



## PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

## Introducción

En lo que respecta al siguiente documento las palabras proyecto u obra tienen el mismo tratamiento, en base a que todo proyecto de ingeniería como el cálculo y diseño de una planta, máquina o estructura; así como, toda obra a construir, bien sea una represa, carretera o petroquímica pueden dividirse en tareas o actividades a ejecutar que siguen un esquema organizado para su ejecución; así como, estimar el tiempo que se empleara en llevarlas a cabo según los recursos con los que se cuente para las mismas.

## Ingeniería de planificación y control de proyectos

Comprende el área de la ingeniería que se ocupa de la planificación y seguimiento de las actividades necesarias para llevar a feliz término un proyecto; para ello el ingeniero contralor se vale de modelos matemáticos creados en hojas de cálculo o mediante software comercial (Microsoft Project), para recrear el orden de ejecución de las tareas, asignar las fechas de inicio y la duración de cada actividad.

Es responsabilidad del ingeniero contralor alertar a tiempo sobre las desviaciones en el avance de las obras, identificar las causas, participar en la resolución de los problemas y reprogramar las actividades con la finalidad de subsanar las demoras o evitar mayores retrasos.

Para lograr su cometido el ingeniero contralor conjuntamente con los diferentes ingenieros encargados de las distintas disciplinas establece el orden, la duración y la interrelación entre las diferentes actividades y disciplinas según la experiencia de cada ingeniero encargado y la propia para modelar la ejecución de las actividades en base a la prioridad, dependencia y tiempo de ejecución; así como, una vez que el proyecto está en marcha llevar un registro del avance real en la ejecución de la obra y alertar sobre cualquier desviación respecto al plan original.

## Planificación y control del avance de proyectos

Todo Gerente de Proyecto desea conocer el mejor camino para la ejecución de su obra y su posición en ese camino a medida que va avanzando el tiempo y la distancia que le queda por recorrer para concluirla. Hoy en día existen métodos que permiten dar respuesta a todas estas interrogantes, una de estas técnicas es la representación gráfica de la programación y el avance del proyecto u obra mediante diagramas y curvas.

Todo proyecto puede desglosarse con ayuda de los responsables de las disciplinas que participan en el proyecto en un grupo de tareas o actividades que generaran las diferentes partidas de obra que deben completarse para llevar a cabo la ejecución de la obra en su totalidad.

El primer paso en la planificación del proyecto consiste en definir conjuntamente con el ingeniero responsable de cada disciplina la lista de las diferentes tareas que deben ejecutarse para llevar a buen termino el proyecto; una vez definida estas tareas, se procede a estimar la duración (seg., min., horas, días, semanas; etc.) de las mismas y las relaciones que pudieran existir entre ellas (¿que se hace antes de?).

El segundo paso concluida ya la lista, definidas las relaciones y las duraciones de las actividades, consiste en la creación de un modelo gráfico mediante un diagrama del tipo "Gantt" o diagrama de barras, utilizando algún paquete comercial de software como por ejemplo "Microsoft Project".

El tercer paso consiste en crear la curva de avance del proyecto usando los datos del diagrama de barras. La técnica de modelar la curva de avance de un proyecto tiene como finalidad representar de manera gráfica y simple, el Avance Programado y el Avance Real del proyecto; de esta forma, se podrá apreciar cualquier desviación que ocurra como consecuencia del atraso o el adelanto en la ejecución de una de las tareas.

## Planificación de actividades

La planificación de las actividades es como el plan de vuelo para los pilotos, no solo les sirve de guía para llevar su vuelo a puerto; sino que le permite a un controlador aéreo conocer la ruta elegida y realizar el seguimiento que corresponda. Para nuestro plan de vuelo se requiere de la lista de tareas que deben ejecutarse para llevar a cabo la ejecución correcta del proyecto; listado que es producto de las reuniones con los diferentes ingenieros responsables de cada disciplina involucrada y la gerencia del proyecto. El listado debe ser aprobado por escrito por cada uno de los responsables de cada disciplina y la gerencia del proyecto.

### Ejemplo:

Para la construcción de las fundaciones superficiales de una pequeña edificación el listado de actividades podría ser:

- Limpieza del terreno y eliminación de la capa vegetal.
- Excavación con equipo liviano hasta la cota de fundación.
- Colocación de capa protectora de piedra picada N° 1.
- Replanteo y ubicación de las fundaciones sobre el terreno.
- Relleno y compactación.
- Vaciado de concreto premezclado.
- Colocación de acero de refuerzo.
- Periodo de endurecimiento del concreto.

Una vez concluida la lista de tareas se debe definir el orden de ejecución de las mismas; en otras palabras, se debe colocar la primera actividad que debe ejecutarse y continuar hasta la última, según el proceso de construcción.

- Limpieza del terreno y eliminación de la capa vegetal.
- Replanteo y ubicación de las fundaciones sobre el terreno.
- Excavación con equipo liviano hasta la cota de fundación.
- Colocación de capa protectora de piedra picada N° 1.
- Colocación de acero de refuerzo.
- Vaciado de concreto premezclado.
- Periodo de endurecimiento del concreto.
- Relleno y compactación.

Ya ordenadas las tareas de cada disciplina y definido su orden de ejecución e interdependencia se debe establecer la dependencia y relación entre tareas de las distintas disciplinas; en otras palabras, “que debe ejecutarse antes de” o “cual al mismo tiempo que”, este paso es muy importante ya que algunas actividades requieren que otras hallan concluido para poder ser ejecutadas; por ejemplo, se debe concluir la actividad de excavación para proceder a las actividades de colocación de piedra picada y el acero de refuerzo; y todas ellas para continuar con las actividades de la construcción de la superestructura de la edificación (Columnas, vigas, losas, etc.)

En resumen nuestro modelo debe agrupar todas las tareas de las diferentes disciplinas, indicar la duración de cada tarea y en los casos que corresponda indicar las relaciones de dependencia entre las diferentes tareas relacionadas.

### Cálculo del tiempo de cada actividad

La siguiente variable que necesitamos para construir nuestro modelo sobre la ejecución del proyecto, es la duración de cada actividad, que se define como el tiempo estimado que se necesitara para concluir cada una de las tareas de las diferentes disciplinas cumpliendo con los estándares de ingeniería, construcción y calidad; tiempo que según la precisión y tipo de tarea a realizar puede tener unidades de segundos, minutos horas, días o meses.

La duración de cada tarea puede estimarse en base a la experiencia del personal técnico que esta encargado del proyecto o mediante cálculo en base a los rendimientos establecidos para cada tarea según los equipos utilizados y la cantidad de personas asignadas a la tarea.

Para el cálculo de la duración de cada tarea se divide la cantidad estimada a ejecutar entre el rendimiento correspondiente de la partida de obra.

$$TOTAL\_de\_DIAS = \frac{Cantidad\_a\_Ejecutar}{Rendimiento}$$

### Ejemplo:

Cantidad estimada a ejecutar partida nº 23 = 4000 kgf. de cabilla

Con un rendimiento de la cuadrilla de trabajo de 200 kgf. /día.

$$TOTAL\_de\_DIAS = \frac{4.000kgf\_de\_cabilla}{200Kgf/dia} = 20\_dias$$

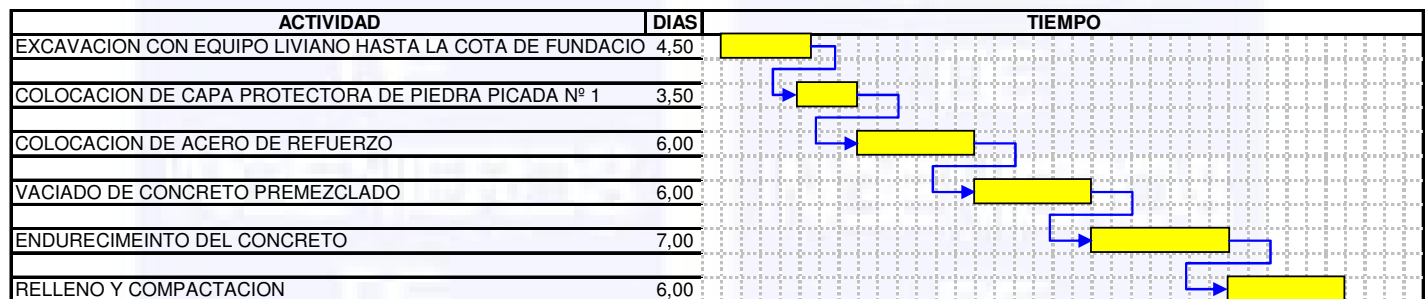
Así, la cantidad de días para concluir esta tarea será de 20días.

**Lista de actividades con sus duraciones y ordenadas según la prioridad y dependencia para su ejecución**

- Limpieza del terreno y eliminación de la capa vegetal.....7,00 días
- Replanteo y ubicación de las fundaciones sobre el terreno.....2,00 días
- Excavación con equipo liviano hasta la cota de fundación.....4,50 días
- Colocación de capa protectora de piedra picada N° 1.....3,50 días
- Colocación de acero de refuerzo.....6,00 días
- Vaciado de concreto premezclado.....6,00 días
- Periodo de endurecimiento del concreto..... 7,00 días
- Relleno y compactación.....6,00 días

Una vez que se cuenta con toda la información se procede a crear el diagrama de Gantt mediante el software comercial, o por medio de una hoja de cálculo.

**Programación de actividades mediante el uso de Excel**

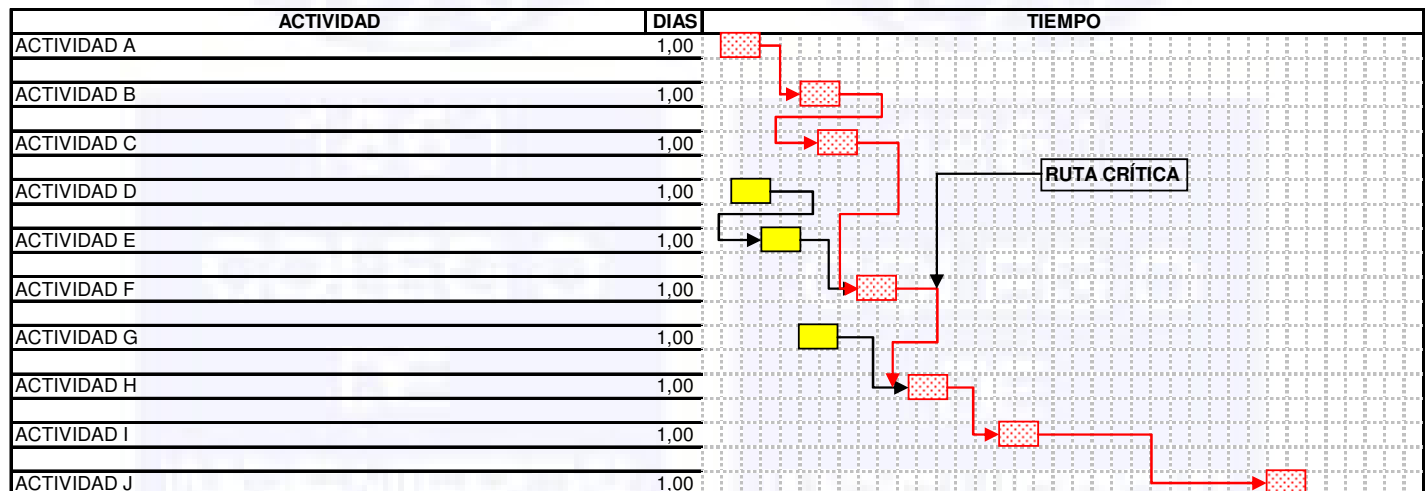


Si se usa una hoja de cálculo se deber tener cuidado en llevar la cuenta de la duración de las actividades y tener presente las relaciones y prioridades de ejecución entre las tareas, y así obtener la dependencia, las fecha de inicio y fecha de fin de cada actividad y por consiguiente las fechas de inicio y fin del proyecto.

La ventaja de los paquetes comerciales, es que estos realizan estos cálculos automáticamente para nosotros y además calcula la “Ruta Critica” del proyecto.

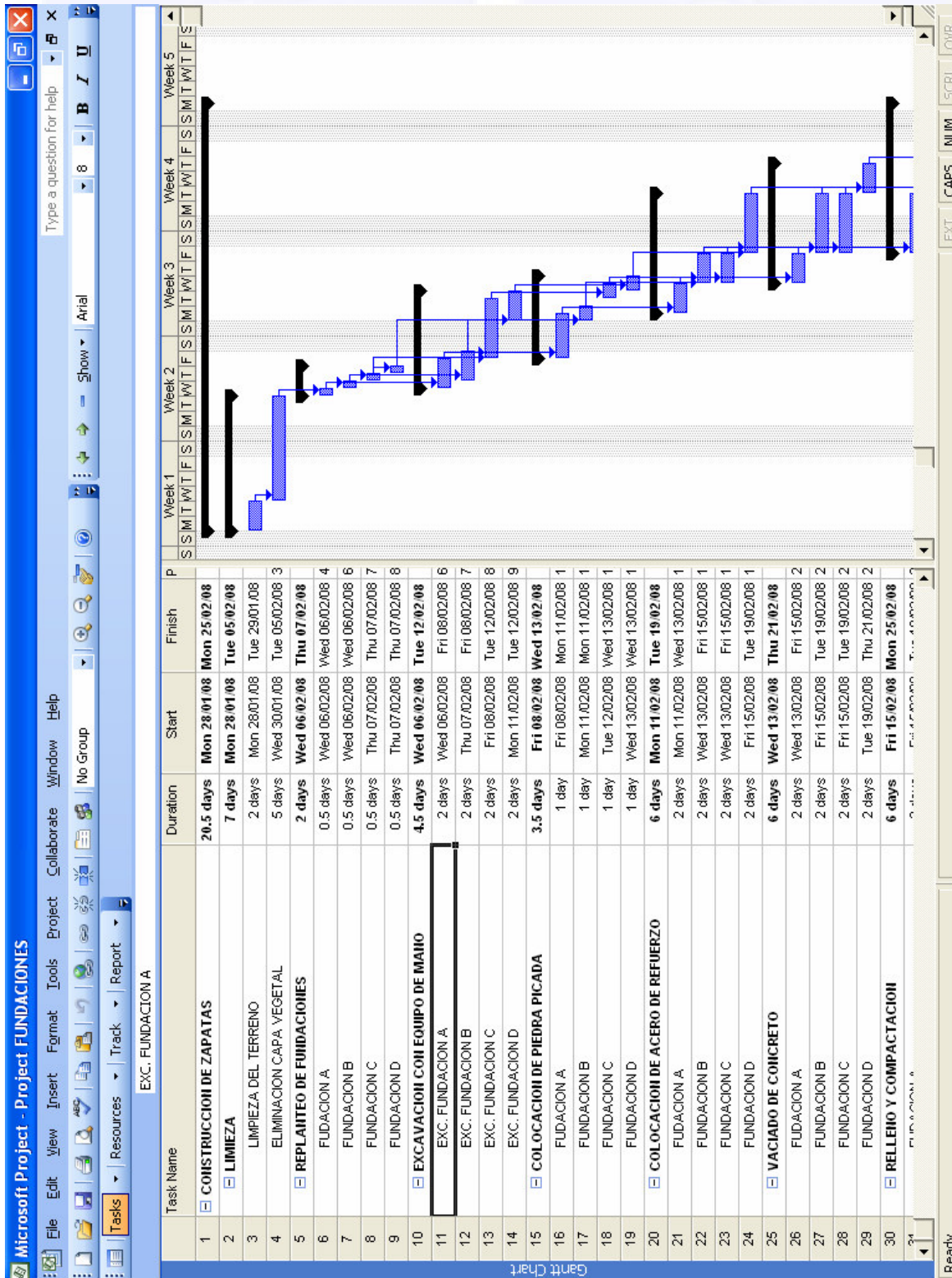
### Ruta critica

La ruta crítica de un proyecto es el camino que relaciona la actividad inicial con la actividad final, pasando por actividades intermedias cuya duración total o el tiempo que se demora en recorrer el camino corresponde a la menor duración; en otras palabras todos los caminos conducen a Roma, pero siempre habrá uno que nos lleve a nuestro destino en menos tiempo. El problema realmente no es tan sencillo, no solo es la ruta más corta; sino que además, es la columna vertebral del proyecto ya que una demora en esta ruta provoca un descontrol en la planificación global y obliga a un replanteo de la ruta de ejecución.





Programación de actividades con Microsoft Project



## **Cálculo de la curva de avance del proyecto**

La curva de avance no es más que una representación gráfica del avance planificado de la obra y el correspondiente registro del avance real de la misma, estas curvas generalmente tienen forma de "s".

Para crear la curva haremos uso de un modelo matemático sencillo, con la finalidad de simular las situaciones reales mediante operaciones matemáticas, que de manera aproximada nos dan el valor del avance de las actividades a una fecha determinada.

### **Definición de modelo matemático**

Un modelo matemático no es más que una serie de operaciones numéricas ordenadas, que tratan de recrear las condiciones de operación, y los posibles cambios en los valores de los parámetros que definen el resultado de un evento o valor.

### **Información para crear la curva de avance**

Para construir la curva de avance se requiere del cronograma de ejecución (ubicación en el tiempo) y definir la importancia o peso de las diferentes tareas a ejecutar dentro del conjunto global del proyecto.

### **Cálculo y asignación de los pesos**

A.- La asignación del peso a cada actividad tiene como fin representar de alguna forma su jerarquía o importancia en la totalidad de la obra, para ello se pueden usar los siguientes criterios:

- La duración de la actividad.
- Las unidades producidas (planos, m<sup>2</sup>...).

- La cantidad de horas invertidas.
- La importancia de la actividad.
- El costo de la actividad.

Para un proyecto de construcción se puede elegir como criterio para asignar los pesos, el costo total de cada partida y el costo global del presupuesto, entonces:

$$\text{Peso}_{\text{Actividad "A"}} = \frac{\text{Costo}_{\text{Actividad "A"}}}{\text{Costo}_{\text{Total del Proyecto}}}$$

TAREA	DURACION días	COSTO Bs	PESO
ACTIVIDAD A	5	600,00	0,1765
ACTIVIDAD B	6	350,00	0,1029
ACTIVIDAD C	10	1.200,00	0,3529
ACTIVIDAD D	3	300,00	0,0883
ACTIVIDAD E	7	950,00	0,2794
TOTAL DIAS	31		1,0000
TOTAL Bs		3.400,00	

### Aporte de las actividades al proyecto

El aporte porcentual de la actividad al proyecto será función del peso o importancia; y se obtiene al multiplicar el porcentaje de avance de la actividad por el peso de la actividad en el proyecto, según se indica en la siguiente expresión:

$Aporte\_al\_Proyecto = Porcentaje\_Re\_portado * Peso\_de\_la\_Actividad$

TAREA	DURACION días	COSTO Bs	PESO	AVANCE ACTIVIDAD	APORTE AL PROYECTO
ACTIVIDAD A	5	600,00	0,1765	25,00%	4,41%
ACTIVIDAD B	6	350,00	0,1029	15,00%	1,54%
ACTIVIDAD C	10	1.200,00	0,3529	5,00%	1,76%
ACTIVIDAD D	3	300,00	0,0883	40,00%	3,53%
ACTIVIDAD E	7	950,00	0,2794	75,00%	20,96%
TOTAL DIAS	31		1,0000		
TOTAL Bs		3.400,00		AVANCE DEL PROYECTO:	32,21%

### Cálculo del aporte de las actividades por unidad de tiempo

Para construir la curva de avance se debe calcular el aporte de cada actividad por unidad de tiempo; para ello se divide el aporte al proyecto asignado a cada actividad entre la duración estimada para la actividad, según se indica a continuación:

$$\frac{Aporte\_de\_la\_Actividad\_al\_Proyecto}{Unidad\_de\_Tiempo} = \frac{Aporte\_de\_la\_Actividad\_al\_Proyecto}{Duración\_de\_la\_Actividad}$$

### Ejemplo:

La actividad "A" representa el 25 % en peso de la totalidad del proyecto (100 %), y tiene una duración estimada de 10 días; el aporte estimado diario de esta actividad al proyecto será:

$$\frac{\text{Aporte de la Actividad al Proyecto}}{\text{dia}} = \frac{25\% \text{ de Peso}}{10 \text{ dias}} = 2,5 \frac{\%}{\text{dia}}$$

TAREA	DURACION días	COSTO Bs	PESO	AVANCE ACTIVIDAD	APORTE AL PROYECTO	CONTRIBUCION PORCENTUAL POR DIA
ACTIVIDAD A	5	600,00	0,1765	100,00%	17,65%	3,53%
ACTIVIDAD B	6	350,00	0,1029	100,00%	10,29%	1,72%
ACTIVIDAD C	10	1.200,00	0,3529	100,00%	35,29%	3,53%
ACTIVIDAD D	3	300,00	0,0883	100,00%	8,83%	2,94%
ACTIVIDAD E	7	950,00	0,2794	100,00%	27,94%	3,99%

TOTAL DIAS

TOTAL Bs  NCE DEL PROYECTO:

### Generación de la curva de avance

Una vez calculado todos los aportes por unidad de tiempo (ejemplo: días) de todas la actividades utilizamos la hoja de cálculo para obtener los puntos de la curva, mediante los siguientes lineamientos:

- Se coloca en una columna el listado de actividades en orden de ejecución
- Se representa la duración de las actividades con barras; el inicio, duración y fin de las barras deben ser igual a las del diagrama de barras de Microsoft Project.
- Se debe distribuir el aporte o peso que representa cada actividad para el proyecto a lo largo de las celdas y filas que abraza cada barra.
- A continuación se totaliza por unidad de tiempo (días), los aportes de todas las actividades.
- Para finalizar, se lleva la suma acumulada de los totales por día hasta finalizar el tiempo de ejecución del proyecto; si todo se ha hecho correctamente la suma acumulada totalizara el 100%; a veces se requiere hacer un pequeño ajuste por el redondeo en los cálculos.

**Ejemplo:** Hoja de cálculo en Excel para el creación de la curva de avance programado.

A.- Tabla de datos

TAREA	DUR días	COSTO Bs	PESO	AVANCE ACTIV	APORTE AL PROY	CONTRIB. % POR DIA
ACTIVIDAD A	5	600,00	0,1765	100,00%	17,65%	3,53%
ACTIVIDAD B	6	350,00	0,1029	100,00%	10,29%	1,72%
ACTIVIDAD C	10	1.200,00	0,3529	100,00%	35,29%	3,53%
ACTIVIDAD D	3	300,00	0,0883	100,00%	8,83%	2,94%
ACTIVIDAD E	7	950,00	0,2794	100,00%	27,94%	3,99%

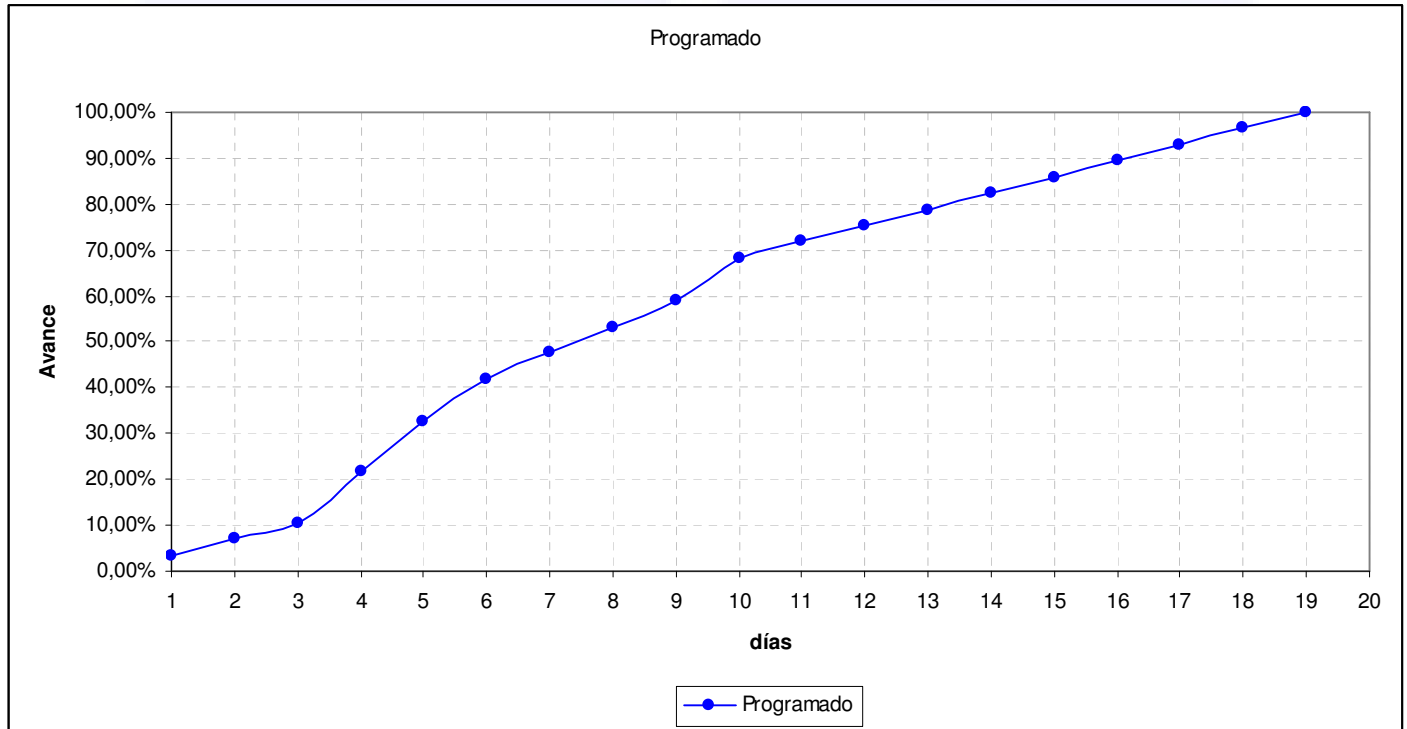
TOTAL DIAS  AVANCE DEL PROYECTO:   
TOTAL Bs

B.- Distribución de los avances en el tiempo

DIAS																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%														
					1,72%	1,72%	1,72%	1,72%	1,72%									
										3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%
			AJUSTE															
			3,51%	3,51%	3,50%													
			3,99%	3,99%	3,99%	3,99%	3,99%	3,99%	3,99%									
3,53%	3,53%	3,53%	11,03%	11,03%	9,21%	5,71%	5,71%	5,71%	9,24%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%	3,53%
3,53%	7,06%	10,59%	21,62%	32,65%	41,86%	47,57%	53,28%	58,99%	68,23%	71,76%	75,29%	78,82%	82,35%	85,88%	89,41%	92,94%	96,47%	100,00%

Una vez concluida la tabla y totalizado las distribución de los pesos de las diferentes actividades, podemos hacer uso de las facilidades de excel para dibujar la curva programada del avance del proyecto.

## Curva de avance del proyecto



## Registro del avance real del proyecto

### Medición del avance real por partida

Para calcular y registrar el avance real de las diferentes actividades, se realizaran mediciones en el sitio de la obra de las cantidades ejecutadas y se llevara un registro con una frecuencia igual a la usada en el cálculo de la curva de avance programada (horas, días, semanas, etc.)

Una vez que se cuenta con las cantidades de obra ejecutadas según la unidad de tiempo; se procede a calcular el porcentaje de avance real correspondiente a cada actividad, dividiendo la cantidad ejecutada entre la cantidad presupuestada de la partida.

$$\text{Avance\_Real} = \frac{\text{Cant\_Ejecutada}}{\text{Cant\_Presupuestada}} * 100$$

### Cálculo del avance real del proyecto

Cuando se cuenta con los porcentajes de avance real de cada actividad a una fecha de corte; el aporte al proyecto se calcula multiplicando el porcentaje de avance de la actividad en el periodo por el peso de la actividad, el resultado representa el avance que aporta la actividad al avance del proyecto en ese periodo de tiempo, y la totalización de los aportes de las diferentes actividades nos dará el avance del proyecto a esa fecha.

FECHA: 15/02/2009								AVANCE PROYECTO DEL PERIODO
TAREA	UNIDAD	CANT PRESUP	CANT EJECUTADA PERIODO	CANT ACUMULA	AVANCE DEL PERIODO	AVANCE ACUMULADO	PESO	AVANCE PROYECTO DEL PERIODO
ACTIVIDAD A	m3	600,00	50,00	150,00	8,33%	25,00%	0,1765	1,47%
ACTIVIDAD B	m2	300,00	37,00	237,00	12,33%	79,00%	0,1029	1,27%
ACTIVIDAD C	Kgf	2.600,00	600,00	1.600,00	23,08%	61,54%	0,3529	8,14%
ACTIVIDAD D	m3	450,00	50,00	150,00	11,11%	33,33%	0,0883	0,98%
ACTIVIDAD E	m3	200,00	15,00	115,00	7,50%	57,50%	0,2794	2,10%
<b>TOTAL AVANCE DEL PROYECTO DEL PERIODO</b>								<b>13,96%</b>





El resultado general del avance del proyecto se lleva a la tabla de valores que genera las curvas de avance

Table with columns labeled 'DIAS' (1-19) and rows for 'PROGRAMADO' and 'REAL' showing cumulative percentages and daily increments.

De esta forma podemos graficar el avance programado del proyecto contra su avance real

