

Análisis de causas de retrasos de los trabajos en parada en los proyectos de montaje de tuberías en plantas de proceso

Alberto Menéndez Castañón

Vicente Rodríguez Montequín

José Manuel Mesa Fernández

Miguel Angel Vigil Berrocal

Área de Proyectos de Ingeniería, Universidad de Oviedo

Abstract

This paper presents a practical study on the causes of delays in shutdown works for piping assembly projects in industrial processing plants. The so-called *shutdown works* are those projects that require the plant installation to be temporarily out of service, in order for the works to be performed. This type of project is mostly used in industrial processing plants, usually under very restrictive scheduled deadlines. A precise planning for these projects demands the maximum information possible on the duration of the different tasks involved. Thus, it is essential to analyze the delays produced during task execution. Therefore, to comply with deadlines and cost-efficiency, it is crucial to study the possible causes of deviations, analyze workers routine and correct it if convenient. All data used for this study were taken from a real life case in a petrochemical company.

Keywords: *shutdown works; planning; process*

Resumen

El presente artículo expone un estudio práctico sobre las posibles causas de retrasos de los llamados “trabajos en parada” en plantas de proceso, concretamente en proyectos de montaje de tuberías. Se denominan “trabajos en parada” a aquellos proyectos durante los cuales las instalaciones de la planta se encuentran fuera de servicio con el fin de poder ejecutar los trabajos. Esta modalidad de proyectos es muy utilizada en el sector de plantas de proceso, además de desarrollarse bajo unas restricciones de plazo muy importantes. Una correcta planificación de estos proyectos exige contar con la máxima información sobre la duración de las diferentes tareas. Para ello, es fundamental realizar un análisis de los retrasos que se producen durante el desarrollo de las mismas. Por lo tanto, para su correcta ejecución en plazo y coste, es necesario realizar un estudio de las posibles causas de las desviaciones, analizar las rutinas de trabajo de sus operarios e intentar corregir los comportamientos no adecuados. Los datos en los que se apoya el estudio se han obtenido de un caso real en una planta petroquímica en el norte de España.

Palabras clave: *trabajos en parada; planificación; proceso*

1. Introducción

Se denominan “trabajos en parada” a los trabajos a realizar en cualquier planta de proceso que requiere ponerla fuera de servicio para poder trabajar en ella. Suelen ser de duración determinada, y los costes asociados a cualquier retraso suelen ser muy elevados. Requieren una planificación muy minuciosa, ya que hay que prever la parada de la instalación, la adecuación de la misma para poder actuar sobre ella y la puesta en marcha de la instalación hasta recuperar los niveles productivos.

Los trabajos en parada tienen unos condicionantes que hacen que sean distintos y menos previsibles, y por tanto más difícil su planificación, que los trabajos comprendidos en otro tipo de Proyectos de Ingeniería. También es muy difícil la estandarización de los métodos de trabajo, ya que los trabajos de montaje implican una serie de actividades que pueden verse afectadas por imprevistos difíciles de contemplar. En el caso de “trabajos en parada”, los retrasos que se produzcan pueden resultar desastrosos desde el punto de vista económico tanto para la Propiedad como para la Empresa Contratista. Un trabajo en parada implica que cualquier retraso afecta a la puesta en servicio de la instalación, y a la recuperación de su producción normal, con lo que un retraso en retomar las actividades por parte de la Propiedad puede derivar en fuertes sanciones económicas para la empresa Contratista. De estas observaciones se desprende la importancia de realizar una buena programación de una obra de este tipo, teniendo en cuenta las diferentes fases a programar y las actividades en las que queremos dividir los trabajos.

Esta comunicación expone un estudio práctico sobre las causas de retrasos de los trabajos en parada en plantas de proceso, concretamente en proyectos de montaje de tuberías, centrándose principalmente en aquellos relacionados con la gestión del proyecto más que a aspectos técnicos puntuales. Los proyectos de montaje de tubería o “piping” que se realizan en las plantas de proceso se desarrollan frecuentemente bajo esta modalidad. Para la ejecución de este tipo de proyectos es clave realizar una planificación que tenga en cuenta todos los condicionantes existentes, las posibles interferencias, los tiempos muertos esperados e inesperados.

Los datos en los que se apoya el estudio se han obtenido de un caso real en una planta petroquímica en el norte de España, durante el cuál se realizó un control de los tiempos de actividad de los operarios. El proyecto consistió en el montaje de una serie de líneas de tubería nuevas para transportar diferentes productos, los equipos asociados y sus conexiones.

2. Estado del arte

Actualmente, la planificación de proyectos de montaje de tuberías se suele realizar en base a la experiencia adquirida, al no existir unos estándares universales aplicables a estos proyectos. Muchas empresas de montaje se basan en tablas de rendimientos que van actualizando en base a la experiencia adquirida. Además de esto, un aspecto clave para la realización de una buena planificación en este tipo de proyectos es el tener en cuenta las posibles desviaciones que puedan producirse. Estas desviaciones se pueden deber frecuentemente a retrasos que aparecen asociados a esta modalidad de proyectos, y que se asumen como normales, como son la fatiga de los operarios, fallos imprevistos de maquinaria o de herramientas, la mala transmisión de información a través de la cadena de mando, una mala planificación de los trabajos diarios, la incorrecta realización de las tareas por parte de los operarios, etc. Pero además, hay otra serie de condicionantes que, aunque no son exclusivos de este tipo de proyectos de montaje de tuberías, sí se dan con mayor frecuencia, como pueden ser:

- Cambios de tipo de material en una misma línea y, por lo tanto, de procedimientos de soldadura, lo que implicaría el uso de unos equipos de soldeo u otros).
- Cambio de esquema en una misma línea, lo que implicaría una mala elección de las juntas para los elementos bridados, etc.
- Trabajos con líneas inertizadas y líneas en carga.

La mayor parte de la literatura sobre el tema está referida a aspectos técnicos de este tipo de proyectos más que a aspectos organizativos o de estimación del proyecto. Dejaremos de lado en este estudio los aspectos más técnicos, centrándonos en los referidos a la gestión del proyecto. En este sentido, una gran parte de la literatura aborda diversos aspectos de seguridad, como por ejemplo (Delvosalle, Fievez, Pipart, & Debray, 2006) o (Jovanovic, 2004). Otros trabajos abordan la estimación de proyectos, pero de una forma muy general (Huang & Chen, 2006). Otros autores han analizado los métodos de control de costes de estos proyectos, como por ejemplo (Jin & Lin, 2011). Dentro de la línea de estimación de costes, diversos trabajos desarrollan modelos para su predicción, como el propuesto por (Duran, Maciel, & Rodriguez, 2012) utilizando Redes Neuronales. Sin embargo, no se han encontrado trabajos que analicen las causas de retraso en este tipo de proyectos desde la perspectiva aquí abordada.

3. Condicionantes para la planificación de este tipo de proyectos

A la hora de planificar proyectos de este tipo, existen una serie de tareas a tener en cuenta. En primer lugar, se fija el alcance de los trabajos y se procede a la identificación de las líneas sobre las que se debe ejecutar alguna acción. Posteriormente, se procede a estandarizar las acciones. Las operaciones habituales que se realizan para cada línea en estos proyectos son las siguientes:

- Montaje de discos de aislamiento.
- Cortes de las vigas donde se va a actuar.
- Cierres.
- Reformas en los tubos que interfieren. Traceados de vapor.
- Ensayos no destructivos.
- Pruebas de carga.
- Desmontaje de discos de aislamiento.

Una vez que se definen las diferentes áreas y unidades de actuación, se analizan los isométricos de las diferentes líneas con el fin de hacer una clasificación de los mismos. De ellos se extrae la siguiente información:

- Características de las líneas:
 - Diámetros de las tuberías a montar.
 - Unidades a las que pertenecen.
 - El servicio que realizan (en función del fluido que transportan y el equipo o equipos a los que van unidos).
- Información procedente de las especificaciones de la propiedad:

- La especificación a la que pertenecen. Se clasifican atendiendo a las especificaciones de materiales de la Propiedad.
- Materiales de los que está compuesta la tubería. Son principalmente tres: Acero Carbono (AC), Acero Inoxidable (AI) y Acero Aleado (AA).
- Calidad de los materiales a utilizar.
- Esquema de los materiales, que para el caso de estudio son: sch40, schXS y schSTD.
- El Rating.
- La temperatura de operación.
- La presión de operación.
- La presión de prueba.
- Características que aportan datos de acabados y de pruebas:
 - El tipo de aislamiento y el espesor (en caso de que así se requiera), en función de la temperatura de operación.
 - Los esquemas de pintura de las diferentes líneas, atendiendo a las especificaciones, en función de la temperatura de operación.
 - El tipo de ensayos no destructivos que requieren las diferentes líneas. Estos se realizan sobre las uniones soldadas y en función de la presión de operación se le aplica un mayor o menor porcentaje. Estos pueden ser tres: Rx (radiografiado a diferentes porcentajes), Lp (líquidos penetrantes) y DUR (ensayos de dureza).
 - La necesidad o no de realizar tratamiento térmico a las uniones soldadas.
- Datos de mediciones:
 - Peso de tubería a montar
 - Metros lineales de tubería
 - Número de uniones soldadas, tanto en taller de prefabricación como a realizar en obra.
 - Pulgadas de soldadura, tanto en el taller de prefabricado como a realizar en obra.
 - Número de elementos bridados.
 - Número de elementos roscados.

Estos datos, principalmente el número de soldaduras a realizar en obra y los cortes a realizar para ejecutar las mismas, son fundamentales de cara a calcular los tiempos estimados para la ejecución de los trabajos, ya que los ratios a emplear van en función de los diámetros y las pulgadas resultantes de las uniones soldadas.

Aparte de los datos anteriormente expuestos, hay además un tipo de actividad muy importante en estos proyectos, que es el endiscado-desendiscado de las líneas. Este endiscado se realiza para aislar las diferentes líneas y evitar, de esta manera, que líneas sobre las que se están realizando trabajos se pongan en contacto con las que están en funcionamiento (“en carga”) en la instalación. Además, un correcto “endiscado” de las líneas permite a su vez un correcto vaporizado de las mismas, permitiendo la ejecución de los

trabajos minimizando los riesgos. Cualquier error en este proceso de aislamiento puede resultar fatal y derivar a su vez en graves consecuencias desde el punto de vista de la seguridad. No debe olvidarse que los trabajos se desarrollan dentro de plantas de proceso, como refinerías, en las que las diferentes líneas llevan gases y otros fluidos inflamables que, de no ser vaporizadas correctamente, podrían albergar restos de residuos altamente inflamables.

Una de las actividades más frecuentes de este tipo de proyectos son los denominados TIE-INS. Este término se utiliza para describir la conexión de una nueva tubería sobre una tubería existente. Se describen a continuación las actividades estándares para el montaje de TIE-INS:

- Endiscado de la línea sobre la que se va a actuar.
- Corte/s de las tuberías donde se van a realizar las conexiones.
- Biselado de la tubería.
- Montaje de los elementos nuevos a conexionar (tubería, válvulas, instrumentación, etc.).
- Cierres de las uniones (soldadura).
- Pruebas de carga.
- Desendiscado de la línea.

Hay una serie de condicionantes que marcan el desarrollo de los trabajos y que influyen a la hora de planificar los mismos:

- Todos los trabajos a realizar antes de aislar las líneas son trabajos “en frío” para minimizar riesgos de incendios y explosiones.
- Los trabajos a realizar “en caliente” requieren la adopción de unas medidas de seguridad especiales, lo que influye en el cálculo de los tiempos de ejecución. Para estos trabajos está totalmente prohibido el uso de sopletes de gas, factor que influye a la hora de realizar desmontajes (los trabajos de corte de tubería de un espesor elevado, son mucho más lentos si se tienen que realizar, por ejemplo, con una radial que con soplete).

Con toda la información obtenida, se realiza la planificación de los trabajos. Se intentan transformar todas las unidades de control a unidades de tiempo. La planificación se basa habitualmente en los ratios de rendimiento obtenidos por la experiencia adquirida en proyectos anteriores y los diferentes condicionantes existentes para la ejecución de los trabajos. Sin embargo, existen diversos factores que interfieren en la correcta finalización de los trabajos. A menudo se producen retrasos que elevan los costes innecesariamente debido a una mala especificación de los trabajos, ya sea por dejadez a la hora de redactar unas especificaciones y un alcance de las actividades que comprenden, o por la aparición de elementos inesperados que afectan de manera no prevista a su desarrollo. Estos últimos suelen derivarse de un mal conocimiento de las instalaciones donde se van a realizar los trabajos por parte del personal que realiza las especificaciones. Se puede obtener más información sobre todo el proceso en (Pennock, 2001).

4. Caso de estudio

El caso de estudio expuesto a continuación consiste en el análisis de los tiempos empleados en la ejecución de los trabajos realizados durante un proyecto en parada en una planta industrial para el montaje de tuberías en una refinería. Dicho proyecto consistió en el

montaje de una serie de líneas de tubería nuevas para transportar diferentes productos, los equipos asociados y sus conexiones. Aunque el proyecto global incluía una fase de prefabricación de las diferentes tuberías a montar, nos centraremos exclusivamente en la parte del montaje a realizar in-situ en la planta industrial. Durante el desarrollo de los trabajos de este proyecto, se realizó un estudio de métodos y tiempos centrado en las actividades a realizar para el montaje de los TIE-INS, con la intención de analizar los tiempos muertos producidos y sus causas. Asimismo, se cuantificaron dichos tiempos muertos con la intención de poder aplicar los resultados extraídos en futuras planificaciones de trabajos similares.

En el caso del proyecto de estudio, se incluían las líneas de descarga de PSV's (pressure safety valve), Colector de Antorcha y Colector de Vapor (actuación Área 1), así como la instalación de tres líneas que denominaremos Área 2, Área 3 y Área 4. A continuación se relacionan las tareas de cada una de las actuaciones:

Línea de descarga de PSV's:

- Montaje de discos de aislamiento (15 discos ciegos).
- Corte y desplazamiento del colector (número de cortes indeterminado. Se harán los cortes necesarios para permitir el desplazamiento del colector).
- Cierres (tantas uniones soldadas como cortes se hayan realizado).
- Reformas de tubos que interfieren. Traceados de vapor. Montaje de 5 TIE-IN's.
- Ensayos no destructivos.
- Pruebas de carga.
- Desmontaje de discos de aislamiento.

Línea de descarga de colector de antorcha:

- Montaje de discos de aislamiento (25 discos ciegos).
- Corte del colector (número de cortes indeterminado. Se realizan los cortes necesarios para permitir el desplazamiento del colector).
- Desplazamiento de la zona SUR del colector.
- Cierres de la zona SUR (tantas uniones soldadas como cortes se hayan realizado).
- Desplazamiento de la zona NORTE del colector.
- TIE-IN's zona NORTE (18 TIE-IN's).
- Cierres zona NORTE (tantas uniones soldadas como cortes se hayan realizado).
- Reformas de tubos que interfieren. Traceados de vapor.
- Ensayos no destructivos (END).
- Pruebas de carga.
- Desmontaje de discos de aislamiento.

Línea de colector de vapor:

- Montaje de discos de aislamiento.
- Corte y desplazamiento de la zona NORTE del colector.
- Montaje de estructura metálica de soporte.
- Corte y desplazamiento de la zona SUR del colector.
- Cierres de la zona SUR.
- Cierres zona NORTE.
- Montaje de 10 TIE-IN's.
- Ensayos no destructivos (END).
- Pruebas de carga.
- Desmontaje de discos de aislamiento.

Línea ÁREA 2:

- Montaje de discos de aislamiento.
- Desmontaje del colector.
- Montaje del colector.
- Montaje de 3 TIE-IN's.
- Ensayos no destructivos (END).
- Pruebas de carga.
- Desmontaje de discos de aislamiento.

Línea ÁREA 3:

- Montaje de discos de aislamiento.
- Montaje de 26 TIE-IN's.
- Ensayos no destructivos (END).
- Pruebas de carga.
- Desmontaje de discos de aislamiento.

Línea ÁREA 4:

- Montaje de discos de aislamiento.
- Montaje de 2 TIE-IN's.
- Ensayos no destructivos (END).
- Pruebas de carga.
- Desmontaje de discos de aislamiento.

Las tuberías son principalmente de tres tipos: acero carbono, acero inoxidable y acero aleado. Las calidades de materiales a utilizar eran: A-106Gr.B para el Acero al Carbono, A312 Gr. Tp 316 dual para el Acero Inoxidable y A-335GrP5 para el Acero Aleado. El esquema de los materiales es sch40, schXS y schSTD.

Después de un análisis de los diferentes condicionantes de los trabajos y de las zonas donde se iban a desarrollar los mismos, se estiman los siguientes ratios:

Tabla 1 Ratios estimados

TRABAJO	UNIDAD		
	ÁREA 1	ÁREA 2-ÁREA 3-ÁREA 4	
Endiscado (horas/disco)	8,9	4,2	
Desendiscado (horas/disco)	5,7	3,2	
Corte, soldadura y desplazamientos (pulgadas/hora)	0,162	0,214	

Para el cálculo de estos ratios se tuvieron en cuenta los diámetros de las diferentes líneas y las uniones bridadas donde se debía realizar el endiscado. Para acceder a alguna de estas uniones bridadas fue necesario el montaje de andamios y el uso de plataformas auxiliares.

Se puede observar que los tiempos de desendiscado son menores a los de endiscado (casi en proporción 0,6-0,4). Esto se debe, por un lado, a que el trabajo de endiscado es más complicado que el del desendiscado, sobre todo la tarea de retirar los tornillos de las bridas, debido al deterioro sufrido, y por el otro a que son trabajos que hay que realizar en "en frío".

Con todo esto, se calcula un único ratio medio en función de las pulgadas a soldar en las uniones para las diferentes unidades. Este ratio es: **0,101 Pulgada/hora**.

Con los ratios indicados se obtiene una carga de trabajo de 6.630 horas para la actuación Área 1 y 5.337 horas para las Áreas 2, 3 y 4. Por tanto, el total de horas necesarias para la ejecución de los trabajos, sin contar con el tiempo que puedan llevar los ensayos no destructivos, asciende a: 11.967 horas. Con el número de horas totales, realizamos el cálculo de recursos necesarios para afrontar la ejecución del proyecto. Únicamente se tuvieron en cuenta las horas directas de trabajo, no las horas asociadas a actividades indirectas. Tampoco se contabilizan las horas que puedan llevar los ensayos no destructivos, ya que serán realizados por una empresa externa. Esto dio lugar a una planificación de aproximadamente un mes, con el siguiente equipo de trabajo para cada actuación:

Tabla 2 Equipo de trabajo asignado

Unidad ÁREA 1	Unidad ÁREA 2-ÁREA 3-ÁREA 4
1 Jefe de equipo.	1 Jefe de equipo.
7 Soldadores.	3 Soldadores.
6 Tuberos.	8 Tuberos.
5 Ayudantes.	4 Ayudantes.

Durante la ejecución se realizó un control de los tiempos de actividad de los operarios por categorías para todo el período de parada, intentando registrar, examinar y medir la cantidad de trabajo realizado. Así, diariamente se registraron datos en un archivo de control de personal sobre el trabajo, por cuanta gente había sido realizado y sus categorías profesionales. También se registraron las posibles interferencias, trabajos imprevistos, modificaciones por errores de diseño, etc. En el proyecto no se cumplieron las fechas estimadas de inicio y finalización de los trabajos. Esto suele ser bastante normal en este tipo de proyectos. La propiedad suele prever una fecha de inicio de los trabajos de las contratas en función de la parada de las líneas y la inertización y vaporización de las mismas, la cual puede adelantarse o retrasarse. En este caso se adelantó la fecha de comienzo de los trabajos. La fecha de finalización de los trabajos sin embargo se retrasó, ya que, por una parte, aumentó el alcance del proyecto y por otro se produjeron una serie de tiempos muertos no previstos.

4. Análisis de resultados

En este apartado se exponen los resultados obtenidos del análisis de los datos recogidos durante los trabajos en parada descritos anteriormente. Se examinaron los datos registrados y los detalles de los elementos que componían cada trabajo para verificar si se habían utilizado los métodos más eficaces, analizando las causas por las que se producían los tiempos muertos. Con los datos recogidos diariamente se elaboraron unas tablas comparativas con lo inicialmente previsto y se vieron las desviaciones producidas. La siguiente tabla resume los datos más importantes:

Tabla 3 Mediciones de los trabajos realizados
AVANCE PARADA

TOTALES	ÁREA 1	ÁREA 2.ÁREA 3- ÁREA 4	TOTALES
Horas	5.040	6.100	11.140
Pulgadas	600,5	698,75	1.299,25
Discos	96	265	361
Quitar discos	96	265	361
m.l	34,74	505,686	540,426

Tabla 4 Distribución de carga de trabajo real

	Jefe de equipo	Soldador	Tubero	Ayudante	TOTALES
Horas ÁREA 1	310	1.490	1.420	1.370	5.040
Horas ÁREA 2- ÁREA 3-ÁREA 4	250	1.420	2.610	1.820	6.100
					11.140

La tabla 4 representa el desglose de horas de trabajo de cada unidad de actuación por perfiles. Finalmente se obtuvieron los siguientes ratios:

Tabla 5 Ratios finales Área 1

RATIOS						
ENDISCADO			DESENDISCADO		PULGADAS	
ÁREA 1	Total discos	96	Total discos	96	Total pulgadas	600,50
	Horas colocar discos	450	Horas quitar discos	480	Horas	4.110
	Ratio horas /disco	4,687	Ratio horas/disco	5,00	Ratio pulgadas/hora	0,146

Tabla 6 Ratios finales Áreas 2, 3 y 4

RATIOS								
ENDISCADO			DESENDISCADO		PULGADAS		DESMONTAJE	
ÁREA 2-	Total discos	265	Total discos	265	Total pulgadas	698,75	Kg	10.698,93
ÁREA 3-	Horas colocar discos	920	Horas quitar discos	430	Horas	4.070	Hora desmontaje	130
ÁREA 4	Ratio horas /disco	3,472	Ratio horas/disco	1,623	Ratio pulgadas/hora	0,172	Ratio kg/hora	82,299

Los datos de las Áreas 2, 3 y 4 han sido agrupados por su afinidad. La obra del Área 1 ha sido estudiada por separado, ya que tiene una complejidad diferente, como se puede fácilmente deducir a través de los ratios obtenidos. Del análisis de las desviaciones de horas en el proyecto se dedujeron las principales causas de los retrasos y se elaboró un registro de las más repetitivas, que se muestra a continuación:

Tabla 7 Análisis de retrasos

DESCRIPCIÓN	CAUSA	FRECUENCIA
Interferencias con otras empresas	Falta de planificación	28%
Aparición de elementos no contemplados	Mala definición del alcance de los trabajos	22%
Trabajos no realizados en condiciones de calidad y tiempo	Mala transmisión de los órdenes de trabajo	16%
Falta de materiales o consumibles	Falta de planificación	9%
Problemas en ejecución de pruebas de carga	Factores no previsibles	8%
Fatiga de los operarios	Falta de planificación	5%
Otros		12%

El registro de datos que se muestra en la Tabla 7 demuestra que una mala planificación puede ser el principal detonante de retrasos en la ejecución de los trabajos, que a su vez acarrearía retrasos en la fecha de finalización. Asimismo, aparece un nuevo condicionante,

que son los retrasos debidos a la ejecución de pruebas de carga en líneas que mezclan partes nuevas con partes ya existentes. Existe la posibilidad de que haya que realizar reparaciones “no previstas” en líneas existentes, ya que pueden aparecer fugas, lo que impide que se puedan poner en carga.

Inicialmente se estimaron 11.967 horas para realizar 1.209,25 pulgadas de soldadura (el ratio inicial era de 0,101 pulgadas/hora). Al final de los trabajos se han registrado 12.108 horas, un número superior al inicialmente previsto. A su vez, las pulgadas de soldadura realizadas son más que las previstas en un principio, 1.299,25”, con lo que el ratio obtenido es de 0,107 pulgadas/hora, es decir, mejor que lo supuesto inicialmente.

La particularidad de este proyecto concreto reside en que hay que realizar una serie de conexiones (TIE-INS) que implican el conexionado de diferentes elementos que unen líneas nuevas con líneas existentes. Debido a que no siempre está bien definido qué líneas existentes pueden estar afectadas, se puede incurrir en una serie de retrasos no contemplados dentro de la planificación inicial. Este tipo de situación se puede generalizar a la mayoría de los proyectos de este tipo. Este mismo factor influye en las pruebas de carga de líneas nuevas con líneas existentes.

Lo anterior ilustra que no siempre un retraso en la ejecución de los trabajos supone un incumplimiento con las previsiones realizadas. En este caso, el ratio calculado al final de los trabajos es superior (en pulgadas/hora) al previsto inicialmente, lo que implicaría que los rendimientos obtenidos fueron superiores a los previstos. Esto fue debido a que hubo un aumento del alcance de los trabajos, (se puede comprobar observando que aumentan el número de pulgadas realizadas respecto a las previstas) que compensó el aumento en horas para la ejecución de los mismos.

5. Conclusiones

Los proyectos de este tipo suelen estimarse en base a ratios de rendimiento obtenidos de proyectos anteriores. Sin embargo estos ratios pueden variar. El estudio realizado analiza las causas más frecuentes que afectan a esta variación desde el punto de vista organizativo, encontrando que el más frecuente es una mala planificación. Las causas de esta mala planificación pueden deberse a diversos factores:

- Mala definición del alcance: falta de datos aportados por la experiencia de otros proyectos para el cálculo de los tiempos de ejecución.
- Los condicionantes externos al proceso productivo: factores climatológicos y tiempos muertos debidos a falta de recursos.
- Pero el factor más importante son los imprevistos que aparecen debido a una mala planificación de los trabajos, no siempre atribuible a la empresa contratista. Una mala definición de los trabajos, una mala especificación de los trabajos por parte de la propiedad o un desconocimiento de las propias instalaciones, pueden condicionar el retraso en la finalización de un trabajo hasta extremos que hagan que el coste sea mucho más elevado que lo que inicialmente se tenía previsto.
- En la ejecución de trabajos que mezclan líneas nuevas con líneas existentes, hay un alto grado de incertidumbre por el desconocimiento del estado en el que se puedan encontrar las líneas existentes. En muchas ocasiones, al ser líneas que van aisladas, es muy difícil realizar una inspección anterior para evaluar el estado de las mismas.

Los resultados del trabajo pueden ser aplicados a modelos de estimación para este tipo de proyectos, pudiendo mejorar la precisión con la que son realizados.

Referencias

- Delvosalle, C., Fievez, C., Pipart, A., & Debray, B. (2006). ARAMIS project: A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries. *Journal of Hazardous Materials*, 130(3), 200–219. doi:10.1016/j.jhazmat.2005.07.005
- Duran, O., Maciel, J., & Rodriguez, N. (2012). Comparisons between two types of neural networks for manufacturing cost estimation of piping elements. *Expert Systems with Applications*, 39(9), 7788–7795. doi:10.1016/j.eswa.2012.01.095
- Huang, E., & Chen, S.-J. (Gary). (2006). Estimation of Project Completion Time and Factors Analysis for Concurrent Engineering Project Management: A Simulation Approach. *Concurrent Engineering*, 14(4), 329–341. doi:10.1177/1063293X06072482
- Jin, X. J., & Lin, C. X. (2011). Research on the Whole Process Cost Control Methods of the Chemical Piping Engineering. *Advanced Materials Research*, 383-390, 4286–4293. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.4286
- Jovanovic, A. (2004). Overview of RIMAP project and its deliverables in the area of power plants. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 81(10–11), 815–824. doi:10.1016/j.ijpvp.2004.07.001
- Pennock, J. O. (2001). *Piping Engineering Leadership for Process Plant Projects*. Gulf Professional Publishing.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Área de Proyectos de Ingeniería, Universidad de Oviedo.
Phone: + 34 985 10 42 72
E-mail: montequi@api.uniovi.es
URL: <http://www.api.uniovi.es>