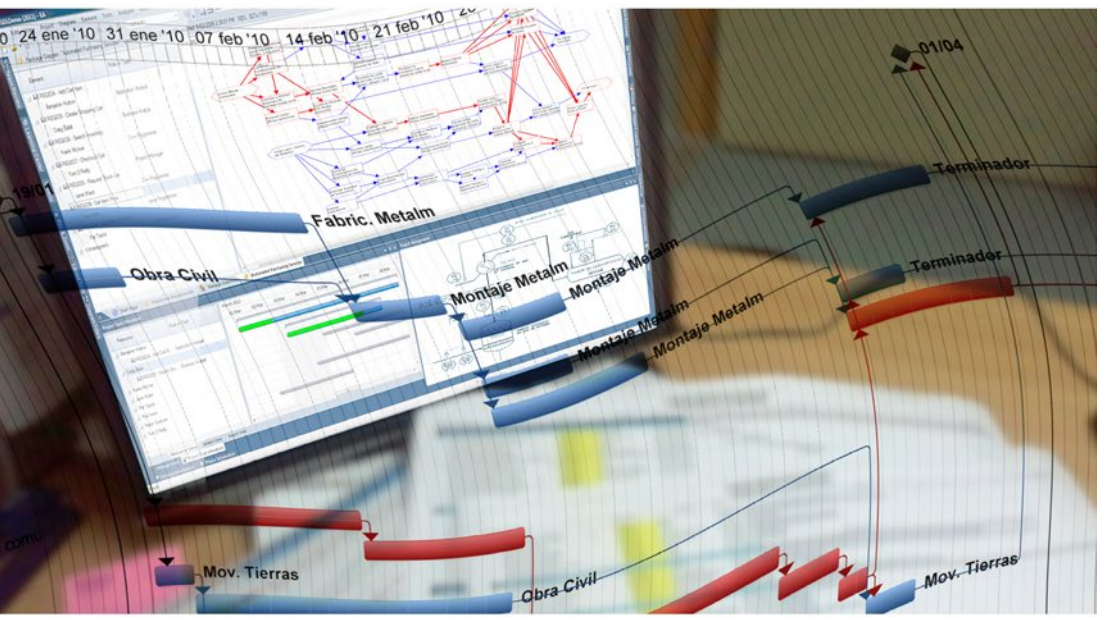
JAVIER REÁTEGUI VILLANUEVA

PROGRAMACIÓN DE OBRAS DE INSTRUMENTACIÓN

El desarrollo del cronograma en la construcción de plantas industriales



FONDO EDITORIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Programación de obras de instrumentación

Javier Reátegui Villanueva

PROGRAMACIÓN DE OBRAS DE INSTRUMENTACIÓN

El desarrollo del cronograma en la construcción de plantas industriales

FONDO EDITORIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Programación de obras de instrumentación
El desarrollo del cronograma en la construcción de plantas industriales
Javier Reátegui Villanueva

© Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012

© Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012
Av. Universitaria 1801, Lima 32, Perú
Teléfono: (51 1) 626-2650
Fax: (51 1) 626-2913
feditor@pucp.edu.pe
www.pucp.edu.pe/publicaciones

Diseño, diagramación, corrección de estilo
y cuidado de la edición: Fondo Editorial PUCP

Primera edición: diciembre de 2012
Tiraje: 500 ejemplares

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso de los editores.

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nº 2012-15835
ISBN: 978-612-4146-26-8
Registro del Proyecto Editorial: 31501361200869

Impreso en Tarea Asociación Gráfica Educativa
Pasaje María Auxiliadora 156, Lima 5, Perú

Índice

Introducción 9

Programación de obras de instrumentación 15
Los procesos de la programación 18
Características de la programación de obras de instrumentación 27

Documentación de diseño de instrumentación 31
Diagramas de flujo de proceso (DFP) 32
Diagrama de proceso e instrumentación (DPI) 32
Diagramas de lazo 34
Planos de distribución 37
Definición de sistemas y subsistemas 37
Lista de componentes 37

Planteamiento del problema 41
Nivel de control 43
Componentes típicos 47
Modos de planificación/programación 56
Fases de la construcción 61

Estimación de recursos - identificación de subdisciplinas 68
Tiempos improductivos 74
Riesgos - variabilidad de las duraciones 76
Conformidad 83

Desarrollo del cronograma 87

Epílogo 123

Introducción

Desde una perspectiva general, la dirección de proyectos es el conjunto de conocimientos y habilidades aplicados a los emprendimientos que las personas y organizaciones inician en su intento de cambiar la realidad para adecuarla a sus estrategias. Es decir, los proyectos están inextricablemente ligados a los cambios.

Los cambios que buscamos para posicionarnos mejor frente al entorno y en la búsqueda de nuestros objetivos se materializan por medio de las iniciativas que formulamos y que, luego de convertirlas en metas concretas, bautizamos como proyectos. Un proyecto sirve para cambiar algo: cambiar una organización, cambiar una imagen, construir algo que no existía o vencer un obstáculo. Eliminar una restricción o un problema, cambiar una tendencia o un destino, son buenos ejemplos de proyectos.

Sin embargo, las organizaciones que lanzan los proyectos normalmente no están «entrenadas» en gestionar proyectos debido a que los consideran una parte no rutinaria de su quehacer y, por lo tanto, no disponen de personal con los conocimientos y habilidades necesarios. No obstante, las empresas lanzan proyectos todo el tiempo: grandes y pequeños, unipersonales y multidisciplinarios, internos y para otros; además, hay planes y programas anuales que ayudan a administrar

muchas pequeñas propuestas de cambio o control, que incluyen gestionar presupuesto y recursos importantes de la organización. Los proyectos son más comunes de lo que parece.

Muchos proyectos se inician y se terminan sin recurrir a «gerentes de proyecto» ni a metodologías específicas o marcos conceptuales que den coherencia a la gestión; sin embargo, el costo de ignorar los aspectos que deben controlarse o los preparativos que deben realizarse es altísimo. En otras palabras, es como entregar nuestro destino al azar.

Un proyecto que ignore la necesidad de una correcta gestión de los recursos que se le asignaron y que no determine las metas a lograr navegará confundido en el océano de las actividades diarias, para arribar quizá a puertos que no están en su itinerario.

La gestión de proyectos viene a ser, entonces, el conjunto de herramientas (mapas, instrumentos de navegación, habilidades y experiencias) que permiten definir las rutas para cumplir con el itinerario de viaje, estimar los cursos y tiempos requeridos, así como aplicar correcciones cada cierto tiempo para arribar al puerto final en fecha.

Si bien la gestión de proyectos no es una garantía al 100% de éxito —y de hecho las estadísticas dicen que aun con modelos de gestión de proyectos en vigor hay una significativa tasa de fracasos—, su aplicación conlleva una reducción de las probabilidades de fracaso que la convierten en *algo indispensable* cuando se tienen en juego importantes recursos, amén de objetivos que pueden ser vitales para la continuidad de una organización.

Dentro de las herramientas de gestión de proyectos tenemos a los cronogramas (o programas) como uno de los componentes más frecuentes y centrales. Esto es tan usual que algunos llegan a confundir la planificación o la gestión entera (ver recuadro adjunto) con la programación.

El Project Management Institute (PMI), que ha compilado las mejores prácticas de gestión de proyectos en el PMBOK (acrónimo de su título en inglés: *Project Management Body of Knowledge*), reconoce

nueve áreas de conocimiento, cada una de las cuales agrupa varios procesos (haciendo un total de 43) y varios resultados, los cuales deben atenderse en su totalidad para una gestión correcta. Es decir, las famosas preguntas ¿qué?, ¿cómo?, ¿cuándo?, ¿quién?, etcétera, que solían guiar la planificación de un proyecto se han sistematizado y desarrollado formando un cuerpo de conocimientos bastante amplio, abarcando actividades más allá de la planificación solamente. Una de estas áreas de conocimiento está referida a la *Gestión del Tiempo*, cuyo entregable por excelencia es el cronograma, aunque no es el único entregable que debe desarrollarse.

Los proyectos tienen otra dimensión adicional en el PMBOK, que ayuda a poner en perspectiva los conceptos de gestión, planificación y programación: la gestión es la *aplicación* de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas necesarias para llevar cabo los (cinco) grupos de procesos de un proyecto:

- Iniciación.
- Planificación.
- Ejecución.
- Control.
- Cierre.

Es decir, administrar todo el ciclo de vida del mismo. La Gestión del Tiempo es solo uno de los componentes de la planificación y la programación es, a su vez, uno de los componentes de la Gestión del Tiempo.

Sin embargo, el cronograma resulta ser tan central a la gestión (debido al paradigma reinante: «más pronto, mejor») que da soporte al desarrollo y aplicación de casi todos los otros entregables (resultados) de la gestión. Además, es el elemento de coordinación (sincronización) de todas las otras actividades.

Casi no se puede gestionar correctamente un proyecto sin desarrollar un cronograma.

Para la implementación y aplicación de la Gestión del Tiempo surgió el oficio de programador, que ha sido considerado un arte durante mucho tiempo y, por ese carácter artístico, se aprendía solo con la experiencia. Recientemente se han estandarizado sus procesos (ver *Practice Standard for Scheduling*, 2007, del PMI), con lo que se ha clarificado su misterio pero, a la vez, se ha evidenciado la complejidad de sus interrelaciones dentro de la gestión de proyectos.

Con el progreso tecnológico y la introducción de la computadora en la industria aparecieron las matemáticas y algoritmos asociados al cálculo de los modelos de operación (principalmente en las fuerzas armadas y el proyecto espacial norteamericano), soportados por desarrollos informáticos (*software*) especializados. De esta forma, el programador se volvió un «sacerdote» administrador de los misterios y los secretos del cronograma, en tanto eran especialistas escasos.

El oficio quedó nublado por las habilidades informáticas necesarias para operar los modelos de operación (la matemática y el *software*) y, como resultado, se tendió a confundir a los operadores de *software* de programación con los programadores. Sin embargo, el juicio humano sensato todavía es requerido, las buenas prácticas de gestión aún son necesarias y, si están soportadas por la tecnología, mejor.

Este trabajo revisa algunos temas que un programador deberá resolver, con o sin *software*, para gestionar (recuerden, la gestión se divide en: inicio, planificación, ejecución, control y cierre) el cronograma de un proyecto grande. Para ello, se utilizan temas y ejemplos de los trabajos de montaje del sistema de instrumentación en una planta industrial por ser un tema pocas veces abordado y, generalmente, no bien atendido —incluso por los programadores y gerentes de proyectos— por características que se discuten brevemente en el cuerpo del texto. No obstante, el razonamiento base (sensato) es aplicable a cualquier otra disciplina o especialidad constructiva simplemente por equivalencia de casos.

Algunos de los requisitos propuestos para esta publicación fueron que sea muy directa y sencilla, además de portátil y fácil de leer en cualquier lugar, haciendo que el texto sea conciso, lo que conlleva el efecto secundario (bienvenido) de cubrir las limitaciones literarias del autor. El presente volumen estuvo originalmente pensado para un miembro del oficio de los programadores que ya tiene un conocimiento de los conceptos fundamentales y también cierta práctica.

También está dirigido a las personas que manejan proyectos, aunque no sean «Gerentes de Proyecto»; es decir, para cualquier persona. Para ello, se han agregado notas y textos explicativos de temas colaterales al desarrollo del cronograma; allí se tocan aspectos propios de proyectos grandes, de la disciplina de construcción de instrumentación, de la gestión de proyectos y aun observaciones del autor, por lo que el texto puede servir de introducción general a la programación (aunque no incluye ejercicios ni plantillas). Lo que sí queremos es mostrar la ruta de trabajo para tener un cronograma correcto sin distraerse en los tecnicismos de la programación ni en los tecnicismos del *software* de soporte (herramienta casi obligatoria).

Ya sabemos que hay muchos proyectos en la vida diaria (cada vez que queremos cambiar algo) que necesitan de un cronograma.

•••

Sobre la lectura: la exposición detallada de todos los temas colaterales al desarrollo del cronograma en un solo texto continuado está más allá de las habilidades del autor y creemos que podría oscurecer y distraer de los temas centrales a un lector que no esté familiarizado con el oficio de la programación, por lo que se ha optado por separar los temas colaterales de los temas de la exposición central por medio de fondos de color diferente.

El lector que desee recorrer rápidamente las ideas centrales podrá enfocarse en los textos usuales; en cambio, alguien que desee algún detalle más aclaratorio podrá revisar también los recuadros sombreados,

donde se presentan los temas colaterales. Dada la envergadura propuesta, estas descripciones son apenas sondeos generales que ayudan a entender el texto central; el lector interesado en profundizar en esos temas deberá recurrir a la literatura del caso.

Finalmente, una advertencia: este trabajo no intenta abordar los detalles técnicos del montaje e instalación de sistemas de instrumentación, nuestro objetivo es revisar los procesos generales del desarrollo de un cronograma de construcción basado en las características de una obra grande de instrumentación.

Programación de obras de instrumentación

Las obras de construcción y montaje son un conjunto de actividades complejas y requieren de un «mapa» para que los involucrados en el proyecto puedan comprender los alcances, secuencias y plazos del trabajo. De entre ellas, las de instrumentación son muy particulares por sus características que, como revisaremos más adelante, las convierten en todo un reto para el programador y la dirección de la obra.

La misión de las unidades de programación de proyectos es proveer ese mapa y guiar al resto de la organización ejecutora sobre la ruta planeada; es decir, deben saber en todo momento cuál es el destino final y cómo se llegará allí.

La programación de trabajos, en su sentido más amplio, tiene como finalidad: plantear a lo largo del tiempo la manera en que los entregables del proyecto se irán logrando; dicho de otro modo: ¿*cuándo* se espera que se produzca la entrega del producto o servicio al propietario final? Por lo tanto, es una actividad de planeamiento, en el sentido de que es previa a la ejecución de cualquier actividad constructiva, lo que no significa que sea fácil ni tampoco exenta de esfuerzo.

Se hace hincapié en la antítesis «actividad de planeamiento» contra «actividad de ejecución». No quiere decir que *solo* deban programarse las actividades de campo. El ámbito de la programación abarca *todas* las actividades del proyecto, sean de campo u oficina, físicas o intelectuales, y *todas deben controlarse con la misma disciplina* o sistema. Se entiende a la programación como *uno de los varios componentes* de la planificación.

Este concepto original va variando a lo largo del ciclo de vida del proyecto; por ejemplo, si la dirección de un proyecto solicita que se le informe de los impactos asociados a la aplicación de restricciones al programa de trabajo, tales como fechas de cumplimiento específicas para hitos particulares, el programa se transforma entonces y pasa de ser una «foto» de nuestras intenciones o posibilidades a convertirse en una herramienta para estimar o predecir situaciones hipotéticas.

Más adelante, luego de que el programa se ha consensuado con los implicados e interesados en el proyecto, se convierte en una promesa de cumplimiento, en un compromiso contractual casi siempre.

Durante la ejecución del trabajo y cuando los procesos de seguimiento y control empiezan a reportar los resultados de progreso y se comparan contra la «foto» prometida, se observan diferencias (negativas usualmente, hay que confesarlo) y la dirección entonces toma acciones correctivas para atraer los resultados del proyecto dentro de los parámetros planeados.

Encontramos entonces que el programa (cronograma) se halla presente en todo momento de la vida del proyecto y que en ese transcurrir va evolucionando sucesivamente como:

- Estimador de duraciones y fechas, y soporte para estimar recursos requeridos. Cálculo de escenarios alternativos.
- Modelo de operaciones, dando secuencias, especificando tareas, señalando periodos de actividad y de inactividad. Además, anuncia

anticipadamente sucesos y acontecimientos que requieren algún grado de preparación, permitiendo un flujo continúo de trabajos.
- Herramienta de comunicación y para compartir información, notificar responsabilidades asignadas; documento base de discusión, acuerdos y consenso.
- Modelo para predecir resultados y prevenir acontecimientos venideros. Mejora la precisión de las estimaciones
- Medida de comparación y control de ejecución, dando soporte para el «debería ser» contra el «actualmente es» y mostrando dónde se debería actuar para modificar el resultado final.

Esto convierte al programa en el documento (el entregable) central de la planificación sobre el que giran *todas* las otras actividades de un proyecto.

Un aspecto crítico que puede mediatizar severamente la utilidad y beneficios del programa del proyecto es su falta *credibilidad* entre el equipo de gestión y el resto de involucrados del proyecto. Un programa de poca credibilidad no será usado y dará pie a que aparezcan criterios y rumbos alternativos, con lo que la estrategia implícita en el plan (lo que el programa «dibuja») perderá consistencia. Para lograr credibilidad el programa debe estar basado en el consenso sobre sus líneas estratégicas; es decir, el equipo necesita haber participado de su planteamiento para adoptarlo como suyo y considerarlo correcto.

Esto implica también que la función del estratega único y supremo debe quedar bastante minimizada, caso contrario perderá la sinergia de un grupo comprometido y con iniciativa, obligándose a proveer él solo ese compromiso e iniciativa, lo que conduce a entrar en el ciclo vicioso del *micromanagement*.

Recordemos que como todo documento con muchas personas o unidades interesadas en él, el programa recibirá diversas interpretaciones dependiendo de las preocupaciones de los lectores y sus respectivos puntos de vista. Por ejemplo, la alta gerencia estará enfocada en resultados globales, mientras que las unidades ejecutoras se enfocarán en productividad y secuencias constructivas; no obstante, es crucial señalar que cada uno necesitará información que le ayude a tomar las decisiones de su área de responsabilidad. Esto significa, por lo tanto, que la gestión de las comunicaciones (una de las áreas de conocimiento en el PMBOK) del proyecto deberá contemplar reportes diferentes para cada involucrado e interesado, todos basados en la misma información (los varios programas del proyecto).

Los procesos de la programación

Para desarrollar el programa de ejecución de una obra se requiere de una gran cantidad de información de diverso origen; además, hay varios procesos paralelos que dan soporte y se soportan en el programa.

El Project Management Institute (PMI) ha sistematizado las prácticas requeridas para realizar la Gestión del Tiempo[1] de un proyecto en el *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) y, de acuerdo a la cuarta edición, existen seis procesos asociados al desarrollo del programa del proyecto:

[1] Ver Gestión del tiempo del proyecto. En *A guide to the Project Management Body of Knowledge* (pp. 50-51 y 129-164). 4ta ed. Pennsylvania: Project Management Institute.

	PROCESOS	ENTREGABLES
1	Definición de actividades	Lista de actividades Lista de atributos de actividades Lista de hitos
2	Establecimiento de la secuencia de las actividades	Diagrama de redes del cronograma Actualización de la documentación del proyecto: - El registro de riesgos - Los calendarios de recursos - Los supuestos de disponibilidad y nivel técnico de los recursos, entre otros
3	Estimación de los recursos de las actividades	Lista de requerimientos de recursos de las actividades Estructura de desglose de recursos La lista con la estimación de la duración de las actividades
4	Estimación de la duración de las actividades	El cronograma del proyecto El cronograma de línea base del proyecto Datos del cronograma: - Información basada en tiempo (histogramas de recursos, mínimos y máximos de uso/necesidad, flujos de caja de costos, secuencias de finalización/entrega, etcétera) - Cronogramas alternos - Cronogramas de reservas de contingencia
5	Desarrollo del cronograma	
6	Control del cronograma	Mediciones de desempeño del trabajo (índices de desempeño) Actualización de los activos de los procesos de la organización: - Causas de las variaciones - Acciones correctivas tomadas y sus razones - Otras lecciones aprendidas del proceso de control del cronograma Requerimientos de cambio Actualizaciones del plan de gestión del proyecto: - Cronograma de línea base - Plan de gestión del cronograma - Línea base de costos Actualizaciones a la documentación del proyecto: - Información del cronograma - Cronograma del proyecto, y otros

De modo que no estamos hablando de un proceso simple y secuencial, sino de que los procesos y entregables mostrados se van desarrollando con cierta simultaneidad y con iteraciones, usualmente con frecuentes retornos y «actualizaciones» de entregables ya desarrollados previamente.

Los cinco primeros procesos se refieren a la planificación[2], el sexto proceso está referido al control del desarrollo del proyecto. Para el objetivo de este documento recorreremos solo los cinco primeros procesos del grupo de planificación.

Hay personas con gran experiencia, expertos en el tipo de proyecto en cuestión, que de un modo intuitivo son capaces de formular muy rápido propuestas de duración para trabajos complejos, gente valiosa que conviene tener a la mano; sin embargo, sus resultados no dejan de ser estimaciones globales, muy útiles, pero debemos entender y ser conscientes de que, por su naturaleza:

Tienen *importantes limitaciones en cuanto a precisión*, como corresponde a las estimaciones de tipo conceptual o de factibilidad; es decir, márgenes de error amplios.

No dan soporte adecuado a la ejecución del proyecto, no pueden compartirse ni son herramientas adecuadas de coordinación; en ese sentido, son «unipersonales» —solo el autor sabe cómo usarlas—, tienen valor al inicio del proyecto, cuando son necesarios para tomar decisiones de tipo va/no va o para definir la continuación de un proyecto.

El *nivel de detalle aportado es casi nulo* (niveles 0 o 1 de la estructura de desglose de trabajo).

Su *capacidad de predicción es muy limitada* por falta de información necesaria.

Poco sensibles, responden mal (si responden) ante cambios no muy grandes de escenario.

Mal haría un gerente de proyecto en pensar que con estas estimaciones tiene «el programa» de la obra resuelto. Los procesos de la programación, como todo en los proyectos, requieren de mucho trabajo (léase hHs; es decir, horas hombre); la «inspiración» es buena, bienvenida y deseable, pero suele ser el punto de partida, no la solución.

[2] Ver Grupo de procesos de planificación y grupo de procesos de monitoreo y control. En *A guide to the Project Management Body of Knowledge* (pp. 46-55 y 59-64). 4ta ed. Pennsylvania: Project Management Institute.

Métodos de programación

Los métodos de Ruta Crítica, PERT y de Cadena Crítica están basados en el mismo tipo de lógica de ejecución para estimar los cálculos de las duraciones; es decir, asumen un proceso en secuencia predecesora-sucesora que lleva desde el inicio hasta el final por múltiples caminos que deben completarse.

El método de Ruta Crítica gira sobre la cadena de actividades con duración dominante que define la duración más corta para completar el trabajo, a la que denomina precisamente la ruta crítica y que se prioriza en la asignación de recursos.

El método PERT agrega una estimación de la variabilidad aleatoria de las duraciones de las actividades de la ruta crítica. Las actividades no críticas (fuera de la R.C.) no intervienen en la estimación. Es usado en proyectos con incertidumbres importantes.

Estos dos métodos se hallan ahora totalmente fusionados e indiferenciados en la práctica.

El método de Cadena Crítica aparece posteriormente y agrega que, además de la lógica constructiva, las restricciones de recursos también afectan las posibilidades de la construcción y, por lo tanto, la original ruta crítica debe modificarse (extendiéndose normalmente) para retrasar/extender actividades cuyos recursos (llamados críticos) no estén disponibles a voluntad. También agrega estimaciones del impacto de la variabilidad de las duraciones de la C.C. y de configuraciones lógicas (llamadas puntos de integración).

El método GERT es mucho más raro y se basa en una lógica que incluye bifurcaciones en la secuencia constructiva, donde un determinado evento define qué curso se seguirá (descartando las otras opciones); también incluye ciclos de trabajo que se repiten hasta que se cumple una condición. Su tratamiento de las duraciones es probabilístico en esencia.

Posteriormente al PMBOK, el PMI ha continuado con el desarrollo de los procesos de preparación del cronograma y ha emitido el *Practice Standard for Scheduling* (2007), para detallar el proceso 5, *desarrollo del cronograma*. En él se describe la siguiente secuencia:

1. **Seleccionar el método de programación.** Consiste en optar por el método de programación a usar que dará el marco para el desarrollo del modelo, los más comunes son: el Método de la Ruta Crítica (CPM), la Técnica de Evaluación y Revisión de Programas (PERT), el método de la Cadena Crítica (*Critical Chain*), y la Técnica de Evaluación y Revisión Gráfica (GERT), aunque no son los únicos.

2. **Seleccionar la herramienta de programación**. Consiste en determinar la representación de los componentes de un cronograma, normalmente ensamblados en un aplicativo informático; esto brindará una estructura de trabajo y una disciplina homogénea a todo lo largo del proyecto. Usualmente, las aplicaciones informáticas para cronogramas llevan ya implícito un *m*étodo de *programación*, por lo que optar por uno resuelve los dos puntos iniciales; no obstante, se debe estar consciente de que se está optando por un método particular.

3. **Desarrollar el modelo de programa del proyecto**. La introducción de los datos específicos del proyecto en la *herramienta de programación* (actividades, duraciones, relaciones, restricciones, etcétera) generará un *modelo del programa* (o del cronograma), que servirá para *predecir* el comportamiento del proyecto de acuerdo al juego de parámetros que se usen para las alternativas seleccionadas. El modelo (y la herramienta) deben ser capaces de aceptar actualizaciones de datos para seguir el progreso de las actividades; además, el equipo del proyecto debe planificar cómo se gestionarán los cambios al modelo del programa.

Debido a que las incertidumbres en las duraciones de las actividades, por falta de definición o conocimiento, introducen un factor probabilístico para la duración total del proyecto, siempre se tendrán que evaluar cuestiones como:

- ¿Qué probabilidad hay de terminar el proyecto tal como está programado?
- ¿Cuánta contingencia se necesita para fijar una fecha de terminación con una probabilidad de éxito aceptable para los *involucrados* en el proyecto?
- ¿Cuáles son las actividades con mayor probabilidad de retrasar el proyecto?
- ¿Qué acciones pueden ser tomadas para controlar los riesgos en el cronograma?

Esto nos llevará a considerar procesos que evalúen y den respuesta a las preguntas planteadas. La Gestión de Riesgos da soporte a estos análisis, resultando en modificaciones en el plan de ejecución y en la estimación de márgenes de contingencia.

4. **Generar los programas del proyecto**. Una vez estudiados los resultados producidos por el *modelo del programa*, se generarán los *conjuntos de fechas* que se hayan optado como adecuadas. A estas instancias del modelo se les denominará *programas del proyecto*, los cuales pueden presentarse como tablas, diagramas de barras, diagramas de red (y rutas críticas), asignaciones de recursos, etcétera, y pueden tomar cinco formas:

   a. Programas de inicio temprano.
   b. Programas de inicio tardío.
   c. Programas de línea base.
   d. Programas limitados por recursos (o basados en recursos).
   e. Programas meta.

El Modelo del Programa es el modelo matemático (mejor representado con los diagramas de redes) que usa la información de partida y las sucesivas actualizaciones de progreso para ir calculando las fechas de inicio y fin de las actividades, así como las necesidades de recursos a lo largo de la vida del proyecto.

El modelo matemático del programa está constituido por los elementos indicados en el recuadro titulado «Los elementos del modelo» y tiene dos representaciones que evidencian aspectos específicos del programa en cada caso.

Los diagramas de redes sirven para diseñar secuencias y establecer relaciones de precedencia, su enfoque está en la lógica de la ejecución. Los métodos CPM y PERT se establecieron sobre este tipo de diagramas.

Los diagramas de barras o de Gantt se enfocan en las duraciones y las fechas y, dado que siempre se pueden mostrar las relaciones de precedencia entre las barras, resultan ser equivalentes a las redes en cuanto a la información mostrada, pero no se debe olvidar que cada una privilegia tipos diferentes de información.

Es decir, si se están planificando las actividades de un trabajo nuevo, poco conocido o complejo, será más fácil definir la lógica y secuencia correctas en un diagrama de redes, porque un diagrama de barras nos distraería con las duraciones y las fechas; y viceversa, si buscamos analizar duraciones o fechas, un diagrama de redes no mostrará una presentación adecuada para esta tarea.

Existe un tercera representación del proyecto que es la estructura de desglose del trabajo (EDT o WBS —*work breakdown structure,* en inglés—), la cual se enfoca en la determinación del alcance y define los entregables necesarios para completarlo, pero *no* contiene representaciones de secuencia o duraciones, por lo que no es una representación del programa, aunque su información sí está (o debería estar) contenida en el modelo.

Para desarrollar el modelo del programa deben resolverse varios temas de fondo iniciales:

1. El nivel de detalle apropiado a representar.
2. El periodo de tiempo o ciclo de actualización.
3. La escala de medición de tiempo.
4. Los reportes a producir.

> Los procesos de la programación, de un modo recursivo, deben auto-programarse también.

Con esta base en mente, se deberá desarrollar un plan (un entregable, el documento escrito) que describa:

1. La manera en que se irá desarrollando el modelo. Hay dos opciones:
    a. Planificación en oleadas progresivas (*rolling wave planning*), que consiste en la planificación (modelo de programa incluido) en ventanas de tiempo cortas.
    b. Planificación del proyecto entero en un solo esfuerzo.
2. La identificación de los involucrados/interesados que deben aportar y recibir información para y desde el modelo.
3. La información necesaria para comprender el alcance completo del proyecto y la comunicación de cambios de alcance a introducir en el modelo.
4. La manera de identificar el modelo y sus diversas instancias o versiones.
5. Los calendarios y periodos laborables establecidos.
6. El periodo o tamaño del ciclo óptimo de actualización.
7. La manera de estimar los recursos y cómo considerar sus restricciones o indisponibilidades.

Como resultado obtendremos las fechas calculadas para las actividades y para el conjunto de trabajos, el cálculo de holguras y los valores acumulados de necesidades de recursos, trabajo y costos.

Al conjunto de datos correspondiente a las varias instancias o escenarios que el equipo de dirección del proyecto se haya planteado se le denomina programas (cronogramas) de proyecto mencionados.

Al primer programa aprobado y registrado, con el fin de comparar con las futuras instancias *de progreso*, se le denomina de Línea Base.

Los elementos del modelo

Los elementos del modelo del programa, que deben particularizarse para cada proyecto, son:

1. Hitos.- Elementos sin duración, usados para marcar eventos específicos del programa. Deben haber al menos dos: los hitos de inicio y de fin de proyecto.
2. Actividades.- Las unidades mínimas de programación, la lista de partes que sumadas resultan en el 100% del trabajo.
   a. Las unidades discretas de trabajo que representan a elementos tangibles del alcance del proyecto.
   b. Deben poder ser asignables como responsabilidad a una sola persona.
   c. Describen el trabajo a realizar sin confusiones (la descripción de la actividad debería iniciar con un verbo).
   d. El trabajo contenido es continuo una vez iniciada la actividad. En caso contrario, la actividad debería ser dividida en partes independientes.
   e. La duración debe ser menor que dos veces el periodo de actualización del modelo para permitir un buen control con resultados medibles.
3. Las relaciones lógicas.- Son la relaciones entre actividades usadas para indicar las secuencias a seguir:
   a. Relaciones de precedencia.- Indican que actividades deben completarse antes de iniciar otras.
   b. Adelantos/esperas.- Regulan las relaciones de precedencia.
   c. Restricciones de fechas.- Fechas impuestas al modelo por eventos exteriores al mismo.

Características de la programación de obras de instrumentación

Uno de los tipos de obra más difíciles que se deben programar en la construcción, sino el más difícil, es el montaje de instrumentos. Ello se debe a que:

- Normalmente incluye tecnología de punta, usualmente poco conocida por ser nueva.
- La estructura de diseño puede ser muy compleja, incluyendo muchas y diferentes funcionalidades con sistemas y subsistemas propios (y aumentando de acuerdo a la tendencia actual).
- Gran diversidad de tipos de componentes físicos, algunos simples, otros muy complejos. Se presentan muchos tipos/subtipos de componentes que requieren tratamiento diferenciado.
- Necesitan gran variedad de disciplinas de apoyo diferentes a las propias de la instrumentación. Estas otras disciplinas se hallan presentes en fracciones importantes del trabajo total.
- Numerosos componentes dentro de cada tipo que requieren ser controlados.
- Requiere mano de obra normalmente más calificada o más escasa que el resto de disciplinas, también es más costosa en promedio.

Lo anterior hace que el trabajo de planificación sea de mucho detalle, de profundidad en la información a manejar, además de ser consumidor de trabajo, tiempo y exigente de recursos.

Aunque la parte referida a la instrumentación de la construcción de una instalación que opera de manera continua (24 horas/día x 365 días/año) es normalmente una de las menores, los problemas de planificación que conllevan las características indicadas, además del hecho de ser una de las últimas en terminar (que recibe el impacto de los retrasos acumulados previos de las otras disciplinas) y de necesitar completar sus actividades con fechas perentorias (los hitos de término de obra le afectan directamente), la convierten en uno de los retos más interesantes de la planificación de obras de construcción.

Podemos decir a grosso modo que en la construcción de una planta industrial el reparto porcentual del trabajo (hHs) por especialidades es más o menos:

- 20% obras civiles.
- 50% metalmecánica.
- 15% electricidad.
- 15% instrumentación.

Es muy usual que al observar (o presentir, más exactamente) estas complicaciones y exigencias, los gerentes de proyecto resignen sus aspiraciones de control ante los improbables beneficios de una planificación «esbelta» o «*fast*» o «práctica» o «simple pero efectiva» en aras de mantener una paz mental basada en «mantener simple» la planificación, que no es otra cosa que la renuncia a realizar el trabajo necesario para mantener el control de la obra, renuncia que viene aparejada con la admisión de que aquello que no se controla puede llevarnos al fracaso.

Existen aproximaciones a la planificación que buscan evitar algunas de las características de los métodos usuales, las cuales se basan en la definición previa de los requerimientos del proyecto para derivar a partir de allí las necesidades de recursos y de plazos de ejecución. Se dice de estas metodologías que están conducidas por el plan (*plan-driven*) y se les denomina metodologías «en cascada» por su adherencia a una clara secuencia de ejecución; es decir, implican cierto trabajo previo antes de lograr el primer entregable.

En las metodologías denominadas «ágiles» la planificación usa como punto de partida los recursos disponibles y plazos establecidos *a priori* para desarrollar planes cortos de ejecución inmediata. Estas metodologías están conducidas por el valor del entregable para el cliente (*value driven)* en otras palabras, el entregable a desarrollar se ha priorizado por su valor frente al cliente.

La programación/planificación sigue ciclos iterativos de definición de alcances específicos, planificación, ejecución y entrega que poco a poco van cubriendo los alcances totales. Estas metodologías se desarrollaron en los entornos de la tecnología de la información, por lo que funcionan mejor en proyectos con muchos entregables independientes. Sin embargo, la idea base de planificar/ejecutar porciones pequeñas del proyecto resulta útil en otros tipos de proyectos.

Quizá esto se deba a la percepción del trabajo de planificación de montaje de instrumentación como uno que significa un alto consumo de recursos para una parte menor de la obra (lo cual es cierto), pero se pierde de vista el impacto que una gestión «floja» en esta especialidad puede tener en el resultado global de la obra.

Mucho de la supuesta dificultad para planificar los trabajos de instrumentación radica en la poca familiaridad del programador (y de la dirección) con ella.

Todos entendemos que la Ruta Crítica de la obra recibe atención especial en cuanto a recursos de ejecución y control, y también entendemos que, por su posición en la secuencia constructiva, la instrumentación es casi una candidata normal a ser parte de la Ruta Crítica general y de los sistemas/subsistemas en los que se descomponga la instalación; es por ello que debe atenderse con la respectiva seriedad y convicción, so pena de permitir que aquello que hemos decidido no controlar tome control sobre nuestro éxito o fracaso.

Un comentario final: el objetivo de este acápite no es separar los procesos de la programación de trabajos de instrumentación del resto de trabajos de programación como un tema especial de trato aislado, sino simplemente hacer notar aquellos aspectos que los diferencian y que los pueden hacer parecer menos familiares al programador. Se espera que, con este trabajo,

dicha falta de familiaridad disminuya y que los procesos de la programación sean más fluidos y estén mejor integrados con el resto del proyecto.

Se debe tener en cuenta que el análisis y las prácticas sugeridas pueden aplicarse, con la debida particularización, a todas las otras disciplinas de la construcción.

No deja de llamar la atención la dificultad que a veces demuestran los responsables de proyectos para integrar las labores de planificación en el resto de la organización.

¿Qué es lo que normalmente hace un gerente cuando una tarea —o un conjunto de tareas similares— no progresa al ritmo deseado? La primera propuesta suele ser incrementar los recursos para completar el entregable en el tiempo requerido. ¿Qué es lo que hace cuando una tarea de planificación no progresa como es debido? Usualmente toma una de dos acciones:

a) *Sacrifica el alcance* para tener una planificación «suficientemente sencilla», para manejarla con los recursos disponibles, no para controlar el trabajo, sino para que sea «manejable», con lo cual algunos temas no se desarrollarán o quedarán incompletos o en estado embrionario.

b) *Sacrifica al planificador* para que lo haga todo sin más ayuda con el mismo efecto que en el caso anterior: procesos incompletos o insuficientes.

Lo correcto es evaluar la cantidad de trabajo requerido y asignar los recursos de planificación necesarios.

Los ratios de (hHs de planificación)/(hHs de campo) de aproximadamente (1)/(13 - 22) se han encontrado satisfactorios en construcción y mantenimiento, con ello podremos estimar el tamaño de la «cuadrilla» de planificación necesaria.

Es curioso cómo algunos gerentes suelen tomar decisiones bajo riesgo en cuanto a temas de diseño y «constructibilidad» sin ningún problema, pero cuando se enfrentan a cambios organizacionales no están a la misma altura; es decir, no utilizan el mismo tipo de lógica, particularmente en el caso de la planificación.

Documentación de diseño de instrumentación

La información requerida para definir los atributos de las actividades a usar en la programación se obtiene a partir de la información del proyecto, que es generada por la ingeniería respectiva. Normalmente se tiene como fuentes de información a:

- Diagramas de flujo de proceso.
- Diagramas de proceso e instrumentación.
- Diagramas de lazo.
- Planos de distribución.
- Definición de sistemas y subsistemas.
- Listas de componentes.

Ninguno de los anteriores documentos puede contener de modo práctico toda la información que debe representarse, por lo que usualmente se van revisando de acuerdo al tipo de información buscada. Es importante conocer estas fuentes y, por ello, daremos una descripción de las mismas.

Diagramas de flujo de proceso (DFP)

Process flow diagram - PFD en inglés, es el más alto nivel descriptivo de instrumentación. Está enfocado en la *descripción del proceso*, en la interconexión de los equipos y recipientes, y en las rutas de flujo de los fluidos de proceso. Solo identifica equipos mayores, instrumentos y elementos de control principales y muestra su posición dentro del proceso, no muestra la interconexión de los sistemas de control. Suele omitir interconexiones menores entre los equipos e instrumentación auxiliar.

Podemos identificar los instrumentos o *funciones* por el *tag* o la etiqueta circular con dos (a veces tres) letras dentro:

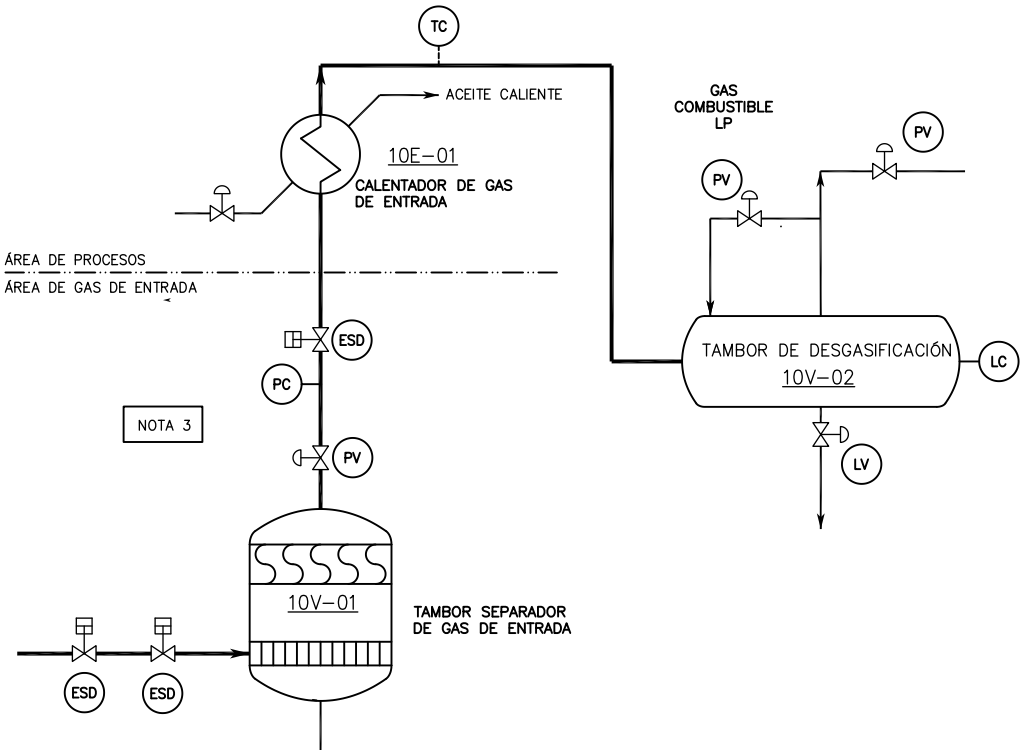
- La primera indica la variable a medir o controlar (L_: nivel (*level*); T_: temperatura; P_: presión; etcétera).
- La segunda indica el tipo de instrumento (válvulas de control: _V; indicadores: _I; transmisores: _T; visores: _G; etcétera).

Podemos leer, por ejemplo, válvulas de control de corte de emergencia, de presión, de temperatura y de nivel (ESD, PV, TV, LV), controladores (LC, TC, PC), los equipos y recipientes y los fluidos de cada línea.

Diagrama de proceso e instrumentación (DPI)

El *process and instrument diagram* o también *piping and instruments diagram*, P&ID en inglés, es un diagrama de nivel intermedio de detalle que muestra la disposición de equipos y tuberías en el proceso con la instrumentación sobreimpuesta, definiendo qué es medido y qué es controlado; además, identifica qué lazo de control está actuando. Se pueden revisar tanto el flujo del proceso como el flujo de la información entre los instrumentos que miden y controlan el proceso.

Figura 1. Ejemplo de diagrama de flujo de proceso



Podemos leer más información, aparecen más detalles y más instrumentación asociada. Vemos, por ejemplo:

- Un par de válvulas ESD (*emergency shut down*) y un PSH (interruptor de alta presión) en el lazo de control 57.
- A la salida del tambor 10V-01 tenemos el lazo 37, que controla la presión del recipiente con la PC y PV respectivas.
- La temperatura del fluido principal del intercambiador 10E-01 está controlada por el TC, TY y TV del lazo 76, que además recibe una señal que viene de una columna (10C-01) que no aparece en el diagrama.
- El tambor 10V-02 tiene doble control de presión (con el lazo 25) y nivel (con el lazo 13).

Podemos ver las señales que viajan entre los dispositivos y dónde se hacen las conexiones al proceso.

Diagramas de lazo

Loop sheets o *loop diagrams,* en inglés. Es el nivel más bajo y de más detalle de la instrumentación; muestra la interconexión de instrumentos y todos los componentes individuales, incluyendo identificación específica del cableado y sus terminaciones, tipos de cables, datos de rangos de calibración, etcétera. Los equipos de proceso son apenas identificados, el centro de atención es el instrumento.

Los instrumentos se muestran con detalles del *rango de señal* que manejan y se especifica si la *acción* es directa o inversamente proporcional; además, se muestran los *puntos de conexión* del instrumento y qué *número y color de alambre* conectar, así como *la bornera* en los bloques de conexión. Los paneles, fuentes de corriente, cajas de conexión, así como su ubicación (de campo o sala) y puntos de puesta a tierra también son mostradas.

En el Anexo A se pueden revisar algunos ejemplos de diagramas.

Figura 2. Ejemplo de diagrama de proceso e instrumentación

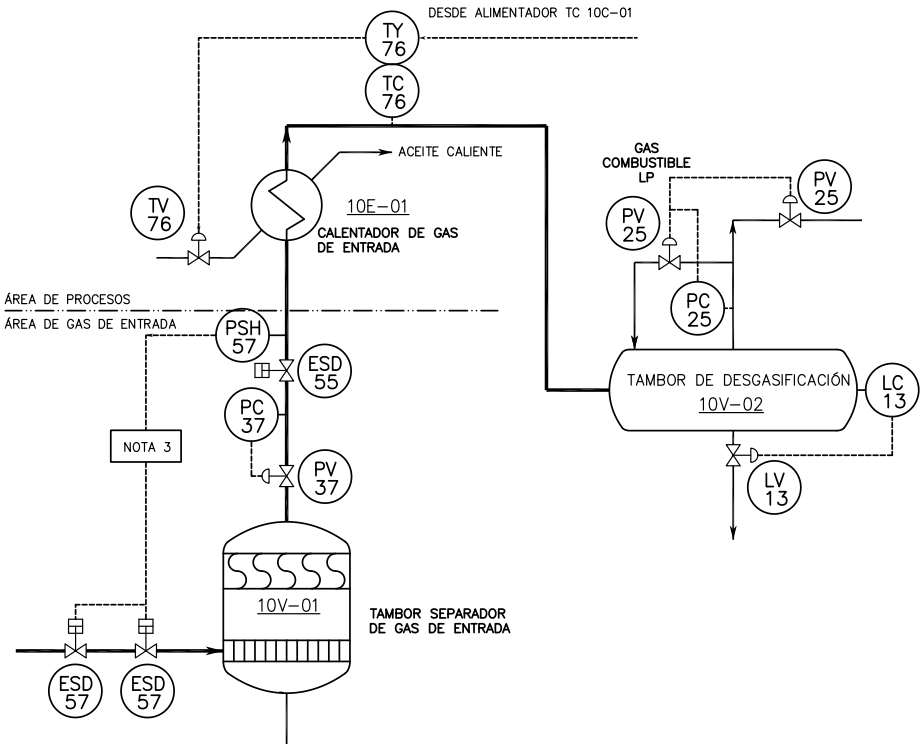
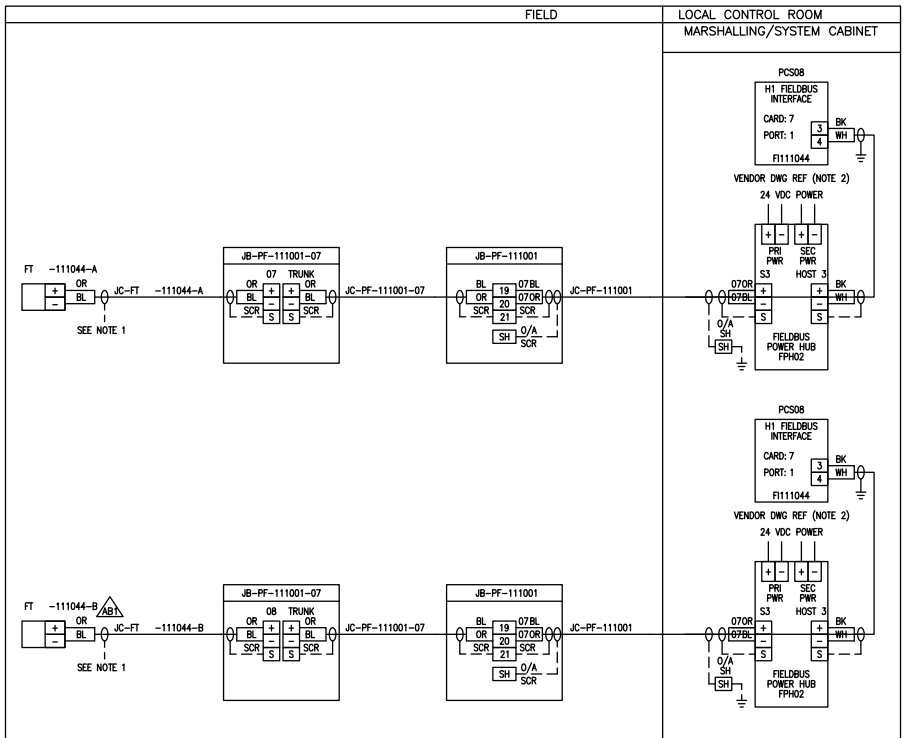


Figura 3. Ejemplo de diagrama de lazo de control



Planos de distribución

Llamados *layout drawings* en inglés, vienen a ser las más comunes fuentes de información geográfica de los trabajos. Su aporte consiste en ser el mapa de la ubicación física de los componentes, dando indicación de su elevación y de la estructura o equipo sobre el que van instalados. Útiles para agrupar trabajos y asignar responsabilidades, de manera que los recorridos (para transporte de personal, equipos y herramientas) estén bajo control y la productividad de las cuadrillas no se vea afectada por esa causa.

Definición de sistemas y subsistemas

La información acerca de cómo están constituidos los sistemas y subsistemas del proyecto se puede presentar en forma de diagramas P&ID sobre los que se han sobreimpuesto colores o nubes que delimitan estos conceptos de agrupación. La misma información también se presenta en forma de tablas que relacionan los *tags* de los diversos componentes a instalar con los códigos de sistema, subsistema y lazo de control. Ver la tabla ejemplo.

Lista de componentes

Son las listas de ingeniería que enumeran todos los componentes incluidos en el diseño.

Para un mejor manejo de la cantidad de información que se genera normalmente se emiten listas por *tipos de componentes* debido a que en ellas se va registrando información específica y detalles técnicos de cada ítem, de manera que se mantiene un formato homogéneo.

Figura 4. Ejemplo de plano de distribución

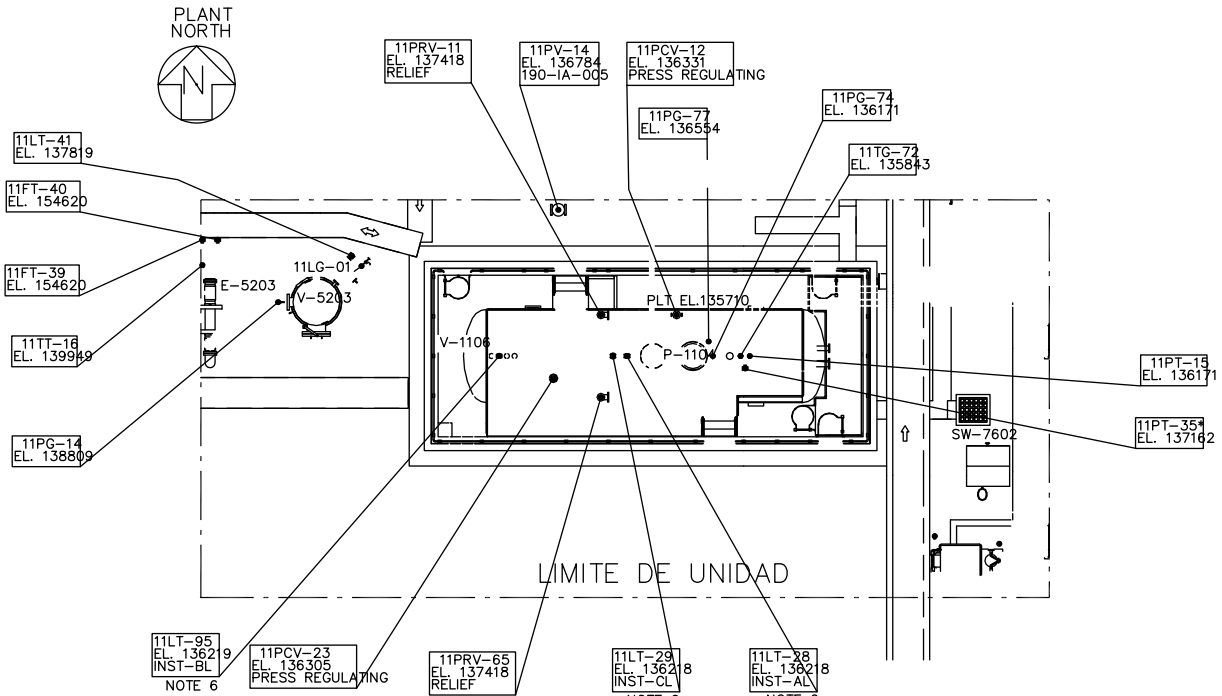


Tabla ejemplo de definición de sistema y subsistemas

ID	Sistema	Subsistema	Lazo	Tag / Item No	Tipo de Componente	Descripción	Area	P&ID/Plano	Disciplina
22659	1100	1100-001	A-111001	A-111001	Instr. Loop	TREATED GAS FROM TREATED GAS W ASH DRUM	120	157883-000-IN-LP-0004-01	I
22660				AE-111001	Instrument	TREATED GAS FROM TREATED GAS W ASH DRUM	120		I
22661				AI-111001	Instrument	TREATED GAS FROM TREATED GAS W ASH DRUM	11		I
22662				AT-111001	Instrument	CO2 ANALYZER -TREATED GAS FROM TREATED GAS W ASH DRUM	120		I
22663				AY-111001	Instrument	TREATED GAS FROM TREATED GAS W ASH DRUM	120		I
22664				JC-AT-111001	Cable	Instrument Cable from AT-111001 to JB-PA-111301	120	157883-120-IN-BD-0001	I
22665				JC-UA-111001	Cable	Instrument Cable from UA-111001 to JB-PD-111300	120	157883-120-IN-BD-0001	I
22666				UA-111001	Instrument	TREATED GAS FROM TREATED GAS W ASH DRUM	120		I
23423	1300	1300-001	A-113010	A-113010	Instr. Loop	MOISTURE ANALYSER - NATURAL GAS DEHYDRATORS	120		I
23424				AE-113010-A	Instrument	C-1301A NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET	120		I
23425				AE-113010-B	Instrument	C-1301B NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET	120		I
23426				AE-113010-C	Instrument	C-1301C NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET	120		I
23427				AE-113010-D	Instrument	S-1301 NATURAL GAS DEHYDRATOR AFTER FILTER OUTLET	120		I
23428				AI-113010-A	Instrument	C-1301A NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET ANALYZER INDICATOR - SIGNAL	120		I
23429				AI-113010-B	Instrument	C-1301B NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET ANALYZER INDICATOR - SIGNAL	120		I
23430				AI-113010-C	Instrument	C-1301C NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET ANALYZER INDICATOR - SIGNAL	120		I
23431				AI-113010-D	Instrument	S-1301 NATURAL GAS DEHYDRATOR AFTER FILTER OUTLET ANALYZER INDICATOR -	120		I
23432				AT-113010A/B	Instrument	MOISTURE ANALYSER - NATURAL GAS DEHYDRATORS	120		I
23433				AT-113010C/D	Instrument	MOISTURE ANALYSER - NATURAL GAS DEHYDRATORS	120		I
23434				JC-UA-113010	Cable	Instrument Cable from UA-113010 to JB-PD-113312	120	157883-120-IN-BD-0001	I
23435				UA-113010	Instrument	MOISTURE ANALYSER - NATURAL GAS DEHYDRATORS - SIGNAL	120		I
24413		1300-004	A-113020	A-113020	Instr. Loop	MOISTURE ANALYSER - NATURAL GAS DEHYDRATORS	120		I
24414				AE-113020-A	Instrument	C-1301A NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET	120		I
24415				AE-113020-B	Instrument	C-1301B NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET	120		I
24416				AE-113020-C	Instrument	C-1301C NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET	120		I
24417				AE-113020-D	Instrument	S-1301 NATURAL GAS DEHYDRATOR AFTER FILTER OUTLET	120		I
24418				AI-113020-A	Instrument	C-1301A NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET ANALYZER INDICATOR - SIGNAL	120		I
24419				AI-113020-B	Instrument	C-1301B NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET ANALYZER INDICATOR - SIGNAL	120		I
24420				AI-113020-C	Instrument	C-1301C NATURAL GAS DEHYDRATOR DRY GAS OUTLET ANALYZER INDICATOR - SIGNAL	120		I
24421				AI-113020-D	Instrument	S-1301 NATURAL GAS DEHYDRATOR AFTER FILTER OUTLET ANALYZER INDICATOR -	120		I
24422				AT-113020A/B	Instrument	MOISTURE ANALYSER - NATURAL GAS DEHYDRATORS	120		I
24423				AT-113020C/D	Instrument	MOISTURE ANALYSER - NATURAL GAS DEHYDRATORS	120		I
24424				JC-UA-113020	Cable	Instrument Cable from UA-113010 to JB-PD-113312	120	157883-120-IN-BD-0001	I
24425				UA-113020	Instrument	MOISTURE ANALYSER - NATURAL GAS DEHYDRATORS - SIGNAL	120		I

Es usual que las listas de componentes contengan también la información del sistema, subsistema y los lazos de control. Para asegurar la definición completa de cada lazo tendrían que integrarse todas las tablas de tipos de componentes y reordenar los registros de acuerdo con ello. Esto nos lleva a considerar que, para la cantidad de información y las interrelaciones necesarias para gestionar proyectos medianos o mayores, no será suficiente el manejo de *tablas y listas independientes simples*. Para esa situación, se sugiere el uso de bases de datos que brindarán mucho mejor control, aunque requerirán traer habilidades extras al equipo de gestión del proyecto.

Cada proyecto desarrollará la información que necesite para la construcción, la cual normalmente será copiosa. El programador deberá revisar y determinar qué información le resultará útil para su trabajo. Su obligación es comprender cabalmente los alcances del proyecto para poder establecer el cronograma de los trabajos.

Planteamiento del problema

El problema de la programación de obras de instrumentación es común a todas las otras disciplinas: *la cantidad de trabajo para lograr el nivel deseado de control parece desproporcionadamente alto*. También hemos mencionado que para la instrumentación hay características particulares que agudizan esta percepción.

En general, y para todas las disciplinas de la construcción (instrumentación, electricidad, tubería, estructuras, obras civiles, etcétera), *no* será práctico trabajar con cronogramas individuales para el caso particular de cada entregable. El trabajo de generación y personalización sería demasiado grande y tomaría mucho tiempo para prepararse o actualizarse.

Para aliviar o mitigar esta situación se requiere un cierto grado de automatización y tipificación que permita el trabajo por «lotes» y la mayor economía de esfuerzo posible.

Tengamos en cuenta que un proyecto de gran envergadura puede contener 30 000 *tags* de instrumentación entre: cables, instrumentos, dispositivos de control, cajas de conexión, equipos y dispositivos de telecomunicaciones. En cambio, un proyecto pequeño puede tener 400 *tags* de instrumentación declarados, requiriendo cada uno de estos *tags* de actividades y secuencias constructivas diferentes.

La práctica nos lleva a pensar que la unidad básica para desarrollar el cronograma de construcción de una obra será un cronograma típico por disciplina que, por replicación y modificaciones menores, abarcará todos los alcances de cada disciplina del proyecto.

Este cronograma típico:

- Estará basado en la estructura de desglose de trabajo orientada al producto (con los requisitos que esto implica para una correcta estructura de descomposición) y todos los entregables deberán contar con actividades que los soporten.
- Incluirá *todas* las actividades necesarias y que sean asignables a un responsable; es decir, deben alinearse a las subdisciplinas u oficios requeridos. Una actividad no debe requerir más de una subdisciplina[1] para su ejecución.
- *Todas* las disciplinas u oficios deben tener actividades asignadas.
- Debe contener todas las relaciones de precedencia *obligatorias* de la construcción.
- No debe contener relaciones de precedencia *preferenciales*.

La estructura de desglose del trabajo o EDT (WBS - *work breakdown structure,* en inglés) es uno de los entregables de gestión centrales para la dirección de un proyecto. Es el documento que recoge el análisis de los alcances a lograr y su objetivo es *identificar todos los componentes* que deberán desarrollarse, incluyendo los entregables de la gestión misma (el cronograma, por ejemplo). Incluso la EDT deberá declararse a sí misma como un componente a lograr, de manera que, comprobando que cada uno de los componentes declarados ha sido completado, podremos asegurar que hemos logrado el alcance del proyecto.

[1] En este caso, el término subdisciplina se refiere a «una cuadrilla de subdisciplina»; es decir, un equipo que estará compuesto de varios operarios —cada uno con su respectivo oficio— y de un capataz a los que se les asignan trabajos técnicamente similares.

Un proyecto puede desglosarse siguiendo diferentes criterios y diferentes objetivos y no hay incompatibilidad en ello; existen diversas necesidades de gestión y control que deben satisfacerse con esos desgloses.

Sin embargo, para asegurar que los entregables del proyecto están todos considerados en la planificación debemos usar una estructura orientada a los componentes de los entregables; es decir, una estructura apegada o guiada por el diseño del producto o servicio a lograr: la llamada EDT orientada al producto. Otras estructuras que, por ejemplo, sigan criterios geográficos o criterios de fases o de disciplinas participantes no garantizan que aquello que se diseñó quedará íntegramente identificado y controlado por la gestión. Además, *el criterio debe ser mantenido consistentemente* en todos los niveles de desglose.

Como se dijo, hay otras necesidades de la gestión que requieren otros tipos de desglose; estas estructuras no son excluyentes entre sí y podrán coexistir sin conflictos.

El proceso de replicación mencionado al principio asume que al menos existe una clase de entregables del proyecto, de nivel bajo-medio, cuya construcción se representará con un cronograma típico aplicado a sus entregables; y, por medio de particularizar este cronograma típico para *todos* estos entregables, se podrá representar la construcción de *toda* la obra.

Esta aproximación al problema nos lleva a buscar la o las unidades mínimas de diseño usadas por la ingeniería, de modo que aseguremos que se incluyen todos los componentes y las actividades previsibles en un solo modelo.

Nivel de control

Por otro lado, dependiendo de la envergadura del proyecto y de los recursos de programación disponibles, debe elegirse el *nivel de control* a manejar. Este nivel de control requiere que el nivel de detalle que

adoptemos para el cronograma sea capaz de dar soporte a *todos* los otros aspectos de la obra con el detalle requerido, por ejemplo:

- Asignación de responsabilidades.
- Asignación de recursos de mano de obra.
- Asignación de equipamiento.
- Estimaciones de materiales.
- Estimaciones de metrados/mediciones.
- Estimaciones de costos.
- Estimaciones de duraciones.
- Control de progreso.
- Control de calidad.
- Pre comisionado/entrega de instalaciones.
- Etcétera.

Todos estos aspectos de la gestión quedan interconectados a través del cronograma y están fuertemente influidos por la estructura de desglose de trabajo, por lo que mantener la coherencia con las necesidades de cada caso es obligatorio[2].

La estructura de desglose de trabajo de todo proyecto debe contener o mostrar siempre los entregables de gestión que son necesarios para la correcta gestión del proyecto. Sin embargo, dado que en este trabajo solo estamos enfocados en la gestión (desarrollo) del programa de los entregables del producto, no mostraremos esas ramas de la estructura en los ejemplos que se usan.

[2] Parviz F. Rad menciona (traducción del autor): «Tres estructuras separadas necesitan ser creadas, definidas o modificadas para los propósitos de un proyecto: (1) La estructura de desglose organizacional - OBS, en inglés; (2) La estructura de desglose de recursos - RBS, en inglés; (3) La estructura de desglose de trabajo - WBS, en inglés». Ver Rad, Parviz F. (2002). Project Estimating and Cost Management. En *Deliverable-Oriented Work Breakdown Structure* (p. 11). Viena: Management Concepts.

Naturalmente, se tenderá a llevar el nivel de control hasta el entregable de menor nivel, lo que usualmente significa llegar hasta el *tag* (ver *Documentación de diseño de instrumentación*), por debajo del cual aparecerían las actividades del cronograma típico. Esto tiene el inconveniente de requerir demasiados cronogramas «particulares», uno por cada tipo de componente/*tag* y, en particular, en el caso de la instrumentación, resulta difícilmente manejable tal variedad con eficacia. Recordemos, sin embargo, que la menor unidad de diseño para instrumentación es el lazo de control y tomemos ventaja de ello (ver ejemplos en el Anexo A) usándola como base para el desarrollo del modelo.

Para otras especialidades habrá otras unidades típicas de diseño[3] que pueden usarse como base para tipificar las unidades de programación y construcción.

---

[3] Para otras disciplinas tenemos:

1. Para electricidad, están los circuitos de:
   a. Potencia.
   b. Iluminación.
   c. Redes de puesta a tierra.
   d. Sistemas de protección catódica.
   e. Sistemas de calentamiento (de tuberías, de equipos y otros —fundaciones—).
   f. Sistemas de pararrayos.
2. Para tuberías: circuitos de tubería (ramificados o no).
3. Para montaje de equipos: cada tipo de equipo.
4. Para montaje de estructuras: estructuras para tuberías y equipos, edificaciones metálicas.
5. Para obra civiles:
   a. Fundaciones individuales.
   b. Durmientes para tubería.
   c. Edificaciones.
   d. Áreas enlosadas.
   e. Canales/canaletas.
   f. Barreras de contención, etcétera.

En instrumentación, la EDT orientada al producto (o productos) debe tener en cuenta la arquitectura general del proyecto. Tal como en otras disciplinas construyen varios grandes sistemas independientes (usando componentes similares) llamados funcionalidades, estos a su vez comprenden sistemas y subsistemas más o menos independientes generalmente integrados por el sistema de control y *software* dedicado. Típicamente tenemos los lazos de control dentro de las funcionalidades de control de la planta:

- SCD - sistema de control distribuido (DCS - *distributed control system*). Dedicado al monitoreo y control de los sistemas de proceso, arranques y paradas de equipos impulsores.
- PE - paradas de emergencia (ESD - *emergency shut down*). Un sistema independiente para la realización de bloqueos relacionados a la seguridad. Puede: apagar la operación y aliviar la presión de fluidos de operación
- F&G - fuego y gas (F&G - *fire & gas*). Sistema independiente de detección y alerta de fuego y gas.
- Telecomunicaciones (*telecommunication*). Contiene a su vez varias sub funcionalidades:
  - CCTV o circuito cerrado de televisión.
  - Redes de área local/amplia (LAN/WAN).
  - Telefonía/línea directa.
  - Alarmas generales.
  - Sistemas de radio (VHF, UHF y otros).
  - Notificación pública (PA - *public adress*).
  - Mensajería (*paging*).
- Control de acceso y otros

Nota: **SI - seguridad intrínseca (IS - *intrinsic safety*).** Se refiere a una característica constructiva. Un sistema intrínsecamente seguro deberá ser *incapaz* de producir, en condiciones normales o anormales, energía eléctrica o térmica suficiente para provocar ignición de una mezcla atmosférica específica en sus concentraciones más fáciles de inflamabilidad (*Código Nacional de Electricidad*, Tomo V, cap. 6.1.2; ver también *NFPA 70,* art. 504).

Nota: ***combustible gas detection system.*** Una técnica de protección que utiliza detectores de gas estacionarios en instalaciones industriales (*NEC*, art. 500.2).

Componentes típicos

Revisemos los componentes usuales de un lazo de control de instrumentación en la figura 5 (de izquierda a derecha):

En sistemas de control los lazos son los sistemas independientes menores capaces de realizar una acción de control (medir una variable de la operación y, con ella, calcular y realizar una acción sobre el proceso), usualmente por medio de válvulas de control. En los DPI (P&ID) se muestran conceptualmente y en los diagramas de lazo (*loop diagrams*) se muestra el detalle de la implementación.

De un panel (en una sala de control) sale un multicable sostenido por bandejas en los tramos aéreos, también puede recorrer rutas enterradas o zanjas[4], cuyas entradas y salidas se realizan por medio de bloques de tubería curvada embebida en concreto. Estos multicables llegan a cajas de conexiones donde los pares de conductores se separan y se conectan con cables individuales, que son los que transportan las señales desde y hacia los instrumentos y los dispositivos de control ubicados en puntos sobre el proceso que se busca controlar. En las páginas siguientes pueden revisar algunas fotografías para aquellos no familiarizados con los dispositivos.

[4] Otra alternativa para los tramos subterráneos es el uso de canaletas de concreto en las que se tenderán los cables en un lecho de arena y con tapas prefabricadas colocadas encima. El cronograma y las listas de trabajo deberían incluir esas actividades.

Los instrumentos son los dispositivos encargados de medir algún parámetro del proceso (presión, temperatura, velocidad, flujo, etcétera) o de los equipos (temperatura, desplazamiento, dirección, velocidad, etcétera), detectar presencia/ausencia de componentes en el proceso (trazas de elementos químicos) y en el medio ambiente (humos o gases específicos, etcétera).

Los dispositivos de control se refieren a elementos que actúan sobre el proceso para modificarlo: usualmente son válvulas de control, topes de carrera, actuadores, etcétera. Incluyen alarmas y señales acústicas o luminosas y una gran diversidad de otros componentes.

También existen equipos de campo con funciones lógicas complejas que colaboran en el procesamiento y análisis de los datos de proceso.

En el modelo del programa (ver *Los procesos de la programación*) mostrado en la figura 6 para este lazo de control típico se aprecian las actividades como cajetines rectangulares y los hitos como hexágonos. En la parte superior se muestra la serie de actividades que parte del hito «Inicio Obras Comunes» y termina a la derecha en el hito «Fin Obras Comunes», y en la parte inferior se muestran las series que parten del hito «Inicio Lazo-Componentes de Sistema» y van hasta «Fin de Lazo». Notarán que estas series parecen formar grupos independientes con relativamente pocas relaciones entre el grupo superior e inferior. Aprovecharemos esto para mostrar que esta característica no es fortuita, sino una condición general del trabajo, y que podemos separar ambos grupos y darles un tratamiento para nuestro beneficio.

Figura 5. Componentes usuales de un lazo de control de instrumentación

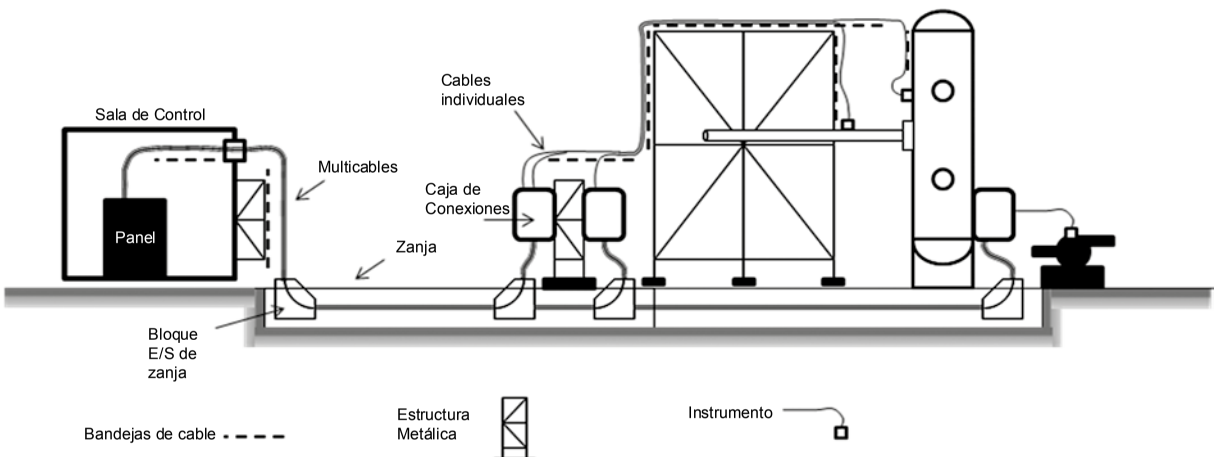


Foto 1:

Ejemplo del interior del edificio de una sala de control.

Notar los pasos de cables en las paredes (aunque también hay otros métodos para ingresar cables).

Observar el montaje y método de soportado de las bandejas de cables.

Foto 2:

Ejemplo de bandejas de cables al exterior de una sala de control.

Observar que, en este caso, los cables salen del edificio por las ventanas de penetración y luego se hacen subterráneos.

Las armaduras y ensambles de tubos al pie serán bloques de entrada/salida de las zanjas. En este caso, aún está pendiente la ubicación en posición de trabajo y el vaciado de concreto para fijarlos.

Foto 3:

Ejemplo de ruta subterránea para cables directamente enterrados (sin ductos).

A la izquierda se observan cables rojos de potencia (distribución eléctrica, notar las distancias entre ellos); a la derecha se observan haces de cables de control.

Foto 4:

Ejemplo de bloque de entrada/salida de zanja para cables.

Observar que las entradas inferiores de los tubos de cable han sido selladas para evitar el ingreso de materiales luego de que los cables han sido pasados.

Foto 5:

Ejemplo de multicables de tipo no retorcido o *untwisted* (veinticuatro pares a la izquierda, dos pares a la derecha). Al centro se aprecia un caso de multicable de pares retorcidos o *twisted*.

Foto 6:

Ejemplo de gabinetes instalados en campo.

Foto 7:

Ejemplo de panel de campo. Notar por la parte inferior la llegada de cables.

Foto 8:

Ejemplo de ruta aérea de cables. Notar la estructura de soporte a todo lo largo

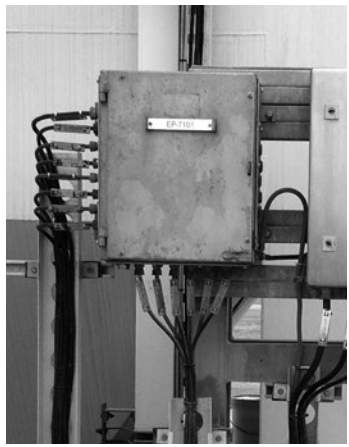


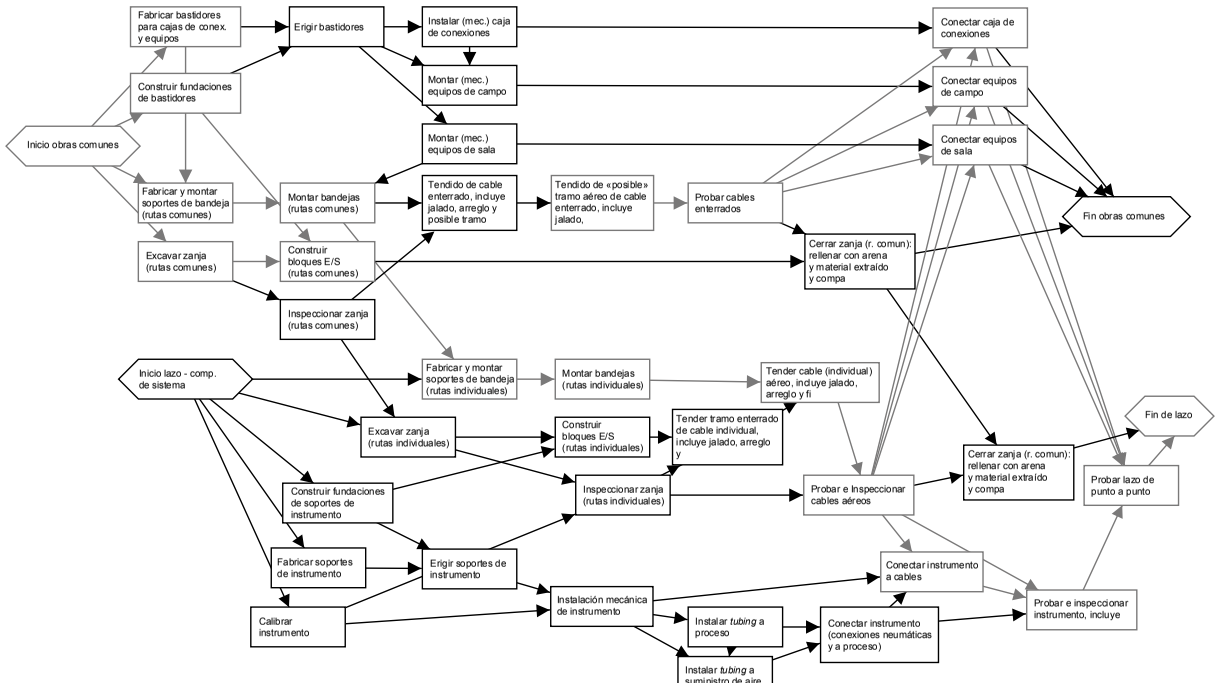
Foto 9:

Ejemplo de caja de conexión en campo.

Notar los cables que entran y salen de la caja por la parte inferior y el lado izquierdo.

Observar la identificación de la caja impresa en la placa sobre la tapa frontal y la identificación de cada cable con su respectiva placa numerada.

Figura 6. Diagrama de red o de precedencias para un lazo de control genérico



El diagrama de red (o PDM - *precedence diagramming method*, en inglés) es del tipo AON (*activity on mode*).

Hay que notar que las actividades están referidas a una o varias unidades de cada componente del lazo; es decir:

- Un equipo (o panel) de la sala de control o varios equipos.
- Un par del multicable o varios pares.
- Una caja de conexión o varias cajas.
- Un cable individual a cada instrumento o varios cables individuales.
- Un instrumento o elemento de control sobre el proceso o varios instrumentos.

Como puede revisarse en los diagramas de lazo del Anexo A, un lazo de control puede contener más de una unidad de cada tipo de componente o diferentes metrados; por ejemplo, de cables. Estas diferencias son las que hacen específicos a los diferentes lazos de control y nuestro modelo debe poder incorporar estas cantidades y metrados para representar lo mismo.

Las actividades del cronograma deben dar una indicación de la medida física del trabajo involucrado, de manera que el lector del programa pueda inferir las proporciones relativas de actividades similares. Por ejemplo, una buena unidad de medida para zanjas sería el volumen de tierra excavada; para bandejas podemos indicar las longitudes de ruta según los tipos y tamaños de bandeja; para cajas de conexiones mencionaríamos tipos y tamaños; etcétera.

Esto se implementa por medio de los atributos de las actividades. Los campos son: cantidad, tamaño y unidad de medida.

Si consideramos que podríamos tener 7000-8000 lazos de control independientes en el caso de un proyecto grande, nos podemos hacer una idea de lo ingente del trabajo de planificación involucrado; además, esto implicará la necesidad de un *sistema formal de notificación de cambios de alcance* por parte de la ingeniería y una actualización regular y minuciosa de los componentes de los lazos para mantener al día el modelo.

En el caso del proyecto pequeño (400 *tags* de instrumentación), el número de lazos puede estar alrededor de cincuenta, con once sistemas (no existiendo un nivel de subsistemas). Como referencia (solamente), podemos considerar:

	Tamaño de proyecto	
Nº *tags* por	Pequeño	Grande
Proyecto	400	30 mil
Sistema	40	1000
Subsistema	10	100
Lazo control	8	4

Así pues contamos, para el ejemplo del Anexo A:

- Dos unidades de las cajas de conexión (con *tags* «JB-…»). Notar que, aunque se dibujan cuatro, solo dos muestran dos conexiones paralelas entre ellas.
- Dos multicables (uno del *marshaling cabinet* a la primera caja de conexiones y el segundo cable de la primera a la segunda caja de conexiones).
- Dos cables individuales, uno para cada instrumento.
- Dos instrumentos (un transmisor de nivel y un indicador de nivel).

Y declararemos esa cantidad en el atributo respectivo de la actividad.

*Las relaciones de precedencia definidas en este diagrama constituyen la lógica «dura» u obligatoria de la red de trabajos de la construcción. Esto por definición significa que estas secuencias son imposibles o muy difícilmente modificables; tal vez admitan ajustes en los retrasos/adelantos (*lags/leads*, en inglés) entre actividades relacionadas, pero no en la secuencia.*

Modos de planificación/programación

Tal como se menciona en *Los procesos de la programación*, existen dos aproximaciones o modos de desarrollo de la programación como un elemento de los procesos más amplios de la planificación. El modo a seleccionar dependerá de varios aspectos del proyecto:

- La magnitud el proyecto.
- El tiempo disponible.
- Los recursos de planificación/programación.
- El grado de desarrollo de la ingeniería.
- La duración total del proyecto.

Se podrá optar por desarrollar la planificación/programación:

- En oleadas sucesivas de planificación (*rolling wave planning*).
- De un modo integral en un esfuerzo inicial.

La pregunta a formular es: ¿se dispone de suficiente tiempo e información para completar una planificación de detalle del proyecto *antes* de iniciar la ejecución? Para obras pequeñas eso será más probable que para obras mayores. Hitos contractuales de cumplimiento muy cercano nos pueden obligar a priorizar la ejecución de algunos componentes, mientras que el estado de la ingeniería y procura nos puede llevar a retrasar otros.

En el caso de la programación en oleadas sucesivas, el programador requiere hacer el trabajo en al menos dos «pasadas». En la primera pasada de programación se desarrolla un cronograma de nivel medio con suficiente detalle para estimar con relativa seguridad las duraciones globales de los entregables mayores. Este cronograma establece un marco temporal para la ejecución y da un orden a la secuencia de actividades para que la ingeniería pueda completar su trabajo (la ingeniería y todos los otros procesos del proyecto también quedan enmarcados en la sucesión de olas de programación).

En general existen dos tipos de planificación y programación de trabajos, tenemos métodos en cascada y métodos ágiles. El método en cascada es el usual proceso de determinación de los recursos y duraciones necesarios basado en el conocimiento del alcance y sus especificaciones, una labor de detalle que recorre todos los entregables y que, por lo tanto, exigirá mucho tiempo y recursos de planificación para completar el plan general de la obra antes de iniciar la ejecución.

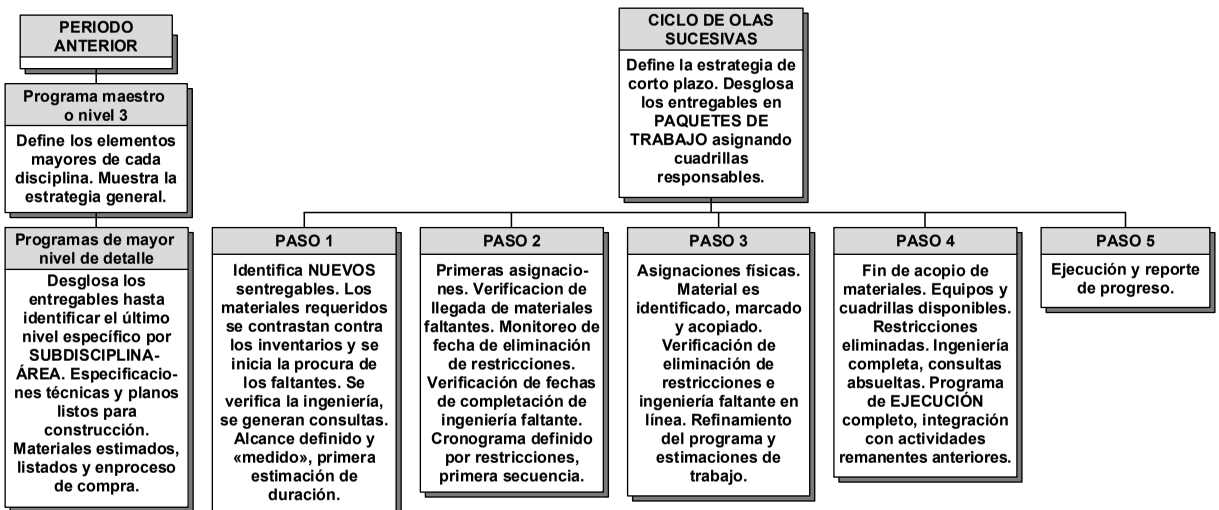
Los métodos ágiles —que se desarrollaron en los ambientes de la tecnología de la información— siguen una dirección inversa: parten de los recursos y tiempos disponibles para desarrollar entregables funcionales lo más pronto posible. Se basan en la priorización de entregables por su valor ante el cliente y en el «congelamiento» de algunos alcances cuando llega el momento de su planificación y ejecución; antes de ello, permanecen en un estado de revisión y definición.

Para la industria de la construcción la planificación se hace «ágil» por medio de los métodos en oleadas sucesivas (*rolling wave planning*), los cuales introducen la priorización de entregables por medio de un programa maestro de alto nivel, a veces denominado «de nivel 3», del cual se toma una parte o entregable discreto para congelarlo, aislarlo y proceder a la planificación de detalle de esa porción. A este proceso se le asigna una duración fija durante la cual se clarifican detalles, se asignan responsabilidades y recursos, se identifica y reúne el material necesario y se coordina la aplicación de recursos externos.

Normalmente estos periodos son cortos (algunas semanas) y, por lo tanto, los detalles de larga duración, como compras y contrataciones, ya se han resuelto anticipadamente; en caso no fuera así, se relegaría la actividad ante otras que sí las tuvieran resueltas, de manera que los recursos de mano de obra tengan continuidad en las actividades productivas. Este ciclo de planificación o programación por partes se va desarrollando al mismo tiempo que procede la construcción de entregables ya programados.

Además, en periodos cortos (semanalmente, por ejemplo) se van completando entregables y se agregan nuevos entregables «frescos» al proceso, por lo que en todo momento se tiene una cola de trabajos en variados estados de preparación que van desde «listos para construir» (los más cercanos en el tiempo) hasta otros en etapas muy preliminares de su preparación (lo más alejados en el futuro). Semanalmente se toman aquellas actividades que estén listas —y que, de acuerdo a las estimaciones de trabajo, se puedan completar con los recursos de mano de obra disponibles— para asignarlas como las tareas del periodo próximo, integrándolas con las actividades que pudieran haber quedado pendientes de ejecutar del periodo previo. En otras palabras, un entregable va recorriendo los pasos del proceso sucesivamente según vaya transcurriendo el tiempo y el proceso de planificación.

Figura 7. Diagrama: proceso de planificación en oleadas sucesivas



En la segunda pasada el programador profundiza el nivel de detalle de la programación sobre periodos cortos del cronograma marco, estableciendo un proceso de planificación/programación continuo que va avanzando a lo largo del cronograma marco conforme el progreso de los trabajos y el paso del tiempo continúan. Esto significa, a la vez, que se lleva el control del cronograma marco actualizándolo de acuerdo a los resultados de la ejecución y que también se desarrolla un cronograma detallado que pueda dar el debido soporte a la ejecución.

Este proceso tiene la ventaja de usar menos recursos de planificación/programación distribuidos a lo largo de la duración del proyecto que si se desarrollase toda la planificación/programación en un único esfuerzo durante un periodo corto antes de la ejecución. Tiene la desventaja de perder de vista la integridad del proyecto mientras la atención está concentrada en pequeñas ventanas sucesivas de planificación/programación, con lo que algunas oportunidades de lograr los beneficios de una gestión integral se podrían perder.

El cronograma «de nivel 3» es un término muy usado en la gestión de los proyectos de construcción, pero conviene aclarar que no es un concepto estándar, aunque muchas veces sea usado de esa manera asumiendo que todos tienen del mismo concepto de él.

Algunas referencias (*National Aeronautics and Space Administration, Program/Project Series, Work Breakdown Structure Reference Guide, WBS Types, Program/Project WBS*) lo identifican con los cronogramas de detalle de construcción «desarrollados por los equipos de ingeniería y los contratistas»; otras (*2002 AACE International Transactions, CSC04.8, Evolving Project Control Practices*, *Scott R. Longworth, CCC*), en cambio, lo refieren al cronograma marco del proyecto, haciendo alusión a que solo muestra los tres primeros niveles de desglose del proyecto.

En este trabajo, cada vez que se hace referencia al nivel de desglose de los trabajos nos referimos exactamente a eso, al nivel dentro de la estructura que descompone los alcances del proyecto. Debido a ello, un cronograma de nivel 3 será necesariamente un cronograma de alto nivel, con entregables muy importantes; es decir, el cronograma marco.

Fases de la construcción

Conforme se progresa en la construcción se producen *cambios en el enfoque de la gestión* de los trabajos.

Dependiendo de la naturaleza de las actividades y su especificidad con respecto a la arquitectura o al diseño de la instalación, el programa debe ir resolviendo aspectos relacionados al progreso y al ritmo de avance al principio y, luego, resolver el problema de la terminación ordenada y rigurosa de los alcances al final.

En la construcción suelen encontrarse dos fases identificables: la primera tiene trabajos enfocados en áreas geográficas (plantas, unidades, sectores, etcétera) y la segunda trabajos enfocados en los sistemas/subsistemas (y lazos de control en instrumentación). Esto ocurre en instrumentación porque al inicio las actividades discurren por estructuras comunes a varios sistemas, donde el criterio de *economía de espacio, tiempo y costos* impone el diseño y construcción de elementos compartidos que no pueden ser identificados con subsistemas específicos; por ejemplo, es usual que los equipos de la sala de control, los cables (multicables) y hasta las cajas de conexionado se controlen, diseñen y construyan con criterios de agrupamiento físico o geográfico, sirviendo simultáneamente a muchos subsistemas y varios sistemas.

Fase de Construcción de Elementos Comunes.

La programación basada en criterios geográficos del inicio de la construcción, tiene que ser soportada por el cronograma. En otras palabras, la estructura de desglose (EDT del tipo *servicio*[5]): área/sub área/ubicación/…/sector/nivel debe estar presente en el cronograma. Esta organización está asociada al control del trabajo de las cuadrillas, que son asignadas a actividades geográficamente conectadas y por oficio o subdisciplina.

[5] Ver: Haugan, Gregory T. (2002). Effective Work Breakdown Structures. En *Anatomy of a WBS* (p. 19). Viena: Management Concepts.

Esto se hace así para cubrir la necesidad de controlar la producción y la productividad, es decir, al *asignar trabajos del mismo tipo a la misma cuadrilla en la misma área geográfica, se permite un mejor control de su tiempo ocupado/ocioso y, por tanto, se facilita la gestión de la producción y productividad.*

Esto significa que la EDT basada en áreas geográficas debe ir *acompañada de una clasificación de actividades* por oficio o subdisciplina que organice las actividades de las cuadrillas de especialidad; esta clasificación (ortogonal o de corte cruzado a la EDT geográfica) permitirá o dará sustento a la gestión para mantener una doble visión del progreso y control del trabajo como área geográfica y como utilización de recursos.

Hay cinco *tipos de elementos* que pueden coexistir en la misma estructura de desglose de trabajo de un proyecto (ver referencia *vi*):

1. De desglose de producto. Sigue el diseño.
2. De desglose de servicio. Agrupa por relaciones de afinidad o lógicas entre sus componentes (área geográfica, un mismo responsable, secuencia constructiva, etcétera).
3. De desglose de resultados. Agrupa y representa etapas sucesivas del proyecto.
4. De corte cruzado. Componentes que se distribuyen entre los otros componentes de la EDT.
5. De gestión de proyecto.

Conforme se va avanzando en los trabajos y al final de la ejecución del proyecto aparece una etapa dominada cada vez más por las fases de pre comisionado/comisionado, y enfocada en la entrega de los sistemas y subsistemas de la instalación.

Fase de Construcción de Elementos de Sistema.

Esta es una fase de la construcción que debe estar también programada y controlada, por lo tanto el cronograma del proyecto debe, desde

el principio, organizarse para darle el debido soporte y evitar modificaciones posteriores de las estrategias de trabajo, que normalmente son muy costosas en tiempo y en hHs.

Pre comisionado/comisionado son fases de la construcción en las que paulatinamente se transfieren las responsabilidades (y los riesgos) asociados a la instalación de la organización constructora a la organización operadora. El punto de separación es la llamada *Terminación Mecánica*, que es el momento en el que se declara terminada y aceptada la construcción de una parte de la instalación. En una obra grande, la *Terminación Mecánica* puede asociarse a la última parte que se termina, pero en realidad consiste en un proceso de muchas partes que van terminándose sucesivamente.

La fase de pre comisionado consiste en las actividades desarrolladas por la organización constructora para asegurarse (ella misma) de que ha completado los alcances con los niveles de calidad requeridos. Esta fase termina con el hito *Terminación Mecánica*.

La fase de comisionado consiste en las actividades conjuntas de las organizaciones constructora y operadora (o propietaria) para asegurar que los alcances se han cumplido con la calidad especificada, que la instalación es funcional, y para realizar la preparación (llenado de fluidos, logro de niveles, de presiones, de temperaturas, etcétera) para el hito *Listo para la Puesta en Marcha*.

A lo largo de estas fases las responsabilidades y riesgos de las actividades van pasando paulatinamente del constructor, total responsable en el pre comisionado, hacia el operador (propietario), total responsable en la fase de comisionado.

Para el traspaso de una instalación deberán suceder los siguientes acontecimientos (hitos):

1. Fin de la construcción.
2. Terminación mecánica.
3. Declaración de listo para la puesta en marcha.
4. Recepción provisional.
5. Recepción definitiva.

Ver: Diagrama: proceso de terminación/pre comisionado/comisionado.

No solo por comodidad de programación, sino por la debida planificación del uso de recursos —la definición de la secuencia de comisionado, la estimación de duraciones y el control de las fechas de cumplimiento—, esta fase requerirá de mucho soporte y control, por lo que debe recibir atención preferencial de la unidad de programación *desde el principio* de la planificación.

El comisionado de una planta sigue una secuencia establecida que el cronograma debe recibir y adoptar como información adicional (restricciones a la programación). Esta secuencia viene dada por el diseño de la propia instalación y es el equipo de comisionado el que debe proporcionarla al equipo de programación para su inclusión en el cronograma.

Los entregables asociados a estas fases constructivas (de elementos comunes y de elementos de sistema) se muestran agrupados en el diagrama de la figura 6 y, tal como se menciona en *Componentes típicos*, se organizan en dos series relativamente separadas.

En proyectos no muy grandes es posible que la organización del comisionado no se forme con la anticipación requerida, que es muy temprano en la vida del proyecto. En tales casos, la organización de planificación/programación deberá iniciar los procesos para que las secuencias del comisionado (y a veces de la Puesta en Marcha) se definan lo suficiente como para dar orientación a todas las fases previas (ingeniería, procura, construcción, pre comisionado) para lograr una ejecución y finalización coordinadas.

Para dar soporte a esta fase el cronograma debe poder representar con claridad las actividades correspondientes a los sistemas/subsistemas tal como se haya planeado entregar la instalación. La implementación de esto consiste en desarrollar la EDT (estructura de desglose de trabajo del *producto* de la obra): funcionalidad/planta de proceso/sistemas/…/subsistemas. Similar a la figura 9.

Figura 8. Diagrama: proceso de terminación/pre comisionado/comisionado

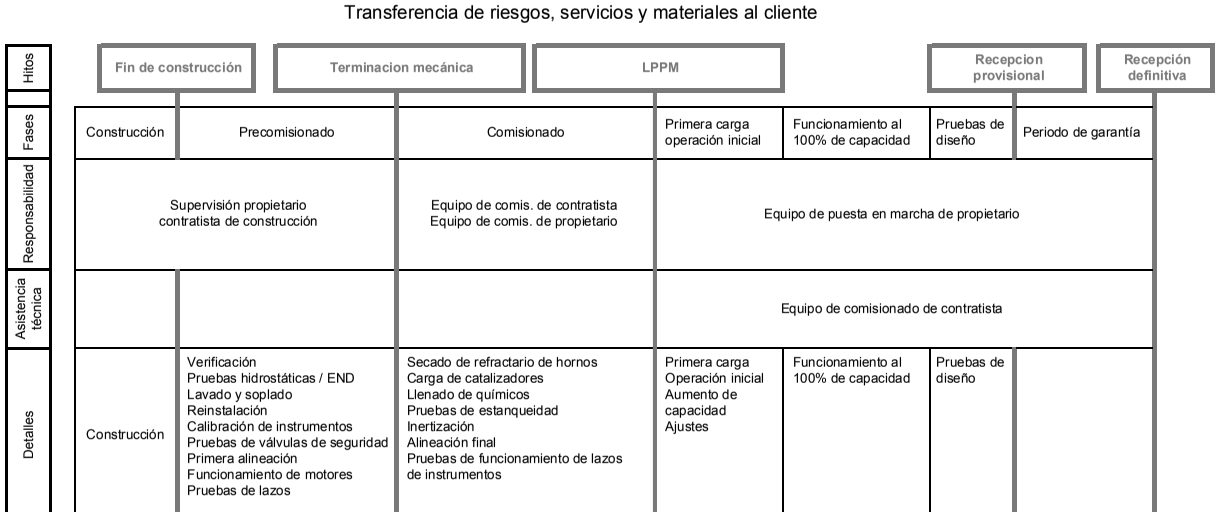
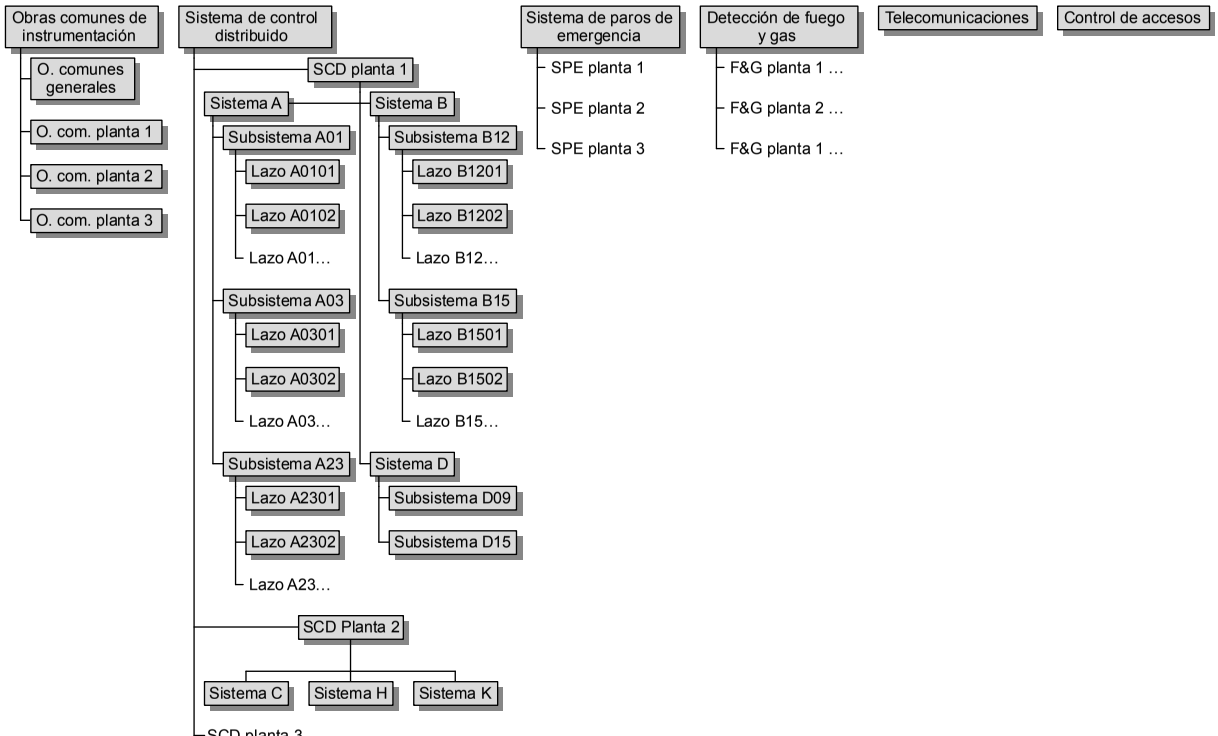


Figura 9. EDT de diseño, de una funcionalidad



En esta estructura, el nivel subsistema podría subdividirse más (o, por el contrario, eliminarse) dependiendo del tamaño y complejidad de la instalación.

En este momento (luego de la fase de construcción de elementos comunes), el enfoque pasa a ser uno dedicado a completar sistemas/subsistemas; sin embargo, la necesidad de controlar la producción/productividad se mantiene. La EDT basada en el producto (diseño de funcionalidad/planta/sistema/subsistema/lazo) debe ir también acompañada de una clasificación de actividades por oficio o subdisciplina. Además, el enfoque en el progreso por áreas geográficas deja de tener la prioridad.

La lógica constructiva asociada a la producción/productividad - ocupación/ocio de las cuadrillas en las áreas tiene carácter preferencial o es del tipo «*lógica blanda*», *en el sentido de que* pueden alterarse las secuencias sin afectar la correcta construcción del producto *y, además, pueden ser modificadas en cualquier momento para lograr cambios en la productividad de las cuadrillas.*

Aclaremos que no nos referimos a la lógica «dura» u obligatoria de la construcción, mostrada en el modelo de la figura 6; las secuencias a las que nos referimos como «modificables» son las que están relacionadas a la optimización del uso de recursos u otro tipo de preferencias de la gestión.

Conforme se progresa en la construcción y se inicia el comisionado y entrega de sistemas/subsistemas, las condiciones de seguridad de los trabajos se van volviendo más severas; esto está causado por el ingreso de fluidos de prueba y de energía eléctrica (o cualquier otro tipo de energía) a las áreas aún en construcción, lo que obliga a agregar procesos adicionales para responder a los nuevos riesgos a la seguridad de los trabajadores. En esas condiciones, el rendimiento de las cuadrillas sufre un deterioro que debe tenerse en cuenta. Ver también *Tiempos improductivos*.

Estimación de recursos - identificación de subdisciplinas

La identificación de las especialidades u oficios necesarios para ejecutar el trabajo es parte del proceso *3.- Estimación de recursos de las actividades* de la Gestión del Tiempo y, en general, depende de los tipos de componentes a instalar y de las actividades que requieran durante su construcción. Para la instrumentación existen muchos tipos de componentes, pues la variedad de instrumentos, elementos de control, cables y equipos es enorme. Para manejar esta variedad podemos agruparlos como en la figura 10 —que es un ejemplo de la variedad de componentes a manejar—, notando que a cada uno de ellos le corresponde un conjunto de actividades propio que debe reflejarse en el cronograma.

La mejor manera de manejar la información requerida es por medio de listas de control.

Las exigencias de control del pre comisionado/comisionado obligan a que *todos los tags* del proyecto deban reflejarse en listas por *tipo de componente*; luego, dichas listas se aprovechan para desarrollar la métrica del producto del proyecto, lo que significa identificar, contar y medir los entregables *tag*. Cada lista debe contener los *atributos* que permitan diferenciar (desde el punto de vista de la programación) los diferentes ítems dentro de una lista-tipo; por último, en estas mismas listas se *definirán las actividades típicas* que deben aparecer en el cronograma.

Por ejemplo (ver figura 11):

- Los cables, independientemente de su tipo, tienen *tendidos* aéreos y subterráneos y trabajos de *terminación* en ambos extremos. Requerirán, según sea el caso, de bandejas y sus soportes, zanjas, bloques E/S y señalizaciones instalados.
- Las cajas de conexión simplemente se *montan* sobre la estructura adyacente y se *conectan* a los cables. También requieren la instalación previa de soportes y sus fundaciones.
- Los equipos de sala o de campo, ya sean gabinetes, paneles u otros, igualmente se *montan* y se *conectan*, pero la variabilidad de

los equipos hace que el trabajo sea mayor o más complejo que en las cajas de conexión. Evidentemente, la edificación/fundación es requerida anticipadamente.

- Los instrumentos, dependiendo de su tipo, requieren que el *soporte* esté previamente erigido, que el mismo instrumento esté *calibrado* previamente al *montaje*, la *conexión a proceso* y la *conexión a la red de aire de instrumentación* realizada y el *conexionado de señal/comando* terminado.
- Las válvulas de control y las de seguridad/alivio necesitan el *montaje* del ítem (a veces hecho por otra disciplina-tubería), la *conexión a proceso*, la *conexión a la red de aire de instrumentación* realizada y el *conexionado de señal/comando* terminado.

Figura 10. EDT de tipos y componentes

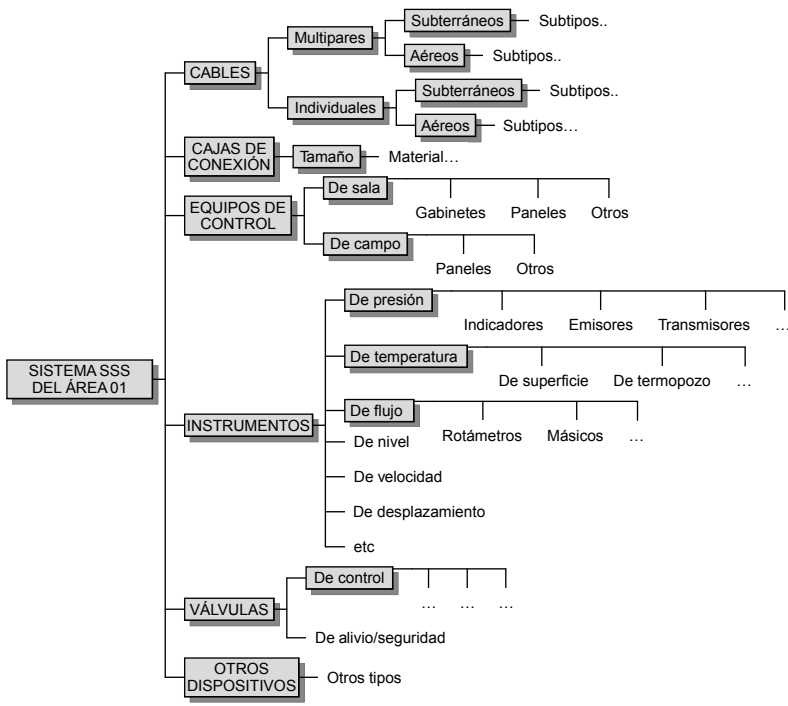
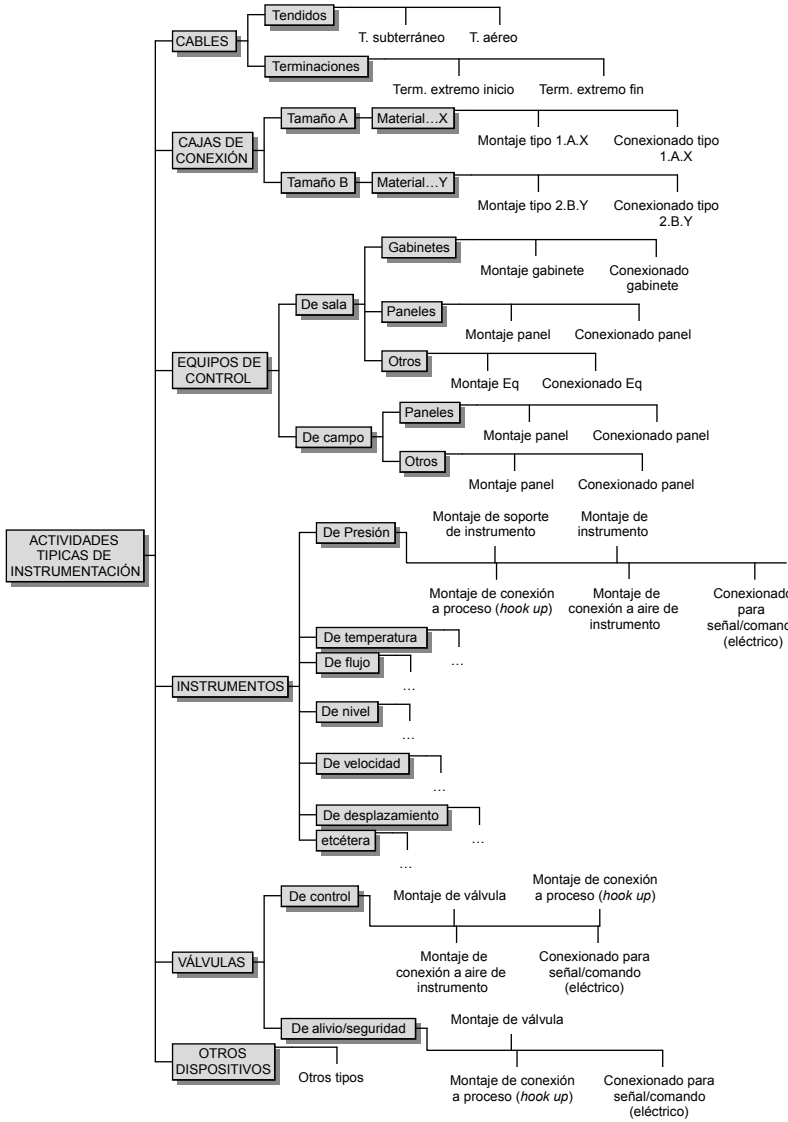


Figura 11. EDT de tipos de actividad



Si bien se puede observar que las actividades de *conexionado* se duplican con las de *terminaciones* de los cables, el cronograma solo debe mostrar/controlar una y el programador debe escoger cuál.

Se debe notar que las listas de control sugeridas llegan al nivel de detalle del *tag*; en cambio, el cronograma puede gestionarse a otros niveles, sobre todo para el caso de alcances muy extensos donde deberá optarse por niveles que mantengan la cantidad de información dentro de lo manejable para los recursos de planificación y programación.

Existen componentes cuya construcción no corresponde propiamente a actividades de instrumentación porque son realizadas por otras disciplinas: excavación de zanjas, construcción de bloques E/S, soportes metálicos, fundaciones, montajes mecánicos, maniobras de izaje, transportes, etcétera. El Anexo C contiene ejemplos de listas de control para esos casos, mientras que en el Anexo B se incluyen actividades comunes para los componentes propios de la instrumentación.

Las actividades del cronograma deben definirse y seleccionarse para que sean realizables por una cuadrilla de la especialidad; esto último permitirá establecer las relaciones:

Oficio <--> Actividad Típica <--> Componente (*tag*) <--> Área

Dichas relaciones son usadas para el control de la ocupación/ocio y de la productividad por cuadrilla de cada área.

Las listas de control mencionadas son una *herramienta fundamental* para la definición de alcances y el control de los trabajos del proyecto, y consisten en la *relación exhaustiva* y por tipos de *tags* de los diversos componentes del proyecto.

Como ya se ha dicho, las actividades que se definan en estas listas, al contener la métrica de los trabajos, deberán reportarse al cronograma. Ver ejemplos en el Anexo B.

Estas listas se aprovechan para realizar la estimación de trabajo (hHs) de las actividades de acuerdo a los atributos propios de cada caso. Para este proceso es recomendable disponer de tablas de consumo de trabajo

(horas-hombre requeridas) por unidad de medida del componente y lograr asignaciones homogéneas. Ver ejemplos en el Anexo D.

No hay que confundir la métrica de las actividades con las estimaciones de horas-hombre ni con los métodos de ponderación de progreso, aunque sí están relacionadas.

La métrica de una actividad se refiere a la medida física que se usará para representar su «tamaño» frente a otras actividades similares; es decir, el «metrado» o «medición».

La estimación de horas-hombre o trabajo a realizar nos indica o mide el esfuerzo humano para completar la actividad o entregable (se calcula multiplicando las horas de la duración estimada por el número de personas ocupadas). Existen tablas con tasas de horas-hombre por unidad física (métrica) de la actividad que permiten una estimación del esfuerzo o trabajo basados en la métrica de la actividad.

La ponderación del progreso asigna valores o pesos relativos a las actividades con el fin de reportar un valor representativo del progreso de las actividades complejas o grupos de actividades que pueden tener métricas diferentes y que, por lo tanto, son difícilmente comparables. Mide qué ha sido completado o entregado y, junto con la Gestión de Costos del proyecto, permite medir las tasas de consumo de recursos por entregable que se están obteniendo.

Existen varios tipos de índices de progreso:

- De Valor Ganado.- Usa el costo o el trabajo (hHs) presupuestado como valor de ponderación de las actividades.
- Unidades de Medida.- Para actividades constructivas, usa la métrica de las actividades (metros de cables, volumen de concreto, etcétera).
- Atributos.- Para entregables insubstanciales (servicios, *software*, ingeniería, etcétera) usa el conteo de atributos (número de reclamos, número de pantallas de interfaz, número de líneas de código, número de planos o diagramas, etcétera).
- Hitos logrados.- Para tareas secuenciales que conviene dividir en etapas menores (muy largas para el nivel de control requerido). A cada hito se le asigna un peso porcentual del total de la actividad; sin embargo, el peso total de la actividad con respecto al total del proyecto debe estimarse por otros medios.

- Reglas de crédito.- Para tareas o actividades no medibles o cuando no se dispone de información suficiente o no se desea navegar en los detalles técnicos. Consiste en asignar pesos relativos a los hitos de inicio y fin de la actividad y al estado «en ejecución»; por ejemplo: x% al inicio, y% mientras está en ejecución y z% al final, balanceando que cumplan la condición: x + y + z = 100%. Al igual que en el caso de «hitos logrados», el peso total de la actividad se halla por otros medios.

Existen también componentes que, aunque no forman parte de la instrumentación propiamente dicha, son necesarios y deben realizarse por la misma organización ejecutora. Todos deben tener la respectiva lista de control. Ver el Anexo C.

Las tablas de horas-hombre que se puedan usar para estimar el consumo de recursos deben ser entendidas y confirmadas, si son tomadas como referencias públicas, antes de usarlas. Dichos valores se estimaron bajo unas condiciones que debería verificarse si se repiten en las condiciones actuales o, en caso contrario, corregirlas.

Además de las variaciones propias de las características del trabajo, estos valores se verán afectados por la posible falta de coordinación entre las actividades previas a la construcción (ingeniería y procura de equipos y materiales) y la calidad de sus entregables.

En conjunto, estos efectos negativos acumulativos pueden llegar a multiplicar las estimaciones estándar en factores bastante amplios.

Es importante que las estimaciones de consumo de trabajo se hagan en bases homogéneas. Los factores que habría que considerar a la hora de corregir las estimaciones de trabajo para la ejecución se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Personal: calificación, entrenamiento en los procedimientos, cantidad.
- Procedimientos: calidad, grado de extensión a todos los trabajos. Condiciones de seguridad, accesos.
- Equipamiento: cantidad, capacidad, funcionalidad. Sistema de mantenimiento o reposición.
- Planes: calidad, nivel de detalle, entendidos por el personal.

Tiempos improductivos

Debe entenderse el concepto de tiempos improductivos como los periodos en los cuales la cuadrilla *no* está progresando sobre las actividades o entregables planeados. Algunos de estos periodos habrán sido causados por:

- Mala *planificación diaria* (herramientas olvidadas o incorrectas, instrucciones confusas, etcétera).
- Mala *planificación global* (errores de secuencia, necesidades no previstas, cambios de prioridad, etcétera).
- *Riesgos imprevistos*.
- *Dependencias externas* (algún otro no llegó a tiempo).

También pueden ser causados por el *sistema de trabajo* (que son improductividades *aparentes*, como por ejemplo las acciones preliminares de seguridad, los permisos de trabajo, el acondicionamiento de instalaciones antes de intervenir, etcétera).

Las *asignaciones de hHs a las actividades no* deben contener ningún tipo de componente de *improductividad*, pero sí debe ser claro bajo qué condiciones se asignan (¿trabajos en condiciones extremas —clima, altura, de riesgo, estacionales, nocturnos, en espacios confinados, etcétera—?) para corregir los valores de referencia (ver Anexo D). Las improductividades derivadas de la falta de coordinación, falta de planificación, falta de preparación; es decir, las *ineficiencias* de la organización ejecutora, *no* deben introducirse al modelo de cronograma; sin embargo, sí deben monitorearse, basándose en los datos (100% productividad) del modelo contra la fuerza laboral realmente consumida[6].

[6] Control Costs: Tools and Technics. En *A guide to the Project Management Body of Knowledge* (p. 181). 4ta ed. Pennsylvania: Project Management Institute.

El monitoreo de la productividad real lograda debe ser un componente fundamental del sistema de Control de Costos y es una *función permanente* del mismo. Servirá para confirmar las estimaciones iniciales y revisar previsiones (duraciones y costos esperados del proyecto).

El sistema de Control de Costos tiene como misión *mantener informado* sobre la valoración y progreso de los trabajos al equipo del proyecto; para ello:

Informa sobre las metas de costo y los eventos venideros.

Previene contra las desviaciones significativas con respecto a lo planeado.

Registra la información para futuras estimaciones del proyecto actual y para futuros proyectos.

La Gestión de Costos es toda un área de funciones y responsabilidades organizadas y ejecutadas similarmente a la Gestión del Tiempo, cuya finalidad es *optimizar el uso de los recursos disponibles (minimizando el costo)*, validar o corregir las estimaciones iniciales y presentar permanentemente nuevas estimaciones de costo total final, exactamente del mismo modo que la Gestión del Tiempo optimiza el recurso tiempo y permanentemente da estimaciones de duración total del proyecto. En ambos casos, la finalidad es *dar avisos tempranos* de desviaciones inaceptables en el resultado final y ayudar a la definición de acciones correctivas.

Debemos evitar equiparar la gestión de contabilidad con la gestión (o control de) costos, ambas son funciones que trabajan con los mismos datos; sin embargo, sirven a propósitos y equipos de trabajo totalmente diferentes.

Contabilidad reporta los gastos de acuerdo a los componentes —centros de costo— del presupuesto de la organización, que normalmente es mayor que la organización dedicada al proyecto.

El Control de Costos reporta costos enfocado en el *consumo de recursos* por entregable para la gestión del proyecto. El costo por sí mismo no es la preocupación primaria.

La duración de las actividades debería estimarse a partir de las hHs estimadas y del tamaño de la cuadrilla a emplear.

Los tiempos no productivos consumidos por diversas causas atribuibles al sistema de trabajo (charlas de seguridad, interrupciones por alimentos, permisos de trabajo, etcétera) que generan *improductividad aparente* se deberán modelar con los calendarios de trabajo del proyecto, de las actividades y de los recursos. Es decir, si sabemos que las cuadrillas no iniciarán actividades constructivas hasta determinada hora porque nuestros procedimientos exigen realizar reuniones de planificación diaria, de análisis de riesgos de seguridad del trabajo o lograr autorizaciones previas de parte de la operación de la planta —además de los periodos para toma de alimentos y limpieza de las áreas de trabajo o cualquier otro tipo de periodo en el que nuestro sistema de trabajo especifique que los trabajadores no estarán con las herramientas en la mano construyendo entregables—, ello debe quedar reflejado en el horario/calendario de trabajo del cronograma. No son periodos de improductividad, sino periodos que hemos decidido dedicar a otras actividades; sin embargo, sí que pueden impactar en las duraciones medidas en días laborables y, por lo tanto, afectar las fechas de término. Si no se toman en cuenta estos efectos, las estimaciones pueden quedar «cortas».

Riesgos - variabilidad de las duraciones

Los riesgos en la gestión del tiempo quedan restringidos a aquellos eventos indeseables que harán que nuestra estimación de duraciones o fechas falle y deje de ser útil para predecir las fechas de término. Para enfrentar esta posibilidad es necesario establecer márgenes de contingencia.

Existe otra causa para que el cronograma deje de predecir correctamente las fechas de término: los cambios de alcance que no han sido procesados por el sistema de gestión de cambios de alcance.

Una fuente evidente de estos riesgos son las dependencias externas que no podemos controlar, pues los retrasos que sufran podrán afectar nuestra ruta crítica y nuestras fechas de término.

El índice de productividad se define como el cociente de las horas-hombre del día dedicadas a progresar en los entregables entre la cantidad de horas-hombre disponibles en el mismo periodo de tiempo. Ese índice nos da la fracción de la capacidad de trabajo disponible que se convierte en entregables.

No debemos confundir este concepto con el índice de Desempeño de Costo de la Gestión del Valor Ganado, puesto que este índice se refiere al valor presupuestado (en hHs o costo) que se ha ganado y lo compara contra el trabajo o costo consumidos para un entregable dado.

Otra fuente de riesgos son los *supuestos* que hayamos usado para construir nuestro modelo de ejecución. Mientras estos supuestos no estén confirmados o descartados representarán posibles alteraciones que, si no tienen respuestas previstas, impactarán en el plan.

Una tercera fuente, no tan evidente, es la variabilidad propia de la duración de las actividades.

Es muy tentador aplicar «márgenes de seguridad» (contingencia, propiamente dicha) al momento de dar estimaciones de duraciones. El estimador de la duración de una actividad, con un ánimo de no dar previsiones demasiado optimistas que pudieran poner en tela de juicio la «realidad» de sus estimaciones o que más tarde lo pongan en apuros durante la ejecución de la obra por un compromiso demasiado temprano, agrega tiempo extra a la duración «real» estimada de cada actividad. Esto resulta de una innecesaria aproximación cliente-proveedor a todas las relaciones al interior del equipo del proyecto.

Esta tendencia natural debe estar controlada al momento de preparar el cronograma frente a sus efectos acumulativos, especialmente en el caso de un proyecto grande con varios niveles jerárquicos que pueden ir agregando cada uno su margen de contingencia propio, resultando en una acumulación de márgenes que perjudican la credibilidad y precisión del programa.

Al interior de la organización ejecutante, las estimaciones de tiempos y duraciones deben ser lo más cándidas y desprotegidas posibles, simplemente honestas. Debe quedar claro al equipo del proyecto que se espera que la ejecución se desvíe de las estimaciones dentro de los márgenes usuales del trabajo y que *no* es necesario que se cubran o agreguen márgenes para protegerse internamente. Este ambiente de cooperación y confianza debe estar claramente establecido.

Frente al cliente y ante compromisos contractuales (económicos) sí que se deberán establecer los márgenes de contingencia que protejan al proyecto frente a perjuicios comerciales o legales. Es decir, el cronograma es uno, pero es interpretado según los ojos del que lo lee.

Internamente, el cronograma debe ser nuestra mejor estimación de cómo irán produciéndose los entregables, puesto que protegernos de nosotros mismo nos hará perder precisión y resulta ser ineficientes.

Para tomar en cuenta estos aspectos en la definición del margen de contingencia deberán realizarse dos procesos de la gestión de riesgos.

- Por un lado, los eventos aislados e indeseables deben identificarse para luego evaluar y estimar su probable impacto en las fechas de término. Las listas de verificación y el juicio de expertos serán los mejores soportes para este proceso (análisis cualitativo).
- En cambio, la variabilidad de las duraciones sí que puede ser cuantitativamente analizada; su efecto puede ser estimado con los métodos de Montecarlo, de la Cadena Crítica o PERT.

Ambos procesos combinados permitirán calcular curvas de frecuencias acumuladas o intervalos de estimación de las fechas de término de acuerdo al nivel de confianza admisible.

Asociado al problema de la acumulación de márgenes de seguridad existen dos comportamientos humanos que se suelen denominar «Ley de Parkinson» y «Ley del estudiante», las cuales nos previenen contra el abuso de estos resguardos.

La primera se refiere a que un equipo de trabajo *siempre* usará todo el tiempo disponible para realizar una tarea; es decir, si se le ha asignado X tiempo (que incluye el margen de seguridad), siempre consumirá X y, aunque no ocurra ninguna contingencia, encontrará motivos para consumir todo lo disponible.

La segunda se refiere a la tendencia de un equipo a dejar hasta el último momento posible la iniciación del trabajo (como el estudiante antes del examen) para, luego de haber consumido todos los márgenes, incurrir naturalmente en retrasos o ejecuciones defectuosas «presionado» por el cronograma.

La forma de presentar al cliente un cronograma que incluya las contingencias estimadas dependerá de las aproximaciones comerciales, aunque normalmente hay dos escenarios:

a. Diluir el margen total de contingencia entre las actividades del cronograma. Esto eliminará motivos de consulta o revisiones solicitadas por el cliente, pero nos crea el grave problema de las ineficiencias asociadas a las leyes de Parkinson y del estudiante (ver recuadro anterior) y a la respectiva pérdida de oportunidades, *asegurando* el retraso general de la ejecución dado que tendremos un cronograma no óptimo.

b. Presentar la contingencia estimada al final del cronograma como un periodo adicional. Este caso tiene el inconveniente de que expone al proyecto a la «expropiación» del margen por el cliente. Dado que el cronograma anuncia una fecha de finalización de trabajos, el cliente creerá tener derecho al tiempo extra asociado al margen para darle otros usos, incurriendo en riesgos.

La primera opción parece ser la más práctica pues evita explicaciones fatigosas, pero es también la que desperdicia las posibilidades de optimización; la segunda requiere del cliente cierta madurez en la gestión de riesgos que no es muy común encontrar.

La próxima vez que leamos un cronograma preguntémonos: ¿está hecho para aprovechar las oportunidades o está hecho para protegerse? ¿Aceptaría un margen de contingencia a cambio de un cronograma más corto, aunque eso no signifique necesariamente la terminación más temprana?

Análisis de riesgos PERT

La Técnica de Revisión y Evaluación de Programas es históricamente la primera que incorpora un análisis probabilístico de la variabilidad de las duraciones del programa, toma la Ruta Crítica del plan y calcula el valor esperado (la esperanza matemática, la media probabilística) de su duración total, así como la desviación estándar asociada, lo que le permite inferir intervalos de confianza (medidos principalmente por el número de desviaciones estándar a partir de la media) y establecer márgenes de protección e hitos para el proyecto.

Se basa en que las duraciones de las actividades individuales son aleatorias y, para inferir la función de distribución de probabilidades de cada una, propone los siguientes ejercicios para cada actividad:

- Estimar la duración límite inferior más allá de la cual solo existe un 1% de probabilidades de ocurrencia de una duración menor.
- Estimar la duración más probable.
- Estimar la duración límite superior más allá de la cual solo existe un 1% de probabilidades de ocurrencia de una duración mayor.

Estas estimaciones, denominadas optimista/más probable/pesimista, se obtienen por el juicio de expertos y la mejor información histórica disponible.

Luego, evalúa la media de la duración y la desviación estándar de las actividades usando la estimación de tres puntos mencionada y, con esa premisa, calcula la media y la desviación estándar de la duración total de la ruta crítica.

Las otras actividades (no críticas) y rutas secundarias no participan del cálculo y sus posibles impactos son ignorados.

Finalmente, conociendo la media y desviación estándar de la R.C. se podrán plantear intervalos de confianza para la duración total.

Análisis de riesgos - Montecarlo

El método de Montecarlo recoge una serie de procedimientos genéricos de aplicación en diversas áreas de las matemáticas y de la simulación de procesos, basados en la misma idea: generar una multitud de resultados para analizar estadísticamente la población e inferir probabilísticamente comportamientos futuros.

Para incluir la variabilidad de las duraciones de las actividades del cronograma, el método genera muchas instancias del cronograma donde cada una difiere de la otra en las duraciones particulares de sus actividades, y cada actividad tiene una duración aleatoria que depende de la función de probabilidades que se haya estimado adecuada (que hereda del análisis PERT la estimación de tres puntos para perfilar la función de densidad de probabilidades).

A la multitud de cronogramas aleatorios generados se les calcula la R.C. y algún parámetro particular dependiente de las duraciones (fechas, costos, márgenes, criticidades, etcétera), con lo que se genera una curva acumulativa de frecuencias de resultados que permite estimar intervalos de confianza para tomar decisiones.

Si se modela el comportamiento de las fechas de finalización o la duración del proyecto se pueden establecer los valores que, con un nivel de probabilidad adecuado, nos den la confianza suficiente como para comprometerlos frente al cliente.

El cronograma de ejecución *no* es ninguna de las instancias particulares generadas en el proceso, siempre es el que hemos modelado como caso base, el que muestra nuestro mejor estimado de ejecución

El margen, por su parte, es la diferencia entre el valor de alta fiabilidad *seleccionado* y el valor del caso base.

Este método requiere de un soporte informático adecuado para desarrollar el gran volumen de cálculos y datos a registrar. Da un tratamiento holístico al programa, tomando en cuenta todas las contribuciones de todas las actividades. Puede identificar las actividades que ocasionalmente son críticas y con qué frecuencia/probabilidad producen crisis, permitiendo un «rankeo» de criticidad (o de la frecuencia con la que una actividad forma parte de la R.C.) que guíe las acciones preventivas específicas. Puede aplicarse sobre otras variables asociadas a las duraciones con resultados similares.

Análisis de riesgos - Cadena Crítica

El método de la Cadena Crítica analiza los componentes y la estructura del programa para estimar el margen del proyecto.

Este margen está compuesto por los efectos de:

- La variabilidad típica de las duraciones.
- La alta variabilidad de actividades con incertidumbres.
- La variabilidad de la estructura en los puntos de integración.

El margen del proyecto se calcula tomando una fracción de la suma de la duración de la Cadena Crítica más las contribuciones de las actividades de alta variabilidad. La fracción depende del tipo de industria (valor por defecto 50%).

El margen de integración corresponde a los puntos donde cadenas secundarias se integran a la Cadena Crítica y no se ha podido mitigar o eliminar el retraso que inducen en la C.C.

Este método agrega significado al margen del proyecto pues su composición está especificada; es decir, se sabe qué cantidad ha sido generada por cuál componente del programa y su tipo de contribución, con lo que se puede monitorear si alguno de los componentes se comporta fuera de lo esperado, permitiendo acciones correctivas específicas.

También propone un método de monitoreo de consumo del margen.

Conformidad

Tal como se menciona en *Los procesos de la programación* (desarrollar el modelo del programa del proyecto), habrá que revisar finalmente el cronograma desarrollado para confirmar que cumple y es consistente con la mejores prácticas de la programación.

También debe incluir nuestras líneas estratégicas y los márgenes de protección que hayamos determinado que nos permitirán trabajar en el nivel de riesgo/confort seleccionado para el proyecto. Además, los datos del modelo deben estar debidamente registrados.

Una herramienta útil para este tipo de contrastes son las listas de verificación, una de las cuales se muestra en la figura 12. Consisten en una serie de preguntas-tema para evaluar el cronograma y asegurar que el modelo de los trabajos es el correcto y que responderá a los requerimientos de la gestión.

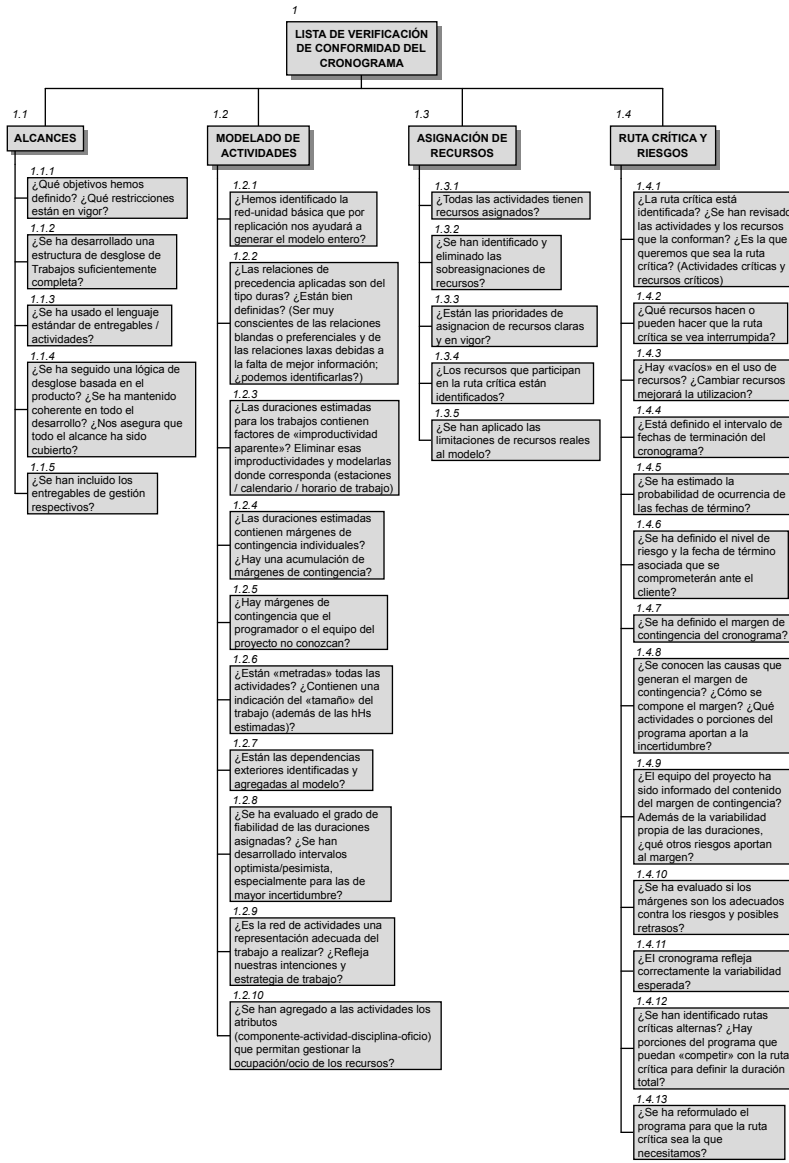
Las listas de verificación no son una patrón fijo al que hay que ceñirse obligatoriamente, son más un recordatorio de temas que deben estar resueltos y bajo control para asegurar que el cronograma es una buena herramienta de gestión.

El programa, aunque contiene datos del proyecto que no podemos soslayar, debe mostrarnos la mejor estimación del trabajo por hacer, las interrelaciones entre sus partes, etcétera. Debe mostrar sobre todo nuestro plan, nuestras decisiones de cómo abordar el trabajo ordenadamente y cómo terminarlo del mismo modo. El cronograma debe contener todo aquello que juzguemos útil para esos propósitos.

El PMI, en su *Practice Standard for Scheduling* (2007), ha desarrollado detalladamente un modelo de los diversos componentes de un cronograma e incluye una lista de verificación de conformidad que incorpora una valoración (puede generar un índice de conformidad basado en ella) de contraste ante el mismo estándar. Esta lista está muy orientada al aspecto «técnico» de la información y datos que el cronograma (modelo) debe contener.

La lista que presentamos en el recuadro está más orientada a verificar o asegurar que el cronograma refleje nuestro planteamiento del trabajo. Se entiende que el cronograma será uno correctamente desarrollado, con las dependencias correctas, con las duraciones correctas, etcétera, pero buscamos asegurar que el cronograma muestre cómo pensamos lograr los entregables y sea capaz de alertarnos con anticipación sobre eventualidades y sus impactos venideros.

Figura 12. Lista de verificación de conformidad



Desarrollo del cronograma

La EDT de diseño (orientada al producto) de nivel 1 para un proyecto de construcción de instrumentación tendría el aspecto de la primera línea de la figura 13, donde Obras Comunes se refiere a instalaciones que sirven a varias funcionalidades a la vez; por ejemplo, las rutas generales de zanjas por donde discurren cables del SCD, del SPE, de F&G, de telecomunicaciones; la generación/suministro eléctrico para alimentar los equipos; las edificaciones para salas/subestaciones, etcétera. Algunas de ellas no dependerán del equipo de construcción de instrumentación y, en ese caso, serán restricciones a tener en cuenta.

En el tiempo, estos entregables se inician tempranamente porque son la superestructura sobre la cual las otras funcionalidades continuarán su construcción. En algunos casos, las Obras Comunes se programan como una *fase previa y separada* de trabajos de instrumentación. El cronograma tomaría la forma de la figura 14.

Figura 13. EDT de diseño (niveles segundo y tercero)

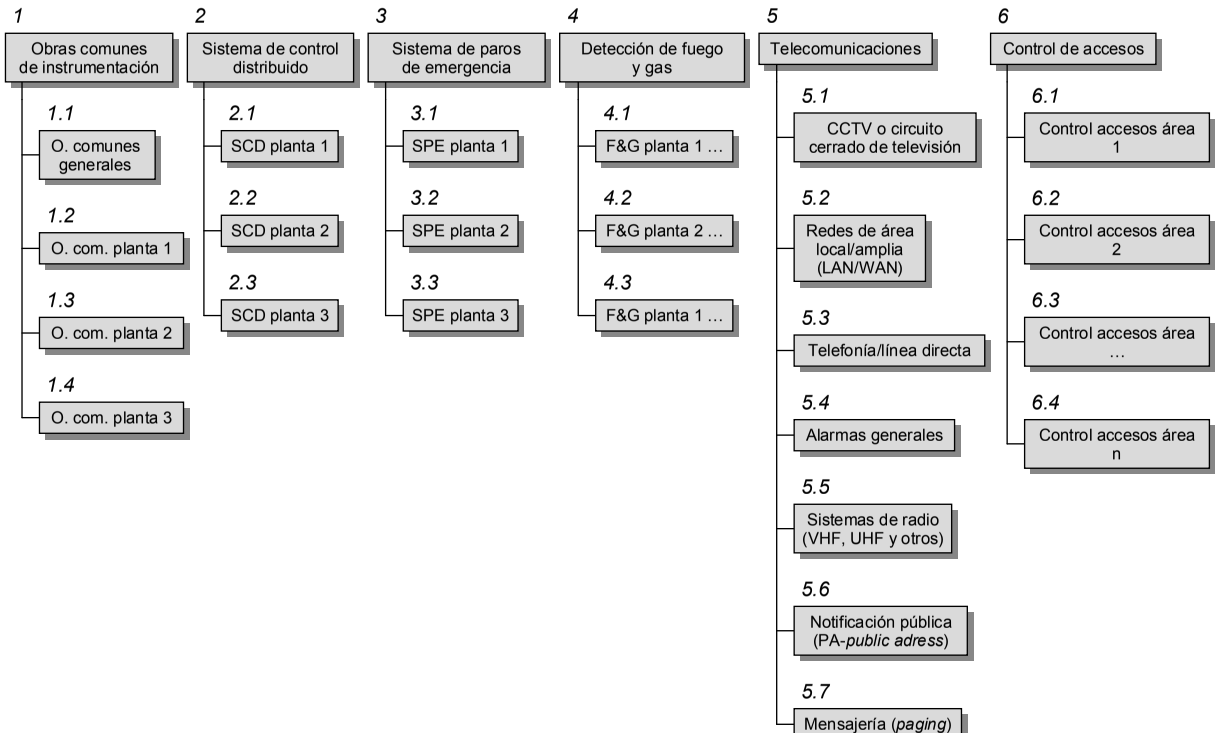
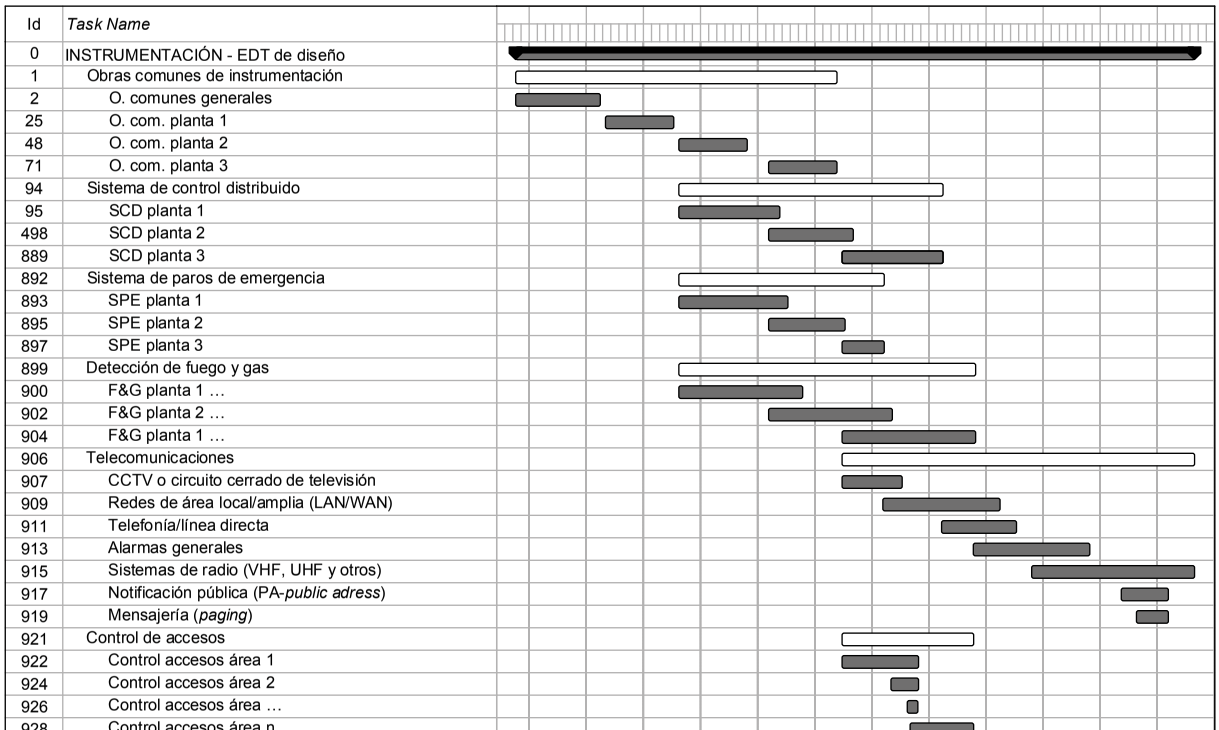


Figura 14. Cronograma típico de instrumentación, EDT de diseño (niveles primero, segundo y tercero)



Id	*Task Name*
0	INSTRUMENTACIÓN - EDT de diseño
1	Obras comunes de instrumentación
2	O. comunes generales
25	O. com. planta 1
48	O. com. planta 2
71	O. com. planta 3
94	Sistema de control distribuido
95	SCD planta 1
498	SCD planta 2
889	SCD planta 3
892	Sistema de paros de emergencia
893	SPE planta 1
895	SPE planta 2
897	SPE planta 3
899	Detección de fuego y gas
900	F&G planta 1 …
902	F&G planta 2 …
904	F&G planta 1 …
906	Telecomunicaciones
907	CCTV o circuito cerrado de televisión
909	Redes de área local/amplia (LAN/WAN)
911	Telefonía/línea directa
913	Alarmas generales
915	Sistemas de radio (VHF, UHF y otros)
917	Notificación pública (PA-*public adress*)
919	Mensajería (*paging*)
921	Control de accesos
922	Control accesos área 1
924	Control accesos área 2
926	Control accesos área …
928	Control accesos área n

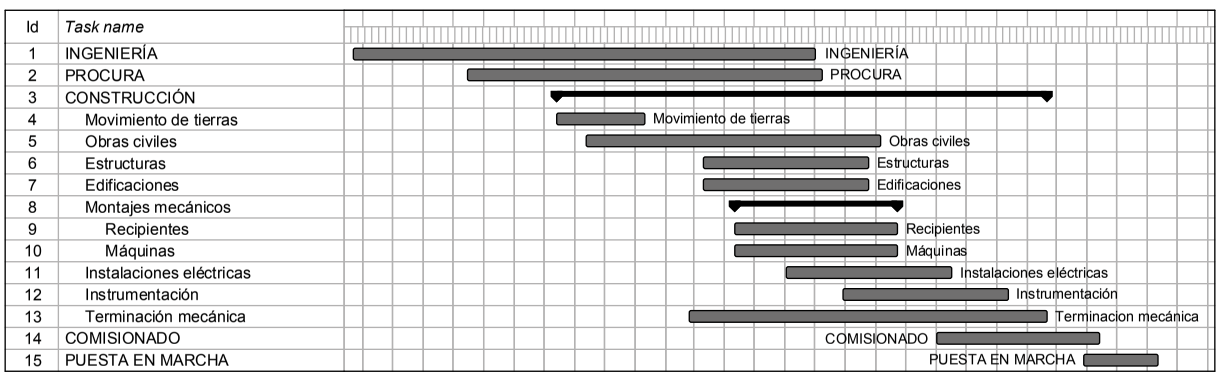
En el segundo nivel vemos aparecer una descomposición geográfica de cada funcionalidad impuesta por los respectivos diseños, de manera que en realidad es parte de un enfoque de EDT orientado al producto. Estas secuencias internas son en general discrecionales.

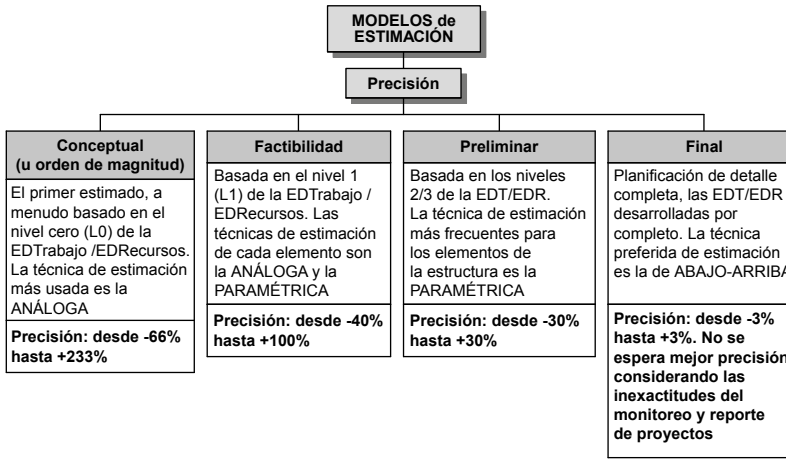
Aquí aparecen las primeras restricciones o *relaciones externas* con otras especialidades, pues dada la naturaleza de los trabajos de construcción de instrumentación se requiere que la mayor parte de las otras especialidades constructivas estén terminadas o muy avanzadas. Esto se aplica en general para todas y hay una secuencia más o menos «natural», como se ve en el diagrama de la figura 15.

A este nivel, las relaciones de precedencia con las actividades previas son todavía muy difusas, pero es necesario empezar a considerarlas; además, los entregables son aún complejos y amplios, y es muy difícil establecer estimaciones precisas de duración, costos y necesidades de recursos. Salvo estimaciones de tipo conceptual/análogo (con sus limitaciones[1] en precisión), no podrá hacerse nada mejor. Al mismo tiempo, ya aparecen las relaciones con las actividades posteriores, en particular la «Terminación Mecánica» y el proceso de comisionado, que suelen tener fechas de término contractualmente establecidas y cuyo incumplimiento puede traer consecuencias económicas importantes. Debido a ello, su efecto se propaga en general «corriente arriba», sobre todo por la presión que ejerce la dirección del proyecto (y el cliente) para el cumplimiento de los plazos comprometidos.

[1] Ver Rad, Parviz F. (2002). Estimating models, Accuracy. En *Project Estimating and Cost Management* (pp. 47-50). Vienna, Virginia: Managemente Concepts. Revisar: Estimating Models. Initial Estimates: error esperado de estimación conceptual: -66%/+233%, estimación análoga: -40%/+100%.

Figura 15. Cronograma típico de proyecto, organizado por disciplinas





Nota: el nivel de desglose de alcances geográficos o por plantas puede requerir un mayor nivel de detalle —por sub áreas— dependiendo de la extensión considerada o las diferencias físicas de los trabajos. Por ejemplo, un área muy extendida (digamos, «Salas de Control Local») puede requerir una subdivisión basada en los edificios: Sala de Control Local 1, SCL 2, etcétera). Una planta puede contener un equipo principal, trabajos a nivel del piso y otros componentes en altura (lo que podría sugerir el uso de las diferencias en las dificultades específicas para agrupar los trabajos «instrumentación en el recipiente tal», «instrumentación a nivel del piso», «instrumentación en la elevación EL XXXXX», etcétera); aun más, puede darse el caso de que las condiciones de seguridad sean tan disímiles —como en el caso de interconectar una obra nueva con otra que está en servicio— que haya la necesidad de darles tratamientos separados («instrumentación en estructura nueva», «instrumentación en Parada de Planta» e «instrumentación con la planta en operación»). La recomendación será siempre que el nivel de desglose debe mostrar las agrupaciones de trabajo («frentes» de trabajo) que nos lleven a los últimos niveles de control; es decir, los paquetes de trabajo o work packages, *tal y como serán asignados a los responsables de ejecutarlas*.

El cronograma del *comisionado* debe reflejar los sucesivos comisionados de las funcionalidades/sistemas/subsistemas de la figura 14. Al decir esto, se debe agregar que, si bien la figura mencionada se refiere a los trabajos de instrumentación, los sistemas y subsistemas incluyen todas o varias especialidades diferentes y se comisionan al estar *todas* las especialidades terminadas; los sistemas/subsistemas de proceso, en particular, llevan ligados componentes mecánicos (tuberías, equipos, recipientes, etcétera) que están muy interrelacionados con los de instrumentación.

Dentro de las actividades de comisionado hay relaciones de precedencia que no pueden evitarse, puesto que los sistemas/subsistemas se van apoyando en otros ya previamente puestos en servicio para poder concluirse y comisionarse. Por ejemplo, las pruebas de equipos energizados eléctricamente (instrumentación incluida) requieren del sistema de distribución de potencia eléctrica o del subsistema correspondiente, ya terminado y funcional; en caso contrario, requeriría de un sistema de distribución o de suministro eléctrico alterno —que significaría un consumo de recursos adicionales—.

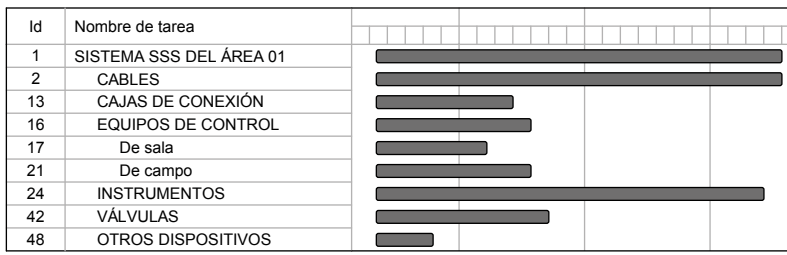
Aparecen entonces una serie de fechas de restricción a las fechas de fin de construcción de los sistemas y subsistemas que se van encadenando de acuerdo al proceso que se haya previsto para el comisionado (ver texto sobre *pre comisionado*/*comisionado* bajo el subtítulo *Fases de la construcción* y notas asociadas).

Pero la estructura de desglose (orientada al producto), que nos asegura que cubrimos los alcances del proyecto, muestra una orientación diferente. ¿Cómo alinear ambas visiones?

El cronograma mostrado (figura 15) podría ser útil para las estimaciones más tempranas (y con mayor margen de imprecisión) de las duraciones y costos del proyecto, *pero no para la construcción*. No es posible desarrollar una métrica eficiente de control con un cronograma de esas características y las responsabilidades son difusas.

Continuando con el proceso de desglose de los entregables, tomemos la parte de una funcionalidad o sistema confinada a un área o planta, tal como la figura 10 ejemplifica. El cronograma sería similar al de la figura 16, donde aparecen actividades agrupando trabajos similares, los mismos que se pueden asignar a cuadrillas de disciplina: grupos de tendido de cables, grupos de montaje mecánico de instrumentos, grupos de montaje de equipos de control, etcétera. Como cada cuadrilla de disciplina es independiente de las otras disciplinas, las actividades pueden ejecutarse en simultáneo sin estorbarse; y, aunque existen relaciones de precedencia, todavía son difusas.

Figura 16. Cronograma típico de un sistema (la parte incluida en una sola planta o unidad), EDT por tipo de componente



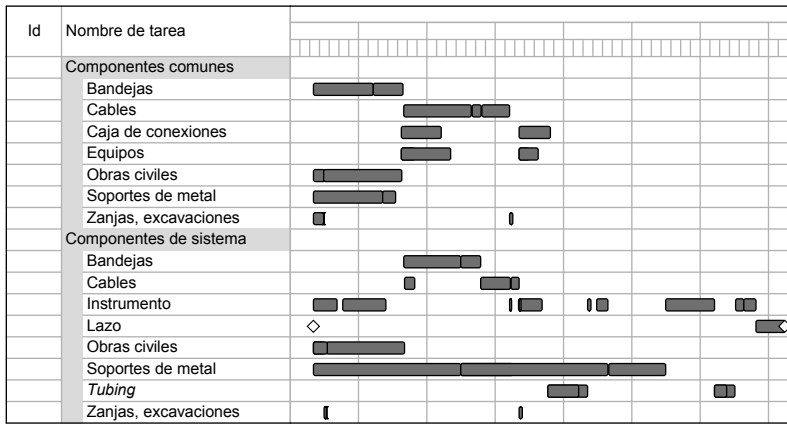
Nota: el cronograma equivalente para las llamadas obras comunes (ver figuras 13 y 14) o actividades tempranas de la construcción de instrumentación incluirían un grupo reducido de tipos de componentes en sus alcances. Probablemente se referirían solamente a los cables (en particular a los multicables y, de ellos, los que comparten rutas con otros) y a las cajas de conexión y equipos asociados a esos cables*, de modo que los tendidos en rutas compartidas (ya sean subterráneas o aéreas) serán bastantes comunes en estas etapas y, por el contrario, los tendidos individuales serán más comunes en etapas constructivas posteriores*.

Las listas de control, que contienen los *tags* de cada tipo y su respectivo metrado, pueden empezar a usarse para desarrollar estimaciones

tipo abajo-arriba, mejorando considerablemente los márgenes de error, aunque los entregables (*cables*, por ejemplo, incluye excavaciones, obras civiles, tendidos de cables enterrados, pruebas de cables, montaje de soportería y bandejas, tendidos aéreos de cable) todavía son demasiado complejos para asignarlos con sencillez y controlarlos con comodidad.

Un cronograma que toma en cuenta los trabajos de componentes comunes y componentes de sistema es como el de la figura 17, donde se ha iniciado la separación de los componentes propios/no propios, incrementando el nivel de detalle:

Figura 17. Cronograma de un sistema, EDT por fases y tipos de componente



El siguiente nivel natural de detalle por debajo de los tipos de componentes es, normalmente, el de los componentes individuales, es decir los *tags*, los cuales serían mostrados componente por componente en el cronograma. Esto nos retorna a las discusiones iniciales en torno al *planteamiento del problema*, donde se sostiene que el siguiente nivel a considerar debe ser el de los subsistemas. La figura 9 nos da una idea de esta prolongación de la estructura de desglose, mientras que el cronograma sería muy similar al de la figura 16, con la diferencia

de que algunos tipos de componentes empezarían a desaparecer e independizarse en subsistemas separados. Esto es así porque los subsistemas terminan usando componentes comunes del sistema mayor; por ejemplo, las señales de proceso pasan por el cable individual y la caja de conexiones para ser llevadas desde el sensor de proceso. Probablemente, luego serán llevadas por un multicable que da «servicio» a varios subsistemas o incluso sistemas y que se conecta a un equipo que también da servicio a varios sistemas. El tema del componente común continúa mostrándose en varios niveles.

Nota: dependiendo del tamaño de la obra puede que el nivel de desglose referido a los subsistemas no sea necesario.

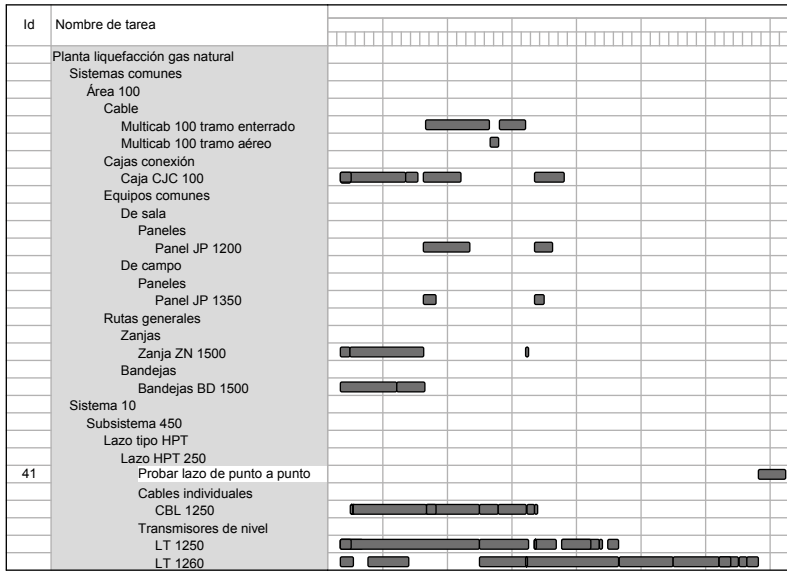
Si revisamos hasta este punto, veremos que aun no aparecen las relaciones lógicas obligatorias para la construcción (qué componentes son requeridos «antes» de que otro componente se inicie). Por el momento, las relaciones encontradas son laxas en el sentido de que dan una idea aproximada de la secuencia, pero *aún no son suficientes para dar soporte a la programación adecuada*, aún no pueden asignarse ni controlarse con la debida claridad y precisión.

El próximo nivel a usar es el propuesto «lazo de control».

La figura 18 nos muestra un caso genérico de lazo junto con los niveles superiores del diseño del sistema o funcionalidad; lo importante es observar que los componentes comunes serán compartidos con otros lazos y los componentes de sistema serán específicos del lazo. La replicación de similares lazos en los diferentes subsistemas nos asegurará que cubrimos los alcances requeridos para la construcción, que es uno de los requisitos de una correcta definición de alcances del proyecto; es decir, a este nivel, podemos ya establecer unos niveles de control de alcances adecuados suficientemente específicos para asegurar que sabemos el estado de construcción de cada una de las unidades mínimas de diseño; además, podremos ver cómo cada lazo progresa

y se termina y, por medio de la acumulación de esos progresos en los niveles de agrupamiento del diseño superiores, controlaremos el estado de subsistemas, sistemas y funcionalidades.

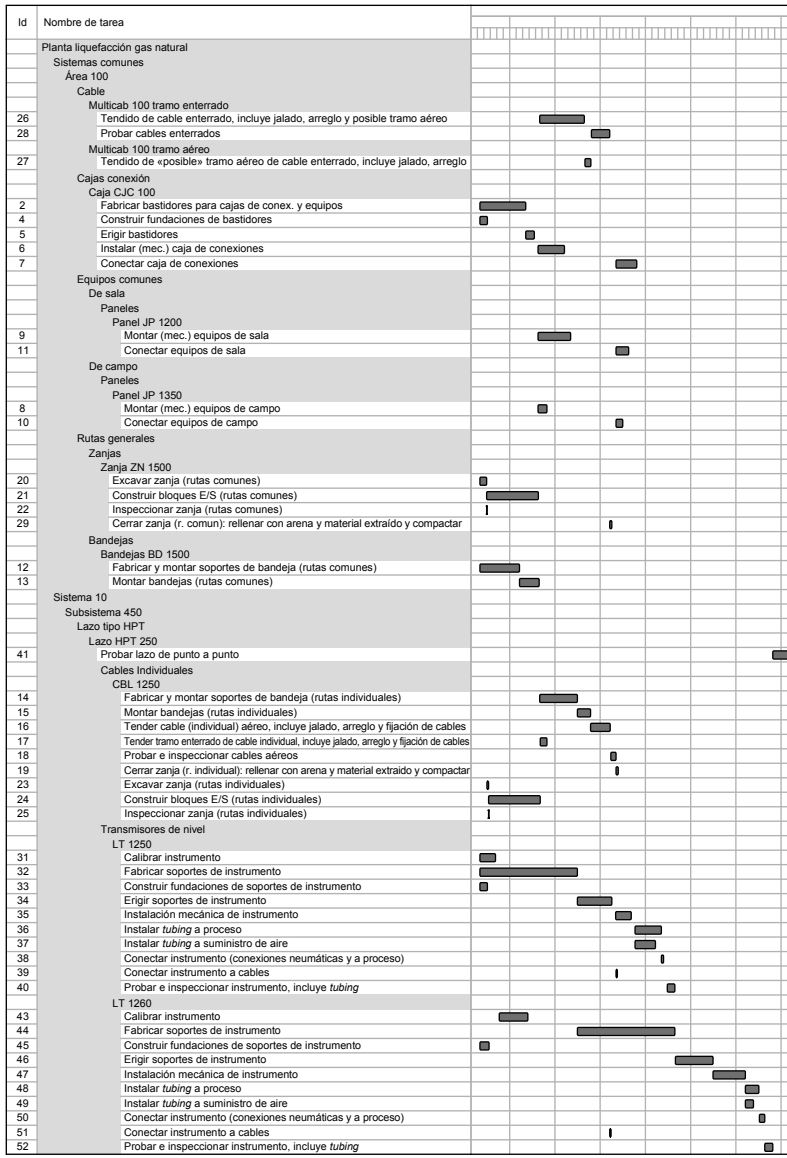
Figura 18. Cronograma ejemplo de un lazo de control, EDT por fases y componentes



Sin embargo, aún tenemos problemas con las asignaciones a los responsables, pues los componentes contienen varias actividades de varias disciplinas. Las relaciones de precedencia «duras» aún no están a la vista.

Aunque cada *tag* podría ser el último nivel de componente (desde el punto de vista de diseño) o *work package*, todavía encontramos posibilidades útiles de desglose. En este caso podemos ver un ejemplo en la figura 19, que muestra las actividades de construcción de componentes hasta el nivel de detalle de componentes propios/no propios.

Figura 19. Cronograma ejemplo de lazo de control, de último nivel



Las relaciones de precedencia entre las diversas actividades (no mostradas para no disminuir la visibilidad) son las mismas que se encuentran en la figura 6; es decir, aquí ya tenemos incluidas las relaciones lógicas obligatorias.

Con esto logramos (requisito imprescindible) que cada actividad puede ser asignada a una subdisciplina, con lo que se clarifican y separan las responsabilidades. También cada una de ellas puede ser medida o se le puede asignar una unidad de medida física («metrado») coherente.

Revisando lo indicado en la sección *Planteamiento del problema*, el cronograma típico sugerido debe contrastarse con los requisitos indicados, que ahora repetimos resumidos:

- Estará basado en la EDT orientada al producto.
- Incluirá *todas* las actividades necesarias y una actividad no debe requerir de más de una subdisciplina para su ejecución.
- *Todas* las disciplinas u oficios deben tener actividades asignadas.
- Debe contener todas las relaciones de precedencia *obligatorias*.
- No debe contener relaciones de precedencia *preferenciales*.

Importante: en el ejemplo mostrado en las figuras 18 y 20 se han introducido relaciones de precedencia preferenciales *entre las actividades de los instrumentos LT 1250 y 1260 con el fin de hacer el ejemplo más verosímil. Cuál instrumento se instala primero que el otro es una cuestión de preferencia del programador o, en última instancia, del responsable del montaje. El enfoque está a nivel de lazo,* no de instrumento.

La particularización de este cronograma para representar cada lazo de control del diseño nos permitirá representar todos los trabajos requeridos en la construcción; es decir, la identificación de cada cable individual, ruta enterrada/aérea, equipo de control, instrumento (de acuerdo a cada tipo —con/sin conexión al proceso—), etcétera; mientras que la posterior integración en una sola estructura de desglose representarían la definición de alcances necesaria. Este trabajo —la particularización e integración del conjunto de estructuras de desglose

de todos los lazos de control— resultará ser ingente para un proyecto importante.

Lo que se propone es usar una estructura típica de desglose donde la particularización de cada lazo se logre por medio de particularizar los «metrados» o cantidades de las actividades típicas. Las listas de control, como las de los Anexos B y C, son fundamentales para tal fin. Con estas listas se llevará el nivel de control hasta el nivel *tag* y se podrá particularizar cada lazo, asignando y acumulando cantidades, duraciones y horas hombre para cada actividad.

En la figura 20 puede verse un ejemplo de esta descomposición de un lazo de control en sus actividades elementales, donde se ha agregado la clasificación correspondiente a la subdisciplina de cada actividad y se muestran ejemplos de «metrado» y unidades de medida, así como clasificaciones por área geográfica.

Como se observa, no se muestran actividades o «metrados» referidos a componentes individuales (cable multipar de un *tag* específico, la caja de conexiones JB XXX, etcétera), sino que las actividades se refieren al contenido entero del lazo de control en el atributo respectivo. Por ejemplo, leemos:

- En «Sistemas Comunes/Área 100/Cable» (ID 26): 750 metros lineales de «tendido de cable enterrado…», lo que puede referirse a varios cables tendidos en zanja cuya suma de longitudes (sección subterránea) resulta ser de 750 metros. Al menos uno de los pares (si son multicables) da servicio al lazo HPT 250.
- En «Sistemas Comunes/Área 100/Equipos Comunes» (ID 9): se ven 5 EA de «montar (mecánicamente) equipos de sala» para indicar que se montarán cinco equipos dentro de una sala.

Recordar que la identificación específica y el seguimiento de estado de cada componente de un lazo de control se hacen en las listas de control.

El campo «tamaño» queda reservado para especificar algún atributo adicional en caso no sea posible integrar los componentes en una sola línea.

La identificación específica y seguimiento de estado de cada componente de lazo de control se hace en las listas de control.

Figura 20. Cronograma de lazo típico, desglose por tipo de componente

Id	Nombre de tarea	Fase	Disciplina	Sub disciplina	Cantidad	Unidad medida	Tamaño	Área	Sub área
	Planta liquefacción gas natural				3498.5				
	Sistemas comunes				2122.5				
	Area 100				2122.5				
1	Inicio subsistema	C. comunes	INS		0			100	110
3	Fin obras comunes de subsistema	C. comunes	INS		0			100	110
	Cable				876				
	Multicab 100 tramo enterrado				796				
26	Tendido de cable enterrado, incluye jalado, arreglo y posible tramo aéreo	C. comunes	INS	TEC	750	M		100	110
28	Probar cables enterrados	C. comunes	INS	PIN	46	Cond		100	110
	Multicab 100 tramo aéreo				80				
27	Tendido de «posible» tramo aéreo de cable enterrado, incluye jalado, arreglo	C. comunes	INS	TAC	80	M		100	110
	Cajas conexión				722.5				
	Caja CJC 100				722.5				
2	Fabricar bastidores para cajas de conex. y equipos	C. comunes	INS	FMB	350	Kg		100	100
4	Construir fundaciones de bastidores	C. comunes	INS	OCI	4.5	M3		100	110
5	Erigir bastidores	C. comunes	INS	FMB	350	Kg		100	110
6	Instalar (mec.) caja de conexiones	C. comunes	INS	MMCC	9	EA		100	110
7	Conectar caja de conexiones	C. comunes	INS	CON	9	EA		100	110
	Equipos comunes				16				
	De sala				10				
	Paneles				10				
	Panel JP 1200				10				
9	Montar (mec.) equipos de sala	C. comunes	INS	MME	5	EA		100	110
11	Conectar equipos de sala	C. comunes	INS	CON	5	EA		100	110
	De campo				6				
	Paneles				6				
	Panel JP 1350				6				
8	Montar (mec.) equipos de campo	C. comunes	INS	MME	3	EA		100	110
10	Conectar equipos de campo	C. comunes	INS	CON	3	EA		100	110
	Rutas generales				508				
	Zanjas				348				
	Zanja ZN 1500				348				
20	Excavar zanja (Rutas comunes)	C. comunes	INS	ECZ	75	M3		100	110
21	Construir bloques E/S (rutas comunes)	C. comunes	INS	OCI	48	Dct		100	110
22	Inspeccionar zanja (rutas comunes)	C. comunes	INS	PIN	150	M		100	110
29	Cerrar zanja (r. comun): rellenar con arena y material extraído y compactar	C. comunes	INS	ECZ	75	M3		100	110
	Bandejas				160				
	Bandejas BD 1500				160				
12	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas comunes)		INS	FMSB	80	M		100	110
13	Montar bandejas (rutas comunes)		INS	MBC	80	M		100	110
	Sistema 10				1376				
	Subsistema 450				1376				
	Lazo tipo HPT				1376				
	Lazo HPT 250				1376				
30	Inicio lazo - comp. de sistema	C. de sistema	INS		0			100	110
41	Probar lazo de punto a punto	C. de sistema	INS	PIN	7	EA		100	110
42	Fin de lazo	C. de sistema	INS		0			100	110
	Cables individuales				550				
	CBL 1250				550				
14	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas individuales)	C. de sistema	INS	FMSB	75	M		100	110
15	Montar bandejas (rutas individuales)	C. de sistema	INS	MBC	75	M		100	110
16	Tender cable (individual) aéreo, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	C. de sistema	INS	TAC	95	M		100	110
17	Tender tramo enterrado de cable individual, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	C. de sistema	INS	TAC	95	M		100	110
18	Probar e inspeccionar cables aéreos	C. de sistema	INS	PIN	36	Cond		100	110
19	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	C. de sistema	INS	ECZ	75	M3		100	110
23	Excavar zanja (rutas individuales)	C. de sistema	INS	ECZ	25	M3		100	110
24	Construir bloques E/S (rutas individuales)	C. de sistema	INS	OCI	24	Dct		100	110
25	Inspeccionar zanja (rutas individuales)	C. de sistema	INS	PIN	50	M		100	110
	Transmisores de nivel				819				
	LT 1250				409.5				
31	Calibrar instrumento	C. de sistema	INS	CAL	12	EA		100	110
32	Fabricar soportes de instrumento	C. de sistema	INS	FMSI	145	Kg		100	110
33	Construir fundaciones de soportes de instrumento	C. de sistema	INS	OCI	0.5	M3		100	110
34	Erigir soportes de instrumento	C. de sistema	INS	FMSI	145	Kg		100	110
35	Instalación mecánica de instrumento	C. de sistema	INS	MMI	12	EA		100	110
36	Instalar *tubing* a proceso	C. de sistema	INS	MTU	35	M		100	110
37	Instalar *tubing* a suministro de aire	C. de sistema	INS	MTU	24	M		100	110
38	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	C. de sistema	INS	CON	12	EA		100	110
39	Conectar instrumento a cables	C. de sistema	INS	CON	12	EA		100	110
40	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	C. de sistema	INS	PIN	12	EA		100	110
	LT 1260				409.5				
43	Calibrar instrumento	C. de sistema	INS	CAL	12	EA		100	110
44	Fabricar soportes de instrumento	C. de sistema	INS	FMSI	145	Kg		100	110
45	Construir fundaciones de soportes de instrumento	C. de sistema	INS	OCI	0.5	M3		100	110
46	Erigir soportes de instrumento		INS	FMSI	145	Kg		100	110
47	Instalación mecánica de instrumento	C. de sistema	INS	MMI	12	EA		100	110
48	Instalar *tubing* a proceso	C. de sistema	INS	MTU	35	M		100	110
49	Instalar *tubing* a suministro de aire	C. de sistema	INS	MTU	24	M		100	110
50	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	C. de sistema	INS	CON	12	EA		100	110
51	Conectar instrumento a cables	C. de sistema	INS	CON	12	EA		100	110
52	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	C. de sistema	INS	PIN	12	EA		100	110

Los campos «área», «sub área» y «ubicación» permitirán asignar la localización geográfica de los trabajos.

Nota: los componentes lineales como cables y rutas de cable (zanjas o bandejas) son particularmente confusos al momento de asignarles una localización geográfica, dado que se pueden extender por más de un área. Se recomienda adoptar una convención que se mantenga en uso a lo largo del proyecto; por ejemplo, convenir en que los cables se asignarán al área delegada, considerando que los cables «parten» de las salas y «van» hacia los instrumentos (independientemente de la dirección de transporte de la señal). Lo mismo se aplicaría a las zanjas.

La integración de todos los lazos de control del diseño del proyecto mostrará una estructura similar a la figura 9, pero incluyendo un nivel superior de agrupamiento que separe la fase constructiva de los componentes comunes de la fase constructiva de los componentes de sistema.

Los cronogramas de los componentes comunes se integrarán y consolidarán para simplificarlos y evitar repeticiones.

En la figura 21 vemos un ejemplo limitado de la integración mencionada consistente en nueve lazos de control agrupados en tres subsistemas (tres lazos hipotéticos cada uno) que, a su vez, podrían integrar un sistema. Cada uno de los lazos mostrados incluye un subconjunto de entregables menores similares a los mostrados en la figura 16, con la misma codificación con respecto a su ubicación geográfica, «metrados», tipos de componente y subdisciplinas ejecutantes.

Estos mismos trabajos, al ser presentados y organizados por fase, tipos de componentes y subdisciplinas se mostrarían como se ve en la figura 22.

Hay que notar que los lazos de control y los subsistemas están programados en simultáneo, sin considerar ninguna restricción a la cantidad de recursos disponibles.

Figura 21. Cronograma de sistema típico, desglose por fase y componente de diseño

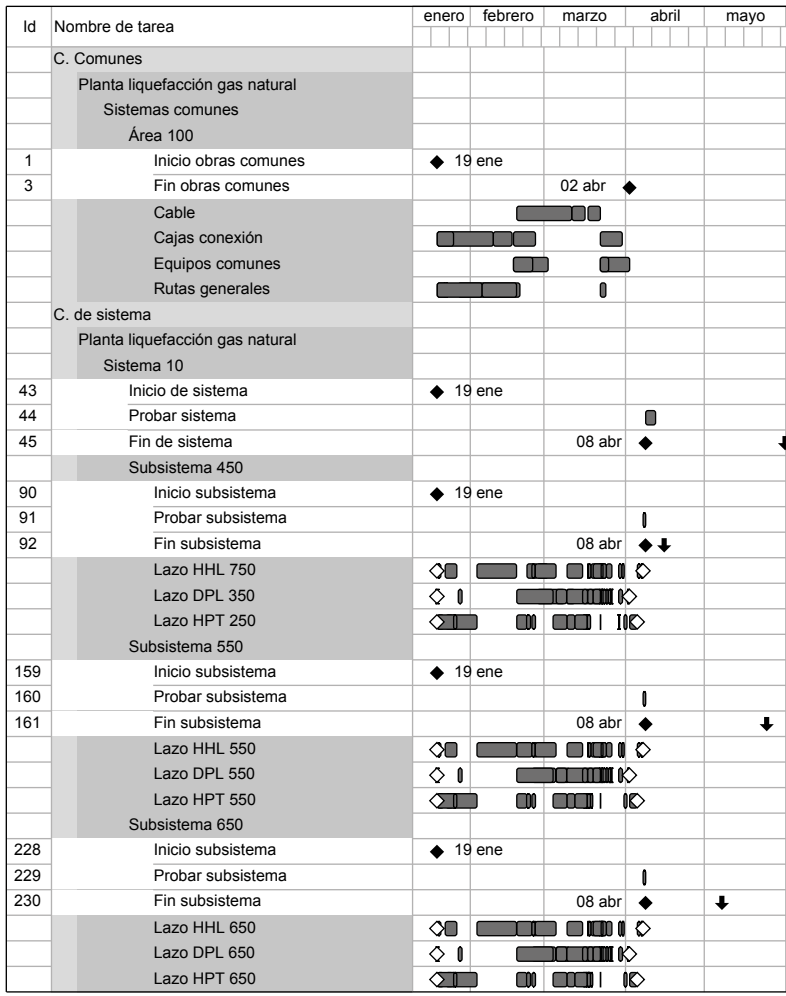
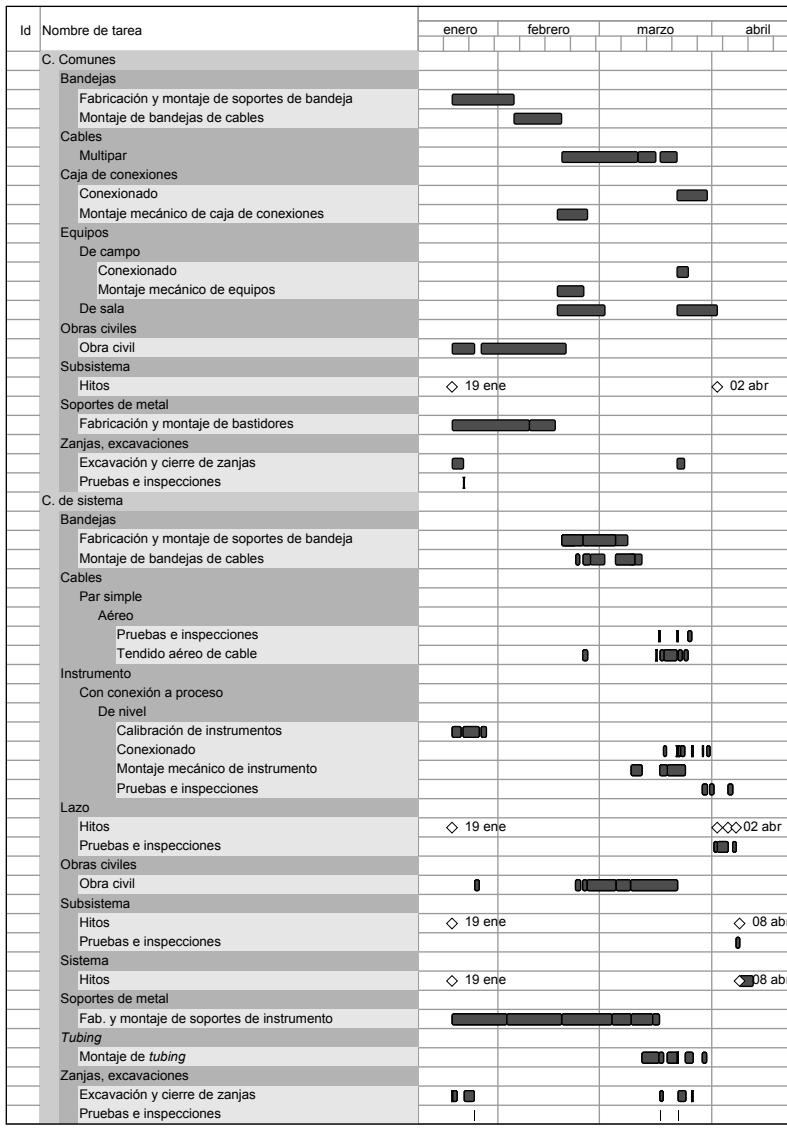


Figura 22. Cronograma de sistema típico, desglose por fase, tipo de componente y subdisciplina



Finalmente, si ahora consideramos que las actividades de subdisciplina son ejecutadas por una misma cuadrilla o cuadrillas con las mismas capacidades técnicas (habilidades, conocimientos), podríamos reorganizar la información disponible para mostrar las necesidades de recursos a aplicar para cada caso. Es decir, si lográsemos mostrar todas las actividades asociadas a un tipo de cuadrilla (subdisciplina) en un solo cronograma, seríamos capaces de controlar los índices de ocupación/ocio de cada cuadrilla, con lo que tendríamos control sobre su productividad y, lo que es más importante aún, sobre su «improductividad». A la inversa, dependiendo de las fechas de terminación exigidas por los procesos de terminación y comisionado de los sistemas/subsistemas, también estaremos en posición de identificar necesidades de cuadrillas múltiples trabajando en paralelo para lograr metas temporales.

Dado que hemos logrado establecer la ruta:

Oficio <--> Actividad Típica <--> Componente (*tag*) <--> Área

Mencionada en: *Estimación de recursos - identificación de subdisciplinas* (aunque en orden inverso), podremos mostrar el mismo cronograma de sistema, esta vez organizado por fases y subdisciplinas (cuadrillas tipo). Ver figura 23, donde por primera vez se muestra la ruta crítica del programa (barras en gris), y observamos que dicha ruta está mayormente contenida en la fase de construcción de componentes comunes y, en general, asociada a trabajos de tendido de cables.

Ahora tomemos, por ejemplo, el desglose de último nivel de una subdisciplina. Podremos observar las necesidades de personal (cantidad de cuadrillas) para mantener el ritmo de ejecución, a la vez que podremos observar los periodos de inactividad en los que podremos trasladar las cuadrillas a otros frentes y evitar los tiempos ociosos.

Dado que las cuadrillas se asignan normalmente con criterios geográficos (la cuadrilla de tal tipo del área tal o del sector tal), será muy conveniente poder disponer de un cronograma de cada subdisciplina de cada área o sector. Este cronograma debe mostrar las actividades de subdisciplina identificando la fase de la construcción,

en caso sea necesario considerar las implicancias temporales de dichas fases. Ver figura 24 (notar las fases de la subdisciplina).

Observemos también que, al no haber realizado ninguna actividad de programación o limitación de recursos, las actividades aparecerán con fechas de inicio determinadas por la lógica interna (secuencia o lógica «dura») de la construcción de los lazos de control. Eso debe llevarnos a un escenario con actividades simultáneas y paros o discontinuidades en las actividades para la cuadrilla o subdisciplina en cuestión. Por ejemplo, para la subdisciplina mostrada (ver figura 21), encontramos dos momentos claros de actividad en ambas fases de la construcción, probablemente con requerimientos de cuadrillas simultáneas. Se debe notar que, al no haber introducido restricciones de personal, este cronograma será *el de más corta duración posible* (siempre que las duraciones de las actividades estén adecuadamente estimadas), pues está regido por las restricciones constructivas solamente.

Figura 23. Cronograma de sistema típico, desglose por fase y subdisciplina (ver Anexo E para revisar cronograma detallado)

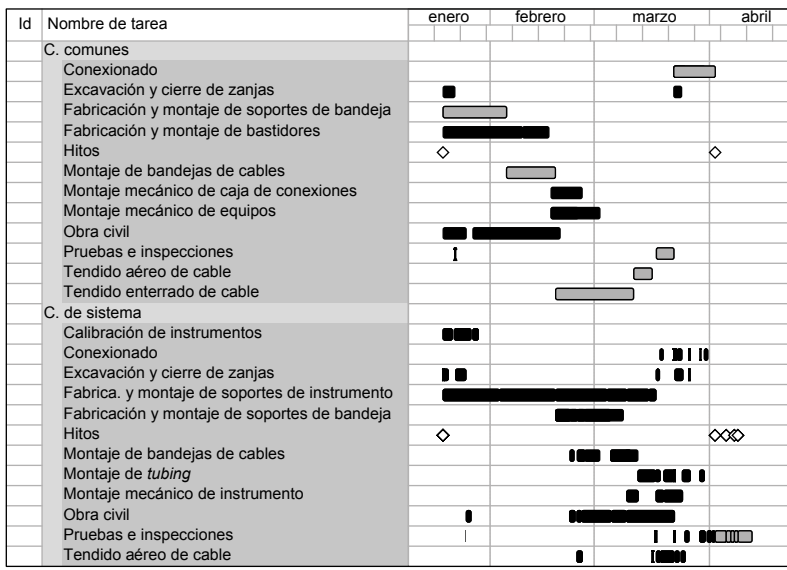
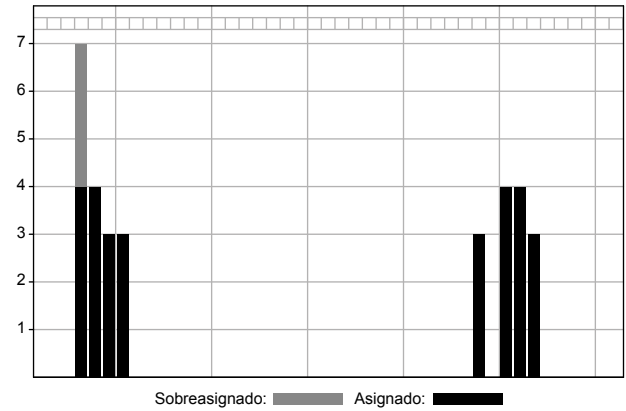


Figura 24. Cronograma de subdisciplina «excavación y cierre de zanjas», desglose por tipo de actividad y fase

Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Unidad proceso	Área	Sistema	Sub área	Ubicación	Subsistema	Lazo
	Excavación y cierre de zanjas		**1198**								
	C. comunes		**448**								
29	Cerrar zanja (r. comun): rellenar con arena y material extraído y compactar	18 h	223	M3	LG	100	00	110			
20	Excavar zanja (rutas comunes)	27 h	225	M3	LG	100	00	110			
	C. de Sistema		**750**								
19	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	450	HPT 250
98	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	550	HPT 250
167	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	650	HPT 250
51	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	18 h	75	M3	LG	100	10	110	HTR	450	HHL 750
120	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	18 h	75	M3	LG	100	10	110	HTR	550	HHL 750
189	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	18 h	75	M3	LG	100	10	110	HTR	650	HHL 750
73	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	450	DPL 350
142	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	550	DPL 350
211	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	650	DPL 350
23	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	450	HPT 250
99	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	550	HPT 250
168	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	650	HPT 250
52	Excavar zanja (rutas individuales)	14 h	75	M3	LG	100	10	110	HTR	450	HHL 750
121	Excavar zanja (rutas individuales)	14 h	75	M3	LG	100	10	110	HTR	550	HHL 750
190	Excavar zanja (rutas individuales)	14 h	75	M3	LG	100	10	110	HTR	650	HHL 750
74	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	450	DPL 350
143	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	550	DPL 350
212	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	10	110	HTR	650	DPL 350

¿Es este el mejor balance del costo/beneficio? Veamos las necesidades de personal para la vista anterior. Ver figura 25 (en el Anexo F se puede revisar el conjunto de necesidades de cuadrillas).

Figura 25. Necesidades de cuadrillas de «mov. tierra» (movimiento de tierras) para las actividades de subdisciplina «excavación y cierre de zanjas»



La respuesta, como siempre, dependerá de las prioridades en las usuales restricciones alcance-tiempo-costo. La disponibilidad del recurso en el mercado local/extranjero también afectará nuestras decisiones: ¿tenemos posibilidad de liberar/recuperar el recurso con facilidad? Y por supuesto, ¿cuál es el precio a pagar?[2]

Aquí aparece la lógica preferencial para definir secuencias de trabajo orientadas a optimizar los costos contra la duración.

[2] Para el ejemplo mostrado se ha considerado una asignación de recursos basada en cuadrillas, donde la cuadrilla ayuda a representar los frentes de trabajo que se definan. Las cuadrillas, compuestas de varios oficios, son diferentes para cada subdisciplina. Evidentemente, las duraciones de las actividades estarán basadas en la composición de la mano de obra de las cuadrillas asignadas.

Para desarrollar este proceso debemos usar los hitos de fin de construcción requeridos por los procesos de terminación mecánica y comisionado de las instalaciones (normalmente proporcionados por la organización dedicada al comisionado) para establecer la preferencia o prioridad de un sistema, subsistema o lazo de control sobre otro. Estas son las restricciones de tiempo.

Si regresamos a la figura 21 observaremos que a la derecha de cada subsistema y sistema hay una marca (flechas verticales) que puede dar ejemplo de fechas restrictivas para la terminación de cada caso.

Aparentemente, disponemos de holguras suficientes para concluir los trabajos y cumplir con las fechas requeridas sin problemas; sin embargo, ya hemos dicho que nuestro actual cronograma no incluye las restricciones de recurso de trabajo (mano de obra), ni hemos efectuado ninguna optimización del uso de recursos (eliminación de periodos ociosos), por lo que una reconsideración económica podrá hacer que nuestro plan de ejecución deba ser cambiado. Normalmente, este tipo de consideraciones llevan a extender el tiempo de ejecución y nunca a acortarlo. También las limitaciones de disponibilidad local de recursos pueden incrementar los costos más allá de lo estrictamente necesario.

La estrategia para estos casos es la programación de atrás para adelante; es decir, partiendo de la fecha límite de terminación se irán revisando las secuencias y duraciones de las actividades que están últimas en la secuencia definida por la lógica constructiva (dura) y *se irán agregando relaciones de precedencia de acuerdo a los recursos disponibles*. Estas relaciones pueden ser cambiadas luego, dado que solamente representan preferencias originadas por falta de disponibilidad de recursos o circunstancias de mercado o de la construcción que pueden y suelen cambiar. A continuación, el análisis se traslada a las actividades inmediatas anteriores en la secuencia y se van agregando las relaciones necesarias sucesivamente hasta hacer que el programa no exceda los recursos disponibles. El cumplimiento de las fechas de terminación

impuestas dependerá entonces de la cantidad de recursos disponibles y de los recursos que se puedan agregar a la obra, balanceando costo contra duración.

Hay que hacer notar que las aplicaciones informáticas más usuales para el manejo del cronograma no hacen distinción entre las relaciones de precedencia preferenciales y las relaciones de precedencia «duras», por lo que hay el inconveniente de que la gestión de estas deberá ser hecho por el programador sin ayuda de la aplicación.

El método de planificación en «oleadas sucesiva» es el que mejor se adecua a esta propuesta. Al permitir sucesivas instancias del programa antes de «congelarlo» se podrán ir ingresando las nuevas circunstancias de la ejecución y adaptando las secuencias hasta poco antes de la ejecución del trabajo.

La estrategia inversa también es posible. Consiste en partir de las actividades iniciales y luego avanzar en la secuencia constructiva, asignando las relaciones de precedencia preferenciales que se necesiten para controlar la utilización de los recursos y cumplimiento de fechas. Siempre ambos procedimientos tendrán carácter heurístico[3] y, conforme se vayan desarrollando, se irán planteando correcciones o incluso cambios en las aproximaciones a la solución.

El proceso indicado también se puede implementar utilizando las facilidades de nivelación de recursos del *software* del que se disponga, aunque tiene el defecto de que muy usualmente la lógica seguida por el algoritmo de nivelación no suele explicarse ni coincidir con las necesidades del caso.

[3] Gestión del tiempo del Proyecto. 6.3 Estimar recursos de las actividades. En *A guide to the Project Management Body of Knowledge* (p. 141). 4ta ed. Pennsylvania: Project Management Institute.

Este proceso debe realizarse respetando los niveles jerárquicos del diseño en lo posible. Por supuesto, al ser una lógica preferencial *siempre podremos alterarla* para representar consideraciones de otro tipo o cambios en las restricciones. Sin embargo, el guiarse por la jerarquía de diseño ayuda a mantener consistencia en la lógica empleada y permite controlar el logro de hitos menores, tales como la terminación de lazos o subsistemas, así como evitar la dispersión del esfuerzo sin logros controlados.

En la figura 21 vemos que los hitos de fin de subsistemas dados por el comisionado nos dan una prioridad de terminación de subsistemas: $450 \rightarrow 650 \rightarrow 550$, de manera que nada haríamos si completásemos desordenadamente el subsistema 550 antes que los otros.

En la figura 6 podemos encontrar las siguientes actividades iniciales en la secuencia constructiva:

Comunes:

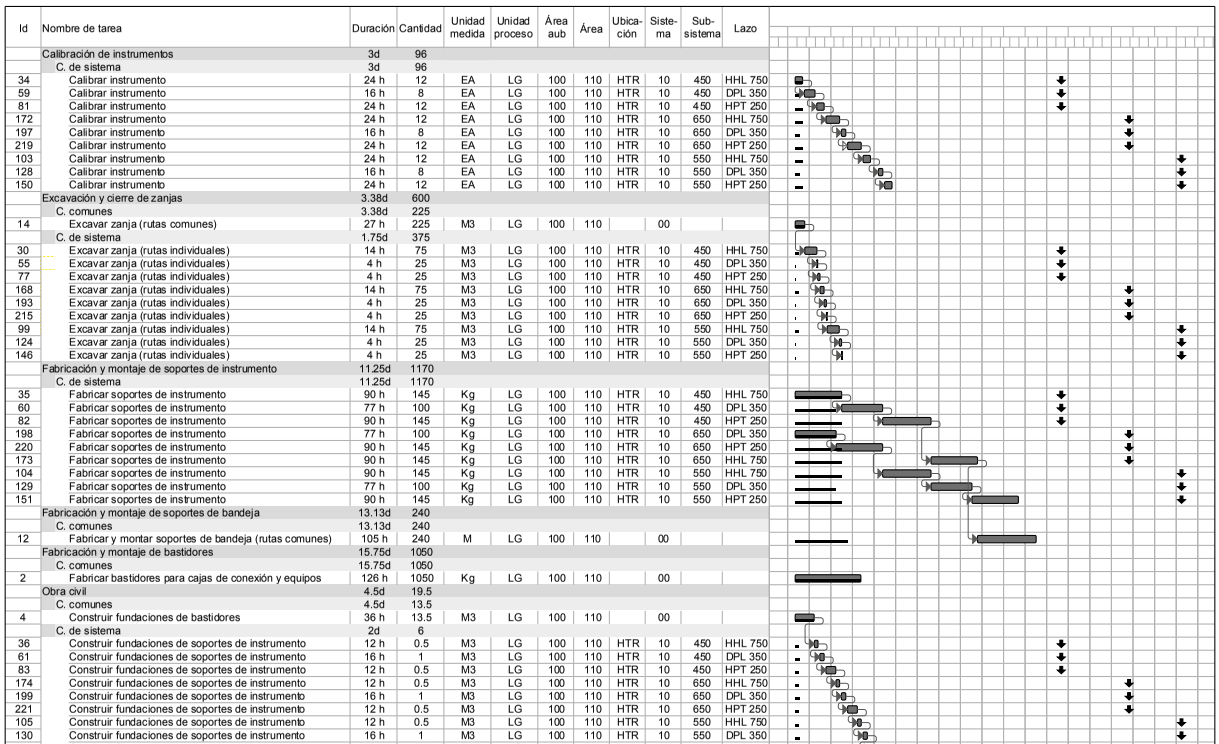
Fabricar bastidores para cajas de conexión y equipos.
Construir fundaciones de bastidores.
Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas comunes).
Excavar zanja (rutas comunes).

De sistema:

Excavar zanja (rutas individuales).
Construir fundaciones de soportes de instrumento.
Fabricar soportes de instrumento.
Calibrar instrumento.

En la figura 26 podemos ver un intento de asignar secuencias preferenciales (de acuerdo a la prioridad de comisionado) a la construcción de los entregables asociados a estos.

Figura 26. Cronograma de subdisciplina, desglose por fase y tipo de actividad



Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Unidad proceso	Área aub	Área	Ubicación	Sistema	Subsistema	Lazo
	Calibración de instrumentos	3d	96								
	C. de sistema	3d	96								
34	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	LG	100	110	HTR	10	450	HHL 750
59	Calibrar instrumento	16 h	8	EA	LG	100	110	HTR	10	450	DPL 350
81	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	LG	100	110	HTR	10	450	HPT 250
172	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	LG	100	110	HTR	10	650	HHL 750
197	Calibrar instrumento	16 h	8	EA	LG	100	110	HTR	10	650	DPL 350
219	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	LG	100	110	HTR	10	650	HPT 250
103	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	LG	100	110	HTR	10	550	HHL 750
128	Calibrar instrumento	16 h	8	EA	LG	100	110	HTR	10	550	DPL 350
150	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	LG	100	110	HTR	10	550	HPT 250
	Excavación y cierre de zanjas	3.38d	600								
	C. comunes	3.38d	225								
14	Excavar zanja (rutas comunes)	27 h	225	M3	LG	100	110		00		
	C. de sistema	1.75d	375								
30	Excavar zanja (rutas individuales)	14 h	75	M3	LG	100	110	HTR	10	450	HHL 750
55	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	110	HTR	10	450	DPL 350
77	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	110	HTR	10	450	HPT 250
168	Excavar zanja (rutas individuales)	14 h	75	M3	LG	100	110	HTR	10	650	HHL 750
193	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	110	HTR	10	650	DPL 350
215	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	110	HTR	10	650	HPT 250
99	Excavar zanja (rutas individuales)	14 h	75	M3	LG	100	110	HTR	10	550	HHL 750
124	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	110	HTR	10	550	DPL 350
146	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	LG	100	110	HTR	10	550	HPT 250
	Fabricación y montaje de soportes de instrumento	11.25d	1170								
	C. de sistema	11.25d	1170								
35	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	LG	100	110	HTR	10	450	HHL 750
60	Fabricar soportes de instrumento	77 h	100	Kg	LG	100	110	HTR	10	450	DPL 350
82	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	LG	100	110	HTR	10	450	HPT 250
198	Fabricar soportes de instrumento	77 h	100	Kg	LG	100	110	HTR	10	650	DPL 350
220	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	LG	100	110	HTR	10	650	HPT 250
173	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	LG	100	110	HTR	10	650	HHL 750
104	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	LG	100	110	HTR	10	550	HHL 750
129	Fabricar soportes de instrumento	77 h	100	Kg	LG	100	110	HTR	10	550	DPL 350
151	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	LG	100	110	HTR	10	550	HPT 250
	Fabricación y montaje de soportes de bandeja	13.13d	240								
	C. comunes	13.13d	240								
12	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas comunes)	105 h	240	M	LG	100	110		00		
	Fabricación y montaje de bastidores	15.75d	1050								
	C. comunes	15.75d	1050								
2	Fabricar bastidores para cajas de conexión y equipos	126 h	1050	Kg	LG	100	110		00		
	Obra civil	4.5d	19.5								
	C. comunes	4.5d	13.5								
4	Construir fundaciones de bastidores	36 h	13.5	M3	LG	100	110		00		
	C. de sistema	2d	6								
36	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	LG	100	110	HTR	10	450	HHL 750
61	Construir fundaciones de soportes de instrumento	16 h	1	M3	LG	100	110	HTR	10	450	DPL 350
83	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	LG	100	110	HTR	10	450	HPT 250
174	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	LG	100	110	HTR	10	650	HHL 750
199	Construir fundaciones de soportes de instrumento	16 h	1	M3	LG	100	110	HTR	10	650	DPL 350
221	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	LG	100	110	HTR	10	650	HPT 250
105	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	LG	100	110	HTR	10	550	HHL 750
130	Construir fundaciones de soportes de instrumento	16 h	1	M3	LG	100	110	HTR	10	550	DPL 350
152	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	LG	100	110	HTR	10	550	HPT 250

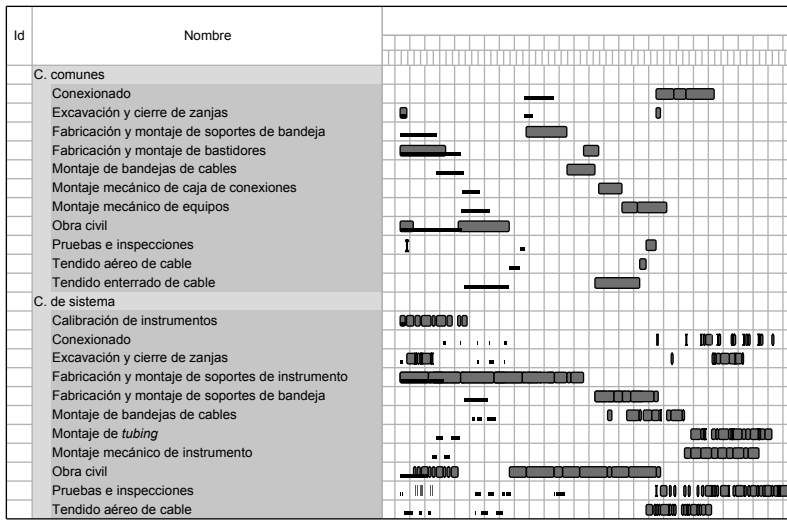
Hay que notar que se ha optado por considerar un solo frente de trabajo (una cuadrilla) de cada subdisciplina, excepto para «fab. y montaje de soportes de instrumento» (fabricación y montaje de soportes de instrumentos), donde se han planteado dos frentes simultáneos debido a que una secuencia en serie única habría llevado el final de la secuencia muy atrás en el tiempo (demasiado cercana a los hitos de fin de subsistema señalados por la flechas verticales).

Se debe tener en cuenta también que este cronograma ha «aplanado» las necesidades de los recursos involucrados con las ventajas asociadas a ello (simplicidad en la administración y reducción de costos improductivos por la ocupación continua de la M.O.), evitando los «huecos» o periodos en espera sin actividad. Esta es una ventaja muy importante porque nos da el control del uso del recurso; es decir, el proyecto puede decidir por adelantado la aplicación o no de recursos, que es la esencia del control de progreso en obras de construcción.

Finalmente, hay que notar que este cronograma es *diferente* del que hasta este momento hemos estado analizando, pues en este han sido agregadas diversas relaciones de precedencia preferenciales para forzar secuencias que constructivamente no tienen por qué estar en ese orden, simplemente reflejan *otras/adicionales* necesidades o circunstancias particulares.

El efecto de una asignación de secuencias preferenciales para todo el proyecto, basada en una cuadrilla para cada actividad de subdisciplina y manteniendo la prioridad de los subsistemas 450 → 650 → 550, puede verse en la figura 27.

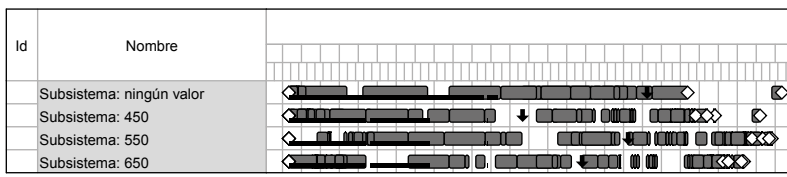
Figura 27. Cronograma de sistema típico, desglose por fase y subdisciplina. Una cuadrilla asignada para cada subdisciplina



Claramente puede verse la extensión de la duración general de trabajos al comparar contra la línea negra fina, colocada al pie de cada actividad, que muestra el caso anterior (sin limitación de recursos de M.O.) como una línea base.

Un reporte basado en subsistemas mostraría lo siguiente:

Figura 28. Cronograma de subsistemas, una cuadrilla para cada subdisciplina



Donde ya podemos ver que todos los subsistemas han sobrepasado la fecha especificada de término. Antes de aceptar este hecho, el programador aún tiene la obligación de buscar las opciones que le permitan cumplir con las fechas especificadas

Siguiendo las prioridades asignadas, se procede a incrementar los recursos (cuadrillas) en aquellas actividades de la ruta crítica con mayor efecto en las fechas finales hasta lograr cumplir con las restricciones impuestas (por la generación de más frentes de trabajo en simultáneo).

En las figuras 29 y 30 podemos ver los resultados obtenidos.

Ahora la ruta crítica (o cadena crítica) pasa por las actividades de obra civil (componentes comunes y de sistema), tendidos aéreos de cables individuales y multicables, conexionados y pruebas. Se han agregado las líneas finas celestes para mostrar el intervalo de fechas extremas (con una cuadrilla única por subdisciplina), con lo que podemos determinar visualmente en qué posición final (relativa) han quedado las actividades.

Nuestro esfuerzo ha traído nuevamente a las actividades hacia fechas más tempranas de acuerdo a nuestras prioridades.

El resultado a nivel de subsistema puede revisarse en la figura 30.

Figura 29. Cronograma de sistema típico, desglose por fase y subdisciplina. Cuadrillas asignadas para cumplir fechas de terminación/comisionado

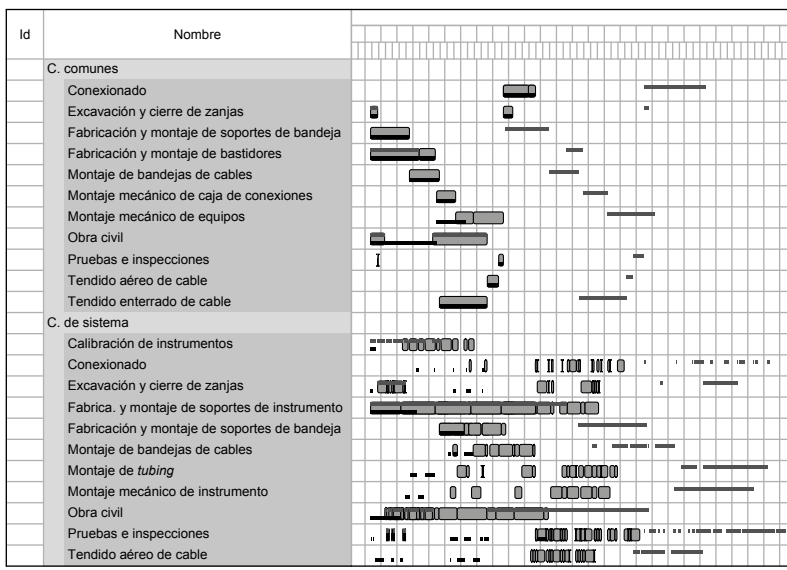
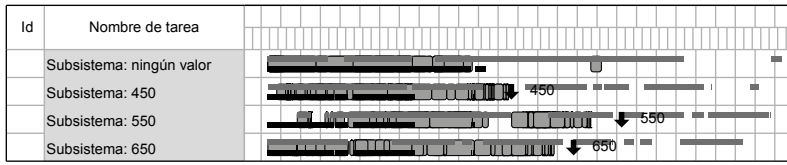


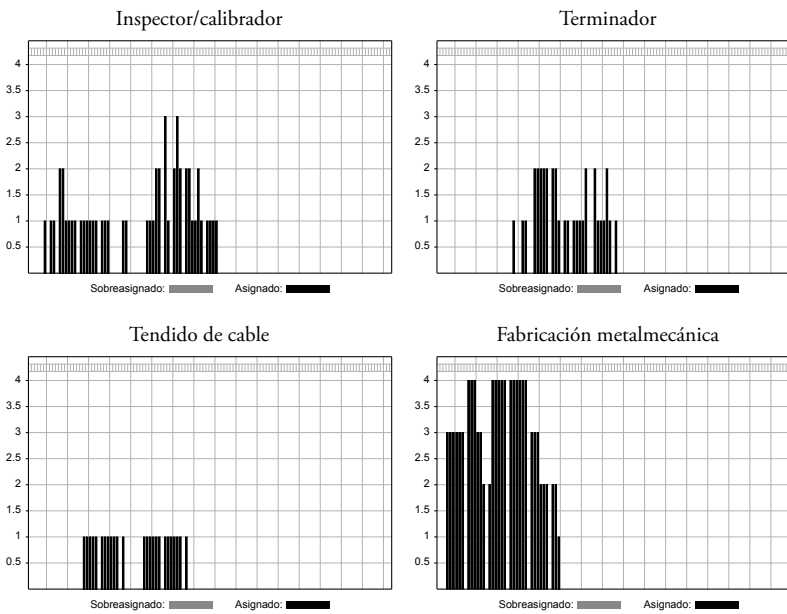
Figura 30. Cronograma de subsistemas

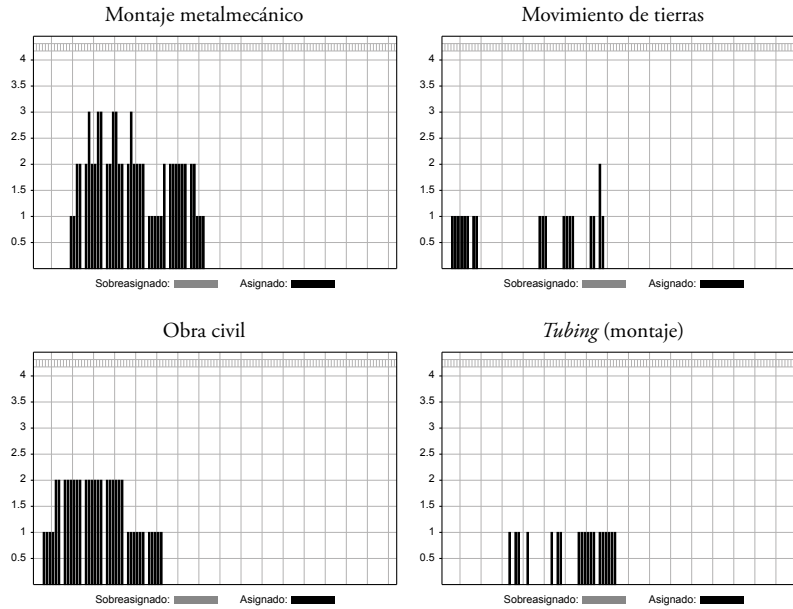


Esta vez las fechas de terminación e inicio de comisionado se están cumpliendo. ¿Significa esto un retorno a la situación inicial, pero con esfuerzo y tiempo consumidos en algo que ya se tenía?

Los recursos requeridos para hacer viable este cronograma se muestran a continuación. Ver serie de figuras 31.

Figura 31. Necesidades de cuadrillas para las actividades de subdisciplina





Podemos comparar esta situación con los resultados del Anexo F referidos a la situación sin restricción de recursos, con lo que encontramos que:

1. Los picos de necesidad de recurso han disminuido en general. Los histogramas se han «achatado».
2. Los trabajos de recurso están mejor «empaquetados», con lo que nos referimos a que comparativamente hay menos dispersión a lo largo del tiempo; es decir, hay menos tiempos ociosos.

Lo anterior representa una ventaja económica no desdeñable, puesto que los tiempos ociosos también conllevan el costo de mantener a los especialistas disponibles para el proyecto durante esos periodos. Los picos de intensidad de recurso pueden generar una pequeña «inflación» de salarios por el costo de oportunidad; además, al disminuir la intensidad de recurso necesaria, se mejora el flujo de caja de gastos (más estable).

Más importante aún que lo mencionado es que:

1. Hemos tomado control del uso de los recursos y sus efectos; ahora es el proceso de planificación/programación de actividades el que establece cuántos recursos y cuándo se aplicarán a los trabajos programados y qué resultados se lograrán. El ganar esta capacidad puede ser crucial para el éxito del proyecto, equivale a la diferencia entre poder realizar acciones correctivas efectivas, modificando el curso futuro de los resultados, y realizar acciones sin saber qué resultado se producirá o si se producirá alguno, posiblemente consumiendo recursos sin ventaja para el proyecto.
2. Hemos establecido una secuencia de terminación de lazos de control y subsistemas que da soporte a las metas de comisionado y entrega de las facilidades, orientando el plan hacia una terminación ordenada del producto y evitando la dispersión del esfuerzo en el logro de metas sin sincronía con lo necesario.

Todavía podemos continuar mejorando nuestra situación; si revisamos los diagramas de uso de recursos (histogramas de cuadrillas de subdisciplina), todavía veremos oportunidades de mejora.

Por ejemplo, para los casos de «Inspector/calibrador», «Tendido de cable» y «Fabricación metalmecánica»[4], los perfiles de uso de recurso no son los mejores, pues todavía presentan picos y valles intermedios costosos de administrar.

[4] Los lectores habrán notado en el ejemplo referido que la cantidad de trabajo (hHs) asociado a las actividades metalmecánicas resulta ser mayor comparativamente con respecto al trabajo de las otras subdisciplinas, en particular si recordamos que estamos ante un cronograma de actividades de montaje de instrumentación. Si bien esto puede adjudicarse al ejemplo mismo, no es extraño en los casos reales que el contenido de trabajo metalmecánico en proyectos de montaje de instrumentación sea muy importante, y que incluso sea tal su importancia que componga parte de la Ruta Crítica de los trabajos. Por lo tanto, no debe ser descuidada la estimación/medición de trabajos de esta subdisciplina.

Podemos revisar las actividades que usan el recurso «Inspector/calibrador» y encontramos que incluyen, por ejemplo, a las actividades asociadas a los tres subsistemas; que, de ellas, las actividades del subsistema 450 no tienen más holgura —con respecto a los hitos de terminación/comisionado (retroceder a la figura 30)—, pero que los subsistemas 650 y 550 sí disponen de holguras remanentes (aunque, de hecho, la parte afectada del subsistema 650 pertenece a la actual ruta crítica del cronograma)[5].

Si ahora establecemos que las actividades que se acumulan en las fechas del pico de intensidad de recurso deben ser dispersadas en el tiempo (manteniendo siempre las prioridades de subsistema 450 → 650 → 550), lograremos reducir el valor máximo de intensidad de recurso «suavizando» las necesidades de contratación. Por ejemplo, si no afectamos las actividades del subsistema 450 (por no tener más holgura) y retrasamos las actividades de los subsistemas 650 y 550 poniéndolas simplemente en serie, resultará el diagrama de intensidad de recursos de la figura 32. ¿Cuál es el impacto de esto en el resto del programa? Podemos revisar el efecto sobre el cumplimiento de los hitos de terminación/comisionado en la figura 33.

[5] Los comentarios anteriores con respecto a que un conjunto de *actividades con holguras remanentes* pertenezca a la *Ruta Crítica* del cronograma parecen ser contradictorios. Debemos aclarar que nos estamos refiriendo a las holguras con respecto a la serie de fechas de término que hemos adoptado como limitantes de *partes específicas* del cronograma, por lo que en realidad tenemos *varias* restricciones para porciones diferentes del programa. La Ruta Crítica mencionada se refiere a la Ruta Crítica del modelo matemático que, en este caso, *no* incorpora las restricciones mencionadas; por lo tanto, el modelo no los reconoce como limitantes y calcula una Ruta Crítica independiente de esas limitaciones.

Figura 32. Inspector /calibrador optimizado

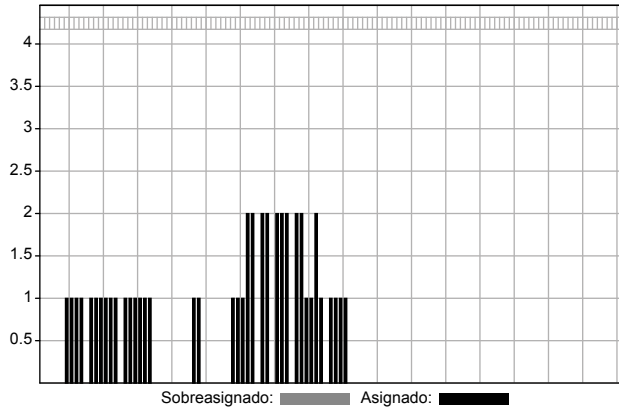
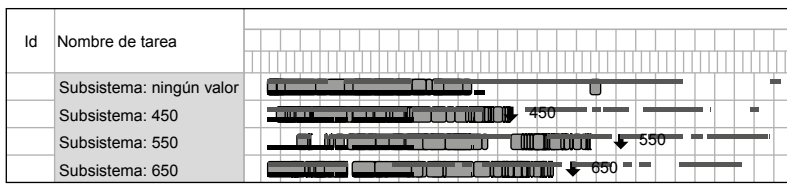


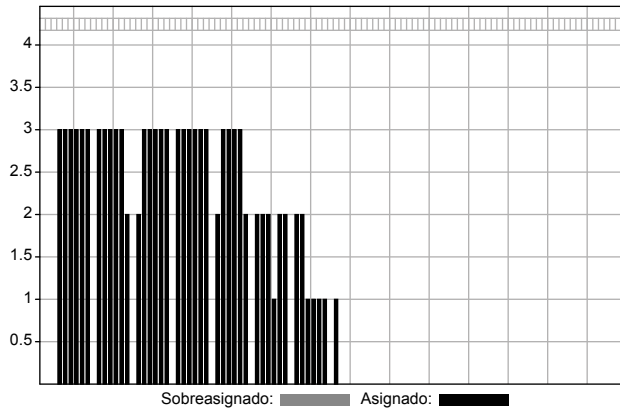
Figura 33. Subsistemas e hitos de terminación

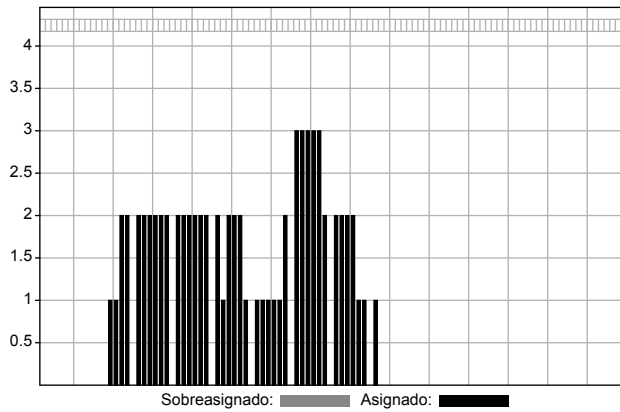


Como resultado encontramos una mejor distribución en el tiempo del uso de la cuadrilla «Inspector/calibrador»: menos espacios sin actividad y picos menores de intensidad. Las fechas de terminación requeridas para el comisionado aún se están logrando; por lo tanto, estamos libres de adoptar este programa como bueno.

Similar proceso puede desarrollarse con las cuadrillas «Fabricación metalmecánica» y «Montaje metalmecánico» con los resultados de la figura 34 (tres diagramas).

Figura 34. Fabricación metalmecánica y Montaje metalmecánico optimizados





Id	Nombre de tarea
	Subsistema: ningún valor
	Subsistema: 450
	Subsistema: 550
	Subsistema: 650

Notar que estas manipulaciones de secuencia:

1. No alteran la cantidad de trabajo requerido; es decir, las estimaciones de hHs para las actividades siguen siendo las mismas, puesto que dependen de la medida física (metros lineales, toneladas, metros cúbicos, etcétera) del entregable a realizar (ver figuras 20, 24 y 26 y lo referido a listas de control de *Estimación de recursos - identificación de subdisciplinas*) y no de la intensidad de recursos aplicados o previstos (ver Anexo E para datos-ejemplo).
2. Las ventajas u optimización logradas se refieren a un mejor manejo de las contrataciones y a la reducción de periodos ociosos de los recursos de mano de obra.
3. Al ser «programación preferencial», su validez puede variar a lo largo del tiempo. Como sabemos, las desviaciones de la ejecución con respecto a lo planificado son inevitables y, conforme se profundiza en niveles de mayor detalle, la supervisión de campo es más capaz de introducir variaciones para aprovechar circunstancias del momento, evitar dificultades imprevistas y simultáneamente mantenerse dentro del cronograma visto desde un nivel de control más elevado. Por lo tanto, estos programas requerirán un monitoreo continuo para adaptarse a las situaciones que se avecinan. Si estamos en modo de programación de «oleadas progresivas», el monitoreo continuo será casi lo normal (no está de más decir que se programa para el futuro, guiando la ejecución, no para «registrar» cómo se hizo el trabajo) y *no debemos apegarnos demasiado a las secuencias que resultan de aplicar la lógica preferencial, siempre deberemos cambiarlas en cuanto se demuestre que el cambio es beneficioso para el progreso de la construcción*.

Epílogo

La programación de trabajos es una herramienta imprescindible en la industria de la construcción por los múltiples valores que aporta a la gestión de un proyecto (ver *Programación de obras de instrumentación*), aunque es solo una más de las herramientas concurrentes para la correcta planificación y gestión.

Además, el esfuerzo de la programación es un proceso continuo, no cesa con la primera versión de cronograma «aceptable» que se emita, posteriormente hay que modelarlo y continuar trabajando hasta lograr un cronograma que dé el soporte necesario para el logro de las metas buscadas. Es decir, el producto a lograr con el proyecto impone ciertas condiciones al trabajo, habrá secuencias lógicas obligadas, duraciones mínimas y restricciones de recursos; dichas condiciones son ineludibles y derivan de la naturaleza de lo que se busca producir. A partir de ahí, además, habrá objetivos contractuales, comerciales y metas estratégicas del proyecto; estas deben modelarse imponiendo al programa (cronograma) las líneas estratégicas que la dirección defina como adecuadas y estas, por definición, son condiciones preferenciales.

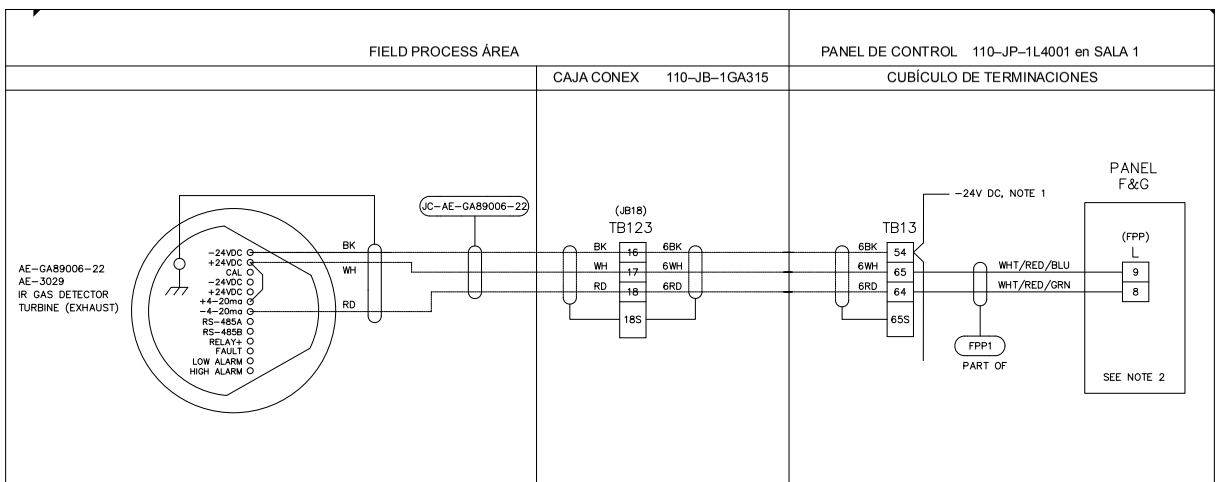
Luego de desarrollar el programa adecuado hay que monitorear el cronograma e ir ajustándolo al futuro cambiante por medio del uso de las relaciones lógicas preferenciales disponibles. De esta manera,

la Ruta Crítica —usualmente basada en la lógica «dura» de la construcción (del producto) y en restricciones estructurales o de mercado a los recursos— se preservará y se podrán aprovechar las oportunidades que la dinámica de la construcción brinda ante el manejo de las relaciones lógicas preferenciales.

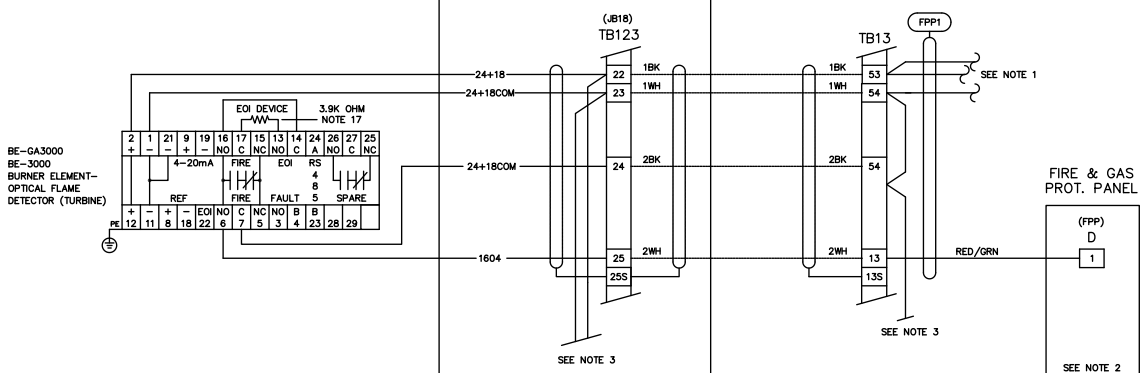
Esto se hace más evidente cuando se ha decidido planificar/programar siguiendo un esquema de oleadas sucesivas (*rolling wave planning*) y el horizonte a largo plazo no está determinado a nivel de detalle, sino que el programador solo se enfoca en la porción «visible» del horizonte de trabajos.

No obstante, siempre el programa tiene que hacer la traducción de los entregables a lograr hacia los recursos a administrar, dado que la complejidad de los entregables no facilita la gestión de los recursos. El programa debe transponer las estimaciones de recursos de cada entregable en una consolidación de los trabajos que cada recurso debe lograr, que es finalmente lo que la administración de obras puede gestionar, y es por medio de esta visión alternada entregable-recurso que la gestión del proyecto puede lograr su misión.

ANEXO A
EJEMPLOS DE DIAGRAMAS DE LAZOS DE CONTROL



ÁREA DE PROCESO	EQUIPO	PANEL DE CONTROL 250–JP-1L4001 EN SALA
CAJA CONEXIÓN SOBRE EQUIPO	CAJA CONEX. 250–JB–1GA315	CUBÍCULO DE TERMINALES



ANEXO B
TIPOS DE COMPONENTES DE INSTRUMENTACIÓN

1.- CABLES

Long. aérea (m)	Long. subte. (m)	Equipo inicio	Subsistema	Área inicio	Equipo llegada	Área equipo llegada	*Tag* de cable	Term. inicial	Term. llegada	Tendido subte.	Tendido aéreo
	77	JB-SA-110032	1000-004	110	JP-S-1082	220	JC-SA-110032	X	X	X	N/A
	77	JB-SD-110031	1000-004	110	JP-S-1082-A	220	JC-SD-110031	X	X	X	N/A
44	239	JB-SD-111027	1000-004	110	JP-S-1052-A	180	JC-SD-111027	X	X	X	X
	76	JB-SS-110030	1000-004	110	JP-S-1082-A	220	JC-SS-110030	X	X	X	N/A
60		XV-110045	1000-004	110	JB-SA-110032	110	JC-XV-110045	X	X	N/A	X
60		XY-110045	1000-004	110	JB-SS-110030	110	JC-XY-110045	X	X	N/A	X
60		JB-ZS-110045	1000-004	110	JB-SD-110031	110	JC-ZS-110045	X	X	N/A	X
60		ZSC-110045	1000-004	110	JB-ZS-110045	110	JC-ZSC-110045	X	X	N/A	X

2.- EQUIPOS

Área	Descripción	Subsistema	Área	*Tag* de equipo	Instalación	Prueba
PANEL DE CONTROL	ESTACIÓN DE IMPULSO SANITARIO	7100-006	620	JP-X-1L7102	X	X
PANEL DE CONTROL	ESTACIÓN DE IMPULSO SANITARIO	7100-006	620	JP-X-1L7107	X	X
PANEL DE MONIT. VIBRACIONES	BOMBAS AGR Y PANEL DE CONTROL DE MONIT. DE VIBRACIONES		220	JP-X-1P1103-A	X	X
PANEL DE CONTROL	BOMBAS DE CARGA AGR SOLVENTE POBRE. PANEL DE MONIT. VIBRACIONES.	1100-999	220	JP-X-1P1103A/B	X	X
PANEL DE MONIT. VIBRACIONES	BOMBAS AGR Y PANEL DE CONTROL DE MONIT. DE VIBRACIONES		220	JP-X-1P1103-B	X	X
PANEL DE CONTROL	BOMBAS DE CARGA DE GNL: P-3401A/B/C/D & P-3402A/B/C/D	SS1000B-00	310	JP-X-1P3401/2	X	X
PANEL DE CONTROL	PLC DE BRAZOS DE CARGA	4000-069	430	JP-X-1Z3401	X	X
PANEL DE INTERFAZ HUMANA	PANEL DE ALARMA DE FUEGO.	8800-016	180	JX-F-1191-A	X	N/A

X : Actividad requerida.
N/A: No aplica, no requerido.

3.- INSTRUMENTOS

Área	Subsistema	P&ID/Planos	*Tag* de instrumento	Calibrac	Instalación suporte	Instala. instrum.	Instala. *tubing*	Conex. cable
130	8700-028	157883-130-TE-LY-0001/ 157883-000-TE-BD-0024	SDO-170261A	N/A	N/A	N/A	N/A	X
130	8700-028	157883-130-TE-LY-0001/ 157883-000-TE-BD-0024	SDO-170261B	N/A	N/A	N/A	N/A	X
130	8700-028	157883-130-TE-LY-0001/ 157883-000-TE-BD-0024	SDO-170262A	N/A	N/A	N/A	N/A	X
130	8700-028	157883-130-TE-LY-0001/ 157883-000-TE-BD-0024	SDO-170262B	N/A	N/A	N/A	N/A	X
180	8700-014	157883-180-TE-LY-0002/ 157883-TE-BD-0025	SDO-170265A	N/A	X	X	N/A	X
180	8700-014	157883-180-TE-LY-0002/ 157883-TE-BD-0025	SDO-170265B	N/A	X	X	N/A	X
180	8700-014	157883-180-TE-LY-0002/ 157883-TE-BD-0025	SDO-170266A	N/A	X	X	N/A	X

4.- CAJAS DE CONEXIÓN

Área	Descripción	Bastidor	Plano	Tipo de CC	*Tag* de caja de conexión	Instalación
170	CC ANALÓGICA DE ALARMA DE FUEGO		157883-076-IN-LY-0032	VENDOR	JB-FA-188316	X
330	CC ANALÓGICA DE ALARMA DE FUEGO		157883-076-IN-LY-0102	VENDOR	JB-FA-188322	X
170	CC ANALÓGICA DE ALARMA DE FUEGO		157883-076-IN-LY-0016	VENDOR	JB-FA-188324	X
420	CC ANALÓGICA DE ALARMA DE FUEGO			VENDOR	JB-FA-188342	X
120	CC ANALÓGICA DE ALARMA DE FUEGO	120-JB-FRAME-005	157883-076-IN-LY-0006	G1A	JB-FA-189001	X
120	CC ANALÓGICA DE ALARMA DE FUEGO	120-JB-FRAME-006	157883-076-IN-LY-0006	G3A	JB-FA-189002	X
130	CC ANALÓGICA DE ALARMA DE FUEGO	SS-1000B / ADOSADO	157883-076-IN-LY-0012	G1A	JB-FA-189003	X
140	CC ANALÓGICA DE ALARMA DE FUEGO	140-JB-FRAME-001	157883-076-IN-LY-0019	G2A	JB-FA-189004	X
140	CC ANALÓGICA DE ALARMA DE FUEGO	140-JB-FRAME-003	157883-076-IN-LY-0016	F1A	JB-FA-189005	X

X : Actividad requerida.
N/A: No aplica, no requerido.

ANEXO C
TIPOS DE COMPONENTES DE INSTRUMENTACIÓN NO PROPIOS

1.- BASTIDORES

Área	CCs	Plano	*Tag* de Bastidor	Fabricación	Fundaciones	Erección
110	3	157883-000-IN-LY-0048	110-JB-FRAME-001	X	X	X
110	10	157883-000-IN-LY-0004	110-JB-FRAME-002	X	X	X
110	2	157883-000-IN-LY-0001	110-JB-FRAME-003	X	X	X
110	4	157883-000-IN-LY-0001	110-JB-FRAME-004	X	X	X
110	6	157883-000-IN-LY-0002	110-JB-FRAME-006	X	X	X
110	4	157883-000-IN-LY-0001	110-JB-FRAME-007	X	X	X
110	3	157883-000-IN-LY-0001	110-JB-FRAME-008	X	X	X
110	8	157883-000-IN-LY-0002	110-JB-FRAME-009	X	X	X

2.- BANDEJAS

EDT	Sección	Nivel	Ancho	Cantidad	Unidad medida	Diag. isométrico	Soporte	Instalación band. de cable
110	A01	1	12	129	m	110-3-EA-0052	X	X
120	J03	1	30	98	m	120-3-BA-0001	X	X
120	M23	3	30	144	m	120-3-BA-0002	X	X
130	D05	5	36	121	m	130-3-AA-0101	X	X
130	L08	3	36	102	m	130-3-AA-0112	X	X
130	H01	4	24	112	m	130-3-CA-0110	X	X
130	U33	2	24	97	m	130-3-CA-0111	X	X

X: Actividad requerida.
N/A: No aplica, no requerido.

3.- ZANJAS

Área	Zanja	Und.	Long.	Ancho	Prof.	C.D. Total	Sección de Zanja	Excava.	Lecho de arena	Marca concreto rojo	Relleno
160	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	128.0	1.8	0.9	196	A2-1	X	X	X	X
160	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	128.0	1.8	0.1	23	A2-2	X	X	X	X
160	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	128.0	1.8	0.2	46	A2-3	X	X	X	X
160	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	128.0	1.8	0.1	12	A2-4	X	X	X	X
160	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	128.0	1.8	0.5	115	A2-5	X	X	X	X
190	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	103.1	1.1	0.9	92	A2N-1	X	X	X	X
190	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	103.1	1.1	0.1	11	A2N-2	X	X	X	X
190	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	103.1	1.1	0.2	16	A2N-3	X	X	X	X
190	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	103.1	1.1	0.6	65	A2N-4	X	X	X	X
190	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	88.0	1.1	0.1	10	A2S-1	X	X	X	X
190	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	88.0	1.1	0.2	15	A2S-2	X	X	X	X
190	ETAPA A2: LCR-01 to WBS-190-E	Mt	88.0	1.1	0.6	58	A2S-3	X	X	X	X

X: Actividad requerida.
N/A: No aplica, no requerido.

ANEXO D
TASAS UNITARIAS (hHs) de ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN

1.- ZANJAS

Descripción			Profundidad (pies)	Canjilón (yarda cúbica)	Unidad de medida	hHs
Excavación a máquina						
	Excavadora frontal		3	0.38	CY	0.110
			4	0.38	CY	0.110
			6	0.50	CY	0.080
			8	0.50	CY	0.080
	Cadena zanjadora		Profundidad (pulg.)	Ancho (pulg.)		
		40 HP	12	6.00	LF	0.007
			18	6.00	LF	0.008
			18	8.00	LF	0.008
			24	8.00	LF	0.009
Carguío sobre volquete				0.50	CY	0.012
				0.75	CY	0.010
				1.00	CY	0.008
Perfilado manual, paredes y fondo de zanja						
	Terreno normal				SF	0.013
	Terreno duro				SF	0.044
Excavación manual						
	Arena y grava		6		CY	1.000
			12		CY	1.600
	Tierra común		6		CY	1.500
			12		CY	2.000
	Arcilla		6		CY	2.000
			12		CY	2.700

Demolición de pavimento con sierra de corte		Espesor (pulg.)		
Asfalto		3	LF	0.021
		4	LF	0.034
Concreto armado		4	LF	0.068
		5	LF	0.085
Relleno manual				
	Apisonadora manual	6	CY	1.060
		12	CY	0.910
	Compactado con rodillo	6	CY	0.790
		12	CY	0.750

2.- BANDEJAS

Soporte de bandejas				Ancho bandeja (pulg.)	Unidad de medida	hHs
	Voladizo a pared					
		Aluminio o acero		6	EA	0.320
				9	EA	0.330
				12	EA	0.350
				18	EA	0.360
Montaje de bandeja, tramo recto						
	Escalerilla					
		Aluminio				
			Peldaños c/6”	6	LF	0.113
				9	LF	0.119
				12	LF	0.123
			Peldaños c/9”	6	LF	0.110
				9	LF	0.120
				12	LF	0.123
			Peldaños c/12”	6	LF	0.110
				9	LF	0.115
				12	LF	0.120

Montaje de T horizontal				
escalerilla				
	Aluminio			
	Radio 24”	6	EA	3.300
		36	EA	5.100
	Radio 36”	6	EA	3.600
		36	EA	5.800
Canal				
	Aluminio			
	Radio 24”	6	EA	3.300
		36	EA	6.900
	Radio 36”	6	EA	3.600
		36	EA	8.400

3.- CABLES

Tendido de cable						Unidad de medida	hHs
CATV							
	Coaxial directamente enterrado						
		RG 6/U	75 Ohm	#18	solid	LF	0.011
		RG11/U	76 Ohm	#14	solid	LF	0.015
	Coaxial non-plenum PVC						
		RG 6/U	75 Ohm	#18	solid	LF	0.011
		RG 6/U	75 Ohm	#16	solid	LF	0.012
	Coaxial non-plenum tri shield						
		RG 6/U	75 Ohm	#20	solid	LF	0.012
		RG59/U	75 Ohm	#20	solid	LF	0.012
	Coaxial non-plenum quad shield						
		RG 6/U	75 Ohm	#18	solid	LF	0.013
		RG59/U	75 Ohm	#20	solid	LF	0.013

CCTV							
	Coaxial directamente enterrado						
		RG 6/U	75 Ohm	#18	solid	LF	0.011
		RG11/U	75 Ohm	#14	solid	LF	0.015
	Coaxial non-plenum PVC						
		RG 6/U	75 Ohm	#18	solid	LF	0.011
		RG 6/U	75 Ohm	#16	solid	LF	0.012
	Coaxial non-plenum tri shield						
		RG 6/U	75 Ohm	#20	solid	LF	0.012
		RG59/U	75 Ohm	#20	solid	LF	0.012
	Coaxial non-plenum quad shield						
		RG 6/U	75 Ohm	#18	solid	LF	0.013
		RG59/U	75 Ohm	#20	solid	LF	0.013
Data							
	Cat-3						
		Non-plenum					
			#24	3-pair		LF	0.007
				4-pair		LF	0.008
				25-pair		LF	0.021
				50-pair		LF	0.032
				100-pair		LF	0.042
		Plenum					
			#24	3-pair		LF	0.007
				4-pair		LF	0.008
				25-pair		LF	0.021
				50-pair		LF	0.032

Control de proceso			Nº Conductores			Unidad de medida	hHs
	Para bandeja						
		PVC Non-shielded 600V					
			#10	2		LF	0.018
				3		LF	0.019
				4		LF	0.020
				5		LF	0.021
				6		LF	0.021
				7		LF	0.022
				9		LF	0.024
				10		LF	0.027
				12		LF	0.032
			#12	2		LF	0.014
				3		LF	0.015
				5		LF	0.016
				6		LF	0.016
				7		LF	0.017
				9		LF	0.019
				10		LF	0.021
				12		LF	0.025
				14		LF	0.029
				15		LF	0.030
				16		LF	0.032
				19		LF	0.038
				20		LF	0.040
				24		LF	0.048
				25		LF	0.050
				30		LF	0.059
				37		LF	0.072

4.- TERMINACIONES

Terminaciones	Calibre alambre			Unidad de medida	hHs
Horquilla sola					
	#22			EA	0.060
	#18			EA	0.060
	#16			EA	0.065
	#14			EA	0.066
	#12			EA	0.070
	#10			EA	0.072
Horquilla en bloque de terminaciones					
	#22			EA	0.073
	#18			EA	0.073
	#16			EA	0.073
	#14			EA	0.080
	#12			EA	0.083
	#10			EA	0.090

5.- CAJAS DE CONEXIÓN

Montaje de caja de conexión		Ancho (pulg.)	Alto (pulg.)	Profundidad (pulg.)	Espesor (pulg.)	Unidad de medida	hHs
Fe fdo							
	Al ras						
		6	6	4	0.250	EA	1.600
		6	12	6	0.250	EA	3.000
		8	8	4	0.375	EA	3.200
		8	12	6	0.250	EA	3.600
		12	12	6	0.250	EA	3.800
		12	24	6	0.375	EA	6.200
		18	36	8	0.500	EA	10.000

NEMA 1							
	Empernado a estructura						
		16	12	6.625		EA	1.400
		20	16	6.625		EA	1.700
		24	24	6.625		EA	2.400
		30	24	6.625		EA	2.700
		36	30	6.625		EA	3.000
		16	12	8.625		EA	1.750
		20	16	8.625		EA	1.900
		24	24	8.625		EA	2.600
		30	24	8.625		EA	2.900
		36	30	8.625		EA	3.200
		42	24	8.625		EA	3.200
NEMA 12							
	Empernado a estructura						
		12	24	6		EA	1.700
		16	12	6		EA	1.500
		20	16	6		EA	1.700
		24	24	6		EA	2.000
		30	24	6		EA	2.400
		36	30	6		EA	2.800
		16	12	8		EA	1.700
		20	16	8		EA	1.900
		24	24	8		EA	2.200
		24	30	8		EA	2.600
		30	24	8		EA	2.600
		36	30	8		EA	3.000
		42	36	8		EA	3.800
		48	36	8		EA	4.200

6.- EQUIPOS DE CONTROL - UPS

Sistemas no interrumpidos de potencia	Prim.	Secund.	Potencia (W)	Autonom@ carga plena (min.)	Unidad de medida	hHs
Mono-fase						
C. directa						
120 V para PCs						
			168	3	EA	1.0
			285	3	EA	1.5
			400	3	EA	2.0
			470	5	EA	3.0
			630	5	EA	5.0
	Prim.	Secund.	Capac. (VA)	Autonom@ carga plena (min.)	Unidad de medida	hHs
60 Hz						
120 V	120 V					
			500	9	EA	3.0
			850	29	EA	10.0
			1,400	21	EA	12.0
			2,100	26	EA	14.0
			4,300	27	EA	15.0
			7,000	12	EA	14.0
60 Hz						
210 V	210 V					
			3,000	85	EA	30.0
			4,000	107	EA	42.0
			5,000	80	EA	50.0
			8,000	56	EA	48.0

Trifase						
	60 Hz					
		210 V 210 V				
			10,000	30	EA	32.0
			15,000	15	EA	40.0
			20,000	30	EA	64.0
			30,000	15	EA	42.0
			40,000	15	EA	48.0
			60,000	15	EA	64.0
		480 V 480 V				
			80,000	7	EA	40.0
			80,000	12	EA	64.0
			100,000	6	EA	64.0
			100,000	13	EA	120.0

7.- EQUIPOS DE CONTROL - ALARMA DE FUEGO

Anunciador de alarma de fuego		Unidad de medida	hHs
Lámpara			
	Zona 4	EA	4.00
	Zona 32	EA	32.00
LED			
	Zona 4	EA	4.00
	Zona 32	EA	32.00
LED gráfico			
	32 indicadores	EA	4.00
	320 indicadores	EA	28.00
Lámpara gráfica			
	32 indicadores	EA	4.00
	320 indicadores	EA	28.00

Panel de control de alarma de fuego			
Addressable			
	250 I/O	EA	8.00
	1500 I/O	EA	48.00
Lámpara			
	Zona 4	EA	8.00
	Zona 32	EA	64.00
LED			
	Zona 4	EA	8.00
	Zona 32	EA	64.00
Estación manual (jalar) de alarma de fuego			
Acción simple		EA	0.50
Doble acción		EA	0.50
Detector de humo			
Sala		EA	0.50
Ducto		EA	2.50
Detector de calor			
Analógico		EA	0.50
Temperatura fija		EA	1.20
Dispositivo de señal de alarma de fuego			
Baliza rotativa		EA	2.00
Timbre			
	4 pulgadas	EA	0.50
	10 pulgadas	EA	0.95
Baliza estroboscópica			
	De techo	EA	0.50
	Caja NEMA3R	EA	0.95

Sirena			
	De techo	EA	0.50
	Caja NEMA3R	EA	0.90
	A prueba explosión		1.20
Altavoz			
	De techo	EA	0.50
	Caja NEMA3R	EA	0.90
Cargador de baterías			
10 A-hr.		EA	1.00
65 A-hr.		EA	1.25
Conjunto de baterías			
3 A-hr.		EA	1.45
10 A-hr.		EA	1.55
24 A-hr.		EA	1.75
65 A-hr.		EA	2.25

8.- EQUIPOS DE CONTROL - CONTROL DE ACCESOS

Lector de tarjetas		Unidad de medida	hHs
	Todos	EA	1.00
Controlador			
	Todos	EA	8.00
Computadora de control			
	Estación simple	EA	8.00
Teclado de control de acceso			
	Todos	EA	1.25
Comunicador de control de acceso			
	Todos	EA	6.00

9.- EQUIPOS DE CONTROL - CIRCUITO CERRADO DE TV

Cámara de circuito cerrado	Unidad de medida	hHs
Propósito general		
B y N	EA	3.00
Color	EA	3.25
Alta resolución		
B y N	EA	3.25
Color	EA	3.25
En domo a prueba de vandalismo		
Zoom automático, 24X		
Día y noche		
Rotación, cabeceo y zoom fijos	EA	7.00
Rotación, cabeceo y zoom controlados	EA	9.00
Grabador digital		
4 canales audio y video	EA	2.00
8 canales audio y video	EA	2.00
Multiplexador		
4 canales	EA	2.00
8 canales	EA	2.25
10 canales	EA	2.50
16 canales	EA	3.00

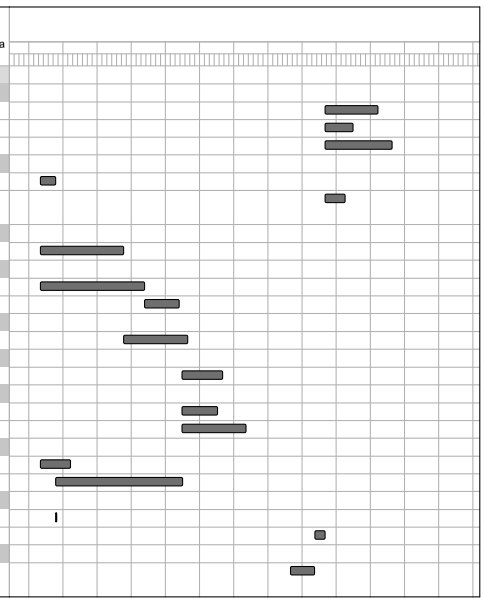
10.- EQUIPOS DE CONTROL - CIRCUITO CERRADO DE TV

Gestión de datos					Unidad de medida	hHs
Gabinete (vacío)		Alto (Pulg.)	Ancho (Pulg.)	Profundidad (Pulg.)		
De piso						
	Sin puerta					
		77	19	30	EA	8
	Con puerta					
		77	19	30	EA	9
		84	19	30	EA	9
De pared						
	Con puerta					
		24	19	19	EA	4
		48	19	19	EA	5
Componentes de gabinete						
Jumbo casters, set de 4						1
Sliding tower shelf, set de 2						1
Perforated shelf			19	25		0.75
Roof fan, 550 CFM						1
Gounding bar			19			0.5
Earthquake kit						0.5
8 outlet surge protector strip						0.5
10 outlet surge protector strip						0.5
Guía de cable		Alto (Pulg.)	Ancho (Pulg.)	Profundidad (Pulg.)		
	Vertical	48	19	15		2
	Horizontal		19			0.75
Panel vacío	Horizontal		19			0.5
Múltiple de salida						
	6 salidas					0.25
	10 salidas					0.5

Patch panel					
	Fibra óptica	Puertos			
		24			0.75
		48			0.85
		72			1
		96			1.25
	Cat 3	Puertos	Espacios		
		32	2		0.7
		48	2		0.8
		96	4		1
	Cat 5				
		16	1		0.6
		32	2		0.7
		48	2		0.8
		96	4		1
		120	5		1.25
Patch cord prefabricated		Largo			
	Cat 3 o 5				
		1 FT			0.1
		25 FT			0.15
Data block					
	Modular cross connect				
		50 pair			0.75
	Wall 110				
		Cat 3	100 pair	w/4 pair connecting block	0.75
		Cat 5	100 pair	w/4 pair connecting block	0.75
			300 pair	w/5 pair connecting block	1

ANEXO E
CRONOGRAMA DETALLADO DE UN SISTEMA, DESGLOSE POR FASE Y SUBDISCIPLINA

Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Área	Sub área	Sistema	Sub-sistema
	C. comunes	18d	6369.5					
	Conexionado	9.38d	51					
7	Conectar caja de conexiones	54 h	27	EA	100	110	00	
10	Conectar equipos de campo	27 h	9	EA	100	110	00	
11	Conectar equipos de sala	75 h	15	EA	100	110	00	
	Excavación y cierre de zanjas	3.38d	448					
14	Excavar zanja (rutas comunes)	27 h	225	M3	100	110	00	
20	Cerrar zanja (r. comun): rellenar con arena y material extraído y compactar	18 h	223	M3	100	110	00	
	Fabricación y montaje de soportes de bandeja	13.13d	240					
12	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas comunes)	105 h	240	M	100	110	00	
	Fabricación y montaje de bastidores	15.75d	2100					
2	Fabricar bastidores para cajas de conex. y equipos	126 h	1050	Kg	100	110	00	
5	Erigir bastidores	42 h	1050	Kg	100	110	00	
	Montaje de bandejas de cables	9.38d	240					
13	Montar bandejas (rutas comunes)	75 h	240	M	100	110	00	
	Montaje mecánico de caja de conexiones	6.75d	27					
6	Instalar (mec.) caja de conexiones	54 h	27	EA	100	110	00	
	Montaje mecánico de equipos	9.38d	24					
8	Montar (mec.) equipos de campo	45 h	9	EA	100	110	00	
9	Montar (mec.) equipos de sala	75 h	15	EA	100	110	00	
	Obra civil	18d	161.5					
4	Construir fundaciones de bastidores	36 h	13.5	M3	100	110	00	
15	Construir bloques E/S (rutas comunes)	144 h	148	Dct	100	110	00	
	Pruebas e inspecciones	2.25d	588					
16	Inspeccionar zanja (rutas comunes)	3 h	450	M	100	110	00	
19	Probar cables enterrados	18 h	138	Cond	100	110	00	
	Tendido aéreo de cable	3d	240					
18	Tendido de «posible» tramo aéreo de cable enterrado, incluye jalado, arreglo	24 h	240	M	100	110	00	



ANEXO E

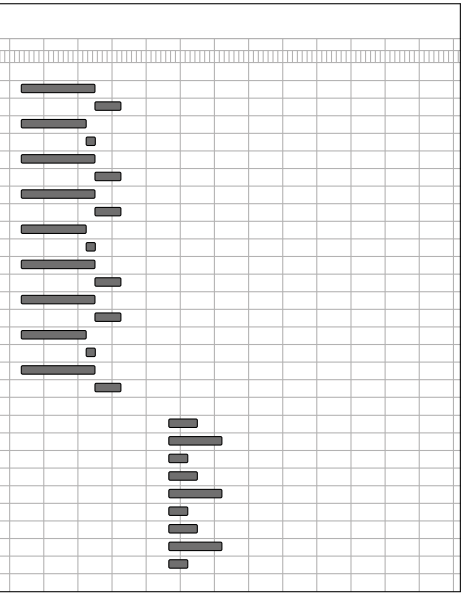
Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Área	Sub área	Sistema	Sub-sistema
	Tendido enterrado de cable	15d	2250					
17	Tendido de cable enterrado, incluye jalado, arreglo y posible tramo aéreo	120 h	2250	M	100	110	00	
	C. de sistema	11.25d	7794					
	Calibración de instrumentos	3d	96					
34	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	450
59	Calibrar instrumento	16 h	8	EA	100	110	10	450
81	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	450
103	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	550
128	Calibrar instrumento	16 h	8	EA	100	110	10	550
150	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	550
172	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	650
197	Calibrar instrumento	16 h	8	EA	100	110	10	650
219	Calibrar instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	650
	Conexionado	1.25d	192					
41	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	6 h	12	EA	100	110	10	450
42	Conectar instrumento a cables	3 h	12	EA	100	110	10	450
66	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	10 h	8	EA	100	110	10	450
67	Conectar instrumento a cables	7 h	8	EA	100	110	10	450
88	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	6 h	12	EA	100	110	10	450
89	Conectar instrumento a cables	3 h	12	EA	100	110	10	450
110	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	6 h	12	EA	100	110	10	550
111	Conectar instrumento a cables	3 h	12	EA	100	110	10	550
135	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	10 h	8	EA	100	110	10	550
136	Conectar instrumento a cables	7 h	8	EA	100	110	10	550
157	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	6 h	12	EA	100	110	10	550
158	Conectar instrumento a cables	3 h	12	EA	100	110	10	550
179	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	6 h	12	EA	100	110	10	650
180	Conectar instrumento a cables	3 h	12	EA	100	110	10	650
204	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	10 h	8	EA	100	110	10	650

ANEXO E

Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Área	Sub área	Sistema	Sub-sistema
205	Conectar instrumento a cables	7 h	8	EA	100	110	10	650
226	Conectar instrumento (conexiones neumáticas y a proceso)	6 h	12	EA	100	110	10	650
227	Conectar instrumento a cables	3 h	12	EA	100	110	10	650
	Excavación y cierre de zanjas	2.25d	750					
29	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	18 h	75	M3	100	110	10	450
30	Excavar zanja (rutas individuales)	14 h	75	M3	100	110	10	450
54	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	100	110	10	450
55	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	100	110	10	450
76	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	100	110	10	450
77	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	100	110	10	450
98	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	18 h	75	M3	100	110	10	550
99	Excavar zanja (Rutas individuales)	14 h	75	M3	100	110	10	550
123	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	100	110	10	550
124	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	100	110	10	550
145	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	100	110	10	550
146	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	100	110	10	550
167	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	18 h	75	M3	100	110	10	650
168	Excavar zanja (rutas individuales)	14 h	75	M3	100	110	10	650
192	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	100	110	10	650
193	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	100	110	10	650
214	Cerrar zanja (r. individual): rellenar con arena y material extraído y compactar	6 h	25	M3	100	110	10	650
215	Excavar zanja (rutas individuales)	4 h	25	M3	100	110	10	650

ANEXO E

Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Área	Sub área	Sistema	Sub-sistema
	Fabricación y montaje de soportes de instrumento	11.25d	2340					
35	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	100	110	10	450
37	Erigir soportes de instrumento	30 h	145	Kg	100	110	10	450
60	Fabricar soportes de instrumento	77 h	100	Kg	100	110	10	450
62	Erigir soportes de instrumento	15 h	100	Kg	100	110	10	450
82	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	100	110	10	450
84	Erigir soportes de instrumento	30 h	145	Kg	100	110	10	450
104	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	100	110	10	550
106	Erigir soportes de instrumento	30 h	145	Kg	100	110	10	550
129	Fabricar soportes de instrumento	77 h	100	Kg	100	110	10	550
131	Erigir soportes de instrumento	15 h	100	Kg	100	110	10	550
151	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	100	110	10	550
153	Erigir soportes de instrumento	30 h	145	Kg	100	110	10	550
173	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	100	110	10	650
175	Erigir soportes de instrumento	30 h	145	Kg	100	110	10	650
198	Fabricar soportes de instrumento	77 h	100	Kg	100	110	10	650
200	Erigir soportes de instrumento	15 h	100	Kg	100	110	10	650
220	Fabricar soportes de instrumento	90 h	145	Kg	100	110	10	650
222	Erigir soportes de instrumento	30 h	145	Kg	100	110	10	650
	Fabric y montaje de soportes de bandeja	6.88d	711					
24	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas individuales)	30 h	75	M	100	110	10	450
49	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas individuales)	55 h	150	M	100	110	10	450
71	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas individuales)	15 h	12	M	100	110	10	450
93	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas individuales)	30 h	75	M	100	110	10	550
118	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas individuales)	55 h	150	M	100	110	10	550
140	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas individuales)	15 h	12	M	100	110	10	550
162	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas individuales)	30 h	75	M	100	110	10	650
187	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas individuales)	55 h	150	M	100	110	10	650
209	Fabricar y montar soportes de bandeja (rutas individuales)	15 h	12	M	100	110	10	650
	Montaje de bandejas de cables	3.75d	711					

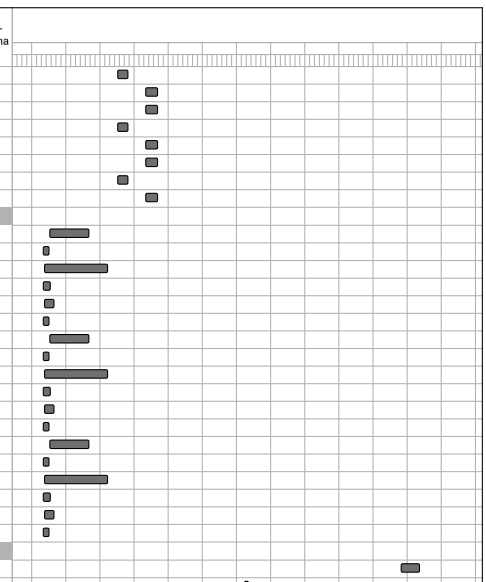


ANEXO E

Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Área	Sub área	Sistema	Sub-sistema
25	Montar bandejas (rutas individuales)	17 h	75	M	100	110	10	450
50	Montar bandejas (rutas individuales)	30 h	150	M	100	110	10	450
72	Montar bandejas (rutas individuales)	8 h	12	M	100	110	10	450
94	Montar bandejas (rutas individuales)	17 h	75	M	100	110	10	550
119	Montar bandejas (rutas individuales)	30 h	150	M	100	110	10	550
141	Montar bandejas (rutas individuales)	8 h	12	M	100	110	10	550
163	Montar bandejas (rutas individuales)	17 h	75	M	100	110	10	650
188	Montar bandejas (rutas individuales)	30 h	150	M	100	110	10	650
210	Montar bandejas (rutas individuales)	8 h	12	M	100	110	10	650
	Montaje de tubing	2.25d	366					
39	Instalar *tubing* a proceso	18 h	35	M	100	110	10	450
40	Instalar *tubing* a suministro de aire	12 h	24	M	100	110	10	450
64	Instalar *tubing* a proceso	4 h	2	M	100	110	10	450
65	Instalar *tubing* a suministro de aire	4 h	2	M	100	110	10	450
86	Instalar *tubing* a proceso	18 h	35	M	100	110	10	450
87	Instalar *tubing* a suministro de aire	12 h	24	M	100	110	10	450
108	Instalar *tubing* a proceso	18 h	35	M	100	110	10	550
109	Instalar *tubing* a suministro de aire	12 h	24	M	100	110	10	550
133	Instalar *tubing* a proceso	4 h	2	M	100	110	10	550
134	Instalar *tubing* a suministro de aire	4 h	2	M	100	110	10	550
155	Instalar *tubing* a proceso	18 h	35	M	100	110	10	550
156	Instalar *tubing* a suministro de aire	12 h	24	M	100	110	10	550
177	Instalar *tubing* a proceso	18 h	35	M	100	110	10	650
178	Instalar *tubing* a suministro de aire	12 h	24	M	100	110	10	650
202	Instalar *tubing* a proceso	4 h	2	M	100	110	10	650
203	Instalar *tubing* a suministro de aire	4 h	2	M	100	110	10	650
224	Instalar *tubing* a proceso	18 h	35	M	100	110	10	650
225	Instalar *tubing* a suministro de aire	12 h	24	M	100	110	10	650
	Montaje mecánico de instrumento	3d	96					
38	Instalación mecánica de instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	450

ANEXO E

Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Área	Sub área	Sistema	Sub-sistema
63	Instalación mecánica de instrumento	18 h	8	EA	100	110	10	450
85	Instalación mecánica de instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	450
107	Instalación mecánica de instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	550
132	Instalación mecánica de instrumento	18 h	8	EA	100	110	10	550
154	Instalación mecánica de instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	550
176	Instalación mecánica de instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	650
201	Instalación mecánica de instrumento	18 h	8	EA	100	110	10	650
223	Instalación mecánica de instrumento	24 h	12	EA	100	110	10	650
	Obra civil	9d	204					
31	Construir bloques E/S (rutas individuales)	48 h	24	Dct	100	110	10	450
36	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	100	110	10	450
56	Construir bloques E/S (rutas individuales)	72 h	36	Dct	100	110	10	450
61	Construir fundaciones de soportes de instrumento	16 h	1	M3	100	110	10	450
78	Construir bloques E/S (rutas individuales)	16 h	6	Dct	100	110	10	450
83	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	100	110	10	450
100	Construir bloques E/S (rutas individuales)	48 h	24	Dct	100	110	10	550
105	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	100	110	10	550
125	Construir bloques E/S (rutas individuales)	72 h	36	Dct	100	110	10	550
130	Construir fundaciones de soportes de instrumento	16 h	1	M3	100	110	10	550
147	Construir bloques E/S (rutas individuales)	16 h	6	Dct	100	110	10	550
152	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	100	110	10	550
169	Construir bloques E/S (rutas individuales)	48 h	24	Dct	100	110	10	650
174	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	100	110	10	650
194	Construir bloques E/S (rutas individuales)	72 h	36	Dct	100	110	10	650
199	Construir fundaciones de soportes de instrumento	16 h	1	M3	100	110	10	650
216	Construir bloques E/S (rutas individuales)	16 h	6	Dct	100	110	10	650
221	Construir fundaciones de soportes de instrumento	12 h	0.5	M3	100	110	10	650
	Pruebas e inspecciones	2d	813					
22	Probar sistema	12 h	0		100	110	10	
28	Probar e inspeccionar cables aéreos	5.5 h	36	Cond	100	110	10	450

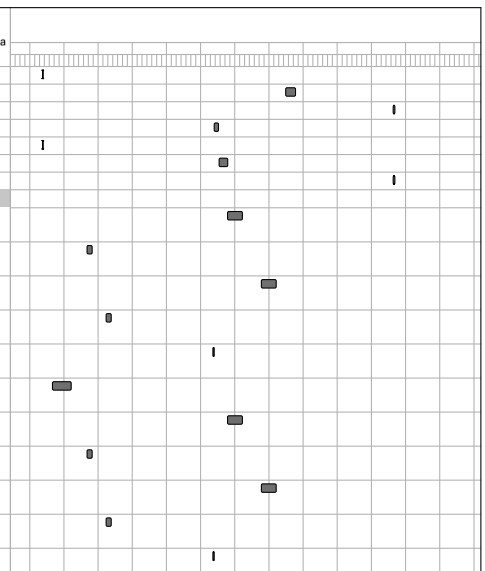


ANEXO E

Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Área	Sub área	Sistema	Sub-sistema
32	Inspeccionar zanja (rutas individuales)	1 h	50	M	100	110	10	450
43	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	12 h	12	EA	100	110	10	450
44	Probar lazo de punto a punto	7 h	7	EA	100	110	10	450
47	Probar subsistema	7 h	1		100	110	10	450
53	Probar e inspeccionar cables aéreos	8 h	50	Cond	100	110	10	450
57	Inspeccionar zanja (rutas individuales)	1 h	20	M	100	110	10	450
68	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	16 h	8	EA	100	110	10	450
69	Probar lazo de punto a punto	7 h	7	EA	100	110	10	450
75	Probar e inspeccionar cables aéreos	5.5 h	36	Cond	100	110	10	450
79	Inspeccionar zanja (rutas individuales)	1 h	25	M	100	110	10	450
90	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	12 h	12	EA	100	110	10	450
91	Probar lazo de punto a punto	7 h	7	EA	100	110	10	450
97	Probar e inspeccionar cables aéreos	5.5 h	36	Cond	100	110	10	550
101	Inspeccionar zanja (rutas individuales)	1 h	50	M	100	110	10	550
112	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	12 h	12	EA	100	110	10	550
113	Probar lazo de punto a punto	7 h	7	EA	100	110	10	550
116	Probar subsistema	7 h	1		100	110	10	550
122	Probar e inspeccionar cables aéreos	8 h	50	Cond	100	110	10	550
126	Inspeccionar zanja (rutas individuales)	1 h	20	M	100	110	10	550
137	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	16 h	8	EA	100	110	10	550
138	Probar lazo de punto a punto	7 h	7	EA	100	110	10	550
144	Probar e inspeccionar cables aéreos	5.5 h	36	Cond	100	110	10	550
148	Inspeccionar zanja (rutas individuales)	1 h	25	M	100	110	10	550
159	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	12 h	12	EA	100	110	10	550
160	Probar lazo de punto a punto	7 h	7	EA	100	110	10	550
166	Probar e inspeccionar cables aéreos	5.5 h	36	Cond	100	110	10	650
170	Inspeccionar zanja (rutas individuales)	1 h	50	M	100	110	10	650
181	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	12 h	12	EA	100	110	10	650
182	Probar lazo de punto a punto	7 h	7	EA	100	110	10	650
185	Probar subsistema	7 h	1		100	110	10	650
191	Probar e inspeccionar cables aéreos	8 h	50	Cond	100	110	10	650

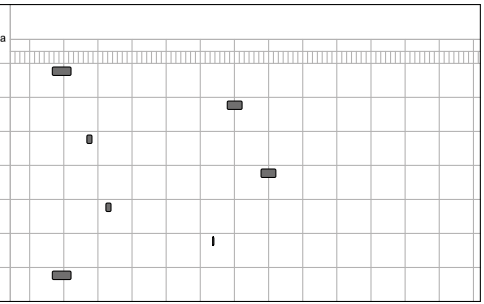
ANEXO E

Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Área	Sub área	Sistema	Sub-sistema
195	Inspeccionar zanja (rutas individuales)	1 h	20	M	100	110	10	650
206	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	16 h	8	EA	100	110	10	650
207	Probar lazo de punto a punto	7 h	7	EA	100	110	10	650
213	Probar e inspeccionar cables aéreos	5.5 h	36	Cond	100	110	10	650
217	Inspeccionar zanja (rutas individuales)	1 h	25	M	100	110	10	650
228	Probar e inspeccionar instrumento, incluye *tubing*	12 h	12	EA	100	110	10	650
229	Probar lazo de punto a punto	7 h	7	EA	100	110	10	650
	Tendido aéreo de cable	1.75d	1515					
26	Tender cable (individual) aéreo, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	450
27	Tender tramo enterrado de cable individual, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	450
51	Tender cable (individual) aéreo, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	450
52	Tender tramo enterrado de cable individual, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	450
73	Tender cable (individual) aéreo, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	4 h	30	M	100	110	10	450
74	Tender tramo enterrado de cable individual, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	14 h	95	M	100	110	10	450
95	Tender cable (individual) aéreo, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	550
96	Tender tramo enterrado de cable individual, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	550
120	Tender cable (individual) aéreo, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	550
121	Tender tramo enterrado de cable individual, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	550
142	Tender cable (individual) aéreo, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	4 h	30	M	100	110	10	550



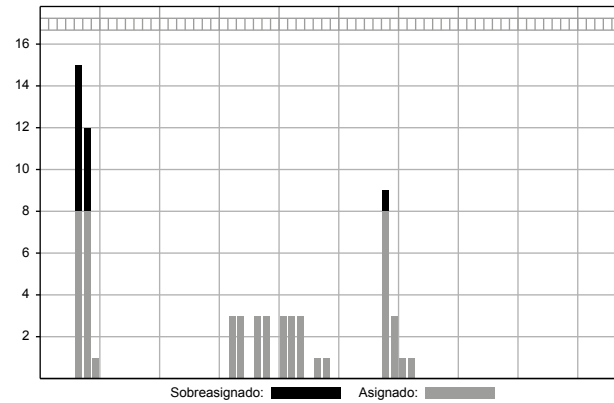
ANEXO E

Id	Nombre de tarea	Duración	Cantidad	Unidad medida	Área	Sub área	Sistema	Sub-sistema
143	Tender tramo enterrado de cable individual, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	14 h	95	M	100	110	10	550
164	Tender cable (individual) aéreo, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	650
165	Tender tramo enterrado de cable individual, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	650
189	Tender cable (individual) aéreo, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	650
190	Tender tramo enterrado de cable individual, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	9 h	95	M	100	110	10	650
211	Tender cable (individual) aéreo, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	4 h	30	M	100	110	10	650
212	Tender tramo enterrado de cable individual, incluye jalado, arreglo y fijación de cables	14 h	95	M	100	110	10	650

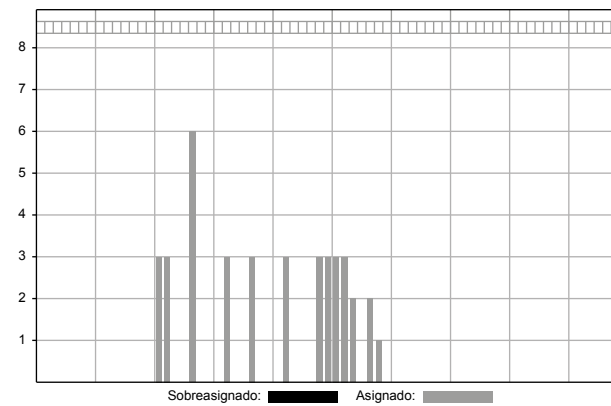


ANEXO F
USO DE RECURSOS PARA CRONOGRAMA SIN LIMITACIÓN DE RECURSOS

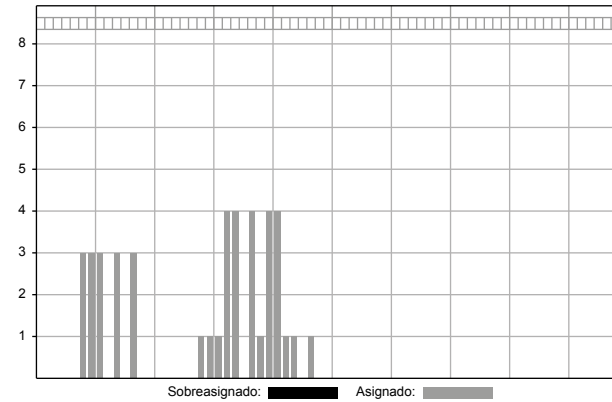
Inspector/calibrador



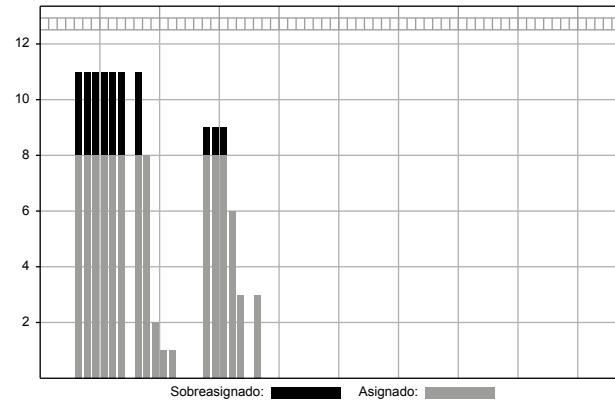
Terminador



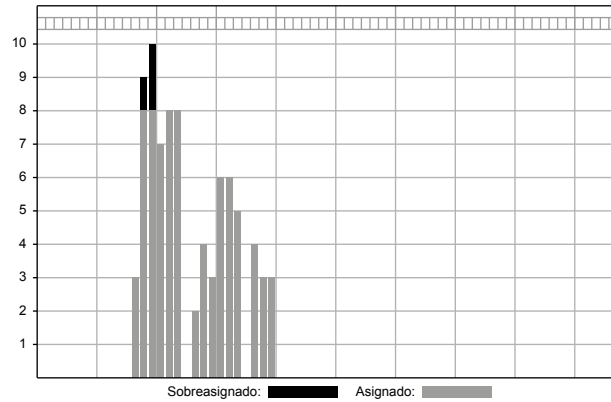
Tendido de cable



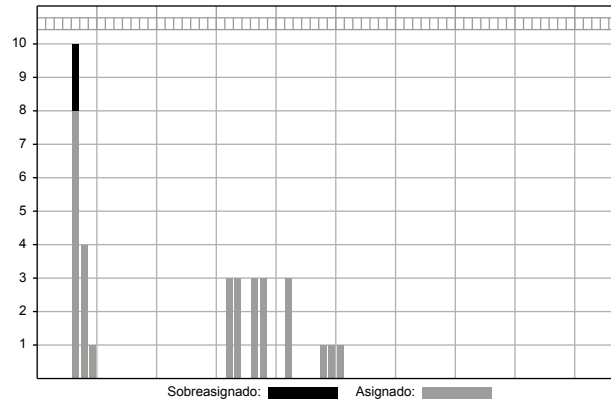
Fabricación metalmecánica



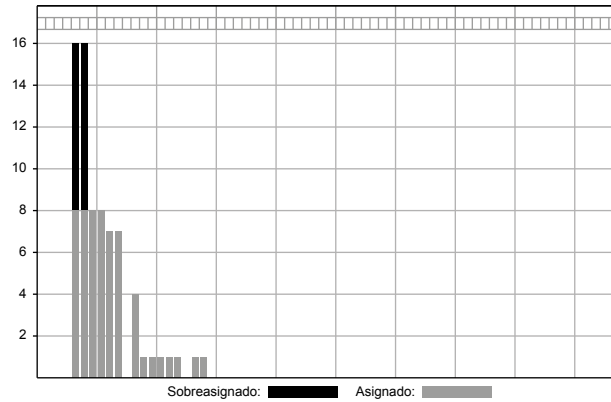
Montaje metalmecánico



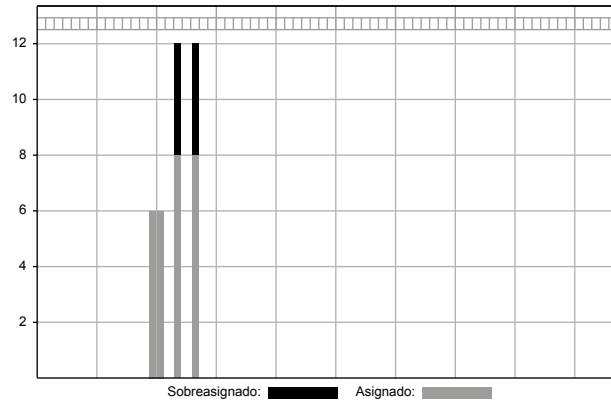
Movimiento de tierras



Obra civil



Tubing (montaje)



Se terminó de imprimir en
los talleres gráficos de
Tarea Asociación Gráfica Educativa
Psje. María Auxiliadora 156, Breña
Correo e.: tareagrafica@tareagrafica.com
Teléfono: 332-3229 Fax: 424-1582
Se utilizaron caracteres
Adobe Garamond Pro en 11 puntos
para el cuerpo del texto
diciembre 2012 Lima - Perú