado.

El inicio de las actividades de comisionado se realiza cuando todos los elementos que conforman un determinado sistema hayan sido instalados de acuerdo con a las bases de diseño del proyecto, es decir, los planos y especificaciones de montaje correspondientes.

### **5.2.4 Puesta en marcha**

La puesta en marcha se realiza cuando han sido comisionados todos los sistemas operativos y genéricos que conforman el proyecto. Esta fase se realiza bajo la dirección y responsabilidad del departamento de operación, siguiendo los manuales de puesta en marcha generados previamente y con los auxilios proporcionados por el propio complejo industrial.

De este modo, el grupo de comisionado realiza las actividades mediante las cuales se pone en servicio la nueva instalación. En esta fase se retiran discos ciegos, se realiza la apertura de válvulas, se da tensión a los sistemas eléctricos y se lanzan las secuencias de control del proceso.

## **5.3 Planificación y programación (*Scheduling*) de actividades**

La planificación y programación de las actividades de precomisionado, comisionado y puesta en marcha se realizan siguiendo la metodología de Richard D. Palmer<sup>1</sup> definida en el *Maintenance Planning and Scheduling Handbook*.

Se diferencia entre la planificación y programación, siendo la planificación la etapa de estimación de recursos necesarios para realizar cada actividad. En cambio, durante la programación se definen fechas de inicio y fin de actividades, duración y se gestionan los recursos en el tiempo. De este modo, en la etapa de programación se genera un cronograma de las actividades a realizar.

Al hablar de actividades, se refiere a las pruebas y ensayos a realizar durante las etapas de precomisionado, comisionado y puesta en marcha de la nueva instalación. Estas actividades se definen en el siguiente apartado para cada una de las especialidades. Para el proyecto TFM, se realiza la planificación y programación del sistema operativo "K" que incluye el nuevo reactor, su recirculación y equipos asociados, tal y como se muestra en el anexo A4 del TFM confidencial.

Las estimaciones de recursos se realizan en base a conocimientos empíricos recolectados a partir de entrevistas con personal de la empresa con previa experiencia en la gestión de paradas y con datos históricos del departamento de planificación.

Además, se realiza un estudio en campo con tal de determinar la duración de actividades de comisionado por parte del departamento de operación. El estudio se realiza sobre una pequeña instalación muestra, que consta de una bomba centrífuga, su motor, bancada, líneas de aspiración e impulsión, traceado de vapor, calorifugado, válvulas, instrumentos, etc.

Se utilizan las aplicaciones de gestión de proyectos *Gantt Project*, *Microsoft Planner* y *Tasks* para las tareas de planificación y programación.

## 6 Ejecución, precomisionado, comisionado y puesta en marcha

### 6.1 Sistemas

Tal y como se ha explicado en el apartado anterior, para la ejecución del proyecto, el proceso se divide en sistemas operativos que facilitan la entrega y verificación de las instalaciones. De este modo, las etapas de precomisionado y comisionado se pueden realizar sobre secciones independientes. Con tal de definir los sistemas operativos de modo sistemático, se establecen una serie de pautas para su delimitación, mostradas a continuación.

1. Los sistemas operativos tendrán límites claramente identificables.
2. Los límites de los sistemas operativos se deben poder aislar de los sistemas adyacentes mediante bloqueos o válvulas PSV.
3. Los sistemas operativos no compartirán componentes con otros sistemas operativos (exceptuando los sistemas operativos genéricos).
4. En caso de sistemas aislados mediante el cierre de una válvula abre/cierra, la válvula pertenecerá al sistema con presión más elevada.
5. Siempre que sea posible, se definirán sistemas operativos que constituyan un conjunto funcionalmente relacionado o con previsión de entrega simultánea.

Debido a que se planifican dos paradas de planta separadas durante la ejecución del proyecto, se realizarán dos etapas independientes de precomisionado, comisionado y puesta en marcha. De este modo, se realiza una delimitación de los sistemas operativos para cada una de las paradas.

En las tablas 9.1 y 9.2 del TFM confidencial, se muestran los sistemas operativos definidos. En el anexo A2.2 del TFM confidencial se muestran los P&ID's delimitados, con los equipos, líneas e instrumentos correspondientes a cada sistema marcados en color. Además, se genera una base de datos que permite realizar agrupaciones de los elementos en diferentes sistemas y que facilita la organización para la planificación del precomisionado, comisionado y puesta en marcha (PEM).

Además de los sistemas operativos definidos en las tablas 9.1 y 9.2, se establecen una serie de sistemas operativos genéricos. Estos sistemas incluyen componentes independientes del proceso (equipos, líneas, instrumentos...) y conforman conjuntos funcionalmente relacionados. En algunos casos, dentro de los sistemas operativos se realiza una segunda clasificación más específica que permite realizar las etapas de verificación de modo independiente. La nomenclatura de estos sistemas viene definida según normativa interna de la compañía.

En la tabla 9.3, del TFM confidencial, se muestran todos los sistemas operativos genéricos.

#### 6.1.1 Prioridad de Entrega

Una vez se han definido los sistemas operativos, se establece una prioridad para la entrega de las instalaciones. De este modo, se facilita la planificación y gestión de recursos necesarios durante las etapas de precomisionado y comisionado.

Con el objetivo de establecer una prioridad en la entrega de sistemas lógica y ordenada se utilizan las siguientes pautas:

1. Entrega de drenajes requeridos para la puesta en marcha de la planta.
2. Entrega de aire de proceso para operar instrumentos.
3. Entrega de agua de refrigeración.
4. Entrega de otros servicios.
5. Entrega de líneas de proceso según sentido del flujo de proceso.

De este modo, se establecen las prioridades de entrega de sistemas para ambas paradas, tal y como se muestra en las siguientes tablas.

*Tabla 6.1. Prioridad sistemas operativos parada I .*

<b>Nomenclatura Sistema Operativo</b>	<b>Orden de Prioridad</b>	<b>Líneas</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Equipos</b>
"A"	1	10	0	0
"B"	2	1	0	0
"C"	3	5	0	0
"D"	4	10	0	0
"E"	5	1	0	0

*Tabla 6.2. Prioridad sistemas operativos parada II.*

<b>Nomenclatura Sistema Operativo</b>	<b>Orden de Prioridad</b>	<b>Líneas</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Equipos</b>
"F"	20	4	9	0
"G"	15	19	35	2
"H"	16	2	15	0
"I"	21	5	9	0
"J"	19	12	21	1
"K"	17	38	105	4
"L"	18	8	13	2
"M"	14	22	28	8
"N"	10	2	5	0
"O"	6	5	12	0
"P"	7	10	21	0
"Q"	8	6	3	0
"R"	9	2	0	0
"S"	5	7	5	0
"T"	4	5	0	0
"U"	13	8	14	1
"V"	12	10	0	0
"W"	11	12	0	0
"X"	3	7	0	0
"Y"	2	6	2	0

## **6.2 Ejecución**

La ejecución o fase de construcción del proyecto tiene lugar según la planificación realizada por la DI, localizada en el anexo A3 del TFM confidencial.

### **6.2.1 Parada I**

La primera parada tendrá lugar para la reubicación de líneas de servicios y de proceso que obstruyen la construcción de la estructura metálica del nuevo reactor. La reubicación de las líneas se realiza haciendo picajes o *tie-in's* y reconectando los tramos alrededor de la nueva estructura.

Dentro del alcance del TFM, se incluyen las preparaciones requeridas para la realización de *tie-in's* de la primera parada.

### **6.2.2 Parada II**

La parada II incluye todos los trabajos en los que es necesaria la ejecución con la planta parada. La parada II tendrá una duración de 30 días, incluyendo los trabajos de preparación, precomisionado y comisionado.

### **6.2.3 Preparaciones**

Dentro de la ejecución o fase de construcción, los trabajos previos de parada, de aquí en adelante llamados preparaciones, corresponden al departamento de operación. Tal y como se ha especificado anteriormente, en el alcance del TFM se incluyen las preparaciones previas a la parada I y las intervenciones en los colectores de drenajes.

Las preparaciones son trabajos de preparación previos a la ejecución de un trabajo con el objetivo de realizar el mismo en condiciones de seguridad. Para alguna de las preparaciones se generan procedimientos de trabajo que describen las operaciones y recursos necesarios para preparar las intervenciones programadas. Los manuales generados constan de:

1. Título
2. Nomenclatura interna
3. Objeto
4. Alcance
5. Operaciones a realizar
6. Check-list's pasos
7. Planos

En el anexo A1.2 del TFM confidencial, se encuentran los manuales completos.

### **6.2.4 Puesta en marcha**

Además, al ser la puesta en marcha de la nueva unidad responsabilidad directa del departamento de operación, se realiza también un procedimiento específico que incluye la preparación para la puesta en marcha localizado en el anexo A1.3 del TFM confidencial.

### **6.2.5 Formaciones**

Otro punto perteneciente al alcance del TFM es la realización e impartición de formaciones a personal de la planta. Debido a que el proyecto se desarrolla desde el punto de vista del departamento de operación de la planta de polioles flexibles, se centra en las formaciones específicas a personal interno de la planta, es decir, operadores, panelistas, jefes de turno y técnicos. Con tal de generar las presentaciones se realizan cálculos de ocupación de los reactores, balances de materia, recetas y de transición de grados de prepolímero.

#### 6.2.5.1 Formación Proyecto Nuevo Reactor Prepolímero

Durante las fases iniciales de la ejecución se imparte una formación general sobre el proyecto en formato de presentación que incluye los siguientes puntos:

- Descripción y Justificación del Proyecto
- Evolución de los Presupuestos
- Nuevos Equipos
- P&ID's
- Maquetas 3D
- Planificación Ejecución
- Parada I / Preparaciones
- Nuevo Prepolímero y Peso Molecular
- Ocupación Reactores
- Descripción del Proceso, operativa "A"
- Descripción del Proceso, operativa "B"

#### 6.2.5.2 Formación Puesta en Marcha y Operación

También se realiza una segunda presentación sobre la puesta en marcha y la operación de la nueva instalación. En la formación se incluyen los siguientes puntos:

- Control Temperatura
- Variador de Velocidad
- Otros Lazos de Control
- Transición

Las presentaciones completas se muestran en el anexo A6 del TFM confidencial.

### 6.3 Precomisionado, comisionado y puesta en marcha (PEM)

Tal y como se ha descrito anteriormente, las etapas de precomisionado y comisionado constan de actividades de verificación que sirven para comprobar que las instalaciones se hayan dispuesto según las especificaciones. Las actividades de precomisionado son aquellas que se pueden realizar antes de la entrega del sistema por parte de construcción.

Las actividades de precomisionado y comisionado son diferentes pruebas o ensayos que se pueden dividir en diferentes categorías en función de quien haya de realizarlas. De este modo, uno de los trabajos de planificación corresponde a la categorización de las actividades en distintos grupos según especialidad.

Dentro del alcance del TFM, se analizan, planifican y programan las actividades correspondientes al sistema operativo "K". El sistema en cuestión corresponde al nuevo reactor de prepolímero, junto con su recirculación, agitador e intercambiador de calor. El análisis de este sistema operativo permite una visión de todos los tipos de actividades al contener equipos tanto estáticos, como dinámicos.

El sistema operativo "K" tiene un total de 4 equipos, 38 líneas y 105 instrumentos. En la figura 9.3 (TFM confidencial), se muestra una sección del P&ID del nuevo reactor de prepolímero, en el cuál el sistema operativo "K" se muestra delimitado de color amarillo. En la tabla 6.7 se muestran todos los equipos pertenecientes a este sistema y en el anexo A2.3 (TFM confidencial) se muestra el desglose de todos los sistemas operativos y sus componentes.

Tabla 6.3. Equipos sistema operativo 06-RQ-POL.

Nomenclatura Equipo	Descripción
R-1000	Reactor
P-1000	Agitador
E-1000	Serpentín
G-1000	Bomba

#### 6.3.1 Actividades de verificación

Las actividades de verificación vienen definidas según normativa interna de la compañía<sup>ii</sup>. A continuación, estas actividades se clasifican según apliquen al sistema operativo "K" y por especialidades.

Además, por parte de operación, se realizan una serie de verificaciones mediante *check-list's* generadas para cada componente del sistema, es decir, líneas, equipos e instrumentos. Las *check-list's* sirven para que los operadores de planta pueden hacer las comprobaciones de manera ordenada y secuencial, asegurando el análisis de todos los componentes. En el anexo A5.2 (TFM confidencial) se muestran las *check-list's* creadas para el sistema operativo "K".

##### 6.3.1.1 Equipos Dinámicos

En la siguiente tabla se muestran las actividades de verificación que serán realizadas por la especialidad de mantenimiento de equipos dinámicos. En el caso del sistema operativo "K" los equipos dinámicos son el agitador (P-1000) y la bomba (G-1000). En la tabla se define la fase de ejecución, ya sea precomisionado o comisionado.

Tabla 6.4. Actividades de verificación, especialidad equipos dinámicos.

Código	Descripción	Actividades Totales	Fase de Ejecución
69	Verificación de montaje del equipo dinámico en máquinas críticas	2	Precomisionado
70	Alineación del equipo dinámico en frío con tubería embridada y desembridada	1	Precomisionado
80	Acoplar el equipo al motor o máquina de accionamiento, una vez ésta haya sido rodada satisfactoriamente	2	Precomisionado
75	Realizar flushing de aceite en e. Dinámicos con centralita de lubricación o de sellado	2	Comisionado
76	Carga inicial o sustitución del aceite de lubricación	2	Comisionado
77	Comprobar los cojinetes después de la prueba funcional (bombas) si ha habido anomalías	1	Comisionado
78	Medición de temperaturas en equipos dinámicos	2	Comisionado
79	Medición de vibraciones en equipos dinámicos	2	Comisionado
92	Alineaciones en caliente del equipo dinámico	1	Comisionado
93	Realizar las correcciones menores de ajuste consideradas necesarias durante el rodaje del equipo	2	Comisionado
94	Rodaje del motor eléctrico. Comprobación del sentido de giro	2	Comisionado
95	Rodaje del motor eléctrico. Verificación de calentamiento	2	Comisionado
96	Rodaje del motor eléctrico. Verificación de vibraciones y temperatura	2	Comisionado
67	Prueba funcional del sistema de lubricación por niebla	2	Comisionado
100	Pruebas funcionales de equipos dinámicos	2	Comisionado
91	Ajustar y/o sustituir los cierres mecánicos, empaquetaduras o accesorios que sean necesarios durante la preparación de la PEM y durante PEM	2	Comisionado/PEM
108	Realizar mantenimiento de equipos después de terminación mecánica, limpieza de filtros, ajustes de prensas en bombas y válvulas, etc, hasta la PEM	2	Comisionado/PEM

### 6.3.1.2 Equipos Estáticos y Oficios Varios

En la siguiente tabla se muestran las actividades de verificación que serán realizadas por la especialidad de mantenimiento de equipos estáticos y oficios varios. Según la organización interna de la compañía, estas especialidades son gestionadas por el mismo departamento. Para el sistema operativo "K", los equipos estáticos son el reactor (R-1000) y el serpentín (E-1000). Por la especialidad de oficios varios, corresponden las válvulas PSV, discos de ruptura, planes API, filtros, líneas y uniones bridadas.

En la tabla se muestra la fase de ejecución de cada actividad.

Tabla 6.5. Actividades de verificación, especialidad equipos estáticos.

Código	Descripción	Actividades Totales	Fase de Ejecución
119	Realizar pruebas hidráulicas en el equipo estático en campo, si se requiere (aéreos e intercambiadores)	1	Precomisionado
124	Prueba hidráulica de tanques, esferas y columnas, incluyendo verificación de asentamiento	1	Precomisionado
130	Verificación del correcto montaje de internos antes del cierre del equipo estático	2	Precomisionado
134	Limpieza final y cierre de pasos y entradas de hombre, una vez realizados todos los trabajos y previa autorización de operación en tanques / esferas	1	Precomisionado
135	Verificación de colocación de psv's, blanketing, sistema anti-vacío y apagallamas	9	Precomisionado
109	Pruebas oficiales de presión de todas las tuberías y equipos, de acuerdo con la legislación vigente, normas y especificaciones. Recopilar los informes y gráficos de las pruebas realizadas	40	Precomisionado
146	Contrastación de tarado (prueba de disparo) de válvulas de seguridad	8	Precomisionado
101	Instalar filtros (mallas) provisionales en todos los filtros de planta	1	Comisionado
102	Retirar y limpiar filtros (mallas)	1	Comisionado
128	Par de apriete de uniones bridadas tras realizar los lavados	50	Comisionado
129	PAR DE APRIETE DE UNIONES BRIDADAS TRAS REALIZAR OTRAS LIMPIEZAS (químicas, soplados, vaporizados)	50	Comisionado
138	Instalar y retirar los discos ciegos necesarios para lavados, soplados y limpiezas químicas previas a la puesta en marcha		Comisionado
141	Instalar las conexiones provisionales y los aparatos especiales necesarios para el barrido, lavado y soplado de líneas y equipos		Comisionado
145	Instalación de PSV's, válvulas de descarga y discos de ruptura tras lavados de líneas	8	Comisionado
142	Lavado de líneas	38	Comisionado
143	Otras limpiezas de líneas (limpiezas químicas, soplados, vaporizados), incluyendo la gestión de suministro de productos, fluidos y equipos que para ello fuesen necesarios		Comisionado
108	Realizar mantenimiento de equipos después de terminación mecánica,	13	Comisionado/PEM

Código	Descripción	Actividades Totales	Fase de Ejecución
	limpieza de filtros, ajustes de prensas en bombas y válvulas, etc, hasta la PEM		
149	Realizar el apriete en caliente de las tuberías y equipos durante las operaciones iniciales de PEM	40	Comisionado/PEM
150	Controlar los muelles, soportes, guías y anclajes de las tuberías calientes	38	Comisionado/PEM

### 6.3.1.3 Instrumentación

En la siguiente tabla se muestran las actividades de verificación que serán realizadas por la especialidad de mantenimiento de instrumentación. Tal y como indica el nombre, la especialidad gestionará las actividades de verificación a realizar sobre instrumentos y sus componentes asociados. En la tabla se muestra la fase de ejecución de cada actividad.

*Tabla 6.6. Actividades de verificación, especialidad instrumentación.*

Código	Descripción	Actividades Totales	Fase de Ejecución
171	Verificación de montaje de analizadores	5	Precomisionado
173	Verificación del estado de la caseta de analizadores	1	Precomisionado
176	Verificación dimensional de placas de orificio	4	Precomisionado
172	Prueba funcional del analizador	5	Comisionado
177	Verificación de montaje de placas de orificio	4	Comisionado
178	Verificar todos los instrumentos, alarmas, interruptores, etc, durante las operaciones de llenado y vaciado del tanque o esfera (si está operativo/a)	2	Comisionado
179	Comprobación de funcionamiento en campo de preostatos y transmisores de presión	28	Comisionado
180	Prueba de lazos	4	Comisionado
181	Desmontaje y reinstalación de instrumentos en línea en lavados		Comisionado
182	Prueba funcional de plc y scd	1	Comisionado
183	Redundancia y comunicaciones de plc y scd	1	Comisionado
184	Instalación del software del sistema	1	Comisionado
185	Verificaciones de software del sistema	1	Comisionado
186	Verificación por muestreo de secuencia enclavamiento plc	1	Comisionado
188	Prueba funcional del sistema fire & gas	1	Comisionado

## 6.3.1.4 Electricidad

En la siguiente tabla se muestran las actividades de verificación que serán realizadas por la especialidad de mantenimiento de electricidad. Esta especialidad gestiona aquellas actividades de verificación que contengan pruebas sobre sistemas eléctricos o de cableado. En la tabla se muestra la fase de ejecución de cada actividad.

*Tabla 6.7. Actividades de verificación, especialidad electricidad.*

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Actividades Totales</b>	<b>Fase de Ejecución</b>
13	Verificación de montaje de ducto de barras	1	Precomisionado
21	Verificación de montaje del centro de control de motores (ccm)	1	Precomisionado
22	Medición del aislamiento entre fases del centro de control de motores (ccm)	1	Precomisionado
23	Timbrado y medición de aislamiento en cables de fuerza bt y control	1	Precomisionado
25	Comprobación y medida de red general de puesta a tierra	1	Precomisionado
50	Verificación de montaje de variadores de velocidad	1	Precomisionado
10	Mediciones de aislamiento en transformadores de potencia	1	Precomisionado
19	Calibrar y ajustar relés de todos los interruptores automáticos. Ajustar intensidades y tiempos, incluyendo los paneles de baja tensión	1	Precomisionado
12	Pruebas funcionales de transformadores de potencia	1	Comisionado
26	Simulación de sistemas automáticos enclavamientos, alarmas, comprobación de interruptores y disparos en parques intemperie y subestación principal	1	Comisionado
39	Comprobar consumos durante el rodaje en vacío del motor eléctrico	2	Comisionado
51	Pruebas funcionales de variadores de velocidad	1	Comisionado
60	Prueba funcional del sistema contra incendios en transformadores	1	Comisionado
58	Energizado de subestaciones	1	Comisionado/ PEM

### 6.3.1.5 Operación

En la siguiente tabla se muestran las actividades de verificación que serán realizadas por el departamento de operación de la planta de polioles flexibles. Además, operación realizará completará las listas de chequeo. En la tabla se muestra la fase de ejecución de cada actividad.

*Tabla 6.8. Actividades de verificación, departamento de operación.*

Código	Descripción	Actividades Totales	Fase de Ejecución
90	Mantener lubricados los equipos después de realizada la entrega	4	Comisionado
204	Prueba funcional de luminosidad	1	Comisionado
205	Preparar lista y localización de todos los discos ciegos instalados, para el comisionado y PEM	1	Comisionado
206	Enclavamiento de elementos tales como válvulas, colocando candados o sistemas equivalentes. Nominando responsable	1	Comisionado
208	Realizar soplado en equipos estáticos con aire si fuese requerido	1	Comisionado
211	Prueba funcional del serpentín de calentamiento	1	Comisionado
220	Pruebas de funcionamiento del sistema de drenajes	1	Comisionado
A	<i>Check-list's</i>	2	Comisionado

### 6.3.1.6 Check-list's

Las *check-list's* son listados de chequeo que permiten la verificación de la correcta instalación de los elementos del proceso. Se generan los listados de chequeo correspondientes a la parada I, localizados en el anexo A5.1 del TFM confidencial. A partir de los listados de chequeo se generan las listas de faltas, documentos emitidos para relacionar las faltas, defectos o errores detectados en las instalaciones.

Las faltas y modificaciones pendientes se dividen en dos categorías: los cambios necesarios son aquellos que se han de efectuar obligatoriamente ya que en caso contrario impedirán la operación de la planta. En cambio, los cambios convenientes son aquellos que indican cambios deseables, pero no esenciales para la operación de la planta.

Algunos de las comprobaciones listadas en las *check-list's* son las siguientes:

- Comprobaciones en líneas de proceso: comprobar para cada subsistema que todos los instrumentos, conexiones, accesorios, etc. correspondan y estén dispuestos en el mismo orden que en el P&ID. También comprobar que la isométrica corresponda con lo construido.
- Comprobaciones de líneas de proceso en campo, por ejemplo, accesibilidad de los instrumentos, posibilidad de mover todas las válvulas (disposición del volante).
- Comprobaciones en equipos: comprobar con los planos constructivos y los P&ID's que los equipos montados en campo poseen la instrumentación y accesorios indicados en los P&ID's. También comprobar que todos los componentes internos están correctamente instalados, accesibilidad a la instrumentación, purgas y bloqueos del equipo, correcta numeración de las válvulas PSV...

### 6.3.2 Estimación de recursos

Con tal de planificar y programar las actividades de verificación descritas en el apartado anterior se debe realizar una estimación de los recursos requeridos durante la ejecución de cada una de ellas. Dentro de la estimación de recursos se incluye la estimación de duración de cada actividad en horas hombre.

El método utilizado para las estimaciones de las actividades incluidas dentro de la normativa interna es empírico y estadístico, basándose en datos históricos previos y la experiencia real de técnicos de cada departamento ante la inexistencia de datos para algunas de las actividades. En el caso de las actividades de comisionado adicionales correspondientes a las *check-list's* a verificar por parte del departamento de operación, se realizan una serie de pruebas en campo para obtener tiempos de duración estimados.

El grupo de comisionado asigna los recursos a cada departamento para las etapas de precomisionado, comisionado y puesta en marcha, por lo que se debe comprobar mediante la estimación de recursos y la programación de las actividades, si los recursos presupuestados inicialmente serán los idóneos para poder completar los trabajos dentro de los tiempos fijados.

#### 6.3.2.1 Pruebas en campo

Las pruebas en campo se realizan sobre una nueva bomba. La bomba se encuentra instalada en campo pendiente de conexión durante la siguiente parada programada por lo que se utiliza para realizar las estimaciones de tiempo correspondientes a la compleción de las *check-list's* generadas, líneas de aspiración e impulsión, incluyendo su calorifugado y traceados. La instalación queda pendiente de conectar al proceso en la próxima para planificada. De este modo, se verifican las *check-list's* a modo de precomisionado, habiéndose de comprobar de nuevo una vez esté completada la conexión al proceso.

En las siguientes tablas se muestran las estimaciones de duraciones para cada uno de los sistemas operativos, incluyendo las dos paradas.

Tabla 6.9. Estimación duración verificación *check-list's*.

Sistema Operativo	Líneas	Instrumentos	Equipos	Duración Comisionado (horas hombre)
"A"	10	0	0	3,33
"B"	1	0	0	0,33
"C"	5	0	0	1,67
"D"	10	0	0	3,33
"E"	1	0	0	0,33
Total	27	0	0	9,00

Tabla 6.10. Estimación duración verificación check-list's.

Sistema Operativo	Líneas	Instrumentos	Equipos	Duración Comisionado (horas hombre)
"F"	4	9	0	2,08
"G"	19	35	2	10,3
"H"	2	15	0	1,92
"I"	5	9	0	2,42
"J"	12	21	1	6,25
"K"	38	105	10	26,4
"L"	8	13	2	4,75
"M"	22	28	8	13,7
"N"	2	5	0	1,08
"O"	5	12	0	2,67
"P"	10	21	0	5,08
"Q"	6	3	0	2,25
"R"	2	0	0	0,67
"S"	7	5	0	2,75
"T"	5	0	0	1,67
"U"	8	14	1	4,33
"V"	10	0	0	3,33
"W"	12	0	0	4,00
"X"	7	0	0	2,33
"Z"	6	2	0	2,17
Total	190	297	24	100

### 6.3.2.2 Recursos actividades normativa interna

En las siguientes tablas se muestran las duraciones estimadas de cada una de las actividades de precomisionado y comisionado descritas en el apartado anterior. A partir de las estimaciones temporales en horas hombre, se asignan los recursos necesarios a cada una de las actividades, teniendo en cuenta el período máximo de 10 días planificado por la DI para las actividades de comisionado.

Tabla 6.11. Estimación de recursos, especialidad equipos dinámicos.

<b>Código (epígrafe 4.3.1)</b>	<b>Actividades Totales</b>	<b>Duración por Actividad (horas hombre)</b>	<b>Duración Total (horas hombre)</b>	<b>Recursos Asignados</b>
69	2	1,0	2,0	2
70	1	1,0		2
80	2	2,0	4,0	2
75	2	0,5	1,0	2
76	2	0,5	1,0	2
77	1	0,5	0,5	2
78	2	1,5	3,0	2
79	2	1,5	3,0	2
92	2	2	4,0	2
93	2	0,5	1,0	2
94	2	0,5	1,0	2
95	2	1,5	3,0	2
96	2	1,5	3,0	2
67	2	0,5	1,0	2
100	2	0,5	1,0	2
91	2	1,5	3,0	2
108	2	1,0	2,0	2

Tabla 6.12. Estimación de recursos, especialidad equipos estáticos.

<b>Código (epígrafe 4.3.1)</b>	<b>Actividades Totales</b>	<b>Duración por Actividad (horas hombre)</b>	<b>Duración Total (horas hombre)</b>	<b>Recursos Asignados</b>
119	1	4,0	4,0	2
124	1	6,0	6,0	4
130	2	2,0	4,0	2
134	1	2,0	2,0	4
135	9	0,5	4,5	2
109	38	2,0	76,0	2
146	8	0,5	4,0	2
101	1	0,5	0,5	2
102	1	1,0	1,0	2
128/129	50	0,5	25,0	2
141	-	3,0	3,0	2
145	8	1,0	8,0	2
142	38	1,5	57,0	4
108	13	1,0	13,0	2
149	40	0,5	20,0	2
150	38	0,5	19,0	2

Tabla 6.13. Estimación de recursos, especialidad instrumentación.

<b>Código (epígrafe 4.3.1)</b>	<b>Actividades Totales</b>	<b>Duración por Actividad (horas hombre)</b>	<b>Duración Total (horas hombre)</b>	<b>Recursos Asignados</b>
171	5	0,5	2,5	2
173	1	1,5	1,5	2
176	4	0,5	2,0	2
172	5	1,0	5,0	2
177	4	0,5	2,0	2
178	2	2,0	4,0	2
179	28	0,5	14,0	2
180	4	1,5	6,0	2
181	-	6,0	6,0	2
182	1	5,0	5,0	2
183	1	2,0	2,0	2
184	1	5,0	5,0	2
185	1	5,0	5,0	2
186	1	5,0	5,0	2
188	1	5,0	5,0	2

Tabla 6.14. Estimación de recursos, especialidad electricidad.

<b>Código (epígrafe 4.3.1)</b>	<b>Actividades Totales</b>	<b>Duración por Actividad (horas hombre)</b>	<b>Duración Total (horas hombre)</b>	<b>Recursos Asignados</b>
13	1	1,0	1,0	2
21	1	3,0	3,0	2
22	1	1,0	1,0	2
23	1	1,0	1,0	2
25	1	3,0	3,0	2
50	1	0,5	0,5	2
10	1	1,0	1,0	2
19	1	3,0	3,0	2
12	1	1,5	1,5	2
26	1	5,0	5,0	4
39	2	0,5	1,0	2
51	1	1,0	1,0	2
60	1	1,0	1,0	2
58	1	0,5	0,5	2

Tabla 6.15. Estimación de recursos, departamento de operación.

<b>Código (epígrafe 4.3.1)</b>	<b>Actividades Totales</b>	<b>Duración por Actividad (horas hombre)</b>	<b>Duración Total (horas hombre)</b>	<b>Recursos Asignados</b>
90	4	Continua	-	-
204	1	3,0	3,0	2
205	1	1,0	1,0	2
206	1	1,0	1,0	2
208	1	1,0	1,0	2
211	1	2,0	2,0	2
220	1	2,0	2,0	2

### 6.3.3 Precedencias

Con tal de generar una programación de las actividades de verificación, se realiza un análisis de precedencias de cada una de ellas<sup>iii</sup>. De este modo, se determina qué actividades deben ser realizadas previo al inicio de otra.

Una vez establecidas las precedencias se puede determinar qué actividades podrán ser realizadas de modo simultáneo y qué recursos deberán ser asignados a cada una de ellas.

Para establecer las precedencias se utilizan herramientas visuales y la asistencia de técnicos de las distintas especialidades. Se crea un tablero temporal de todas las actividades pertenecientes al sistema "K" en el cuál se pueden analizar las precedencias y determinar aquellas actividades completamente independientes.

En la tabla 9.20, a continuación, se muestran las precedencias detectadas en las etapas de precomisionado y comisionado.

#### 6.3.3.1 Equipos Dinámicos

Tabla 6.16. Tabla de precedencias, departamento de equipos dinámicos.

<b>Código (epígrafe 4.3.1)</b>	<b>Precedencia</b>	<b>Fase de Ejecución</b>
69	FIN MONTAJE	Precomisionado
70	69	Precomisionado
80	39, 70	Precomisionado
76	75	Comisionado
77	100	Comisionado
92	70	Comisionado
67	75	Comisionado
100	70, 92	Comisionado
91	78/79/93/100	Comisionado/PEM

## 6.3.3.2 Equipos Estáticos y Oficios Varios

Tabla 6.17. Tabla de precedencias, departamento de equipos estáticos y oficios varios.

<b>Código (epígrafe 4.3.1)</b>	<b>Precedencia</b>	<b>Fase de Ejecución</b>
130	109, 119, 124	Precomisionado
134	130, 135	Precomisionado
135	109, 119, 124	Precomisionado
146	135	Precomisionado
102	101	Comisionado
128	142	Comisionado
129	143	Comisionado
138	130, 134, 135	Comisionado
141	130, 134, 135	Comisionado
145	142	Comisionado
142	138, 141, 181, 224	Comisionado
143	138, 141	Comisionado
108	CONTÍNUA	Comisionado/PEM
127	119, 124	PEM
149	COMISIONADO	Comisionado/PEM
150	149	Comisionado/PEM
152	Finalizada PEM	PEM
155	150	PEM

## 6.3.3.3 Instrumentación

Tabla 6.18. Tabla de precedencias, departamento de instrumentación.

<b>Código (epígrafe 4.3.1)</b>	<b>Precedencia</b>	<b>Fase de Ejecución</b>
171	FIN MONTAJE	Precomisionado
173	FIN MONTAJE	Precomisionado
176	PRE-MONTAJE	Precomisionado
172	171	Comisionado
177	176	Comisionado
178	Durante llenado R-4102	Comisionado
185	184	Comisionado
186	182	Comisionado
192	191	Comisionado

## 6.3.3.4 Electricidad

Tabla 6.19. Tabla de precedencias, departamento de electricidad.

<b>Código (epígrafe 4.3.1)</b>	<b>Precedencia</b>	<b>Fase de Ejecución</b>
13	Montaje ducto barras	Precomisionado
21	Montaje CCM	Precomisionado
22	21	Precomisionado
50	Montaje variador velocidad	Precomisionado
10	FIN MONTAJE	Precomisionado
12	10, 58	Comisionado
39	58, 95, 96	Comisionado
51	50, 58	Comisionado
60	12	Comisionado
58	19	Comisionado/PEM
59	58	PEM

## 6.3.3.5 Operación

Tabla 6.20. Tabla de precedencias, departamento de operación.

<b>Código (epígrafe 4.3.1)</b>	<b>Precedencia</b>	<b>Fase de Ejecución</b>
90	CONTÍNUA	Comisionado
142	138, 141, 181, 224	Comisionado
143	138, 141	Comisionado
204	FIN MONTAJE	Comisionado
205	PRECOMISIONADO	Comisionado
222	127, 149, 150, 155	PEM
223	127, 149, 150, 155	PEM
224	127, 149, 150, 155	Comisionado

## 6.4 Programación completa

La programación completa se realiza utilizando un cronograma de tipo *Gantt*. Se genera el cronograma utilizando la aplicación Excel que permite insertar datos sobre el avance del proyecto, duraciones reales y porcentajes de compleción de cada actividad.

El cronograma principal, correspondiente a la etapa de comisionado, se divide en 6 partes diferenciadas, correspondientes a las distintas especialidades y parejas de trabajo presupuestadas para el proyecto. En la tabla 9.25 se muestran los recursos cedidos a cada especialidad para las tareas de precomisionado, comisionado y puesta en marcha.

Se consideran dos turnos de trabajo de 12 horas, entre las 6 y 18 horas y entre las 18 y las 6 horas. El turno nocturno sólo se realiza por parte de la pareja de equipos estáticos y oficios varios, cedida a 24 horas. Además, se considera período no trabajable entre las 18 horas del sábado y las 6 horas del lunes. Según la planificación, las tareas del comisionado finalizarán el jueves 25 de noviembre. La planificación completa se muestra en el anexo A4.2.

Tabla 6.21. Tabla de recursos disponibles según especialidad.

Especialidad	Recursos
Equipos Dinámicos	1 pareja a 12 horas
Equipos Estáticos y Oficios Varios	1 pareja a 12 horas
	1 pareja a 24 horas
Instrumentación	1 pareja a 12 horas
Electricidad	1 pareja a 12 horas
Operación	1 pareja a 12 horas

#### 6.4.1 Caminos críticos y previsión de retrasos

La técnica de evaluación y revisión de programas<sup>iv</sup>, conocida como PERT por su acrónimo en inglés (*Program Evaluation and Review Technique*) es una herramienta de gestión de proyectos que permite el análisis y representación de las tareas de un proyecto. Mediante el diagrama de PERT se organizan de forma visual las tareas pudiéndose combinar con el método del camino crítico (CPM) para poder determinar el tiempo mínimo requerido para completar el proyecto.

La etapa de comisionado tiene programado un tiempo máximo de ejecución de 10 días según la programación de la DI. La etapa de puesta en marcha (PEM) tiene lugar una vez hayan finalizado las etapas de comisionado de todos los sistemas operativos y sistemas operativos genéricos definidos para el proyecto. De este modo, mediante el método CPM se determina si el tiempo de ejecución de 10 días para la etapa de comisionado será suficiente para realizar todas las actividades programadas.

Se dividen las actividades de verificación en grupos según la etapa a la que pertenezcan (precomisionado, comisionado o PEM) y utilizando las precedencias establecidas en el apartado anterior, se generan tres diagramas de PERT separados.

En las siguientes figuras se muestran los caminos críticos para cada una de las etapas planificadas.

##### 6.4.1.1 Precomisionado

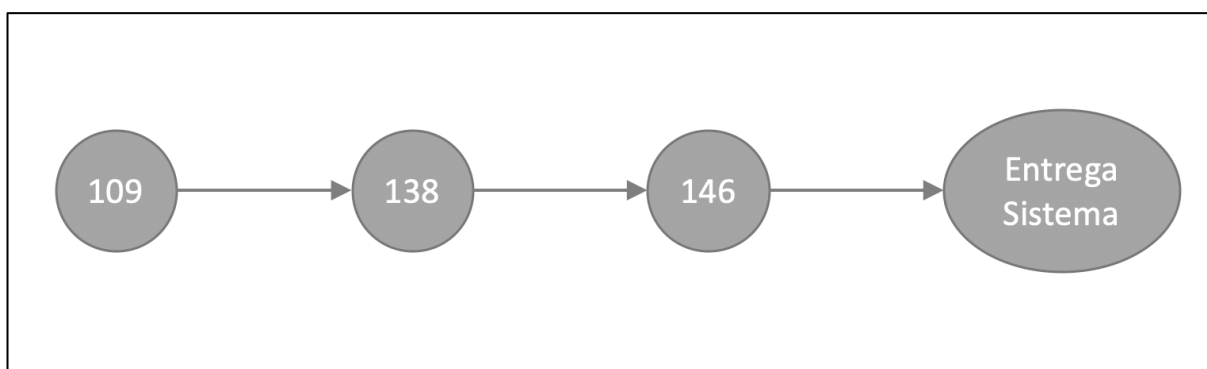


Figura 6.1. Diagrama CCM de la etapa de precomisionado.

### 6.4.1.2 Comisionado

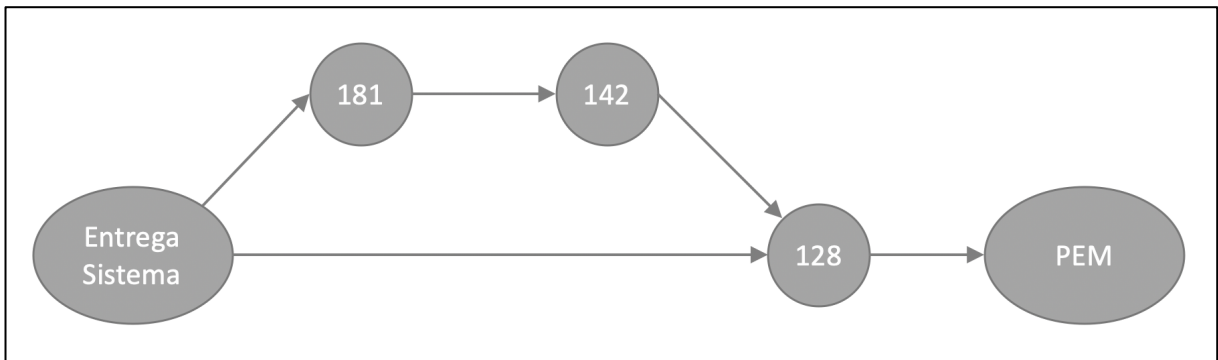


Figura 6.2. Diagrama CCM de la etapa de comisionado.

### 6.4.1.3 Puesta en marcha

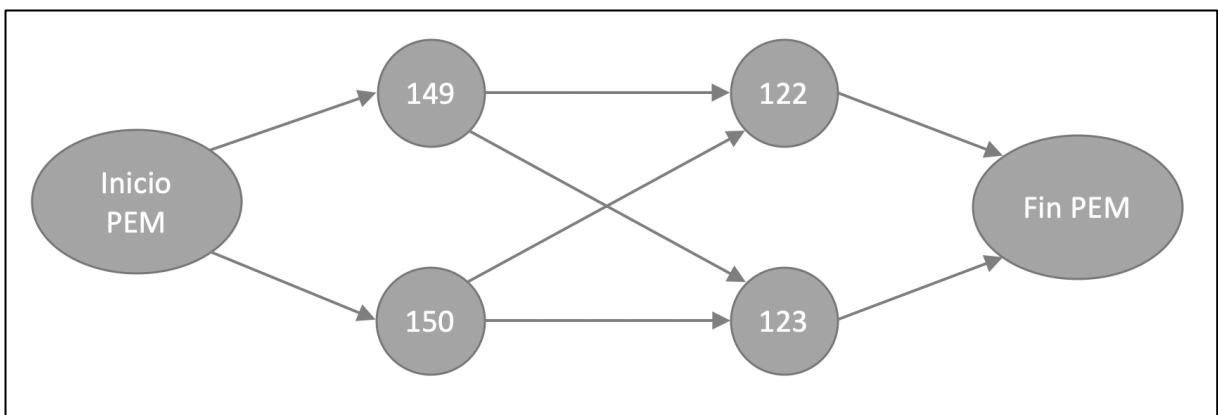


Figura 6.3. Diagrama CCM de la etapa de puesta en marcha (PEM).

## 7 Seguimiento

El seguimiento del proyecto se realiza con tal de comprobar de modo regular que los resultados obtenidos se ajusten con los objetivos previstos en las planificaciones. De este modo el control requiere de información actualizada sobre el avance de cada una de las actividades del proyecto. Es importante actualizar los siguientes datos a medida que avanza el proyecto:

- Fecha de inicio real de cada actividad
- Duración real de cada actividad
- Porcentaje de completación de cada actividad en el momento de realizar el análisis de seguimiento

Además, con tal de detectar las desviaciones con facilidad, se utilizan una serie de indicadores de seguimiento que pueden ser fácilmente graficados e interpretados.

### 7.1 Indicadores de Seguimiento

#### 7.1.1 Avance por especialidades

En el indicador de avance por especialidades se muestra el % avance global de cada una de las especialidades. En la siguiente figura se muestra el indicador graficado, utilizando valores de avance aleatorios.

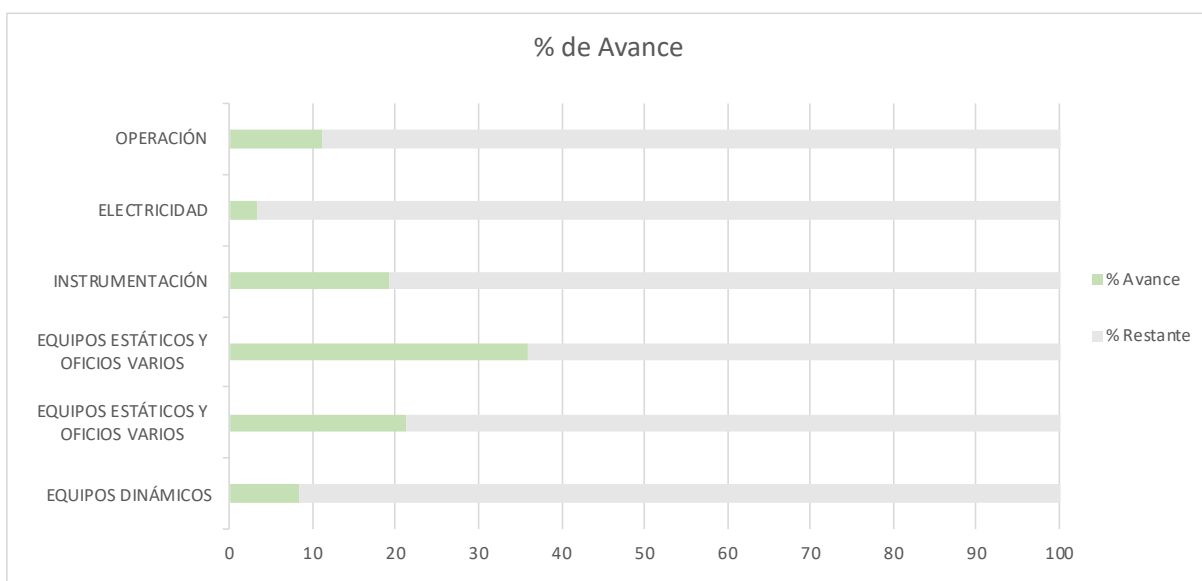


Figura 7.1. Indicador de avance por especialidades.

### 7.1.2 Adelantos y retrasos en las actividades

Con este indicador se analizan los retrasos o avances individuales de cada una de las actividades a realizar. Para facilitar su interpretación se separan las gráficas según especialidad. En las siguientes figuras se muestran un ejemplo de cada indicador para la especialidad de equipos dinámicos. De nuevo, se utilizan datos de progreso aleatorios.

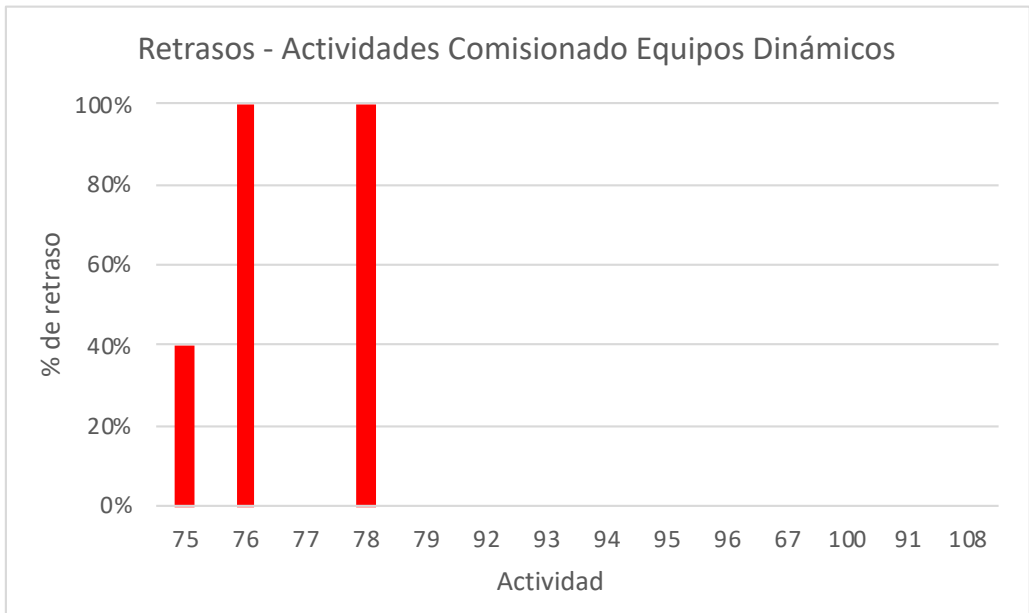


Figura 7.2. Indicador de % de retraso.

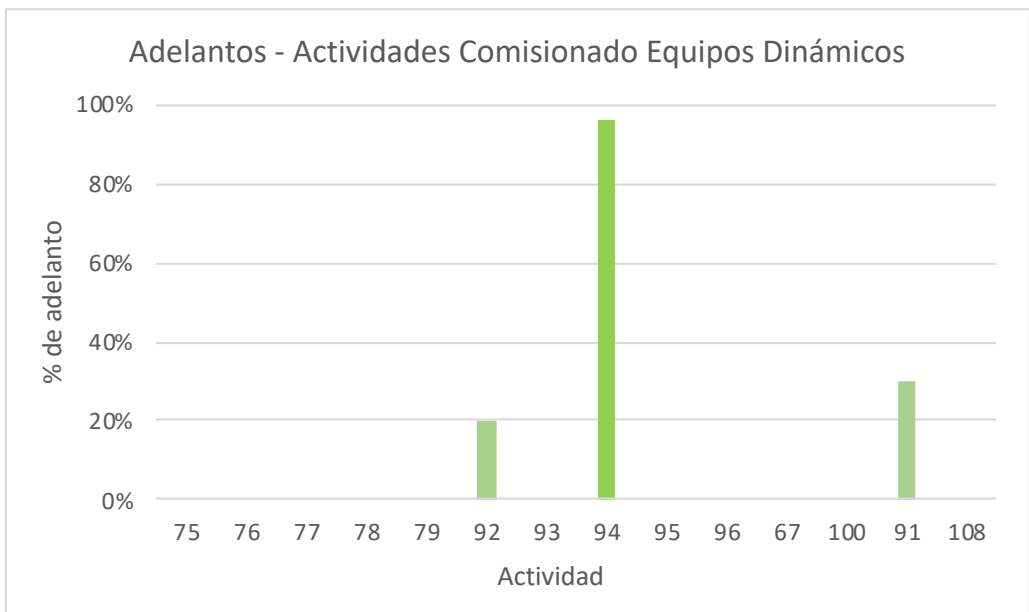


Figura 7.3. Indicador de % de adelanto.

### 7.1.3 Avance planificado vs. avance real

Con este indicador se analizan las desviaciones entre la cantidad de actividades completadas según la planificación y el progreso real. Tal y como se muestra en la siguiente figura, la gráfica de este indicador permite detectar las desviaciones rápidamente. Se utiliza este indicador tanto por especialidades como para la totalidad de la planificación.

Para la gráfica según especialidades, se suponen datos ficticios que indicarían un retraso de 0,5 días respecto a la planificación. En el caso de la planificación total, los datos utilizados indicarían un inicio de los retrasos en la segunda jornada que se extiende hasta el final del proyecto con un retraso de 0,5 días.

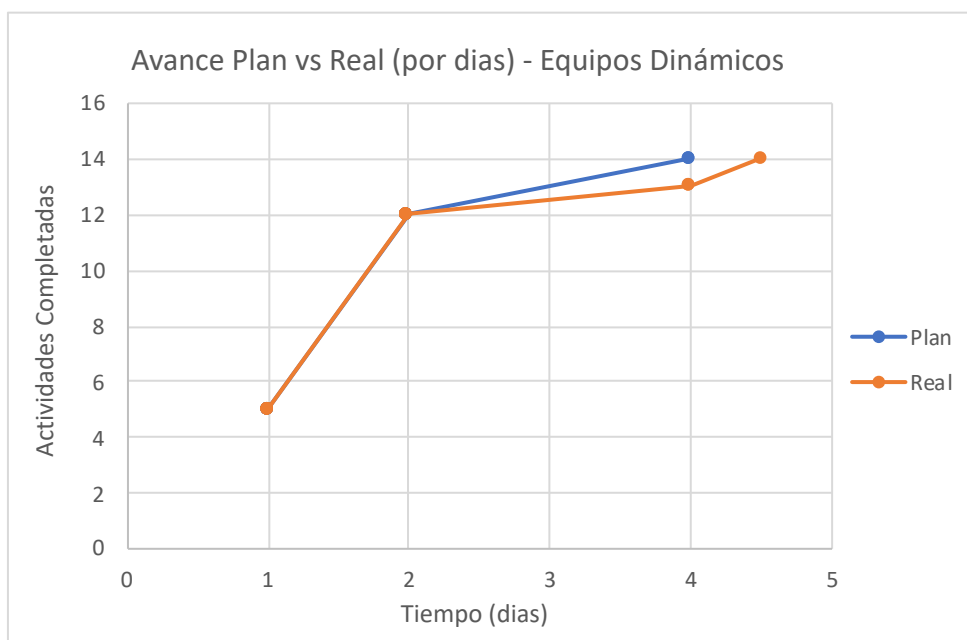


Figura 7.4. Indicador de % de adelanto, por especialidades.



Figura 7.5. Indicador de % de adelanto, planificación completa.

## 8 Estimación económica

Dentro del alcance del proyecto TFM, realizado desde la perspectiva del departamento de operación, no se contemplan estudios de viabilidad económica como tal. De hecho, el proyecto TFM examina las etapas de ejecución, precomisionado, comisionado y puesta en marcha, por lo que los presupuestos del proyecto ya han sido aprobados previo al inicio de las actividades de preparación y planificación realizadas en este proyecto.

De este modo, se realiza una estimación económica a modo de presupuesto<sup>v</sup> de una de las preparaciones planificadas previamente, en concreto, de la intervención en el colector de drenaje "A" para la construcción de una nueva arqueta ("N") y la realización del TIEIN "T". El procedimiento de operación con los alcances de los trabajos se encuentra en el anexo A1.2.2 del TFM confidencial. El procedimiento consiste en el sellado de las redes enterradas de drenajes, desviando la corriente desde arqueta aguas arriba a arqueta aguas abajo mediante un sistema de doble bomba y conducción temporal con supervisión continua las 24 horas. Posterior a la preparación, se incluye en el procedimiento la construcción de la nueva arqueta con trabajos de corte y soldadura para realizar el TIEIN "T", que conectará la red existente con el nuevo ramal correspondiente al proyecto del nuevo reactor de prepolímero. Finalmente, se incluyen los trabajos de normalización posterior a la compleción de las construcciones.

Los recursos y costes de las actividades se estiman a partir de dos fuentes de datos distintas. Algunas de las actividades cuentan con valoraciones de coste internas de la compañía, en base a experiencia del complejo. En el caso de contar con estas estimaciones internas, los costes se obtienen utilizando el módulo de costes de la aplicación *CYPE<sup>vi</sup>*.

En el anexo A7 (TFM confidencial) se muestra la estimación económica completa. Considerando un sobrecoste estándar del 10 %, el presupuesto final es de 25002,15 € con una duración de 11,06 días.

## 9 Evaluación de riesgos

La gestión de riesgos debe estar integrada en todas las etapas de ejecución de un proyecto, por lo que cada fase requiere un análisis de riesgos que variará según la naturaleza y las circunstancias propias de cada proyecto. De modo genérico, para los proyectos de nuevas instalaciones de la compañía, se puede aplicar el siguiente esquema que se divide en tres fases diferenciadas. Según la fase de riesgos en la cuál se encuentre cada actividad evaluada, el método de análisis varía.

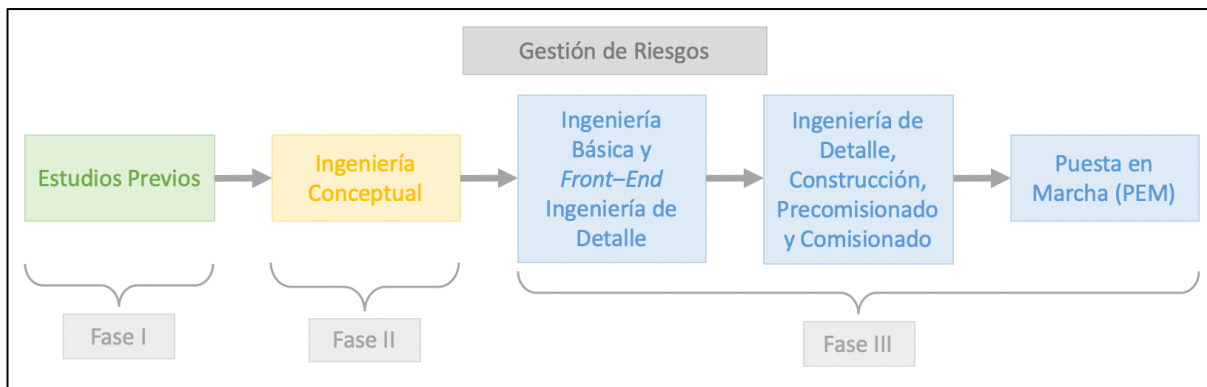


Figura 9.1. Esquema de fases evaluación de riesgos, normativa interna de la compañía.

El objetivo de la gestión de riesgos es identificar, valorar y responder a los riesgos, maximizando la probabilidad de consecuencias positivas, llamadas oportunidades, y minimizando la probabilidad de consecuencias negativas, llamadas amenazas. De este modo, la metodología de gestión de riesgos consta de los siguientes puntos:

- Identificación de riesgos
- Análisis y priorización de riesgos
- Formulación del plan de respuestas
- Análisis cuantitativo
- Ejecución, evaluación y documentación del plan de respuestas

Dentro del alcance del proyecto TFM se incluye la evaluación de riesgos de una actividad de montaje específica, las maniobras de izado del nuevo reactor (R-1000). De este modo, la actividad a evaluar pertenece a la fase III de gestión de riesgos de la empresa.

### 9.1 Identificación de riesgos

#### 9.1.1 Estudio HazId

La herramienta utilizada para la identificación de riesgos es el estudio HazId, acrónimo proveniente de su nombre en inglés, *Hazard Identification*. El HazId permite la identificación de peligros para la seguridad, el medio ambiente y las instalaciones. Se lleva a cabo con la participación de un grupo multidisciplinar que analizan, mediante la técnica del *brainstorming*, riesgos potenciales y actividades críticas. La metodología HazId facilita la actividad mediante el uso de palabras clave o *keywords* (peligros), que permiten un análisis del riesgo estructurada y sistematizada, favoreciendo la estimación de probabilidades y grados de afectación. En la siguiente tabla se muestran algunas de las *keywords* de peligros utilizados en las sesiones de *Hazard Register* internos de la compañía. Dentro del alcance del proyecto TFM se incluye el análisis del peligro de cargas suspendidas provocado por el izado del nuevo reactor y su transporte terrestre, identificado como el izado crítico según el estudio de constructabilidad del proyecto<sup>vii</sup>. Se determina como suceso iniciador la pérdida de control de la grúa y carga

izada con caída o golpeo de reactor y/o instalaciones del alrededor. En el anexo A8 se muestra el HazId correspondiente al análisis de este peligro.

*Tabla 9.1. Keywords peligros estudio HazId.*

Numeración	Peligro
1	Trabajos en obra (en altura, eléctricos, superficies calientes, trabajos en caliente, en espacios confinados, radiografías, etc.)
2	Transporte Terrestre
3	Cargas suspendidas (izados)
4	Interferencia con cimentación existente
5	Diferencia de potencial eléctrico
6	Líneas enterradas
7	Sustancias tóxicas
8	Sustancias contaminantes con afectación medioambiental (suelos/agua subterránea)
9	Sustancia inflamable
10	Sustancia corrosiva
11	Sustancia ácida
12	Sustancia carcinogénica
13	Reacción exotérmica

### 9.1.2 Izado del reactor

Tal y como se ha descrito en el apartado anterior, se identifica el izado del reactor como izado crítico debido a las dimensiones y pesos del reactor durante su izado. Previo a las labores de izado, se montan en taller tanto el serpentín como los baffles verticales. Además, las dimensiones voluminosas del equipo contribuyen a la categorización del izado como izado crítico. Durante las labores de izado se utilizarán dos grúas, una principal y otra secundaria.

## 9.2 Análisis y priorización de riesgos

### 9.2.1 Análisis Cualitativo

Una vez identificado el riesgo a analizar y realizado el estudio mediante tabla HazId, se procede a la valoración cualitativa del mismo. Con tal de calcular el nivel de riesgo deben ser determinados los niveles de probabilidad y de impacto del peligro.

A continuación, el análisis cualitativo de nivel de riesgo surge a partir del producto del nivel de probabilidad y el nivel de impacto de cada peligro, según la ecuación 12.1.

$$R = P \times I \quad (12.1)$$

Dónde

- R: Riesgo
- P: Nivel de Probabilidad
- I: Nivel de Impacto

Existen dos normativas para la evaluación de riesgos, una para la gestión de riesgos en proyectos<sup>viii</sup> y otra para la gestión del riesgo de seguridad y medio ambiente<sup>ix</sup>. En ambas normativas la estimación de niveles de probabilidad y de impacto se realizan mediante el uso de un sistema de escalas descriptivas. De este modo, se utilizan escalas diferentes para la evaluación de riesgo sobre el proyecto y para la evaluación de daños a personas y propiedad.

#### 9.2.1.1 Efecto sobre el proyecto

Las escalas descriptivas en esta normativa tienen un rango de valoración del 1 al 5 e incluyen dos denominaciones, método normal y método abreviado<sup>x</sup>. Debido a la falta de experiencia en la realización de estimaciones de probabilidad e impacto, se utiliza el método abreviado para el estudio TFM, decantándose hacia el nivel más perjudicial, con tal de mantener una perspectiva conservadora. De este modo, para la pérdida de control durante el izado del reactor, se establece un nivel de probabilidad de 2 y un nivel de impacto de 5. Aplicando la ecuación 12.1, se determina que el nivel de riesgo es de 10.

##### 9.2.1.1.1 Matriz de probabilidad

Tabla 9.2. Análisis cualitativo, evaluación de probabilidades.

Nivel	Descripción	Método		Probabilidad (%)
		Normal	Abreviado	
5	Sucedirá en la mayoría de las circunstancias	Casi Seguro	Alta	91,0 - 100
4	Probablemente ocurrirá en la mayoría de las circunstancias	Probable		76,0 - 90,0
3	Se espera que suceda alguna vez	Posible	Media	26,0 - 75,0
2	Podría ocurrir alguna vez	Improbable	Baja	11,0 - 20,0
1	Ocurrirá solo en circunstancias excepcionales	Raro		0,00 - 10,0

##### 9.2.1.1.2 Matriz de impacto

Tabla 9.3. Análisis cualitativo, evaluación de impacto.

Nivel	Descripción	Método		Retraso (%)	Sobrecoste (%)
		Normal	Abreviado		
5	Compromete el proyecto	Crítico	Alta	> 15,0	> 10,0
4	Consecuencias graves para el proyecto	Importante		10,0 - 15,0	5,00 - 10,0
3	Consecuencias importantes para el proyecto	Moderado	Media	5,00 - 10,0	2,00 - 5,00
2	Las consecuencias son de poca importancia y pueden ser solventadas	Leve	Baja	3,00 - 5,00	0,50 - 2,00
1	Produce un impacto mínimo	Insignificante		0,00 - 3,00	0,00 - 0,50

### 9.2.1.1.3 Priorización

La priorización consiste en la clasificación de los riesgos en función de su nivel de riesgo. En el caso de riesgos con un nivel de riesgo superior o igual a 4 (nivel de probabilidad x nivel de impacto  $\leq 4$ ), se deben plantear estrategias de mitigación.

En las siguientes tablas se muestran las matrices 2D de priorización de priorización y calificación del riesgo que permiten un análisis rápido y metódico durante el análisis de escenarios. Según las estimaciones de probabilidad y nivel de impacto expuestas en el apartado anterior, el izado del reactor tendrá un riesgo de 10 con priorización alta. En este caso, se considera que el izado del reactor tiene una aceptabilidad intolerable, por lo que se deberán aplicar las medidas de mitigación definidas en el estudio HazId antes de realizar la maniobra de izado del reactor.

Tabla 9.4. Matriz 2D de priorización del riesgo.

		Priorización				
		5	4	3	2	1
Nivel de Impacto (I)	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
		Nivel de Probabilidad (P)				

Tabla 9.5. Calificación del riesgo.

Método		Riesgo = Nivel Probabilidad x Nivel Impacto
Normal	Abreviado	
Muy Alto	Alto	Riesgo $\geq 20$
Alto		$10 \leq \text{Riesgo} < 20$
Moderado a Alto	Moderado	$5 \leq \text{Riesgo} < 10$
Bajo a Moderado	Bajo	$3 \leq \text{Riesgo} < 5$
Bajo		Riesgo $< 3$

### 9.2.1.2 Daño a personas y a la propiedad

Para el análisis de daño a personas y a la propiedad se utilizan unas matrices de consecuencias y probabilidad diferentes a las definidas para la evaluación de riesgos del impacto sobre el proyecto. En la tabla 12.7 se muestra la matriz de consecuencias, en la cuál se estima un nivel de consecuencias "muy serio" tanto en el caso de daño a personas (una muerte) como en el caso de daño a la propiedad (1 M€ - 10 M€). La matriz de probabilidad se muestra en la tabla 12.6, en la cuál se estima un nivel de probabilidad "remotamente posible" para ambos daños.

### 9.2.1.2.1 Matriz de probabilidad

Tabla 9.6. Análisis cualitativo, evaluación de probabilidades.

Probabilidad (P)		Valor
Prácticamente imposible	$10^{-5}$	0,3
Altamente improbable	$10^{-4}$	0,6
Remotamente posible	$10^{-3}$	1,2
Poco usual	$10^{-2}$	2,5
Posible	$10^{-1}$	5
Casi seguro	$10^0$	10

### 9.2.1.2.2 Matriz de consecuencias

Tabla 9.7. Análisis cualitativo, evaluación de impacto.

	Consecuencias (C)		Valor
	Personas	Propiedad	
Trivial	Primeros auxilios	$\leq 5$ k€	0,5
Menor	Tratamiento médico o trabajo restringido	5 k€ - 100 k€	1,4
Moderado	Lesiones con pérdida de días	100 k€ - 1 M€	3
Serio	Lesiones y/o incapacidades permanentes	1 M€ - 10 M€	7
Muy serio	Una muerte	10 M€ - 100 M€	16
Desastroso	Entre 2 y 9 muertes	100 M€ - 1000 M€	40
Catastrófico	10 o más muertes	> 1000 M€	100

### 9.2.1.2.3 Evaluación del riesgo

En la tabla 12.8 se muestran los niveles de riesgo y sus aceptabilidades. Del mismo modo que en la priorización para el análisis de impacto sobre el proyecto, se divide el riesgo en cuatro niveles:

- Nivel de riesgo urgente ( $R > 82$ ): Intolerable
- Nivel de riesgo alto ( $35 < R \leq 82$ ): Tolerable con medidas mitigación
- Nivel de riesgo moderado ( $14 < R \leq 35$ ): Tolerable con medidas mitigación
- Nivel de riesgo menor ( $14 < R$ ): Tolerable

Tanto en la evaluación de daños a personas como daño a la propiedad se calcula un riesgo moderado con un valor de 19,2, por lo que deberán ser aplicadas las medidas de mitigación definidas en el estudio *HazId*.

Tabla 9.8. Matriz 2D de evaluación del riesgo.

		Evaluación					
		30	60	120	250	500	1000
Nivel de Impacto (I)	100	30	60	120	250	500	1000
	40	12	24	48	100	200	400
	16	4,8	9,6	19,2	40	80	160
	7	2,1	4,2	8,4	17,5	35	70
	3	0,9	1,8	3,6	7,5	15	30
	1,4	0,42	0,84	1,68	3,5	7	14
	0,5	0,15	0,3	0,6	1,25	2,5	5
		0,3	0,6	1,2	2,5	5	10
		Nivel de Probabilidad (P)					

### 9.2.2 Medidas de Preventivas y de Mitigación

Tal y como se muestra en el estudio *HazId* (anexo A8), se consideran 8 medidas preventivas y de mitigación con tal de reducir el riesgo en la actividad de izado del reactor. A continuación, se muestran las medidas, que deberán ser aplicadas antes de realizar la maniobra de izado del reactor.

- Sesiones formación específicas
- Señalización (con uso de señalistas)
- Coordinador maniobras/actividad
- Paralización de otras actividades en planta
- Equipo de trabajo mínimo y necesario en zona de trabajo y exposición de riesgo en caso de accidente
- Vehículos contra incendios y salvamento preparado en cercanías
- Solicitud de documentación y permisos en regla de gruistas y señalistas
- Procedimiento de montaje e izado

## 10 Conclusiones

Tal y como indica su título, el proyecto TFM realizado consiste en la planificación y desarrollo de la etapa de construcción, comisionado y puesta en marcha de un nuevo reactor. En el TFM se ha realizado un análisis detallado de cada una de estas etapas, incluyendo la etapa intermedia de precomisionado. El análisis ha permitido determinar y clasificar todas las tareas que deben ser realizadas por el departamento de Producción, determinar los recursos requeridos para cada una de ellas y generar la planificación de la etapa de comisionado. Además, se ha generado toda la documentación necesaria, incluyendo apartados específicos detallando los requisitos de cada documento. De este modo, el TFM puede ser utilizado a modo de guía general para futuros proyectos en los cuales se incluyan etapas de construcción, precomisionado, comisionado y puesta en marcha.

La planificación de las actividades de verificación del sistema operativo "K" permite determinar la duración total estimada de esta etapa, quedando en un total de 7 días naturales, contemplando los recursos reales disponibles. De este modo, la planificación creada tiene un margen de 3 días respecto a la estimación de la Dirección de ingeniería, considerando que se cumplan los tiempos mínimos de inicio de cada una de las actividades críticas. Además, en el TFM se han analizado los 5 procesos principales de gestión del tiempo en proyectos, con la definición de actividades (apartado 6.3.1), la estimación de recursos (6.3.2), la secuenciación (6.3.3), el desarrollo de la programación (6.4) y finalmente, el control del avance mediante indicadores de seguimiento (7.1). El control de los indicadores se realizará mediante el uso de los documentos *Excel* automatizados, que generan los gráficos de seguimiento a partir de la introducción manual de inicio, duraciones y porcentaje de compleción reales de cada actividad programada.

Adicionalmente al cuerpo del informe, se han realizado una estimación económica y una evaluación de riesgos, que marcan una parte fundamental de la gestión de proyectos. La estimación económica se realiza a modo de presupuesto a partir del manual de operación para la intervención en la red de drenajes de la planta. De este modo, incluye los procesos fundamentales para realizar estimaciones de costes de las preparaciones: definición de actividades, estimación de duraciones, recursos y finalmente, la estimación de coste de cada actividad. La evaluación de riesgos contempla el riesgo sobre el mismo proyecto y también el riesgo a personas y a la propiedad del izado del reactor utilizando la metodología *HazId*. Así, aún realizándose el estudio sobre un alcance reducido, permite exhibir la sistemática de la evaluación de riesgos en este tipo de proyectos.

De modo concluyente, el proyecto TFM establece un procedimiento estandarizado que define los pasos a seguir por parte del departamento de Producción en proyectos de ampliación y construcción de nuevas instalaciones.

## 11 Referencias

---

<sup>i</sup> Richard D. Palmer, "*Maintenance Planning and Scheduling Handbook*", Second Edition, USA, Ed. Mc Graw Hill, 2006

<sup>ii</sup> *Normativa interna confidencial*

<sup>iii</sup> Generalitat de Catalunya. Departament d'Innovació, Universitats i Empresa,. "*Gestió de Projectes*", Primera Edició, Barcelona, CIDEM, octubre 2002

<sup>iv</sup>M.V. Plana, "*Gestió de Projectes Industrials*", Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Apunts, Modulos 1 a 7 de Gestión de Proyectos, 2021

<sup>v</sup> Robert H. Perry., "*Perry's Chemical Engineering Handbook*", Seventh Edition, USA, Ed. Mc Graw Hill., 1997

<sup>vi</sup> CYPE. Generador de precios. Recuperat el 12 de juny de 2020, de CYPE Ingenieros S.A., website: <http://www.generadordeprecios.info>

<sup>vii</sup> *Normativa interna confidencial*

<sup>viii</sup> *Normativa interna confidencial*

<sup>ix</sup> *Normativa interna confidencial*

<sup>x</sup> *Normativa interna confidencial*

# **ANEXOS**

## Índice de Anexos

A1	Manuales de Operación .....	
A1.1	Manuales de operación fases .....	
A1.2	Manuales de operación preparaciones .....	
A1.3	Manuales operación de puesta en marcha y nueva operativa .....	
A2	Sistemas Operativos .....	
A2.1	Listados Sistemas Operativos .....	
A2.1.1	Listado Sistemas Operativos Genéricos .....	
A2.1.2	Listado Sistemas Operativos Parada I .....	
A2.1.3	Listado Sistemas Operativos Parada II .....	
A2.2	Diagramas Sistemas Operativos .....	
A2.2.1	Diagramas Sistemas Operativos Parada I .....	
A2.2.2	Diagramas Sistemas Operativos Parada II .....	
A2.3	Base de Datos Sistemas Operativos .....	
A2.3.1	Base de Datos Sistemas Operativos Parada I .....	
A2.3.2	Base de Datos Sistemas Operativos Parada II .....	
A3	Planificación General del Proyecto realizada por la DI .....	
A4	Planificación y Programación Sistema Operativo "K" .....	44
A4.1	Herramientas Visuales Análisis de Precedencias .....	
A4.2	Planificación GANTT .....	45
A4.3	Indicadores de Seguimiento .....	47
A5	Check-list's Sistemas Operativos .....	
A5.1	Parada I .....	
A5.2	Parada II .....	
A6	Presentaciones Formaciones .....	
A6.1	Formación Proyecto Nuevo Reactor .....	
A6.2	Formación Puesta en Marcha (PEM) .....	
A7	Estimación Económica .....	
A7.1	Costes .....	
A7.2	Estimación de Económica .....	
A8	Evaluación de Riesgos .....	59
A8.1	Estudio HazId .....	60
A9	Acuerdo de Confidencialidad .....	62

## **A4 Planificación y Programación Sistema Operativo "K"**

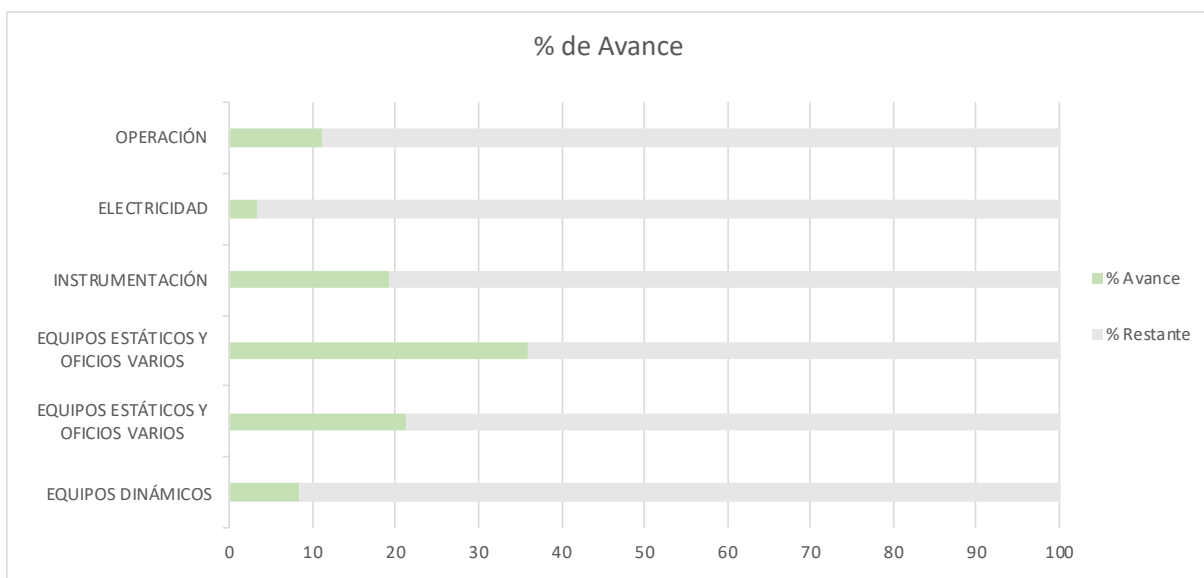
## **A4.2 Planificación GANTT**



### A4.3 Indicadores de Seguimiento

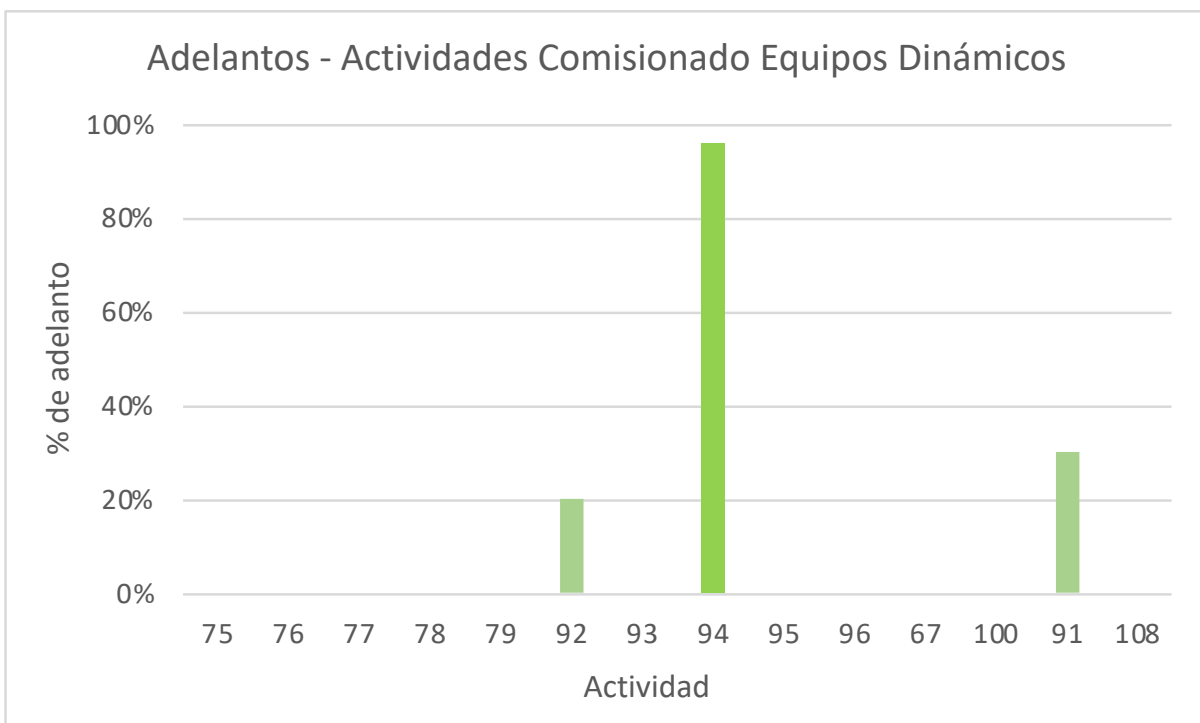
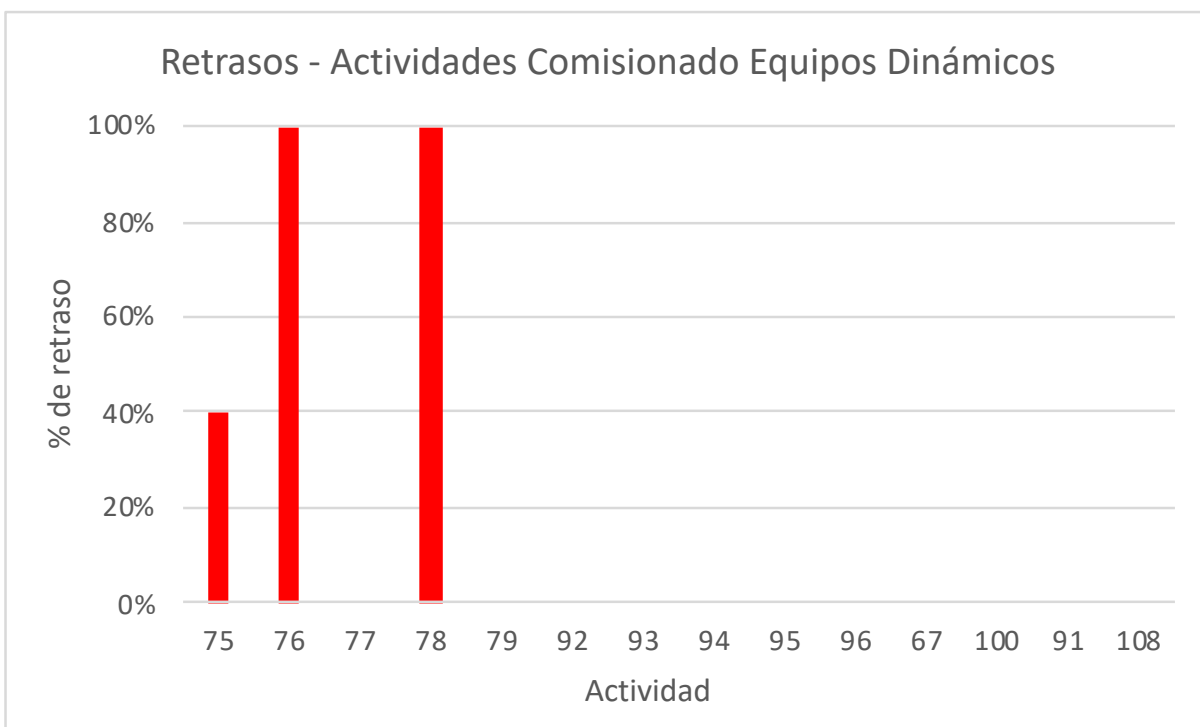
#### A4.3.1 Porcentaje de avance por especialidades

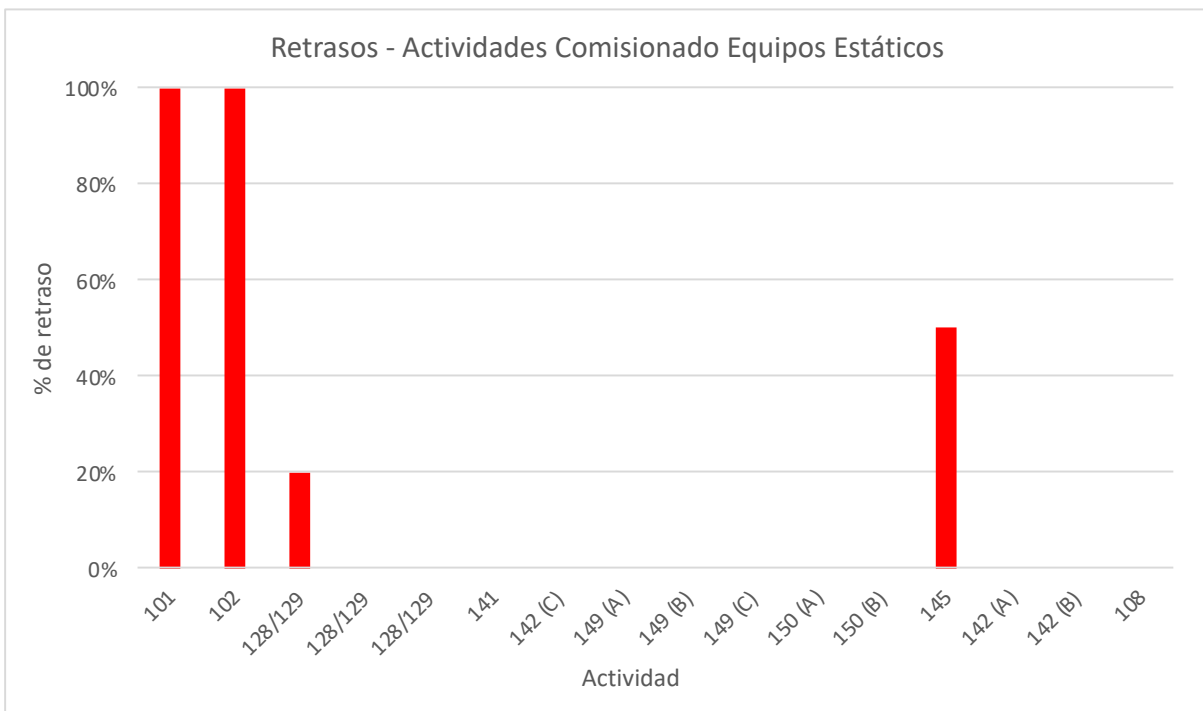
Se incluye el diagrama con datos de avance supuestos. Pendiente de datos reales:

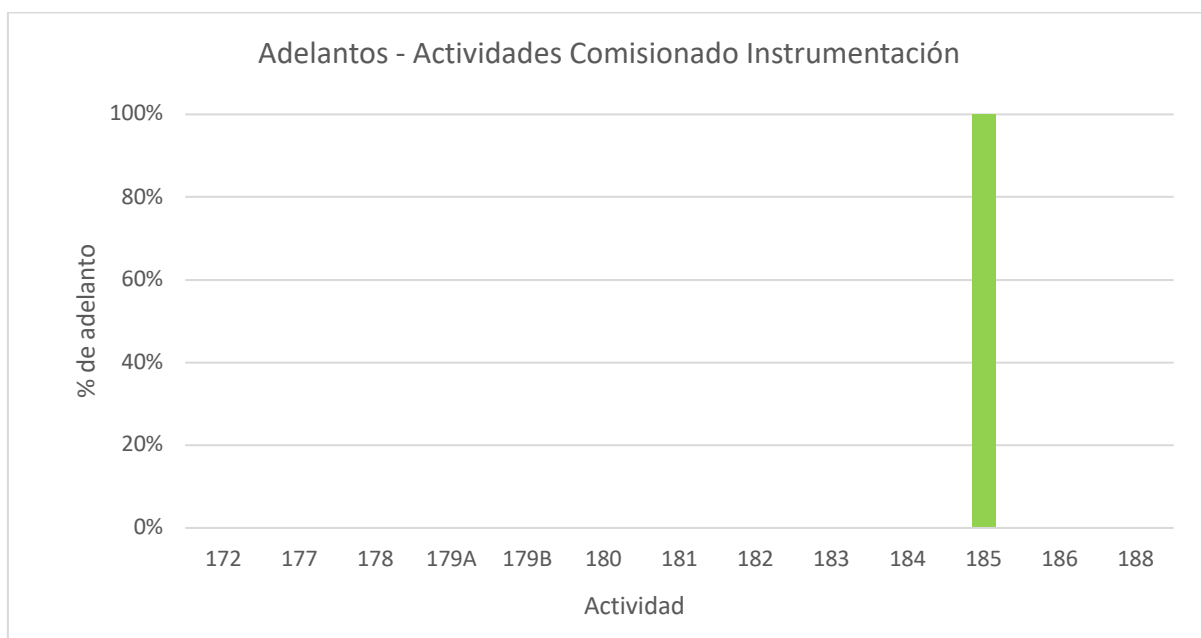
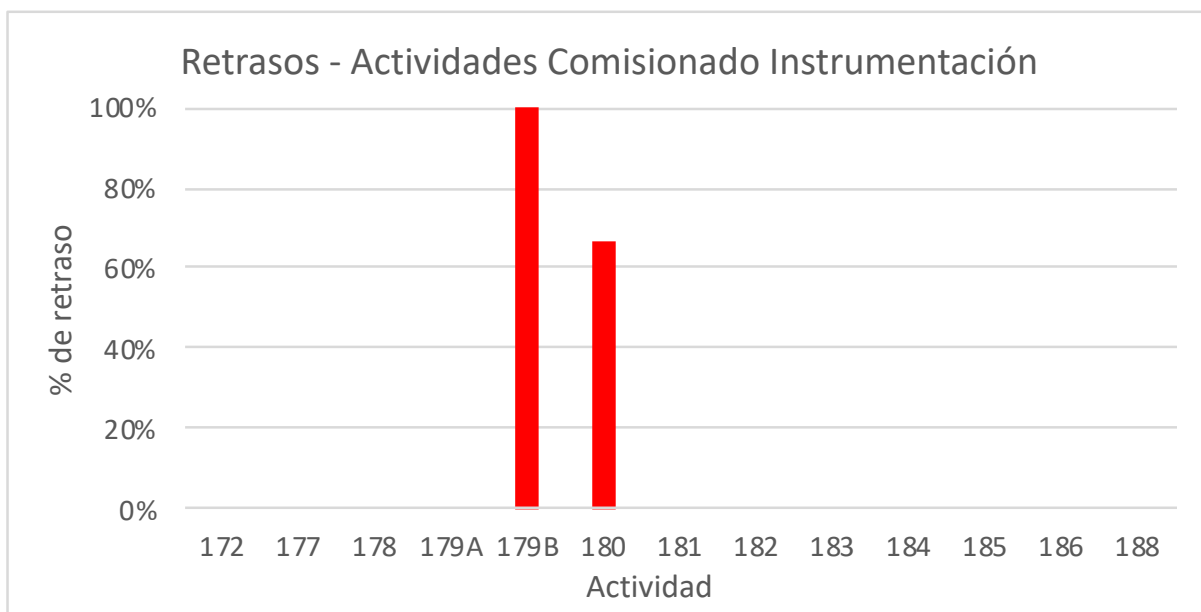


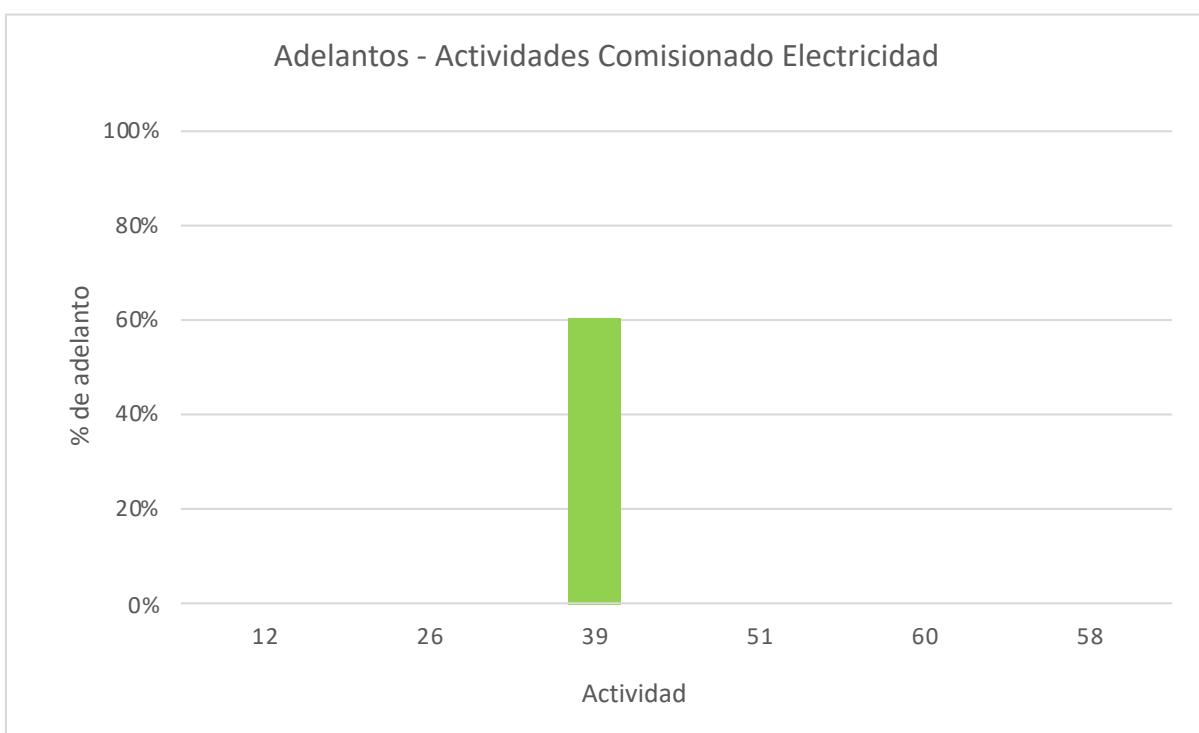
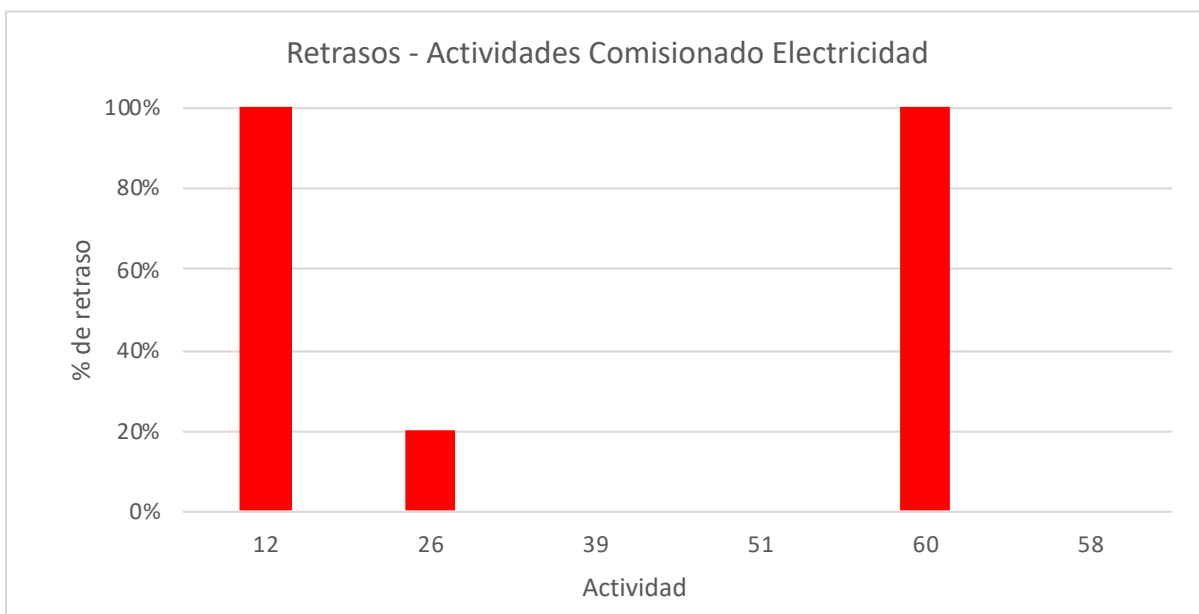
### A4.3.2 Adelantos y retrasos por especialidades

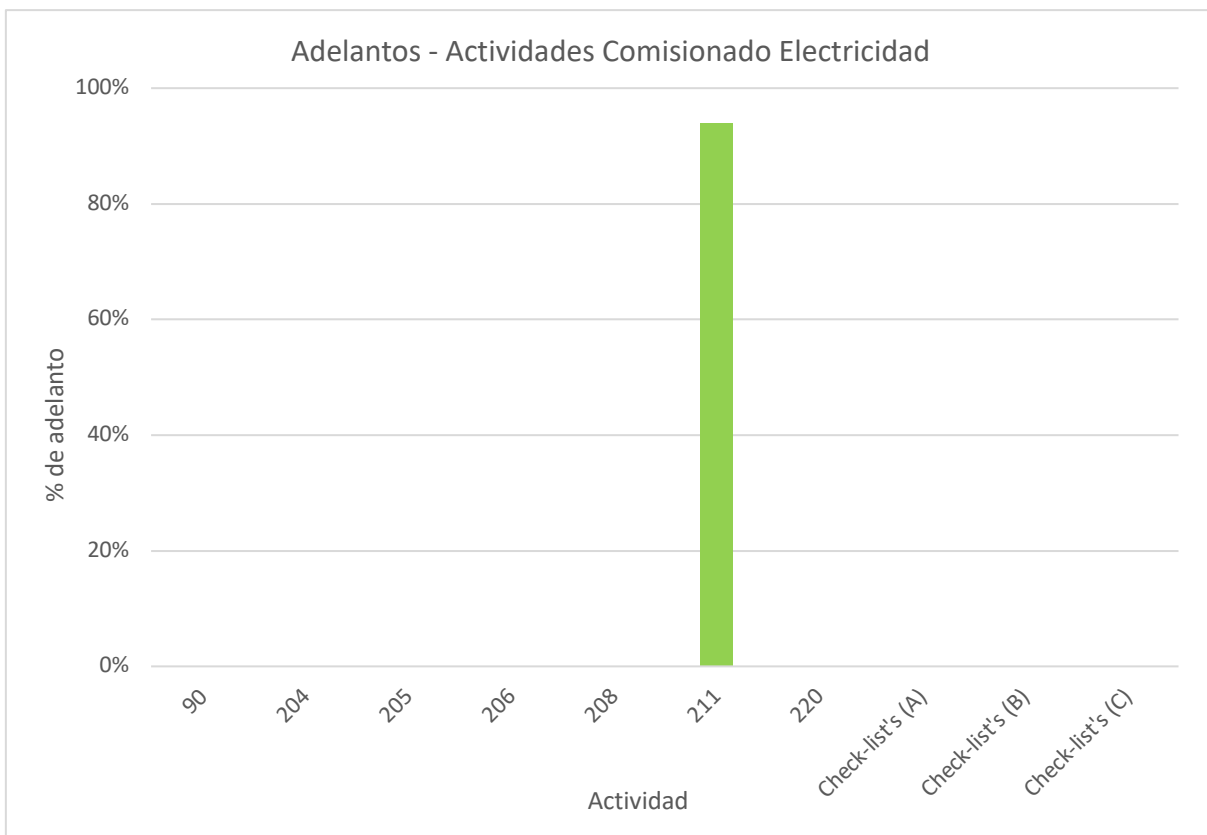
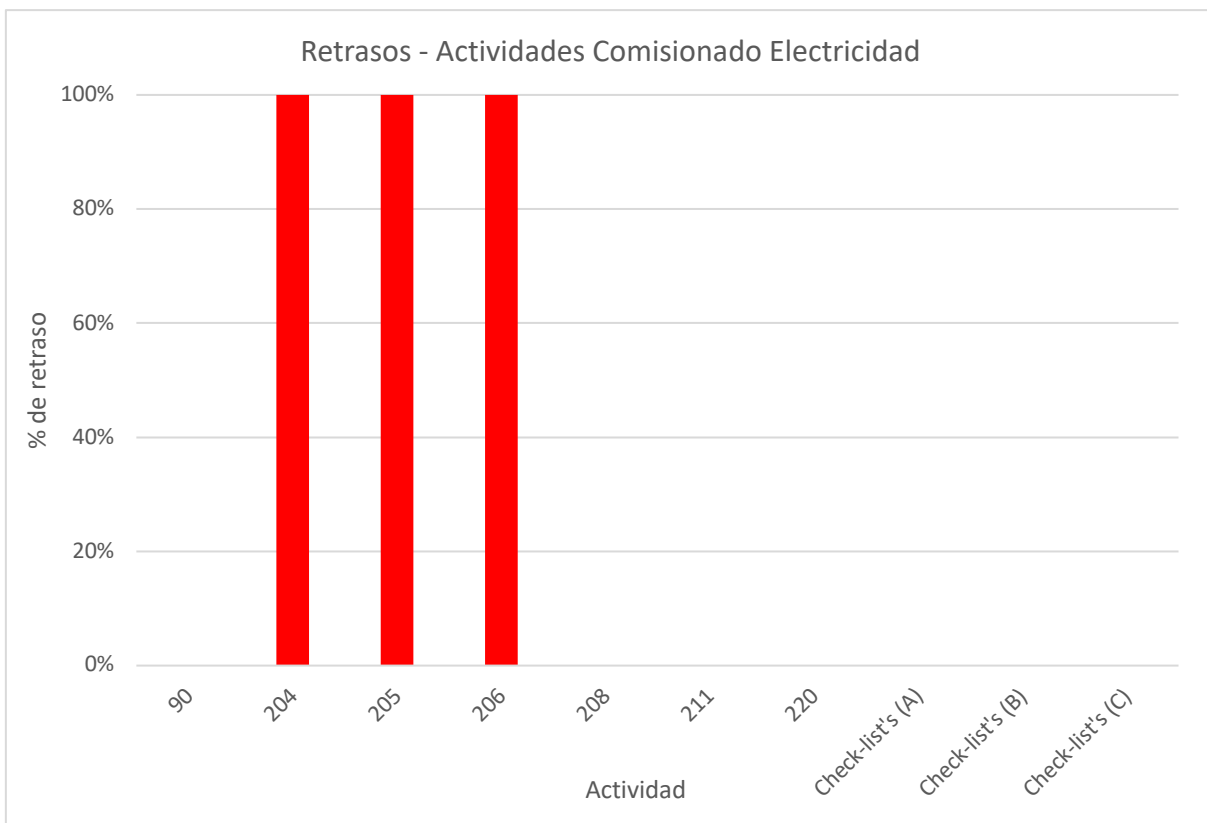
Se incluyen los diagramas con datos de avance supuestos. Pendiente de datos reales:









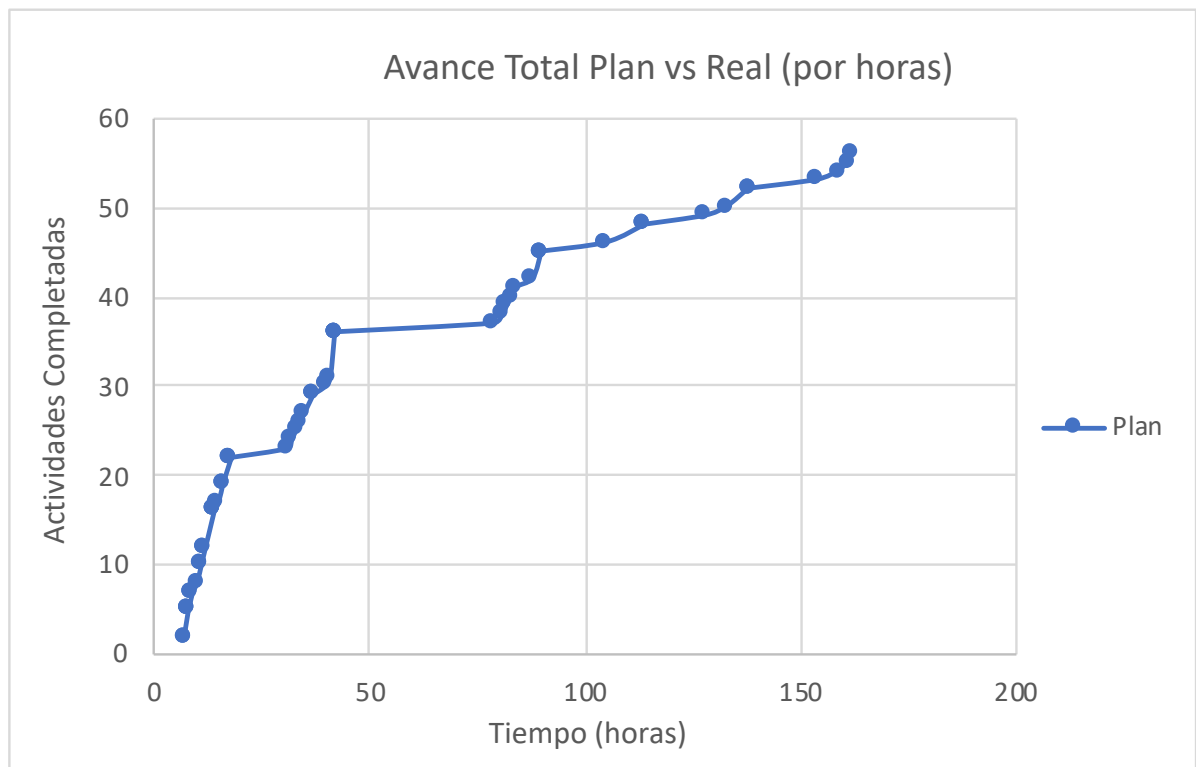


### A4.3.3 Avance real vs. planificado total

Se incluyen el diagrama con el avance planificado. Suposición de datos reales:

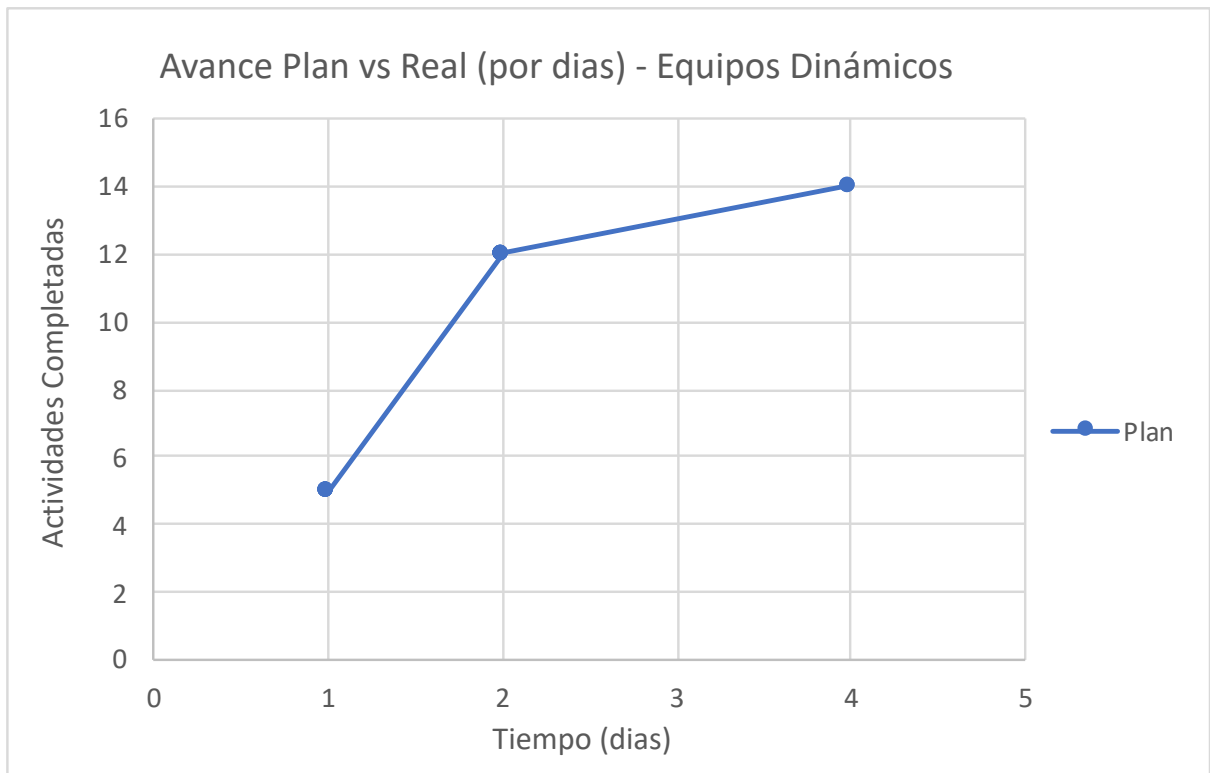
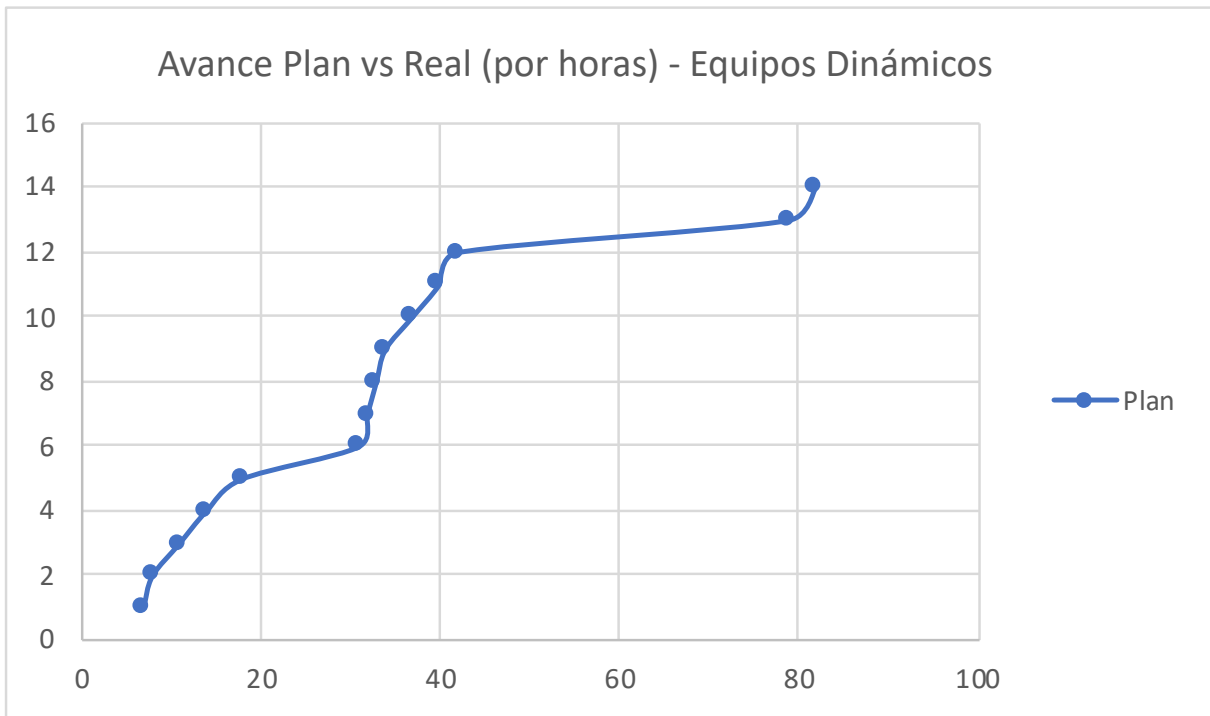


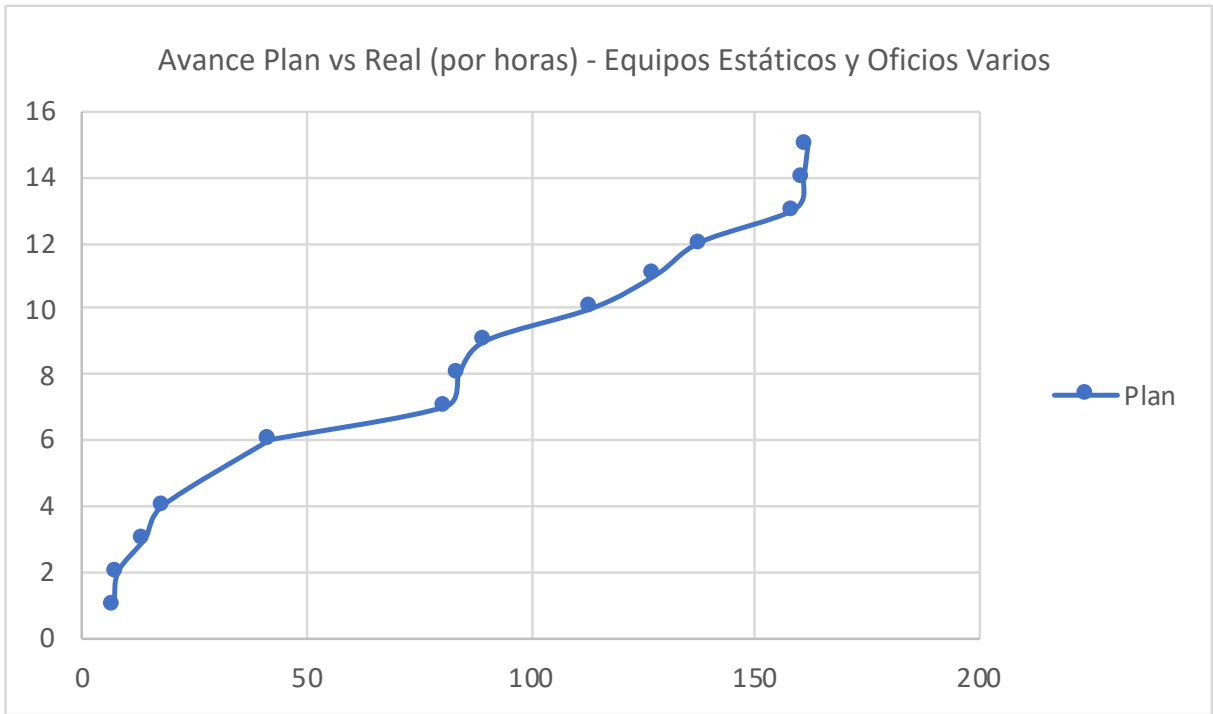
Se incluyen el diagrama con el avance planificado. Pendiente de datos reales:

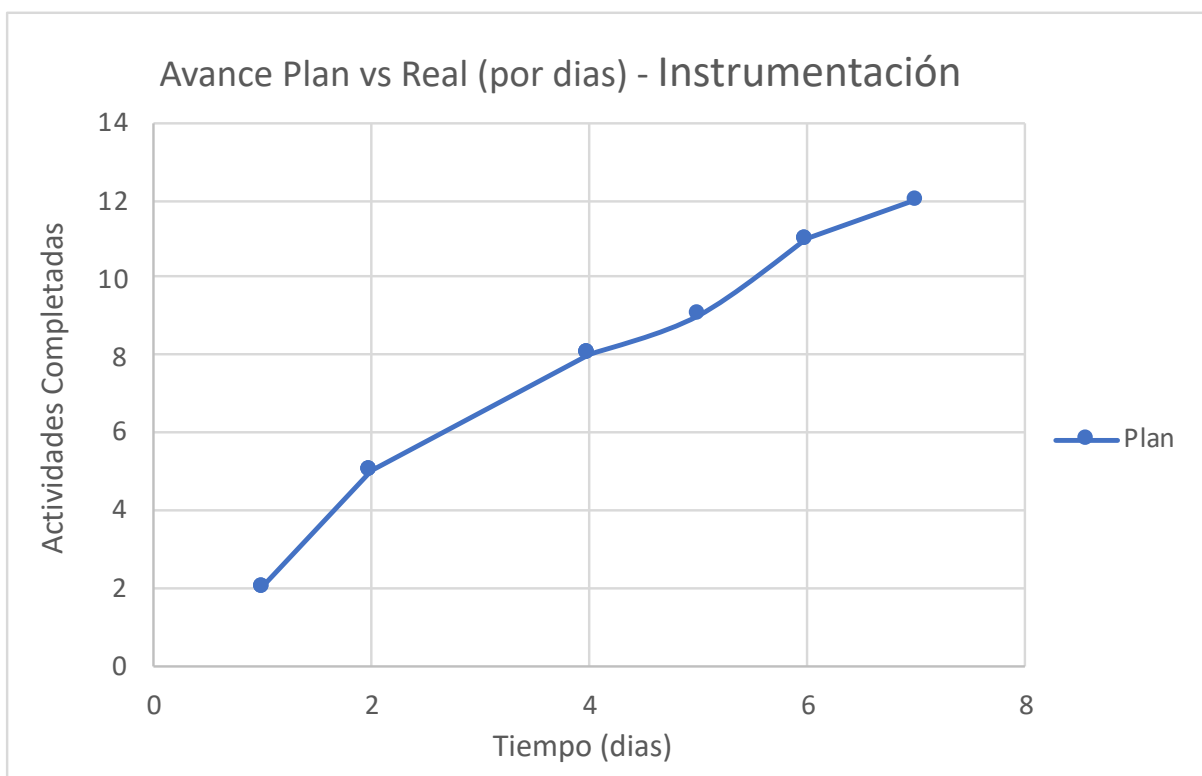
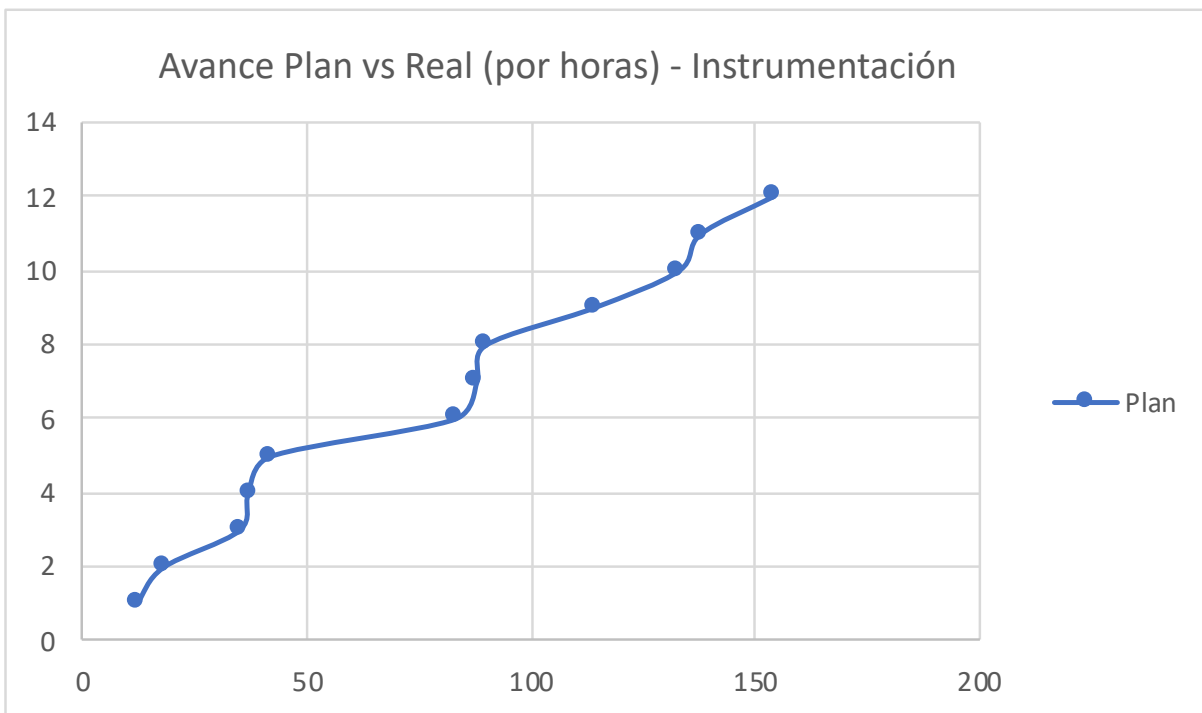


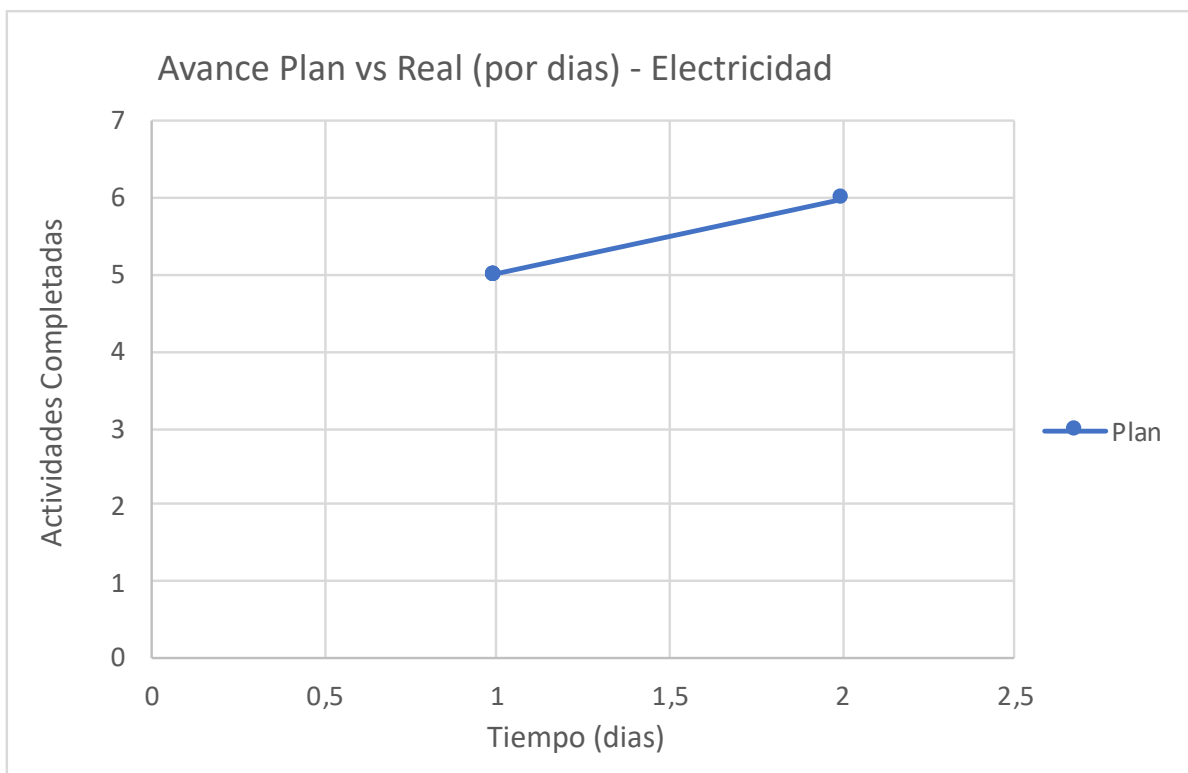
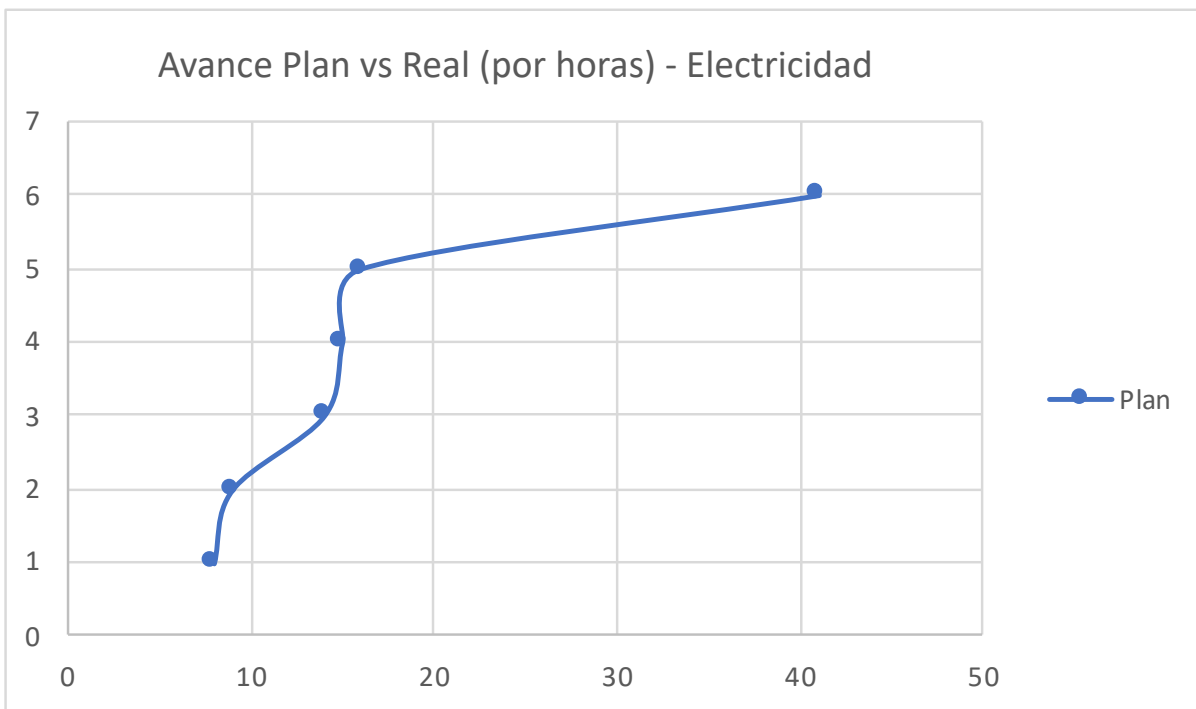
#### A4.3.4 Avance real vs. planificado por especialidades

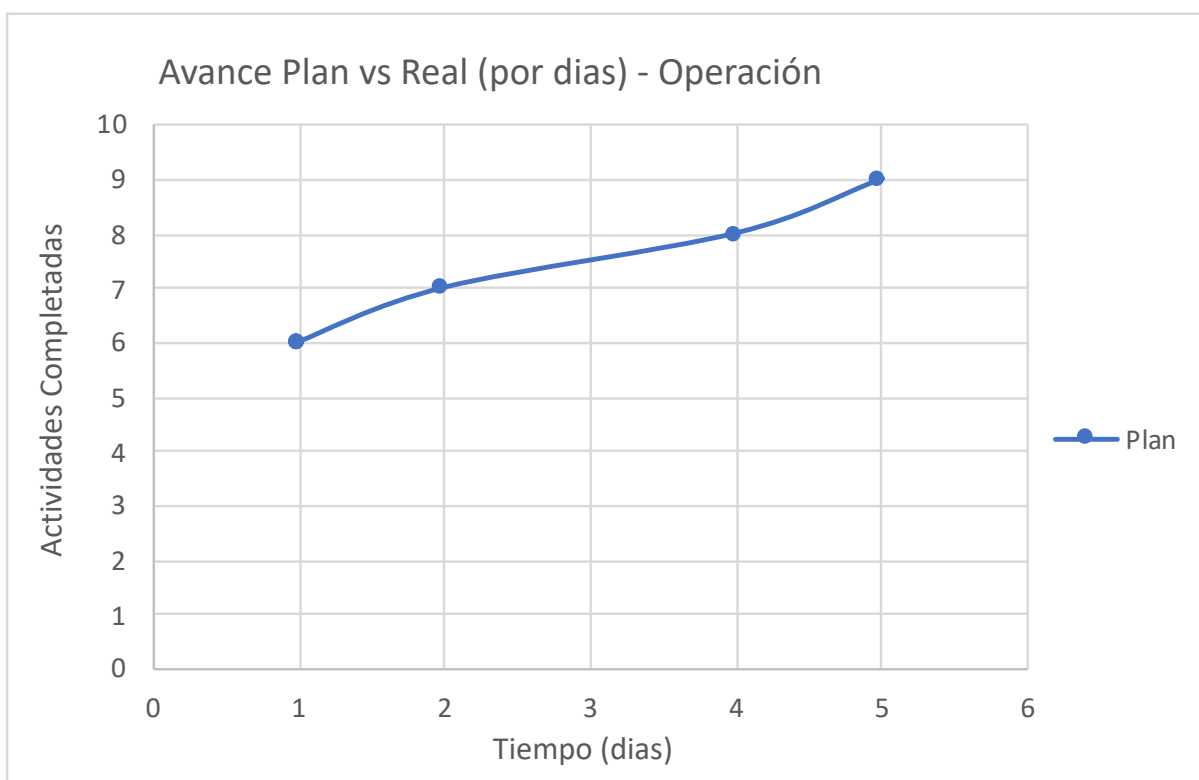
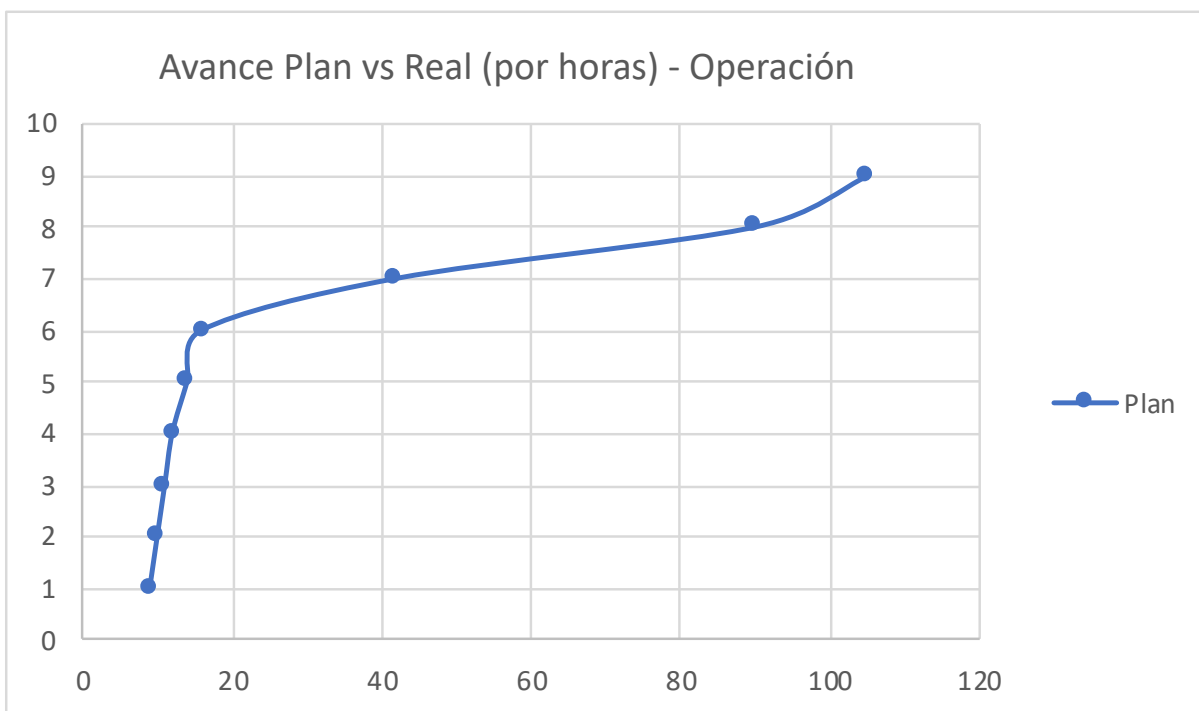
Se incluyen los diagramas con el avance planificado. Pendiente de datos reales:











## **A8 Evaluación de Riesgos**

## **A8.1 Estudio HazId**

PELIGRO		ESCENARIO						VALORACIÓN PRELIMINAR DE LA POTENCIALIDAD Y EL RIESGO						MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO ADOPTADAS					RIESGO RESIDUAL TRAS IMPLANTACIÓN RECOMENDACIONES			COMENTARIOS	
Peligro	Suceso Inicial	Nº	Descripción	Consecuencias Potenciales	Medidas de Diseño Consideradas	Medidas Preventivas en Obra Consideradas	Documentos que Acreditación las Medidas	Criterios de Valoración Consecuencias	Alto Potencial	Criterios de Valoración Probabilidad	PROB	CONS	Valor	Nivel Riesgo	Recomendaciones (Diseño/Obra)	Responsables	Medidas Implantadas	Documentos que Acreditación la Medida	Status	PROB	CONS		Valor
Cargas suspendidas (izado)	Pérdida de control con caída o golpeo de la carga izada	1	Pérdida de control del reactor durante su izado con posibilidad de golpeo a instalaciones de alrededor provocando posibles daños personas, fuga de compuestos químicos, incendio y/o explosión.	Daños a personas, instalaciones equipos y / o medioambiente	Estudio de Constructabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sesiones formación específicas</li> <li>Señalización (<b>con uso de señalistas</b>)</li> <li>Coordinador maniobras/actividad</li> <li>Paralización de otras actividades en planta</li> <li>Equipo de trabajo mínimo y necesario en zona de trabajo y exposición de riesgo en caso de accidente</li> <li>Vehículos contra incendios y salvamento preparado en cercanías</li> <li>Solicitud de documentación y permisos en regla de grúas y señalistas</li> <li>Procedimiento de montaje e izado</li> </ul>		Efecto sobre el proyecto (compromete el proyecto) *		Improbable (podría ocurrir alguna vez) *	2	5	10		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sesiones formación específicas</li> <li>Señalización (<b>con uso de señalistas</b>) <ul style="list-style-type: none"> <li>Coordinador maniobras/actividad</li> </ul> </li> <li>Paralización de otras actividades en planta</li> <li>Equipo de trabajo mínimo y necesario en zona de trabajo y exposición de riesgo en caso de accidente</li> <li>Vehículos contra incendios y salvamento preparado en cercanías</li> <li>Solicitud de documentación y permisos en regla de grúas y señalistas</li> <li>Procedimiento de montaje e izado</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sesiones formación específicas</li> <li>Señalización (<b>con uso de señalistas</b>) <ul style="list-style-type: none"> <li>Coordinador maniobras/actividad</li> </ul> </li> <li>Paralización de otras actividades en planta</li> <li>Equipo de trabajo mínimo y necesario en zona de trabajo y exposición de riesgo en caso de accidente</li> <li>Vehículos contra incendios y salvamento preparado en cercanías</li> <li>Solicitud de documentación y permisos en regla de grúas y señalistas</li> <li>Procedimiento de montaje e izado</li> </ul>			1	4	4	* Evaluación del riesgo en proyectos aplicando normativa NRM-306
								Daño a personas (una muerte) **		Ha ocurrido alguna vez en la actividad a nivel mundial **	1,2	16	19,2							0,8	16	12,8	** Evaluación del riesgo de seguridad y medio ambiente aplicando normativa 00-00353NO
								Daño a propiedad (1 M € - 10 M €) **		Ha ocurrido alguna vez en la actividad a nivel mundial **	1,2	16	19,2							0,8	16	12,8	

## **A9 Acuerdo de Confidencialidad**

### ANEXO 1: ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

De una parte, el estudiante Cayla Barry Obalat con DNI 47478940-V, de otra parte Xavier Vilanova con DNI 46046399-P como director de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria con domicilio en el Campus Sescelades, Avinguda Països Catalans, 26 43007 Tarragona, por delegación de la rectora de la Universitat Rovira i Virgili, con NIF Q-935003-A y con domicilio en Calle Escorxadador s/n 43003 Tarragona y por último Silvia Sotillo Moreno con DNI 50810456Y como representante legal de la entidad Repsol con CIF A78374725 y domicilio fiscal en calle Méndez Alvaro 44, 28045, Madrid acuerdan las siguientes,

#### CLÁUSULAS

PRIMERA: El estudiante que quiera hacer un Trabajo de Fin de Máster (TFM) que incluya información confidencial deberá comunicarlo al director/a del TFM y adjuntar el presente acuerdo a la solicitud de título y director/a del TFM sellado por la entidad colaboradora que se considere propietaria de la información confidencial, y firmado por una persona responsable de la misma. En caso de que el propietario de esta sea una persona física, se hará de manera similar, por esta o su representante legal.

SEGUNDA: Se puede considerar información confidencial la que sea reconocida como tal por parte de una entidad legalmente establecida, con carácter previo a la ejecución del TFM motivo de este acuerdo. La información confidencial se puede referir a métodos, procedimientos, modelos, técnicas, circuitos, software, etc. y cualquier otra susceptible de protección legal como las mencionadas en el párrafo anterior.

TERCERA: El TFM con información confidencial tendrá dos versiones de la documentación: la íntegra y la reducida. En la versión íntegra se pondrá en conocimiento la información que se considera confidencial y se entregará a los miembros del tribunal. En la versión reducida se hará constar la información que falta, de tal manera que el conjunto del trabajo no pierda continuidad. Esta versión deberá contener explícitamente el visto bueno de la entidad colaboradora y será la que quedará depositada en el repositorio institucional de la URV y, en su caso, en el repositorio del departamento, una vez defendido el TFM. En ambas versiones se hará constar su carácter confidencial y la entidad o persona física propietaria de esta información, con expresión de su dirección completa. Cualquier persona o entidad que tenga interés en conocer la información confidencial de este TFM deberá dirigirse a dicha propietaria.

CUARTA: Los miembros del tribunal dispondrán de la versión íntegra del TFM, antes de la defensa y mientras dure ésta. Del mismo modo, se darán por enterados del carácter confidencial de parte de la información que deberán juzgar, y así lo advertirán al público que eventualmente pueda asistir a la defensa. En principio, la defensa del TFM mantendrá su carácter público y la exposición oral, gráficos de apoyo, demostraciones, etc. efectuarán en base a la versión íntegra. Sin embargo, a petición del cualquiera de las partes implicadas la asistencia de público se podrá restringir.

QUINTA: Una vez evaluado el estudiante por parte del tribunal, el secretario/a del tribunal le devolverá toda la documentación en versión íntegra, excepto un ejemplar que quedará en la secretaría del departamento durante un plazo máximo de 10 días para resolver posibles reclamaciones. En caso de que se produzca dicha reclamación el ejemplar quedará en la secretaría hasta que se resuelva completamente la reclamación.

SEXTA: La Escuela, como tal, no acepta ninguna responsabilidad por el mal uso que se pueda hacer de esta información confidencial, salvo en lo referente a la responsabilidad individual que se pueda derivar.

Miércoles, 3 de marzo de 2021

Director de l'ETSE  
(signatura i segell)



Representant entitat col·laboradora  
(signatura i segell)

Estudiant

Cayla Barry Obalat  
47478940-V

Vist i plau director/a TFM

Luca  
Sanminiatielli  
III NIE  
X1614233R

Firmado digitalmente por  
Luca Sanminiatielli NIE  
X1614233R  
Nombre de reconocimiento  
(DN): cn=Luca Sanminiatielli  
NIE X1614233R, o, ou,  
email=luca.sanminiatielli@u  
rrv.cat, c=es  
Fecha: 2021.03.05 08:58:18  
+01'00'