

## **7 APLICACIÓN PRÁCTICA.**

### **7.1 Aplicación de metodología a proyecto de construcción.**

#### **7.1.1 Primer acercamiento por MS-PROJECT.**

Actualmente uno de los software más fáciles de acceder y de gran uso en la gestión de proyectos es el MS-PROJECT, el cual se fundamenta en los diagramas de GANTT para la representación gráfica de las tareas y sus relaciones de precedencia, este software también puede controlar, en parte, la nivelación de recursos, que trata simplemente de agregar más recursos a las tareas cuando esta lo requiere, obviamente con una previa organización o programación del rendimiento del recurso.

En este caso usaremos el software para mostrar la programación realizada para el proyecto de forma detallada y la programación estructurada en paquetes de trabajo (work packages WP), además nos dará un conocimiento de duración del proyecto para así poder tener una idea inicial, la cual será modificada por las diferentes metodologías.

Primero veremos la programación o cronograma ejecutado en MS-PROJECT® con todas las actividades del proyecto, así tendremos una visión global del mismo, a continuación, veremos el cronograma a evaluar de la parte del proyecto que, como se dijo anteriormente, será analizado solo el tramo de puente atirantado.



Para poder acceder a una información más concisa, convertiremos este cronograma en uno más condensado y con grupos de tareas WP, como lo mencionamos anteriormente, las tareas agrupadas son las siguientes con sus respectivas dependencias de tareas (predecesoras).

Nombre de tarea	Predecesoras
<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>	
<b>PUENTE ATIRANTADO</b>	
<b>PRELIMINARES</b>	
Localización y replanteo	
Instalaciones provisionales	3SS+2 d
<b>RETIROS Y DEMOLICIONES</b>	
Carreteables provisionales con material granular y riego de imprimación asfáltica	4SS
Retiro de cerramiento en muro y reja metálica	6
Cerramiento muro en bloque enchapado y reja metálica	7
<b>TORRE C ( LADO OCCIDENTAL)</b>	
MOVIMIENTO DE TIERRAS	3SS+3 d
CONCRETOS FUNDACIONES	10FF+1 d
TORRE TRAMO INFERIOR	11FS-2 d
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	12FS-5 d
TORRE TRAMO SUPERIOR	13
COSTADO OESTE	13
COSTADO ESTE	13
<b>TORRE D (LADO ORIENTAL)</b>	
MOVIMIENTO DE TIERRAS	3SS+3 d
CONCRETOS FUNDACIONES	18FF+2 d
TORRE TRAMO INFERIOR	19FS-2 d
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	20FS-5 d
TORRE TRAMO SUPERIOR	21
COSTADO OESTE	21
COSTADO ESTE	21
DOVELA DE CIERRE	24,16
<b>ALUMBRADO VIAL</b>	
Suministro, transporte y construcción de canalización en PVC tipo DB en andén o zona verde.	23,24
Suministro, transporte y colocación de poste de concreto de 9 m. poste en fibra de vidrio 12 m.	31FS-2 d
Suministro transporte y colocación de proyector A-1500 de 400W sodio alta presión HID o metal halide con balasto tipo reactor	28
<b>ZONAS DURAS</b>	
Anden en Adoquín Cuadrado 20x20x6 en color negro	27SS+1 d
Bordillo Barrera Recto	31FF+2 d
<b>PAVIMENTOS ASFÁLTICOS</b>	
Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	31
<b>BARANDA METÁLICA</b>	
Barrera metálica. Incluye sistemas de fijación y todo de acuerdo a planos.	31FS-10 d
<b>ALUMBRADO PEATONAL</b>	
Suministro y colocación de poste de alumbrado peatonal.	31
Suministro, transporte y colocación de luminaria de 70W sodio con brazo.	38
<b>ASEO Y ENTREGA DE OBRA</b>	
ASEO Y ENTREGA DE OBRA	29FF,32FF,34FF,36FF,39FF

En este orden de ideas, obtenemos entonces el siguiente cronograma tanto en MS-PROJECT y en forma de gráfico GANTT.

Nombre de tarea	mes 1				mes 2				mes 3				mes 4				mes 5				mes 6				mes 7				mes 8				mes 9				mes 10				mes 11				mes 12				mes 13				mes 14				mes 15				mes 16				mes 17				mes 18			
	s1	s2	s3	s4	s1	s2	s3	s4	s1	s2	s3	s4	s1	s2	s3	s4	s1	s2	s3	s4	s1	s2	s3	s4	s1	s2	s3	s4																																												
<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>																																																																								
<b>PUENTE ATIRANTADO</b>																																																																								
<b>PRELIMINARES</b>																																																																								
Localización y replanteo																																																																								
Instalaciones provisionales																																																																								
<b>RETIROS Y DEMOLICIONES</b>																																																																								
Carreterías provisionales con material granular y negro de imprimación asfáltica																																																																								
Retiro de cerramiento en muro y reja metálica																																																																								
Cerramiento muro en bloque enchapado y reja metálica																																																																								
<b>TORRE C ( LADO OCCIDENTAL)</b>																																																																								
MOVIMIENTO DE TIERRAS																																																																								
CONCRETOS FUNDACIONES																																																																								
TORRE TRAMO INFERIOR																																																																								
TABLERO PUENTE ATIRANTADO																																																																								
TORRE TRAMO SUPERIOR																																																																								
COSTADO OESTE																																																																								
COSTADO ESTE																																																																								
<b>TORRE D (LADO ORIENTAL)</b>																																																																								
MOVIMIENTO DE TIERRAS																																																																								
CONCRETOS FUNDACIONES																																																																								
TORRE TRAMO INFERIOR																																																																								
TABLERO PUENTE ATIRANTADO																																																																								
TORRE TRAMO SUPERIOR																																																																								
COSTADO OESTE																																																																								
COSTADO ESTE																																																																								
DOVELA DE CIERRE																																																																								
<b>ALUMBRADO VIAL</b>																																																																								
Suministro, transporte y construcción de canalización en PVC tipo DB en andén o zona verde.																																																																								
Suministro, transporte y colocación de poste de concreto de 9m, poste en fibra de vidrio 12 m.																																																																								
Suministro, transporte y colocación de proyector A-500 de 400w solo alta presión HID o metal halide con balasto tipo reactor																																																																								
<b>ZONAS DURAS</b>																																																																								
Andén en Adoquin Cuadrado 20x20x6 en color negro																																																																								
Bordillo Barrera Recto																																																																								
<b>PAVIMENTOS ASFÁLTICOS</b>																																																																								
Mezcla densa en caliente tipo MDC-2																																																																								
<b>BARANDA METÁLICA</b>																																																																								
Barrera metálica. Incluye sistemas de fijación y todo de acuerdo a planos.																																																																								
<b>ALUMBRADO PEATONAL</b>																																																																								
Suministro y colocación de poste de alumbrado peatonal.																																																																								
Suministro, transporte y colocación de luminaria de 70w solo con brazo.																																																																								
<b>ASEO Y ENTREGA DE OBRA</b>																																																																								
ASEO Y ENTREGA DE OBRA																																																																								

Figura 23. Programación condensada puente calle 4 sur

Como podemos observar, el resultado de la duración del proyecto es de 547 días calendario, este dato nos sirve como dato de entrada para poder hacer, en primera medida, el análisis por metodología tradicional PERT-CPM, en la cual ya tendremos valores monetarios de recursos y así podremos obtener datos de entrada tanto de duración como coste.

Se debe tener en cuenta el coste acá relacionado es el perteneciente a la mano de obra requerida del proyecto, con datos reales del año 2010 en tasa de cambio de COP (pesos Colombianos) a euros, así el resultado obtenido será en esta última moneda. Se utilizará solo el valor de mano de obra, ya que el coste de materiales se considera una constante, y el uso de equipos no se tendrá en cuenta como un coste horario, similar al de mano de obra.

### **7.1.2 Metodología PERT-CPM determinista de duración y coste.**

En este paso resolveremos con una hoja de cálculo el método CPM-PERT cada tarea tiene asociada una duración estimada y un coste debido a la mano de obra, como ya se dijo el coste de los materiales se definirá como constante, en esta metodología no se contemplan los retrasos, es decir, el proyecto tiene una duración única la cual es la que se determina con la metodología.

Al utilizar esta metodología se deben tener en cuenta los tiempos fundamentales de cada actividad, los cuales son:

- 7.1.2.1 EST o  $t_i$ : es el tiempo más temprano de inicio de la tarea, lo cual quiere decir que todas las tareas que preceden a la tarea analizada, ya deben haber sido ejecutadas, el tiempo de inicio más temprano EST de una tarea que no tiene predecesoras se asume como "0", en el caso que sean varias tareas las predecesoras, el tiempo EST será el de la tarea que acabe más tarde.
- 7.1.2.2 EFT o  $f_i$ : es el tiempo más temprano en que finaliza la tarea, es decir, es el tiempo más temprano de inicio más la duración de la tarea analizada.

- 7.1.2.3 LST o  $T_i$ : es el tiempo más tardío de inicio es el momento o tiempo más tarde en que puede iniciar la tarea, esto si aumentar la duración del proyecto.
- 7.1.2.4 LFT o  $F_i$ : es el tiempo más tardío de finalización de la tarea, en conclusión con el anterior, es el tiempo más tarde en que puede finalizar la tarea sin que modifique la duración del proyecto.

Aunque en el MS-PROJECT se pueden observar las tareas críticas del proyecto, CPM-PERT nos permite también ver dichas tareas y estas tareas indican que el retraso de una de ellas acarrea el retraso de su conjunto y por consiguiente del proyecto, ver estas tareas se logra conociendo la holgura de las mismas, así, las tareas con una holgura igual a cero, serán las tareas críticas del proyecto.

La holgura se obtiene restando del tiempo más tardío de ejecución de tarea, el tiempo más temprano de inicio ( $H=LST-EST$ ), se debe tener especial cuidado en la obtención de los resultados por esta metodología, ya que un mala obtención de los datos antes explicados, conllevan a una obtención de datos erróneos.

A continuación veremos la holgura de las tareas y por consiguiente, la obtención de las tareas críticas del proyecto.

Nombre de tarea	holgura	critica
<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>		
<b>PUENTE ATIRANTADO</b>		
<b>PRELIMINARES</b>		
Localización y replanteo	0	si
Instalaciones provisionales	0	si
<b>RETIROS Y DEMOLICIONES</b>		
Carreteables provisionales con material granular y riego de imprimación asfáltica	0	si
Retiro de cerramiento en muro y reja metálica	0	si
Cerramiento muro en bloque enchapado y reja metálica	0	si
<b>TORRE C ( LADO OCCIDENTAL)</b>		
MOVIMIENTO DE TIERRAS	0	si
CONCRETOS FUNDACIONES	0	si
TORRE TRAMO INFERIOR	0	si
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	0	si
TORRE TRAMO SUPERIOR	141	no
COSTADO OESTE	0	si
COSTADO ESTE	0	si
<b>TORRE D (LADO ORIENTAL)</b>		
MOVIMIENTO DE TIERRAS	0	si
CONCRETOS FUNDACIONES	1	no
TORRE TRAMO INFERIOR	1	no
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	1	no
TORRE TRAMO SUPERIOR	142	no
COSTADO OESTE	1	no
COSTADO ESTE	1	no
DOVELA DE CIERRE	0	si
<b>ALUMBRADO VIAL</b>		
Suministro, transporte y construcción de canalización en PVC tipo DB en andén o zona verde.	4	no
Suministro, transporte y colocación de poste de concreto de 9 m. poste en fibra de vidrio 12 m.	7	no
Suministro transporte y colocación de proyector A-1500 de 400W sodio alta presión HID o metal halide con balasto tipo reactor	7	no
<b>ZONAS DURAS</b>		
Anden en Adoquín Cuadrado 20x20x6 en color negro	4	no
Bordillo Barrera Recto	20	no
<b>PAVIMENTOS ASFÁLTICOS</b>		
Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	13	no
<b>BARANDA METÁLICA</b>		
Barrera metálica. Incluye sistemas de fijación y todo de acuerdo a planos.	0	si
<b>ALUMBRADO PEATONAL</b>		
Suministro y colocación de poste de alumbrado peatonal.	11	no
Suministro, transporte y colocación de luminaria de 70W sodio con brazo.	11	no
<b>ASEO Y ENTREGA DE OBRA</b>		
ASEO Y ENTREGA DE OBRA	0	si

Existe la posibilidad de que resulten dos caminos críticos en el proyecto, gracias a su simetría de ejecución de obra, pero al realizar la metodología, vemos que existe una leve diferencia entre los dos bloques de actividades, así que el camino crítico se define solo por uno de ellos.

El resultado obtenido con esta metodología es una duración de 541 días, una duración levemente inferior que lo obtenido con MS-PROJECT, y además tenemos un coste de 3'979.412.04 € según las duraciones y costes de mano de obra analizados, la exactitud de esta metodología es corta ya que, como se dijo anteriormente, no considera la posibilidad de retrasos durante el proyecto, situación que no se apega a la realidad de ninguna manera.

Los cálculos realizados se pueden ver en el archivo de Excel nombrado "GANTT Y CPM-PERT PUENTE 4 SUR-TFM CARLOS AGON", allí se podrán observar los cálculos de  $t_i$ ,  $f_i$ ,  $T_i$ , y  $F_i$ , teniendo en cuenta la condensación de las actividades y los bloques o WP tomados para el proyecto, en las celdas además se verán los cálculos realizados por la dependencia de las tareas de otras, ya que las conexiones de dependencia no son exactas con el principio o fin de las tareas, es decir, pueden empezar días antes o después del inicio o fin de sus predecesoras.

### **7.1.3 Optimización de recursos por métodos cuantitativos.**

Los datos de entrada para esta metodología de optimización serán los obtenidos en CPM-PERT, así se realizará una nueva planificación de los recursos teniendo en cuenta los posibles retrasos, pero también, las compensaciones por entregas tempranas, es decir, adelantos en el trabajo.

En este orden de ideas, para dicha metodología tendremos en cuenta una remuneración por adelanto de tareas si el proyecto finaliza antes de lo programado. Se tendrán beneficios en la medida en que el tiempo se disminuya y por consiguiente el coste de las tareas, así los costes finales del proyecto se reducirán, sin embargo, también cabe la posibilidad de un retraso lo cual no tendría beneficio, si no que será visto como un caso contrario de la

remuneración o como un castigo. En el momento en que esto presente cada vez un día adicional en el proyecto, conllevará a un coste o gasto adicional no contemplado, lo cual reduce los beneficios económicos del proyecto.

Lo que se busca es una minimización de costes teniendo en cuenta la estrecha relación que existe entre la duración del proyecto o sus tareas con el coste, los resultados obtenidos serían entonces, un nuevo coste para el proyecto una nueva duración obviamente y una repartición de los trabajadores de una forma más equitativa en las actividades.

Las variables del modelo son:

<b>NOMENCLATURA DE LA VARIABLE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
$W_i$	Número de trabajadores empleados en la tarea (i)
$D_i$	Duración de la tarea i en días, con respecto al número de trabajadores $W_i$
$C_i$	Coste de la tarea i en euros
$WT_j$	Número total de trabajadores en el día j
$\alpha$	Variable binaria indica adelanto
$\beta$	Variable binaria indica retraso
$t_i$	EST para cada actividad i
$f_i$	EFT para cada actividad i
B	Bonificación o penalización en euros
E	Duración total de los recursos optimizados

Los datos que tenemos del problema, además de los obtenidos por CPM-PERT son los siguientes:

NOMENCLATURA DEL DATO	DESCRIPCIÓN
$h_i$	Euros/hora de m. de o. para cada actividad i
k	Número de horas de trabajo por día
d	Duración según CPM-PERT
g	Número de trabajadores posibles a contratar
n	Beneficio del proyecto
e	Número de tareas
q	Bono o penalización por retraso o adelanto
$t_i$	Trabajadores para cada tareas i según CPM-PERT
m	Máximo de días para finalizar el proyecto

El índice de valor i, significa la tarea que se pretende analizar, es decir, que toda variable que tenga un sub índice con un número entre 1 y n (número total de tareas) quiere decir que se refiere a la tarea del subíndice, por ejemplo  $W_2$  se refiere al número de trabajadores empleados en la tarea 2, así mismo J es el indicador de días laborables que han pasado desde iniciar el proyecto.

Las ecuaciones de relación entre las variables son las siguientes:

$$C_i = h_i W_i D_i k$$

$$WT_j = \sum_{j \in (t_i, f_i)} W_i$$

$$B = (\alpha \cdot (E - d) + \beta \cdot (d - E)) \cdot n$$

Las restricciones de la optimización son las siguientes:

$$t_i - (t_i * 0.5) \leq W_i \leq t_i + (t_i * 1.5)$$

$$WT_j \leq g$$

$$E \leq \alpha \cdot d + \beta \cdot m$$

$$E \geq \beta \cdot d$$

$$\alpha + \beta = 1$$

Estas restricciones significan la siguiente:

Restricción 1: el número de trabajadores para la tarea  $i$  no puede superar el intervalo propuesto.

Restricción 2: el número de trabajadores usados en el día  $j$  debe ser siempre menor que el disponible de empleados de la empresa.

Restricción 3 4 y 5: se refieren a los sucesos de retrasos es decir si  $E > d$ ,  $\alpha = 0$  y  $\beta = 1$ , pero también al adelanto, si este existe entonces  $E < d$ , y por lo tanto  $\alpha = 1$  y  $\beta = 0$ .

Para terminar, la función objetivo entonces sería minimizar los costes más la bonificación o penalización, sabiendo que esta última ( $B$ ), será negativa cuando exista una penalización.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{i=E} (C_i + B)$$

En resumen y presentando el modelo de forma tradicional y ordenada, obtenemos la siguiente representación de dicho modelo.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{i=E} (C_i + B)$$

Sujeto a:

$$t_i - (t_i * 0.5) \leq W_i \leq t_i + (t_i * 1.5)$$

$$WT_j \leq g$$

$$E \leq \alpha \cdot d + \beta \cdot m$$

$$E \geq \beta \cdot d$$

$$\alpha + \beta = 1$$

Dónde:

$W_i, N_j \geq 0$ , variables enteras

$\alpha$  y  $\beta$  binarias (0,1)

El modelo es resuelto con la herramienta solver de Excel, con este calcularemos los recursos que minimizará la duración de las tareas teniendo en cuenta el número de trabajadores, el modelo de optimización será basado o

ejecutado sobre el cálculo según la metodología CPM-PERT y se fundamenta en la variación de la duración de las tareas según los recursos que se usen en ellas, esto implica una relación de trabajadores con la duración, que es obvia porque si la tarea es ejecutada con el número de trabajadores necesario, se tendrá una duración óptima y una distribución de recursos adecuada, los resultados obtenidos son los siguientes, el modelo de optimización se puede ver en el archivo “OPTIMIZACIÓN PUENTE 4 SUR-TFM CARLOS AGON2”.

# tarea	Nombre de tarea	duración CPM-PERT	duración modelo	coste inicial	coste optimización
0	<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>				
1	<b>PUENTE ATIRANTADO</b>				
2	<b>PRELIMINARES</b>				
3	Localización y replanteo	17	19	6,215.93 €	4,631.48 €
4	Instalaciones provisionales	29	32	21,207.31 €	19,500.97 €
6	Carreteables provisionales con material granular y riego de imprimación asfáltica	17	19	12,431.87 €	11,578.70 €
7	Retiro de cerramiento en muro y reja metálica	7	7	5,119.01 €	4,692.42 €
8	Cerramiento muro en bloque enchapado y reja metálica	4	4	2,925.15 €	2,437.62 €
10	MOVIMIENTO DE TIERRAS	76	61	120,418.50 €	111,521.18 €
11	CONCRETOS FUNDACIONES	44	35	53,627.67 €	51,190.05 €
12	TORRE TRAMO INFERIOR	49	39	101,526.93 €	90,313.87 €
13	TABLERO PUENTE ATIRANTADO	21	17	30,714.03 €	29,007.70 €
14	TORRE TRAMO SUPERIOR	200	220	219,385.93 €	214,510.69 €
15	COSTADO OESTE	341	273	664,983.13 €	598,923.59 €
16	COSTADO ESTE	341	273	664,983.13 €	598,923.59 €
18	MOVIMIENTO DE TIERRAS	76	61	120,418.50 €	111,521.18 €
19	CONCRETOS FUNDACIONES	42	34	51,190.05 €	49,727.48 €
20	TORRE TRAMO INFERIOR	49	39	101,526.93 €	90,313.87 €
21	TABLERO PUENTE ATIRANTADO	21	17	30,714.03 €	29,007.70 €
22	TORRE TRAMO SUPERIOR	199	159	218,289.00 €	213,170.00 €
23	COSTADO OESTE	340	272	663,033.04 €	596,729.73 €
24	COSTADO ESTE	340	272	663,033.04 €	596,729.73 €
25	DOVELA DE CIERRE	59	65	28,763.93 €	23,766.81 €
27	Suministro, transporte y construcción de canalización en PVC tipo DB en andén o zona verde.	16	18	7,800.39 €	6,581.58 €
28	Suministro, transporte y colocación de poste de concreto de 9 m. poste en fibra de vidrio 12 m.	9	9	6,581.58 €	6,033.11 €
29	Suministro transporte y colocación de proyector A-1500 de 400W sodio alta presión HID o metal halide con balasto tipo reactor	8	8	5,850.29 €	5,362.77 €
31	Anden en Adoquín Cuadrado 20x20x6 en color negro	36	29	70,203.50 €	63,621.92 €
32	Bordillo Barrera Recto	27	30	26,326.31 €	25,595.03 €
34	Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	9	9	8,775.44 €	8,226.97 €
36	Barrera metálica. Incluye sistemas de fijación y todo de acuerdo a planos.	32	35	31,201.55 €	29,860.86 €
38	Suministro y colocación de poste de alumbrado peatonal.	6	6	4,387.72 €	4,022.08 €
39	Suministro, transporte y colocación de luminaria de 70W sodio con brazo.	5	5	3,656.43 €	3,351.73 €
41	ASEO Y ENTREGA DE OBRA	35	39	34,126.70 €	33,273.53 €

<b>COSTE TOTAL</b>	<b>3,979,417.02 €</b>	<b>3,634,127.94 €</b>
<b>bonificación</b>		<b>45,500.00 €</b>
<b>penalización</b>		<b>0</b>
<b>COSTE FINAL</b>		<b>3,588,627.94 €</b>
<b>DURACIÓN (DIAS)</b>	<b>541</b>	<b>450</b>

Como se observa con esta optimización hemos obtenido una reducción tanto de coste como duración. Además de la reducción por el tiempo, se tiene una reducción por la bonificación, la reducción en tiempo es por más de 90 días, lo cual es una proporción muy amplia con respecto a la duración total del proyecto.

#### **7.1.4 Simulación de Montecarlo con distribuciones de probabilidad.**

Una de las principales debilidades de la optimización antes realizada, es que no se tiene en cuenta la posible variación de la duración de las tareas, es decir, lo más común que ocurra en la ejecución de un proyecto es que la tarea no dure lo inicialmente contemplado.

Para evitar esto, ahora procederemos a contemplar la posible variación de la duración de cada tarea agregándole una distribución de probabilidad a cada una, esto basado en la experiencia de anteriores proyectos y al método constructivo de cada actividad. Las distribuciones de probabilidad, entonces, son las siguientes:

Distribución uniforme: distribución utilizada en las tareas de localización y replanteo, retiro de cerramiento, dovela de cierre, andenes o aceras, bordillos y barreras metálicas, se utiliza en estas actividades ya que estas tienen la característica de ser actividades lineales, que se ejecutan en serie, y se acometen con una misma cantidad de recursos en cada tramo asignado, su ejecución permanece en gran medida constante y no varía en el tiempo, en el caso de la dovela de cierre del puente, es una actividad final con alta probabilidad de ser crítica, lo cual requiere una dedicación constante desde el inicio de la tarea, además, es muy probable que precisamente en ese inicio, todos los recursos estén disponibles en el sitio, lo cual hace que la tarea no tenga un inicio sesgado.

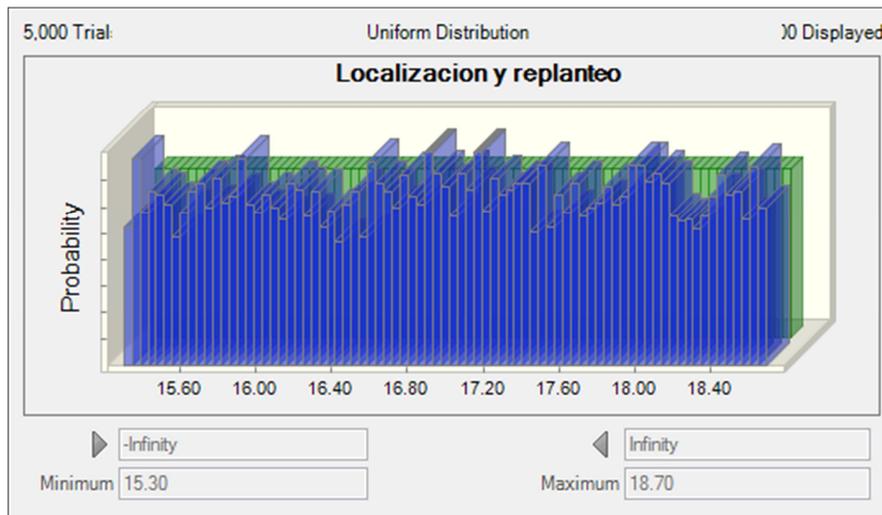


Figura 24. Ejemplo de tarea con distribución uniforme

Distribución normal: utilizada en las actividades de instalaciones provisionales, cerramiento en bloque, movimientos de tierra en general, tramo inferior de torre o columna, ejecución del tablero atirantado, canalizaciones eléctricas y pavimentos asfálticos, en este caso estas tareas son de inicio lento ya que requieren el adquirir la habilidad de ejecutarla una vez iniciada, la experiencia demuestra que si la tarea es en cierta forma repetitiva, el inicio puede ser un poco lento debido a la adquisición de habilidad en la ejecución de la misma, y además también, mientras se logra sinergia entre las partes, ya que son muchas actividades interrelacionadas, elaboradas por diferentes especialistas en diferentes áreas (subcontratistas).

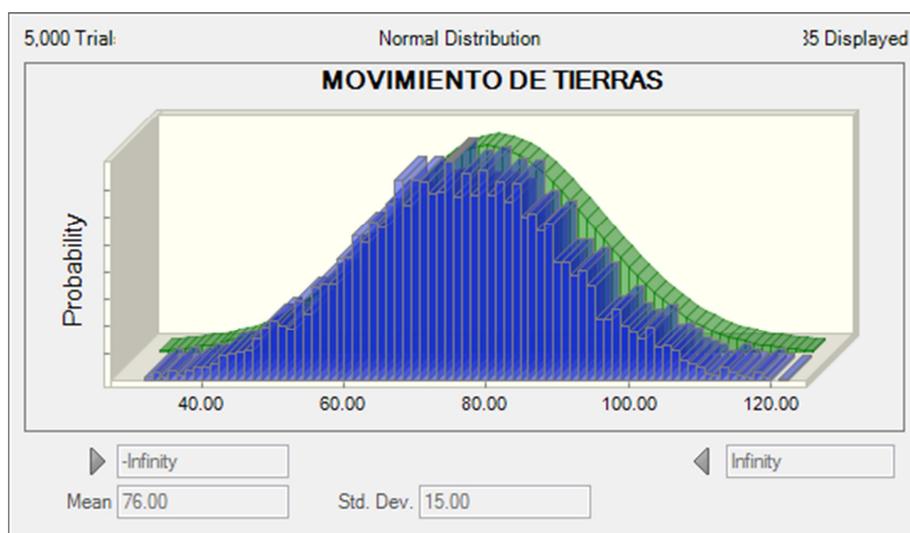


Figura 25. Ejemplo de tarea con distribución normal

Mínima extrema: utilizada en tareas como carretables provisionales, concretos de fundaciones, el tablero del puente atirantado en su fase inicial y el aseo y entrega del proyecto, ésta es la distribución más aplicable a la ejecución de tareas de construcción, debido a que existe una alta probabilidad de ejecutar la mayoría de la tarea en su etapa final, esto debido a que puede existir premura por la culminación para acceder a otra tarea, sin embargo esto no se ve en todas las tareas, siempre existirá un momento pico en la ejecución de ellas, pero no siempre éste está ubicado al final de la tarea.

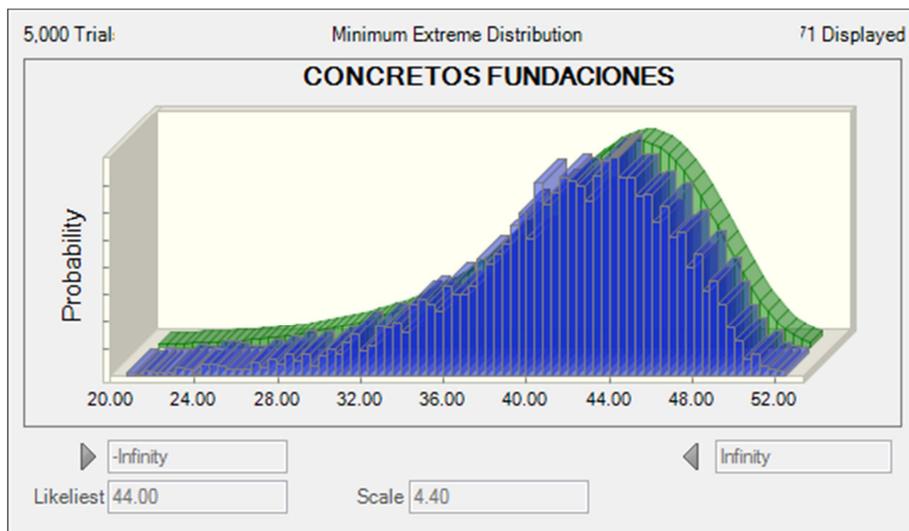


Figura 26. Ejemplo de tarea con distribución mínima extrema

Máxima extrema: utilizada en la tarea de ejecución de la parte superior de las torres o columnas, esta distribución es apropiada para esta actividad, ya que en un inicio ésta demanda una ejecución acelerada, debido a que el tablero del puente depende de la columna en el momento de templar los tirantes de apoyo, pero al final de su ejecución, las obra de detalle en la parte superior, hacen que el ritmo de la tarea se disminuya y adicional a esto, ya el tablero no depende su ejecución.

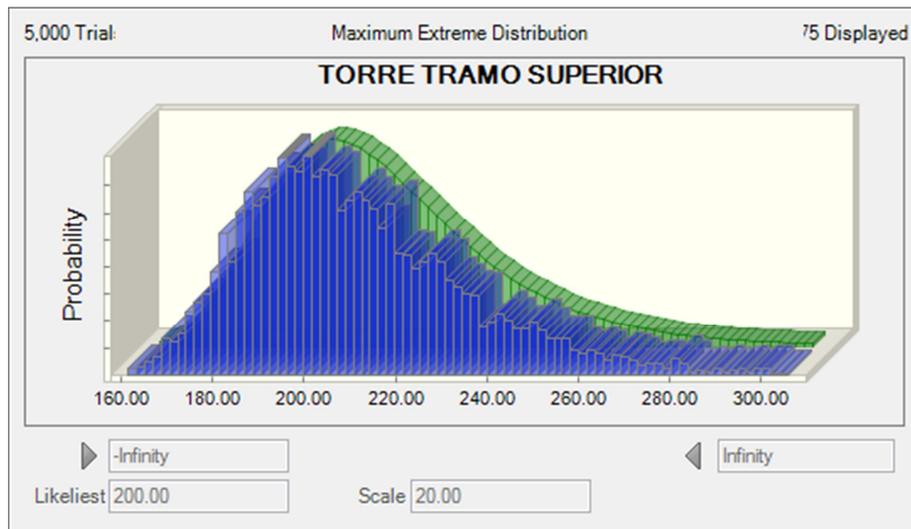


Figura 27. Ejemplo de tarea con distribución máxima extrema

Triangular: usada en las actividades de colocación de postes de concreto, y colocación de luminarias, se usa en estas actividades porque depende de la logística de entrega de los recursos que, en la mayoría de los casos, no depende del proyecto si no en la gestión del subcontratista, la instalación se hace en un momento de la ejecución de la tarea y es muy puntual, pero luego se sesga un poco su culminación, debido a pruebas y puesta en marcha de los elementos.

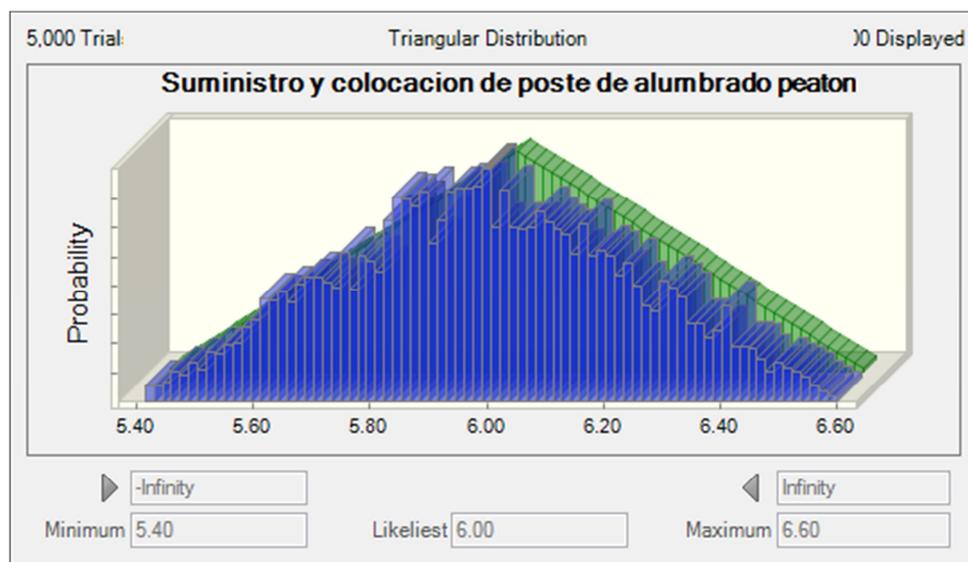


Figura 28. Ejemplo de tarea con distribución triangular

# tarea	Nombre de tarea	distribución
0	<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>	
1	<b>PUENTE ATIRANTADO</b>	
2	<b>PRELIMINARES</b>	
3	Localización y replanteo	uniforme
4	Instalaciones provisionales	normal
6	Carreteables provisionales con material granular y riego de imprimación asfáltica	mínima extrema
7	Retiro de cerramiento en muro y reja metálica	uniforme
8	Cerramiento muro en bloque enchapado y reja metálica	normal
10	MOVIMIENTO DE TIERRAS	normal
11	CONCRETOS FUNDACIONES	mínima extrema
12	TORRE TRAMO INFERIOR	normal
13	TABLERO PUENTE ATIRANTADO	mínima extrema
14	TORRE TRAMO SUPERIOR	máxima extrema
15	COSTADO OESTE	normal
16	COSTADO ESTE	normal
18	MOVIMIENTO DE TIERRAS	normal
19	CONCRETOS FUNDACIONES	mínima extrema
20	TORRE TRAMO INFERIOR	normal
21	TABLERO PUENTE ATIRANTADO	mínima extrema
22	TORRE TRAMO SUPERIOR	máxima extrema
23	COSTADO OESTE	normal
24	COSTADO ESTE	normal
25	DOVELA DE CIERRE	uniforme
27	Suministro, transporte y construcción de canalización en PVC tipo DB en andén o zona verde.	normal
28	Suministro, transporte y colocación de poste de concreto de 9 m. poste en fibra de vidrio 12 m.	triangular
29	Suministro transporte y colocación de proyector A-1500 de 400W sodio alta presión HID o metal halide con balasto tipo reactor	triangular
31	Anden en Adoquín Cuadrado 20x20x6 en color negro	uniforme
32	Bordillo Barrera Recto	uniforme
34	Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	normal
36	Barrera metálica. Incluye sistemas de fijación y todo de acuerdo a planos.	uniforme
38	Suministro y colocación de poste de alumbrado peatonal.	triangular
39	Suministro, transporte y colocación de luminaria de 70W sodio con brazo.	triangular
41	ASEO Y ENTREGA DE OBRA	mínima extrema

El primer parámetro a analizar es la duración del proyecto, por obvias razones debemos analizar este parámetro debido a que lo que deseamos conocer es la probabilidad de ocurrencia de la duración antes evaluada por CPM-PERT, el resultado obtenido es el siguiente.

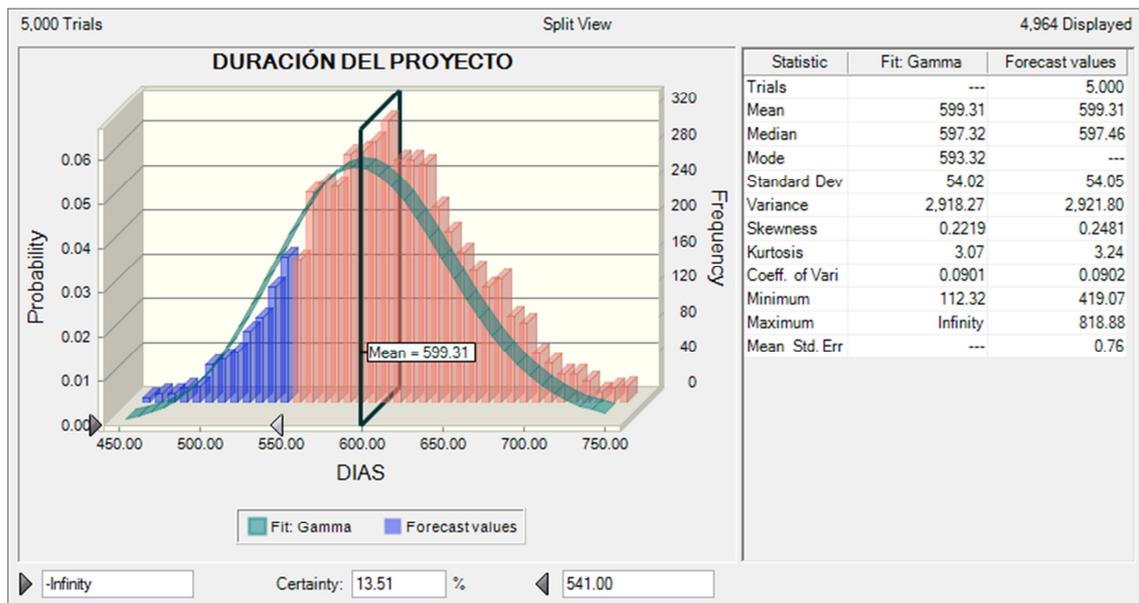


Figura 29. Resultado duración de proyecto simulación Montecarlo

Podemos observar que solo existe un 13.5% de probabilidad de que la tarea se cumpla en los 541 días que se obtiene como resultado por el método CPM-PERT, una visión muy pesimista que lo único que demuestra es la gran necesidad de optimización de la planificación inicial del proyecto.

La media calculada por esta simulación es de 599 días aproximadamente, esto quiere decir, que como es la probabilidad más alta en su duración, ya está muestra un retraso de 58 días en la duración del proyecto.

Otro punto importante a analizar es el coste del proyecto, de igual manera, estableciendo una distribución uniforme al valor de la hora del proyecto y haciendo el valor total del proyecto la variable a estudiar, se obtienen los siguientes resultados:

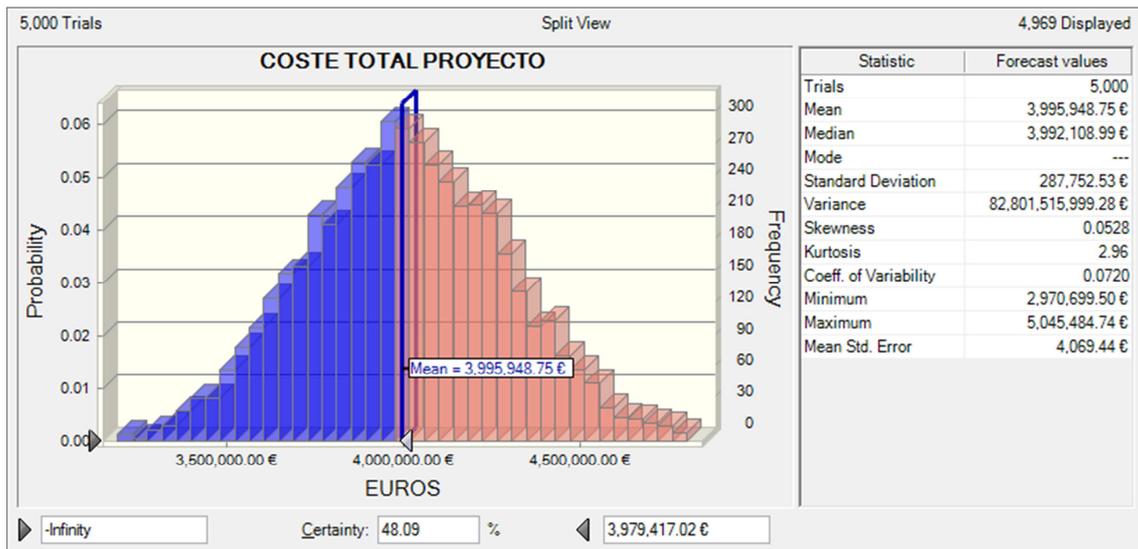


Figura 30. Resultado coste de proyecto simulación Montecarlo

Como se puede observar, en esta caso la probabilidad de que el coste del proyecto sea el proyectado es del 50%, y es un valor muy cercano a la media, pero sin embargo sigue siendo superior a ésta, lo cual quiere decir que puede existir un sobrecoste al ejecutar el proyecto, al igual que en el caso de la duración, es preciso analizar más a fondo las variables del proyecto que acarrear estos resultados.

En resumen tenemos los siguientes resultados obtenidos hasta ahora:

DESCRIPCIÓN	CPM-PERT	MONTECARLO (media)
Duración del proyecto	541	599
Coste del proyecto	3,979,417.02 €	3,995,948,75 €

Con el fin de llegar a resultados más concretos, se verá de manera más específica, como influye cada tarea en el contexto general del proyecto, esto se logra conociendo la probabilidad alta o no de que cada tarea sea crítica, esto indicará cuales son las tareas más importantes a evaluar en el proyecto, esta probabilidad se denomina criticidad.

La criticidad se evalúa como una variable binaria donde el valor “0” significa que la tarea no es crítica y el valor “1” significa que la tarea es crítica, en el

caso de la simulación de Montecarlo, la probabilidad se divide entre estos dos valores, es decir, se obtienen valores de probabilidad para cada valor sea “0” ó “1”, de cada tarea, así veremos cuál es la tendencia de éstas a ser crítica o no. Los valores obtenidos para cada tarea son los siguientes:

# tarea	Nombre de tarea	criticidad
0	<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>	
1	<b>PUENTE ATIRANTADO</b>	
2	<b>PRELIMINARES</b>	
3	Localización y replanteo	0.097
4	Instalaciones provisionales	<b>0.752</b>
6	Carreteables provisionales con material granular y riego de imprimación asfáltica	0.616
7	Retiro de cerramiento en muro y reja metálica	<b>0.740</b>
8	Cerramiento muro en bloque enchapado y reja metálica	<b>0.901</b>
10	MOVIMIENTO DE TIERRAS	0.000
11	CONCRETOS FUNDACIONES	0.042
12	TORRE TRAMO INFERIOR	0.041
13	TABLERO PUENTE ATIRANTADO	0.062
14	TORRE TRAMO SUPERIOR	0.000
15	COSTADO OESTE	0.000
16	COSTADO ESTE	0.143
18	MOVIMIENTO DE TIERRAS	0.000
19	CONCRETOS FUNDACIONES	0.042
20	TORRE TRAMO INFERIOR	0.041
21	TABLERO PUENTE ATIRANTADO	0.062
22	TORRE TRAMO SUPERIOR	0.000
23	COSTADO OESTE	0.000
24	COSTADO ESTE	0.143
25	DOVELA DE CIERRE	<b>0.825</b>
27	Suministro, transporte y construcción de canalización en PVC tipo DB en andén o zona verde.	0.000
28	Suministro, transporte y colocación de poste de concreto de 9 m. poste en fibra de vidrio 12 m.	0.000
29	Suministro transporte y colocación de proyector A-1500 de 400W sodio alta presión HID o metal halide con balasto tipo reactor	0.000
31	Anden en Adoquín Cuadrado 20x20x6 en color negro	0.000
32	Bordillo Barrera Recto	0.000
34	Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	0.000
36	Barrera metálica. Incluye sistemas de fijación y todo de acuerdo a planos.	<b>0.900</b>
38	Suministro y colocación de poste de alumbrado peatonal.	0.000
39	Suministro, transporte y colocación de luminaria de 70W sodio con brazo.	0.000
41	ASEO Y ENTREGA DE OBRA	<b>1.000</b>

Algunas de las tareas, como es el caso de la tarea “ASEO Y ENTREGA DE OBRA” son tareas que indiscutiblemente es crítica, en este caso solo esta tarea lo es, pero muchas otras se encuentran muy cercanas a serlo.

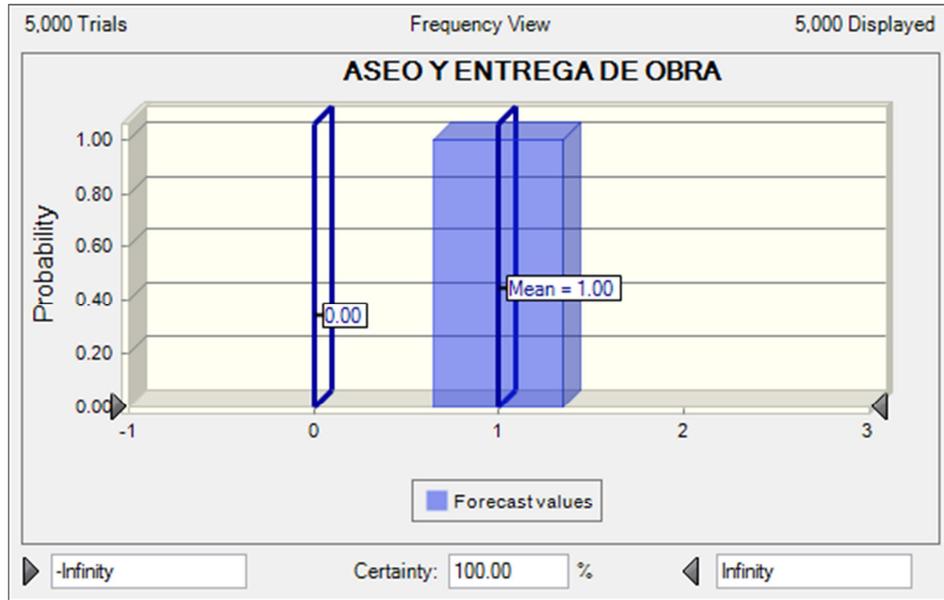


Figura 31. Ejemplo de criticidad para tarea de proyecto.

También existen casos donde la criticidad está muy nivelada entre si se es o no una tarea crítica, como en el caso de “Carreteables provisionales con material granular y riego de imprimación asfáltica” que tiene una probabilidad muy cercana al 60%, es un valor muy medio, es decir, que es una tarea que puede ser muy susceptible a los cambios del proyecto.

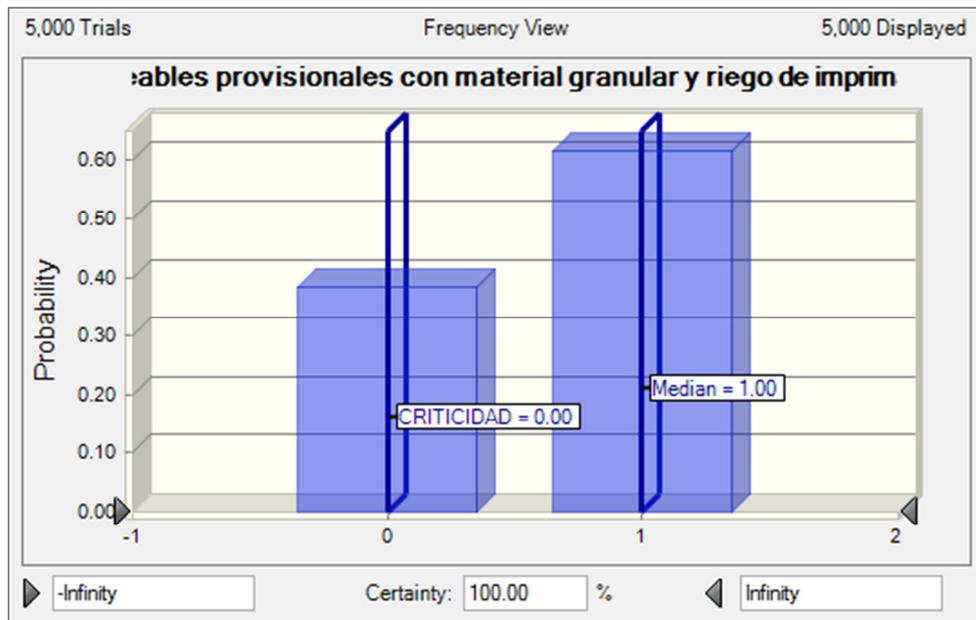


Figura 32. Ejemplo de criticidad para tarea de proyecto.

Se puede observar de manera rápida, que la probabilidad de que el camino crítico evaluado anteriormente por otras metodologías, según esta simulación, tiene una alta probabilidad de que no se dé, esto se observa con el análisis de criticidad porque nos muestra que las tareas que pertenecían a dicho camino no tienen una alta probabilidad de ser críticas, lo cual induce a concluir que el camino crítico podría cambiar a lo largo de la ejecución del proyecto con las suposiciones de probabilidad que se han hecho.

Una manera práctica de ver como las tareas influyen entonces en la duración del proyecto es hacer un análisis de sensibilidad a manera de Pareto, es decir, observar cuales tareas ocupan más del 80% de la variable a analizar, sea coste o duración. Este análisis de sensibilidad es calculado en la simulación que en este caso se evalúa con respecto a la duración del proyecto.

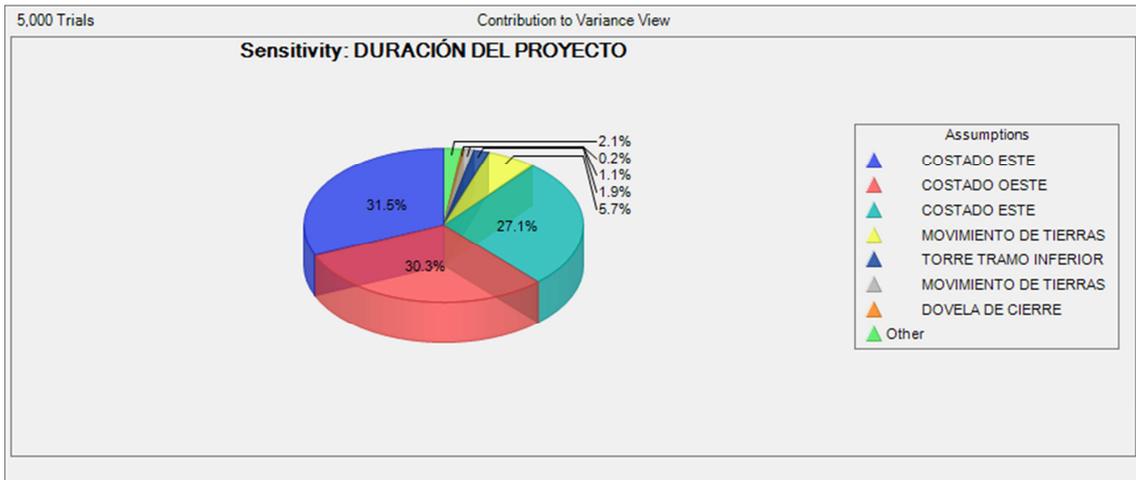


Figura 33. Gráfico de sensibilidad para duración de proyecto.

Como se observa y era de esperarse, la ejecución del tablero del puente es la actividad o grupo de actividades que abarcan casi el 90% de la duración del proyecto y son las más susceptibles de generar cambios en la duración del proyecto, es decir, cualquier cambio en su duración, sea del costado occidental u oriental, generará cambios en la duración del proyecto.

Ahora bien, si se relacionan las tareas con el coste del proyecto, se puede observar que tareas hacen que el coste total del proyecto se modifique, posteriormente se verá cuáles son estas tareas y si tienen relación con la sensibilidad en la duración del proyecto.

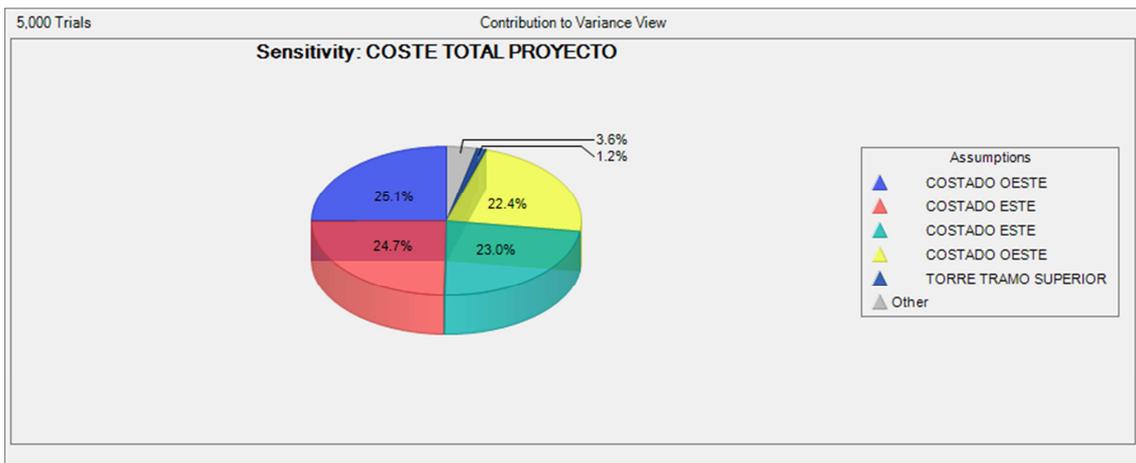


Figura 34. Gráfico de sensibilidad para coste de proyecto.

Como era de esperarse, las actividades de ejecución del tablero del puente, que son las más susceptibles de cambio de duración, también influyen en gran

medida en el coste del proyecto, representan el 95.2% del coste del proyecto en cuanto a mano de obra se refiere, esto es porque estas actividades abarcan una gran numero de actividades implícitas y por consiguiente una necesidad grande de mano de obra.

Inicialmente en la simulación, se optó por que el coste de hora no tendría una variación dentro de la ejecución de la tarea. Para poder ver un comportamiento más elástico del coste ahora se optará por hacer una distribución de probabilidad beta en el coste, esto dejará conocer cómo puede comportarse el coste del proyecto con la variación de las distribuciones tanto de la tarea como la del coste mismo con una tendencia a que los costes sean mayores.

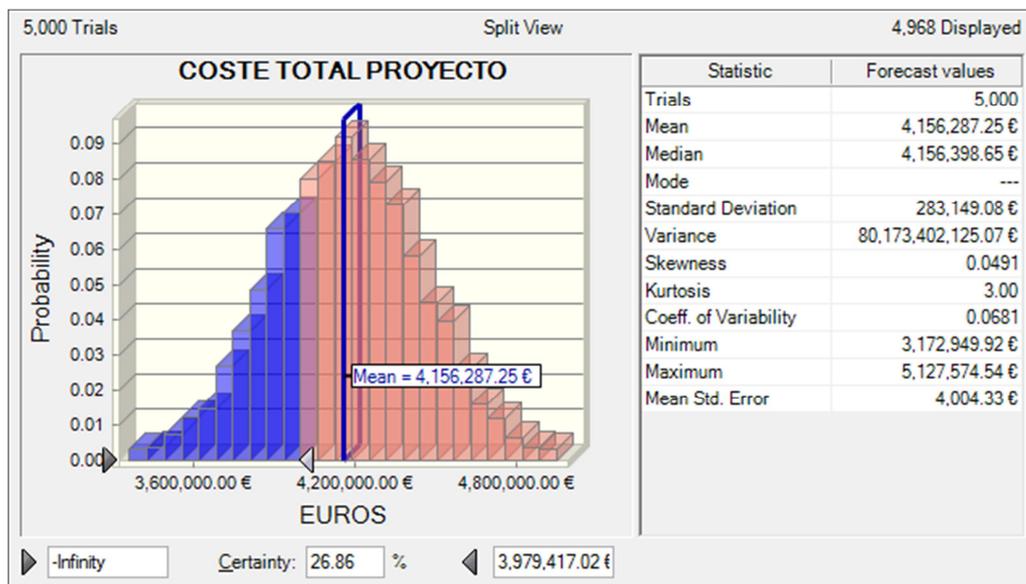


Figura 35. Coste del proyecto con variación en la distribución del coste.

Podemos observar que el coste del proyecto en este caso (€ 4'156.287,25) ha variado mucho con respecto a la simulación anterior (€ 3'995.948,75), estos valores están muy lejanos caso contrario a lo que sucedía con los resultados de CPM-PERT, donde el valor del coste estaba muy cercano el valor obtenido por esta metodología, ahora este valor se aleja mucho.

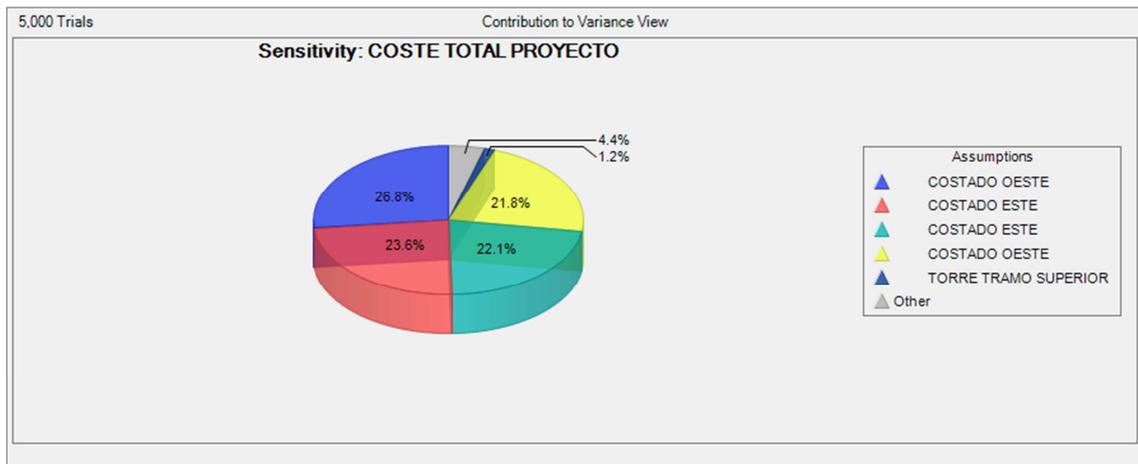


Figura 36. Sensibilidad del coste del proyecto con distribución del coste.

Debido a esto también existe una variación de la sensibilidad del coste del proyecto, la variación no es mucha en cuanto a las tareas más relevantes, pero si cambian las proporciones.

En conclusión, con esta simulación se puede determinar que al evaluar este proyecto por la metodología CPM-PERT, existe una gran probabilidad de que este genere sobrecoste y además un gran retraso, esto se pudo concluir gracias a los resultados obtenidos con la simulación de Montecarlo, la cual da resultados que se pueden tomar como punto de partida para llegar a una buena planificación del proyecto, sin embargo, estos datos también pueden ser optimizados como se hizo para los datos obtenidos con CPM-PERT.

#### 7.1.5 Modelo de optimización para datos de Montecarlo.

Igual a lo realizado en el apartado 7.3 se tomarán los resultados obtenidos en la simulación de Montecarlo para poder hacer una optimización y así poder llegar a una mejor planificación del proyecto.

En la metodología de Montecarlo, a diferencia del modelo determinista CPM-PERT, los datos que se tienen son distribuciones de probabilidad y no un dato concreto o entero, como bien sabemos, un dato entero es necesario para aplicar el modelo de optimización, por tal motivo, debemos obtener este valor

entero de los datos de distribución del método de Montecarlo, esto se logra de la siguiente manera:

- ❖ Se toma el intervalo de valores de duración del proyecto, resultantes de la simulación, de este modo se obtiene una gran amplitud de datos de posibles duraciones del proyecto, según la simulación este intervalo es (450, 750) días, este intervalo se dividirá en 4 intervalos de igual magnitud y se obtiene:

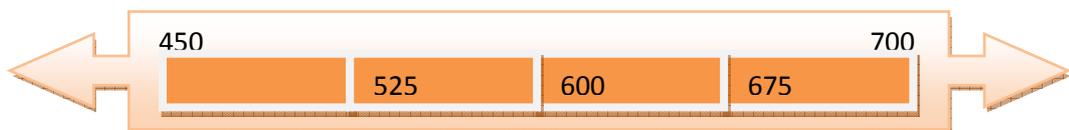
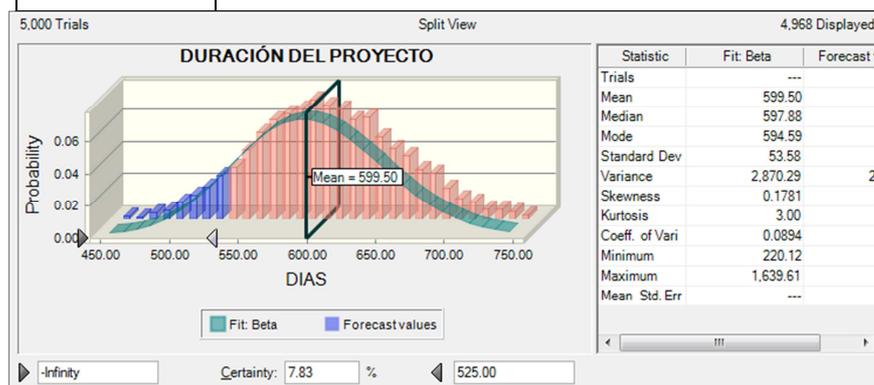


Figura 37. Intervalo de valores del duración del proyecto.

- ❖ Ahora para cada situación se calcula con la simulación Montecarlo, la probabilidad de duración del proyecto para cada segmento antes mencionado.

DURACIÓN	PROBABILIDAD
$P_1=$	7.83%
$P_2=$	44.16%
$P_3=$	39.64%
$P_4=$	7.85%



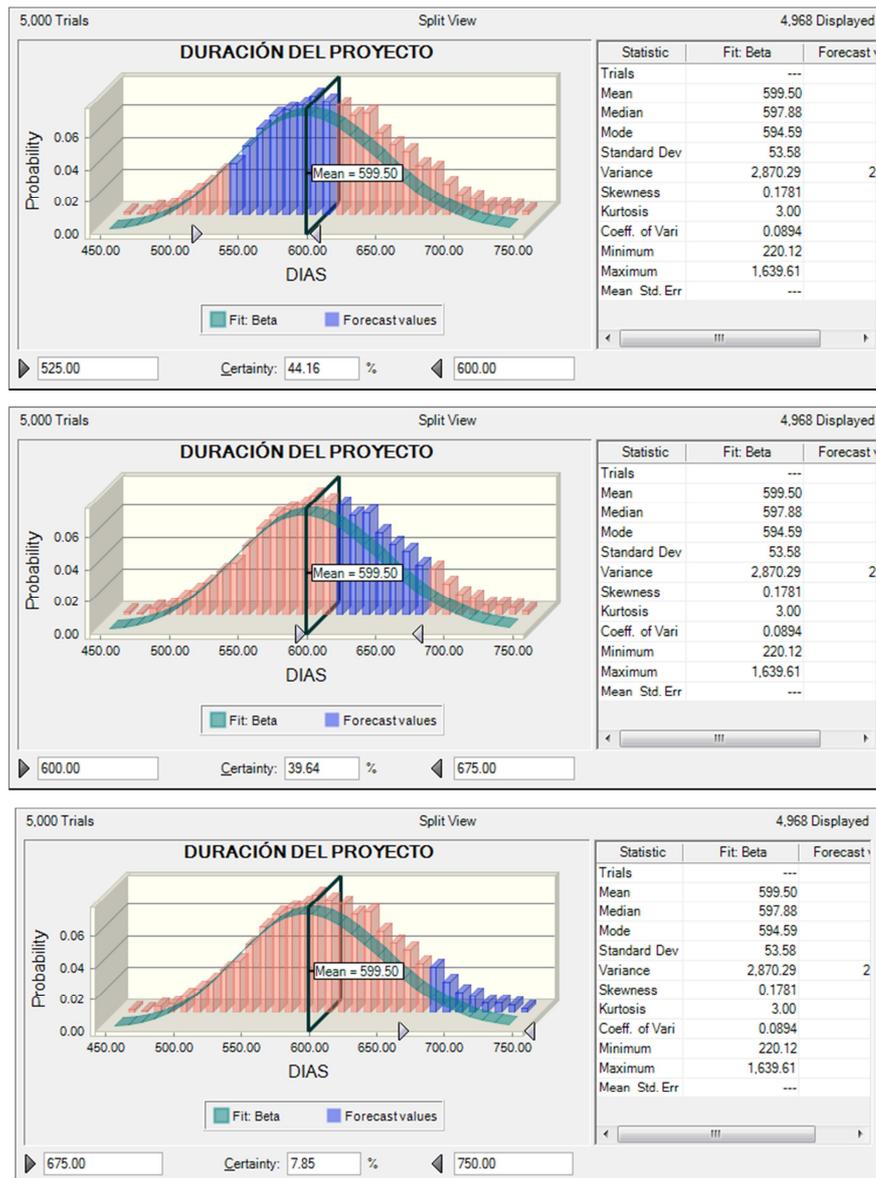


Figura 38. Diferentes duraciones del proyecto para cada intervalo asignado.

- ❖ Después de obtener estas probabilidades se realiza un cálculo de probabilidad conjunta para así poder conocer una probabilidad duración única del proyecto obtenido con el método Montecarlo, para esto se resuelve:

$$P_1 * V_1 + P_2 * V_2 + P_3 * V_3 + P_4 * V_4 = D$$

$$D = 632.51$$

Como obviamente se está hablando de días, se establece el valor 633 como dato de entrada de duración del proyecto para esta optimización

El paso a seguir es por medio de CPM-PERT, obtener duraciones de tareas para que el proyecto tenga una duración de 633 días, y así poder calcular la optimización, esto también cambia la distribución de duraciones de cada actividad con sus respectivas cantidades de trabajadores por duración.

Nombre de tarea	duración CPM-PERT	duración modelo	coste inicial	coste optimización
<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>				
<b>PUENTE ATIRANTADO</b>				
<b>PRELIMINARES</b>				
Localización y replanteo	25	28	9,141.08 €	10,238.01 €
Instalaciones provisionales	29	32	21,207.31 €	19,500.97 €
Carreteables provisionales con material granular y riego de imprimación asfáltica	17	19	12,431.87 €	11,578.70 €
Retiro de cerramiento en muro y reja metálica	7	7	5,119.01 €	4,692.42 €
Cerramiento muro en bloque enchapado y reja metálica	4	4	2,925.15 €	2,437.62 €
MOVIMIENTO DE TIERRAS	76	61	120,418.50 €	111,521.18 €
CONCRETOS FUNDACIONES	44	35	53,627.67 €	51,190.05 €
TORRE TRAMO INFERIOR	49	39	101,526.93 €	90,313.87 €
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	21	17	30,714.03 €	29,007.70 €
TORRE TRAMO SUPERIOR	200	220	219,385.93 €	214,510.69 €
COSTADO OESTE	391	313	762,487.99 €	686,677.96 €
COSTADO ESTE	391	313	762,487.99 €	686,677.96 €
MOVIMIENTO DE TIERRAS	76	61	120,418.50 €	111,521.18 €
CONCRETOS FUNDACIONES	42	34	51,190.05 €	49,727.48 €
TORRE TRAMO INFERIOR	49	39	101,526.93 €	90,313.87 €
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	21	17	30,714.03 €	29,007.70 €
TORRE TRAMO SUPERIOR	199	219	218,289.00 €	213,535.64 €
COSTADO OESTE	390	312	760,537.89 €	684,484.10 €
COSTADO ESTE	390	312	760,537.89 €	684,484.10 €
DOVELA DE CIERRE	101	111	49,239.95 €	74,408.39 €
Suministro, transporte y construcción de canalización en PVC tipo DB en andén o zona verde.	16	18	7,800.39 €	6,581.58 €
Suministro, transporte y colocación de poste de concreto de 9 m. poste en fibra de vidrio 12 m.	9	9	6,581.58 €	6,033.11 €
Suministro transporte y colocación de proyector A-1500 de 400W sodio alta presión HID o metal halide con balasto tipo reactor	8	8	5,850.29 €	5,362.77 €

Anden en Adoquín Cuadrado 20x20x6 en color negro	36	29	70,203.50 €	63,621.92 €
Bordillo Barrera Recto	27	30	26,326.31 €	25,595.03 €
Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	9	9	8,775.44 €	8,226.97 €
Barrera metálica. Incluye sistemas de fijación y todo de acuerdo a planos.	32	35	31,201.55 €	29,860.86 €
Suministro y colocación de poste de alumbrado peatonal.	6	6	4,387.72 €	4,022.08 €
Suministro, transporte y colocación de luminaria de 70W sodio con brazo.	5	5	3,656.43 €	3,351.73 €
ASEO Y ENTREGA DE OBRA	35	39	34,126.70 €	33,273.53 €

<b>COSTE TOTAL</b>	<b>4,392,837.62 €</b>	<b>4,041,759.19 €</b>
bonificación		48,500.00 €
penalización		0
<b>COSTE FINAL</b>		<b>3,993,259.19 €</b>
<b>DURACIÓN (DIAS)</b>	<b>633</b>	<b>536</b>

Ahora en resumen general, se verán las variaciones de duración y coste total para cada método y simulación, estos resultados son:

<b>MÉTODO</b>	<b>DURACIÓN</b>	<b>COSTE</b>
CPM-PERT	541	3,979,417.02 €
OPTIMIZACIÓN	450	3,588,627.94 €
MONTECARLO	599	3,995,948,75 €
OPT. MONTECARLO	536	3,993,259.19 €

Como se puede observar es evidente que al planear el proyecto por medio de MS-PROJECT, sin una optimización de los recursos, y además ejecutar el proyecto con los resultados de CPM-PERT, puede llevar a un riesgo de retraso o de sobrecoste, por eso es importante hacer una evaluación de riesgo en el momento de la planificación del proyecto, en este caso las duraciones y el coste son relativamente muy cercanas, pero esto no quiere decir que el haber evaluado el proyecto con CPM-PERT garantice el no retraso del mismo, ya que las actividades no tienen la misma concepción de duración en ambos métodos.

Ahora veremos un análisis por AVG para ver el cómo sería la evolución del proyecto según lo anterior analizado, y aplicaremos el método de la cadena

crítica mejorado, se analizará si es posible mejorar la duración y por consiguiente el coste del proyecto.

## **7.2 Aplicación de TOC mejorado o “metodología de cadena crítica mejorado” al proyecto.**

la metodología de la cadena crítica existente tiene algunos problemas en cuanto a la planificación de los amortiguadores del proyecto y los amortiguadores de alimentación, como el momento adecuado para su aplicación, el corte de las actividades no puede ser aplicable a todas ellas y no existe una regla clara para establecer los amortiguadores de recursos (Wei 2002).

Como una medida para resolver estos problemas Wei promueve una forma mejorada de establecer estos recortes y amortiguadores al proyecto, aunque esta forma de afrontar la planificación del proyecto también es criticada por S.E.E. Elmaghraby (Elmaghraby 2003), en este trabajo veremos cómo sería el comportamiento del proyecto al aplicar esta metodología.

Se verán los pasos a ejecutar, pero basados en resultados de las anteriores simulaciones para poder encadenar el proceso de análisis de riesgos a la metodología en cuestión.

## 7.2.2 Proceso de implementación.

- 7.2.2.1 Paso 1: determinación del camino crítico por CPM-PERT sin limitación de recursos, esto dará el tiempo inicial  $T_1$ , este tiempo ya ha sido calculado anteriormente y se tomará este dato para este caso.
- 7.2.2.2 Paso 2: determinación de la duración del proyecto teniendo en cuenta la limitación de recursos y por métodos heurísticos  $T_2$ , para este tiempo se tomará el resultado de la simulación con del método Montecarlo.
- 7.2.2.3 Paso 3: Encontrar el factor de corte para las actividades determinado por el cociente entre  $T_1$  y  $T_2$  ( $C.R = T_1/T_2$ ) donde  $T_1/T_2 \leq 1$  y con este modificar la cadena crítica.
- 7.2.2.4 Paso 4: usar el Coeficiente estratégico de flexibilidad del proyecto ( $K_p$ ) y coeficiente de actividad práctica flexible ( $K^m_A$ ) para modificar el camino crítico revisado, esto con el fin de considerar factores estratégicos para así reducir o aumentar la duración del proyecto, como lo explicado en el apartado 4.2. numeral 3.
- 7.2.2.5 Paso 5: establecer las alarmas o amortiguadores de recursos o “*flag times*” en la cadena crítica con restricciones de recursos para observar la efectividad del proceso.
- 7.2.2.6 Paso 6: monitoreo o posibilidades de monitoreo constante, para esto veremos una simulación de comportamiento del proyecto por medio de un análisis AVG.

### 7.2.3 Implementación.

Según los resultados obtenidos en el análisis de CPM-PERT se tiene que la duración del proyecto es de 541 días con un coste de 3'979,417.02 €. Con el método Montecarlo, por otro lado, se obtuvo una duración de 599 días de media con un coste de 3'995,948.75 €, con estos datos se dan por ejecutados los pasos 1 y 2 y nos sirven de punto de partida para realizar los respectivos cálculos.

Ahora bien, pasando al paso 3, debemos obtener el ratio C.R. el cual determina cuanto pueden recortarse las tareas según la duración total del proyecto, esto hará que el CPM-PERT pueda ser modificado y se verán los resultados obtenidos.

$$C.R = \frac{T_1}{T_2} = \frac{541}{599} = 0.903 = 90\%$$

Teniendo en cuenta este resultado, se puede reducir el tiempo original del proyecto. Esta reducción se aplica a cada actividad que pertenece al camino crítico del mismo, en algunos casos, los tiempos de ejecución con CPM-PERT son menores que los obtenidos en Montecarlo, por lo cual, en estas actividades no se aplicará reducción alguna, solo en las que se tiene una diferencia positiva en las duraciones de las actividades de ambos métodos.

ACTIVIDADES	DURACIÓN T1	DURACIÓN T2	RECORTE
<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>			
<b>PUENTE ATIRANTADO</b>			
<b>PRELIMINARES</b>			
Localización y replanteo	17	17	15
Instalaciones provisionales	29	32	29
Carreteables provisionales con material granular y riego de imprimación asfáltica	17	19	17
Retiro de cerramiento en muro y reja metálica	7	7	6

Cerramiento muro en bloque enchapado y reja metálica	4	4	4
MOVIMIENTO DE TIERRAS	76	61	55
CONCRETOS FUNDACIONES	44	35	32
TORRE TRAMO INFERIOR	49	39	35
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	21	17	15
TORRE TRAMO SUPERIOR	200	220	200
COSTADO OESTE	341	313	283
COSTADO ESTE	341	313	283
MOVIMIENTO DE TIERRAS	76	61	55
CONCRETOS FUNDACIONES	44	34	44
TORRE TRAMO INFERIOR	49	39	49
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	21	17	21
TORRE TRAMO SUPERIOR	200	219	200
COSTADO OESTE	341	312	341
COSTADO ESTE	341	312	341
DOVELA DE CIERRE	59	111	59
Suministro, transporte y construcción de canalización en PVC tipo DB en andén o zona verde.	16	18	16
Suministro, transporte y colocación de poste de concreto de 9 m. poste en fibra de vidrio 12 m.	9	9	9
Suministro transporte y colocación de proyector A-1500 de 400W sodio alta presión HID o metal halide con balasto tipo reactor	8	8	8
Anden en Adoquín Cuadrado 20x20x6 en color negro	36	29	36
Bordillo Barrera Recto	27	30	27
Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	9	9	9
Barrera metálica. Incluye sistemas de fijación y todo de acuerdo a planos.	32	35	32
Suministro y colocación de poste de alumbrado peatonal.	6	6	6
Suministro, transporte y colocación de luminaria de 70W sodio con brazo.	5	5	5
ASEO Y ENTREGA DE OBRA	35	39	35

Las tareas del camino crítico resaltadas con rojo son aquellas a las que se le hizo el respectivo recorte obtenido, ahora bien, para continuar se asume un  $K_p = 0$ , lo cual quiere decir que no se tomó ninguna decisión estratégica para cambiar el proyecto, en su duración inicialmente calculada.

Para el caso de  $K_A^m$  se tendrán en cuenta los siguientes valores de la misma, valores con los cuales se calificarán las tareas según su importancia y su facilidad de ejecución.

IMPORTANCIA	$K^m_A$	FACILIDAD	$K^m_A$
Muy alta	0	Muy alta	0
Alta	1/4	Alta	1/4
Moderada	1/2	Moderada	1/2
Baja	3/4	Baja	3/4
Muy baja	1	Muy baja	1

Tabla n° 2. Valores de  $K^m_A$  (Wei 2002)

Teniendo los valores de  $K^m_A$  se aplicará a cada tarea este coeficiente para ver una posible adición de un amortiguador para el proyecto (Project buffer), este se obtendrá según lo visto en el numeral 4.2. En este caso procederemos con un análisis estricto de las tareas del proyecto como es lo normal en proyectos de esta magnitud y que es la normal práctica de los Directores de Proyectos, esto quiere decir, que tomaremos el mínimo valor de  $K^m_A$  según sea el caso.

ACTIVIDADES	NUEVA DURACIÓN	KAM		CRITICIDAD	CONTROL ESTRICTO	CONTROL NORMAL	CONTROL A PERDIDA
		importancia	facilidad				
<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>							
<b>PUENTE ATIRANTADO</b>							
<b>PRELIMINARES</b>							
Localización y replanteo	15	1/2	1/4	si	1/4	3/8	1/2
Instalaciones provisionales	29	3/4	3/4	si	3/4	3/4	3/4
Carreteables provisionales con material granular y riego de imprimación asfáltica	17	1/2		si	1/2	1/2	1/2
Retiro de cerramiento en muro y reja metálica	6	1		si	1	1	1
Cerramiento muro en bloque enchapado y reja metálica	4	3/4		si	3/4	3/4	3/4
MOVIMIENTO DE TIERRAS	59	1/4	1/4	si	1/4	1/4	1/4
CONCRETOS FUNDACIONES	34	1/4	1/2	si	1/4	3/8	1/2
TORRE TRAMO INFERIOR	38	1/4	1/2	si	1/4	3/8	1/2
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	16	1/4	3/4	si	1/4	1/2	3/4
TORRE TRAMO SUPERIOR				no			
COSTADO OESTE	290	1/4	1/4	si	1/4	1/4	1/4
COSTADO ESTE	290	1/4	1/4	si	1/4	1/4	1/4
MOVIMIENTO DE TIERRAS	59	1/4	1/4	si	1/4	1/4	1/4
CONCRETOS FUNDACIONES	44			no			
TORRE TRAMO INFERIOR	49			no			
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	21			no			
TORRE TRAMO SUPERIOR	200			no			
COSTADO OESTE	341			no			

COSTADO ESTE	341			no			
DOVELA DE CIERRE	59	1/4	1/4	si	1/4	1/4	1/4
Suministro, transporte y construcción de canalización en PVC tipo DB en andén o zona verde.	16			no			
Suministro, transporte y colocación de poste de concreto de 9 m. poste en fibra de vidrio 12 m.	9			no			
Suministro transporte y colocación de proyector A-1500 de 400W sodio alta presión HID o metal halide con balasto tipo reactor	8			no			
Anden en Adoquín Cuadrado 20x20x6 en color negro	36			no			
Bordillo Barrera Recto	27			no			
Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	9			no			
Barrera metálica. Incluye sistemas de fijación y todo de acuerdo a planos.	32	1/2	1	si	1/2	3/4	1
Suministro y colocación de poste de alumbrado peatonal.	6			no			
Suministro, transporte y colocación de luminaria de 70W sodio con brazo.	5			no			
ASEO Y ENTREGA DE OBRA	35	3/4	1	si	3/4	7/8	1

En resumen, los resultados obtenidos son los siguientes después del corte en la duración de las actividades así como la aplicación del coeficiente  $K_A^m$ .

<b>DURACIÓN TOTAL</b>	T1=541	T2=599
<b>RATIO T1/T2</b>	90%	
<b>TIEMPO RECORTADO</b>	442	DIAS
<b>R.C.C.</b>	469	<b>DIAS</b>
<b>R.C.C.</b>	473	<b>PARA CONTROL ESTRICTO</b>
<b>R.C.C.</b>	476	<b>PARA CONTROL NORMAL</b>
		<b>PARA CONTROL CON PERDIDA</b>

De este modo, se puede observar que el amortiguador del proyecto sería de 27 días, como bien se sabe, lo ideal es que este amortiguador no se use en el proyecto, por lo cual, la duración del proyecto, aun así, se ve reducida en gran cantidad al igual que su coste. En la siguiente tabla veremos los resultados de hacer CPM-PERT luego de realizar estos cambios en las actividades.

Nombre de tarea	duración calendario CPM- PERT ORIGINAL	duración calendario CPM- PERTO CORTE	coste por hora	coste CPM-PERT ORIGINAL	coste CPM-PERT CORTE
<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>					
<b>PUENTE ATIRANTADO</b>					
<b>PRELIMINARES</b>					
Localización y replanteo	17	15	7.62 €	6,215.93 €	5,484.65 €
Instalaciones provisionales	29	29	7.62 €	21,207.31 €	21,207.31 €
<b>RETIROS Y DEMOLICIONES</b>	31	31			
Carreteables provisionales con material granular y riego de imprimación asfáltica	17	17	7.62 €	12,431.87 €	12,431.87 €
Retiro de cerramiento en muro y reja metálica	7	6	7.62 €	5,119.01 €	4,387.72 €
Cerramiento muro en bloque enchapado y reja metálica	4	4	7.62 €	2,925.15 €	2,925.15 €
<b>TORRE C ( LADO OCCIDENTAL)</b>					
MOVIMIENTO DE TIERRAS	76	55	7.62 €	120,418.50 €	87,144.97 €
CONCRETOS FUNDACIONES	44	32	7.62 €	53,627.67 €	39,001.94 €
TORRE TRAMO INFERIOR	49	35	7.62 €	101,526.93 €	72,519.24 €
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	21	15	7.62 €	30,714.03 €	21,938.59 €
TORRE TRAMO SUPERIOR	200	200	7.62 €	219,385.93 €	219,385.93 €
COSTADO OESTE	341	283	7.62 €	664,983.13 €	551,877.50 €
COSTADO ESTE	341	283	7.62 €	664,983.13 €	551,877.50 €
<b>TORRE D (LADO ORIENTAL)</b>					
MOVIMIENTO DE TIERRAS	76	55	7.62 €	120,418.50 €	87,144.97 €
CONCRETOS FUNDACIONES	42	32	7.62 €	51,190.05 €	39,001.94 €
TORRE TRAMO INFERIOR	49	35	7.62 €	101,526.93 €	72,519.24 €
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	21	15	7.62 €	30,714.03 €	21,938.59 €
TORRE TRAMO SUPERIOR	199	200	7.62 €	218,289.00 €	219,385.93 €
COSTADO OESTE	340	283	7.62 €	663,033.04 €	551,877.50 €
COSTADO ESTE	340	283	7.62 €	663,033.04 €	551,877.50 €
DOVELA DE CIERRE	59	59	7.62 €	28,763.93 €	28,763.93 €
<b>ALUMBRADO VIAL</b>					
Suministro, transporte y construcción de canalización en PVC tipo DB en andén o zona verde.	16	16	7.62 €	7,800.39 €	7,800.39 €
Suministro, transporte y colocación de poste de concreto de 9 m. poste en fibra de vidrio 12 m.	9	9	7.62 €	6,581.58 €	6,581.58 €
Suministro transporte y colocación de proyector A-1500 de 400W sodio alta presión HID o metal hilde con balasto tipo reactor	8	8	7.62 €	5,850.29 €	5,850.29 €
<b>ZONAS DURAS</b>					
Anden en Adoquín Cuadrado 20x20x6 en color negro	36	36	7.62 €	70,203.50 €	70,203.50 €
Bordillo Barrera Recto	27	27	7.62 €	26,326.31 €	26,326.31 €
<b>PAVIMENTOS ASFÁLTICOS</b>					
Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	9	9	7.62 €	8,775.44 €	8,775.44 €
<b>BARANDA METÁLICA</b>					

Barrera metálica. Incluye sistemas de fijación y todo de acuerdo a planos.	32	32	7.62 €	31,201.55 €	31,201.55 €
<b>ALUMBRADO PEATONAL</b>					
Suministro y colocación de poste de alumbrado peatonal.	6	6	7.62 €	4,387.72 €	4,387.72 €
Suministro, transporte y colocación de luminaria de 70W sodio con brazo.	5	5	7.62 €	3,656.43 €	3,656.43 €
<b>ASEO Y ENTREGA DE OBRA</b>					
ASEO Y ENTREGA DE OBRA	35	35	7.62 €	34,126.70 €	34,126.70 €
<b>DURACIÓN</b>	<b>541</b>	<b>510</b>	<b>COSTE</b>	<b>3,979,417.02 €</b>	<b>3,361,601.87 €</b>

Es necesario entonces conocer cuáles serán los tiempos para los amortiguadores de recursos (flag times) del proyecto, esto lo obtenemos como lo vimos en el numeral 4.2 apartado 4, donde obtenemos lo siguiente.

ACTIVIDADES	DURACIÓN T1	DURACIÓN T2	RECORTE	DIFERENCIA	NUEVA DURACIÓN	FLAG TIMES
<b>PROGRAMACION OBRA - PUENTE 4 SUR</b>						
<b>PUENTE ATIRANTADO</b>						
MOVIMIENTO DE TIERRAS	76	61	55	15	59	8
CONCRETOS FUNDACIONES	44	35	32	9	34	5
TORRE TRAMO INFERIOR	49	39	35	10	38	5
TABLERO PUENTE ATIRANTADO	21	17	15	4	16	2
COSTADO OESTE	341	313	283	28	290	14
COSTADO ESTE	341	313	283	28	290	14
MOVIMIENTO DE TIERRAS	76	61	55	15	59	8

Se puede observar que solo algunas actividades tienen amortiguadores de recursos, esto debido a que son críticas y a que son aquellas a las cuales se les realizó un recorte que tienen diferencia entre sus tiempos de ejecución según sus metodologías. Ahora bien, el diagrama de Gantt obtenido donde se tienen en cuenta los amortiguadores del proyecto así como de recursos (flag times) es el siguiente.

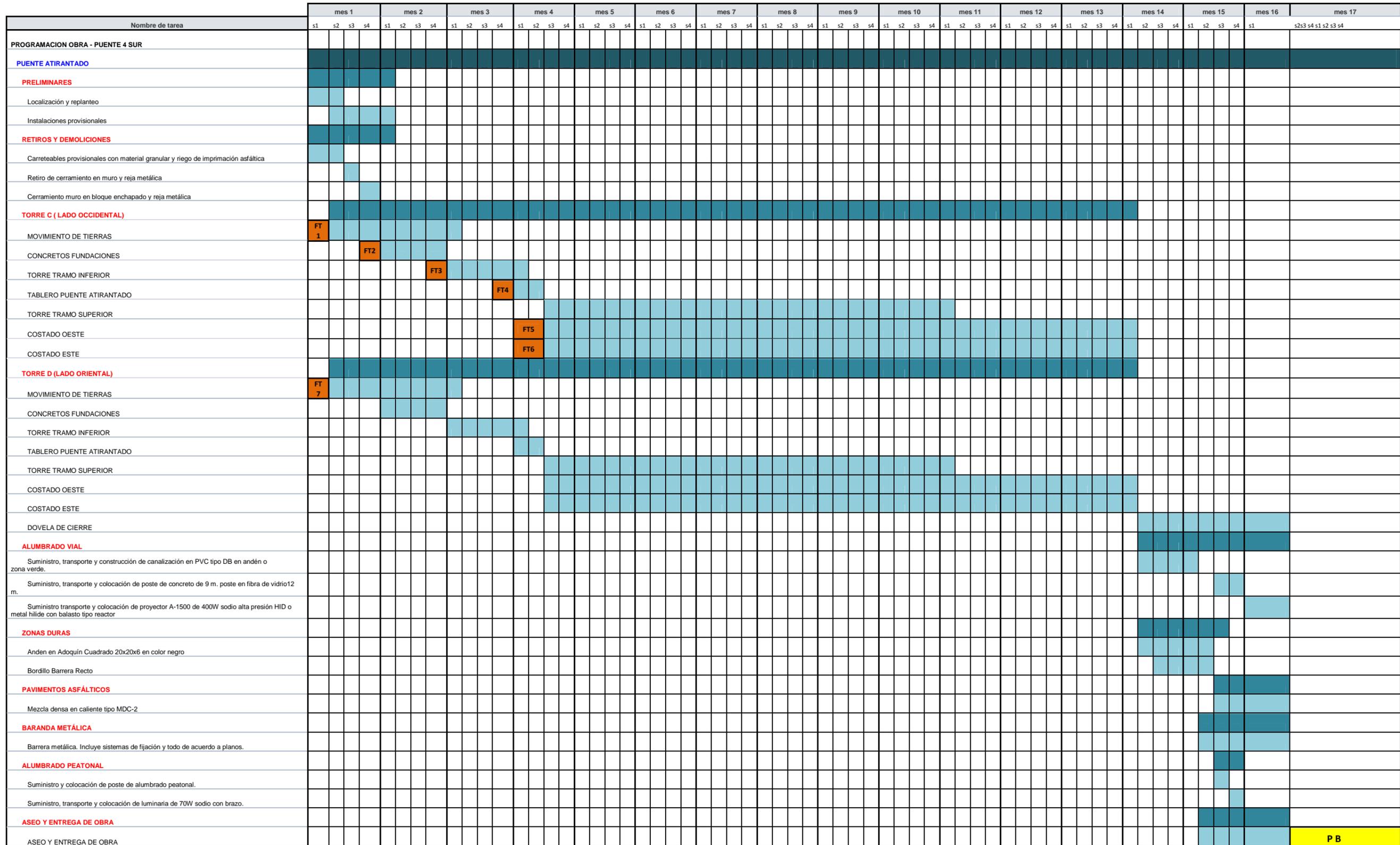


Figura 39. Asignación de amortiguadores al proyecto.

### **7.3 Panorama de posible comportamiento del proyecto con análisis de valor ganado AVG.**

Una herramienta muy funcional para conocer el estado de los proyectos a medida que se van ejecutando frente a lo planificado, es el análisis de valor ganado. Como su nombre lo dice, este proceso muestra de una manera práctica y concisa cómo ha evolucionado el proyecto y que beneficios se han obtenido, obviamente puede también mostrar las pérdidas.

Para el caso del proyecto se hará un estudio de cómo hubiese sido la evolución del mismo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los análisis realizados, aunque el proyecto ya ha sido ejecutado se verá de una forma previa a la ejecución del mismo.

El AVG sirve como una alarma positiva o negativa en el proyecto, en un momento determinado, esto con el fin de poder tomar decisiones a futuro con el fin de realizar acciones correctivas, de mejora o ver los buenos resultados de la evolución del proyecto, Los pasos a seguir en este análisis son:

- Obtención de la curva "S" o gráfico BCWS (capítulo 4), con los datos obtenidos con CPM-PERT, que es la forma inicial en que se planificó el proyecto.
- Se seleccionan los puntos de control durante el proyecto, donde se evaluará el mismo en duración y coste.
- Con los datos obtenidos con la implementación del método Montecarlo, se confrontan con los de CPM-PERT y así simular el proceso del proyecto, en este caso no se hará con una gran número de repeticiones, si no con una sola vez, esto con el fin de obtener un único resultado.
- Se grafican los resultados de la simulación, aplicando los conceptos de BCWP y ACWP explicados en el capítulo 4.
- Comparando estas curvas en cada punto de control, se realiza el análisis de valor ganado.
- Se realizan las conclusiones respectivas y las acciones a ejecutar.

### 7.3.1 Curva "S" o gráfico BCWS con datos de CPM-PERT.

Los datos de CPM-PERT tiene la particularidad que ya incluyen costes en las actividades, como se vio anteriormente en las simulaciones, esto permite construir una curva que muestra la evolución del coste o gasto del proyecto en el tiempo, por lo regular tiene la forma de una S de allí su nombre y esta forma se debe a que al inicio las inversiones realizadas con pocas por el mismo proceso de adaptación del proyecto, en la vida media de éste las inversiones son mucho más elevadas y en poco tiempo se hacen grandes gastos, y al final, las inversiones disminuyen y vuelven una situación parecida a la inicial, donde aunque no hay aumento de la inversión, la inversión hecha es muy poca y a su vez, cada vez menor. Cabe anotar que esta curva es una situación inicial teórica como resultado de la planificación del proyecto y no representa el echo de que así será la evolución del proyecto.

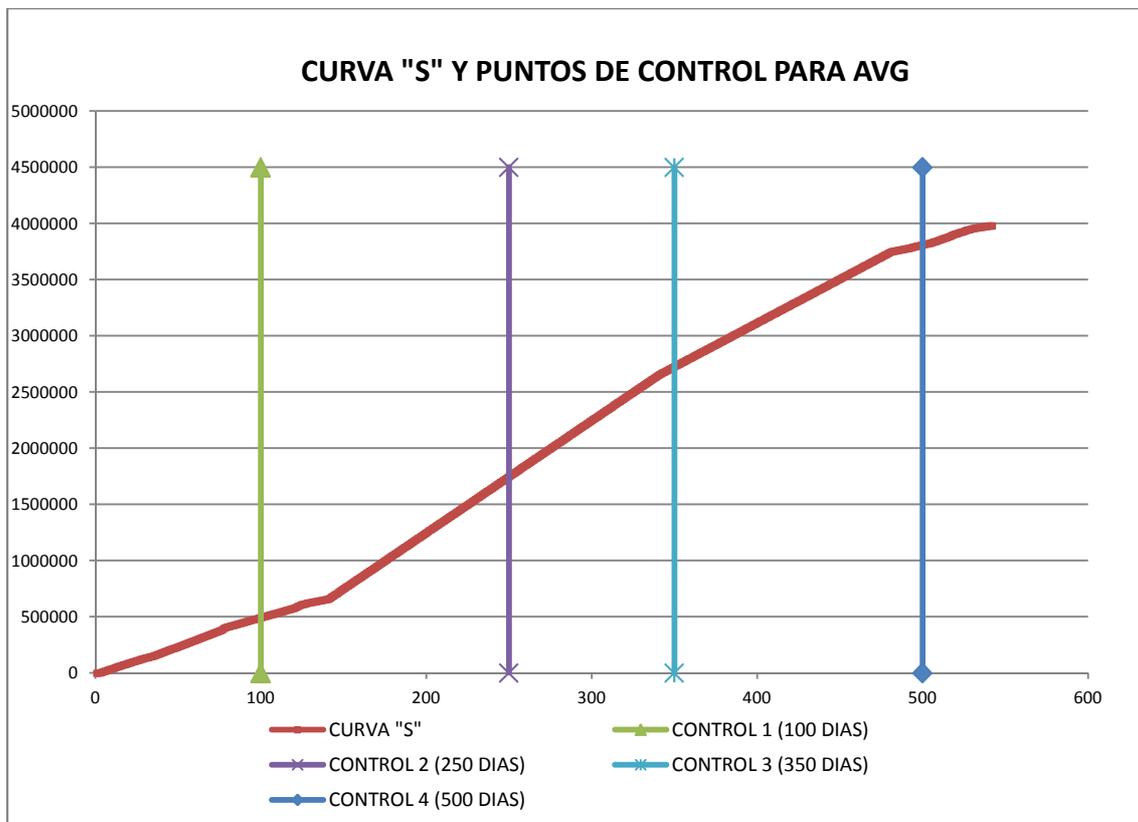


Figura 40. Curva "S" y puntos de control del proyecto.

Para poder ver claramente estas desviaciones, se pondrá como punto de toma de decisiones una desviación considerable de lo planificado, que puede ser de un 5% tanto en tiempo como en coste, si se sobrepasa este tope, deben tomarse medidas de control para así evitar una penalización. Esta penalización puede ser estipulada por el director de proyectos a los protagonistas principales del proyecto y puede ser de un coste por día de retraso, sin embargo, esto conlleva también a una bonificación en el caso de que ocurra lo contrario.

### 7.3.2 Puntos de control del proyecto.

#### 7.3.2.1 Sector hasta punto de control 1.

Pasados los primeros 100 días, las principales obras ejecutadas son de adecuación del terreno y gran parte de las obras de cimentación del puente, en estas obras los consumos de materiales son elevados y además el aumento de la mano de obra es creciente conforme se van iniciando más frentes de obra. Podemos ver en la curva S que es cerca al día 100 donde cambia la pendiente de la curva y los costes del proyecto empiezan a elevarse.

Según la simulación realizada obtenemos los siguientes datos de costes y duración del proyecto.

PUNTO DE CONTROL 1 (100 DIAS)								
DIA	BCWS	BCWP	ACWP	CV	%CV	SV	%SV	EAC
100	497,152.90 €	496,909.13 €	516,193.59 €	-19,284.46 €	-3.88%	-243.76 €	-0.05%	4,133,853.54 €

Como se puede observar el parámetro SV, que se refiere a una desviación en la programación pero expresada en cantidad monetaria, tiene un valor negativo, lo cual indica que se tiene un retraso en el proyecto, es decir, BCWP expresa el coste que se ha gastado realmente en el proyecto y si es menor que

BCWS, quiere decir que no se ha gastado todo lo que se planificó gastar, por tal motivo ha faltado ejecución de proyecto.

En cuanto a lo real gastado (ACWP) se observa que el parámetro CV es negativo también lo cual indica que tenemos un sobrecoste. Con los porcentajes podemos ver la magnitud de dicho parámetros, que en este caso no son muy elevados y pueden deberse a una percepción en el tiempo diferente a lo planificado, es decir, solo son pequeñas modificaciones.

La parte poco esperanzadora de este primer análisis es el parámetro EAC, el cual nos indica el coste total del proyecto si las condiciones siguen iguales a estos primeros 100 días de ejecución del proyecto. Aunque este parámetro es algo pesimista ya que no tiene en cuenta los posibles ahorros futuros en las actividades, es un buen parámetro para ver hacia donde se va.

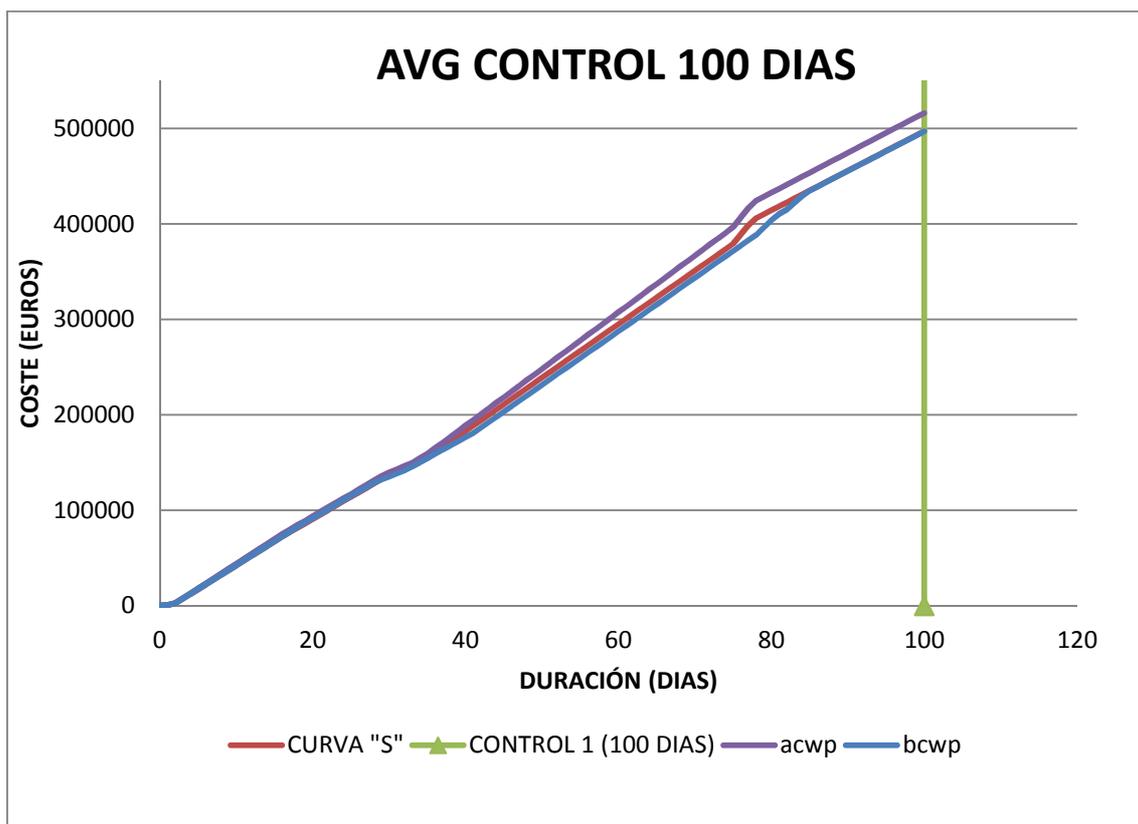


Figura 41. AVG control 100 días.

El gráfico muestra lo visto en los resultados calculados, en un inicio el proyecto va en marcha pero tiene una leve separación a medida que corre el tiempo, sin embargo al final del periodo presenta una leve recuperación en cuanto a lo real

gastado frente a lo ejecutado, pero si igualarse a lo planificado, es decir, se reduce el sobrecoste pero no mejora el retraso.

### 7.3.2.2 Sector entre punto de control 1 y punto de control 2.

Para este punto, se está al inicio de la parte álgida del proyecto, donde las inversiones se disparan exponencialmente y estamos en la parte de la “curva S” central donde la ejecución del proyecto tiene más frentes y más actividades a realizar. Los datos obtenidos en este sector son los siguientes.

PUNTO DE CONTROL 2 (250 DIAS)								
DIA	BCWS	BCWP	ACWP	CV	%CV	SV	%SV	EAC
250	1,757,403.19 €	1,754,134.67 €	1,763,069.18 €	-8,934.51 €	-0.51%	-3,268.52 €	-0.19%	3,999,685.79 €

Aunque ocurre exactamente lo mismo que en el tramo anterior, se puede observar que las diferencias en este caso son mucho menores. El parámetro SV nos muestra que tenemos un retraso pero solo es del 0.19% con respecto a lo planificado así como el parámetro CV que nos muestra un sobrecoste solo del 0.51%.

Si el proyecto continua con esta línea, al final podrá costar un valor relativamente muy cercano a lo inicialmente planificado, caso contrario a lo reflejado por el parámetro EAC del tramo de los 100 días. Esto indica que este parámetro puede variar, dependiendo de cómo se ejecuten las nuevas actividades.

Sin embargo el proyecto sigue presentando una tendencia al retraso y al sobrecoste, que igual acarreará una penalización que nadie desea sumada a un sobrecoste que no debe ser asumido si se toman las medidas correctivas respectivas. Gráficamente podemos observar la evolución del proyecto acorde a los parámetros antes vistos, este gráfico es el siguiente.

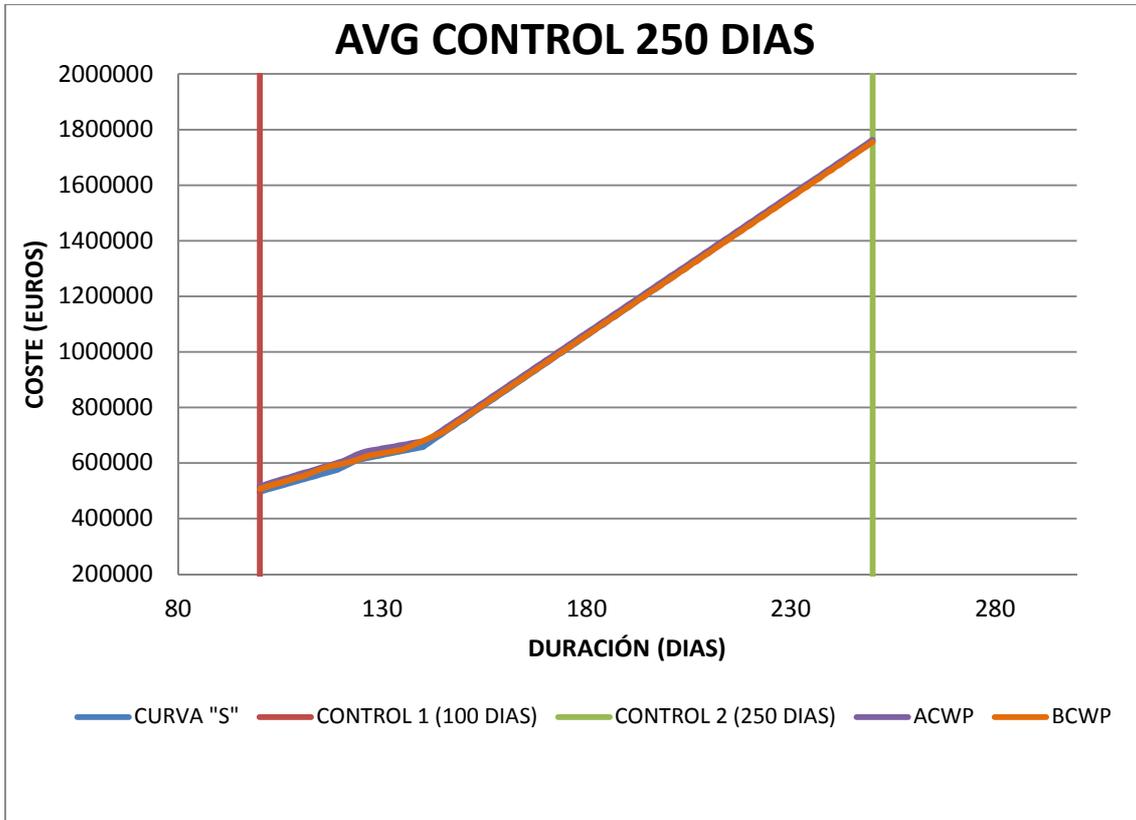


Figura 42. AVG control 250 días.

Como se puede observar, al inicio del periodo la tendencia es igual al periodo anterior, mostrando diferencias de duración y coste, sin embargo, a partir de aproximadamente el día 140, el proyecto cambia, esto debido a que las actividades a partir de este día, son las aquellas que se centran directamente en la ejecución del tablero del puente, dichas actividades son muy continuas y repetitivas, lo que hace que la tendencia sea a que el proyecto evolucione conforme a lo planeado de una manera más probable.

### 7.3.2.3 Sector entre punto de control 2 y punto de control 3.

Igual que el punto de control anterior, este se encuentra ubicado en la parte o sector de la “curva S” donde se efectúan más trabajos e inversiones, sin embargo, aún se ejecutan en este los trabajos de tablero del puente así como la instalación de torones de sujeción y terminación de columnas o pilonas de apoyo, estas últimas no son tareas tan consecutivas y conllevan un mayor esfuerzo en su ejecución. Los datos obtenidos para este tramo son los siguientes.

PUNTO DE CONTROL 3 (350 DIAS)								
DIA	BCWS	BCWP	ACWP	CV	%CV	SV	%SV	EAC
350	2,733,792.46 €	2,726,845.24 €	2,748,243.34 €	-21,398.10 €	-0.78%	-6,947.22 €	-0.25%	4,010,644.30 €

La tendencia de sobrecoste y retraso continúan, pero al igual que en el tramo anterior, las diferencias son muy pocas. Estas diferencias se ven reflejadas en los porcentajes de SV y CV los cuales siguen siendo muy bajos, estos dos tramos son muy similares en ejecución y actividades por lo cual los resultados son muy consecuentes, sin embargo se nota una tendencia a aumentar otra vez el valor final del proyecto, lo cual hace que se contemple la necesidad en un futuro de replantear la distribución de recursos ya que no se observa una mejoría en el parámetro EAC como se observó inicialmente. Gráficamente obtenemos lo siguiente.

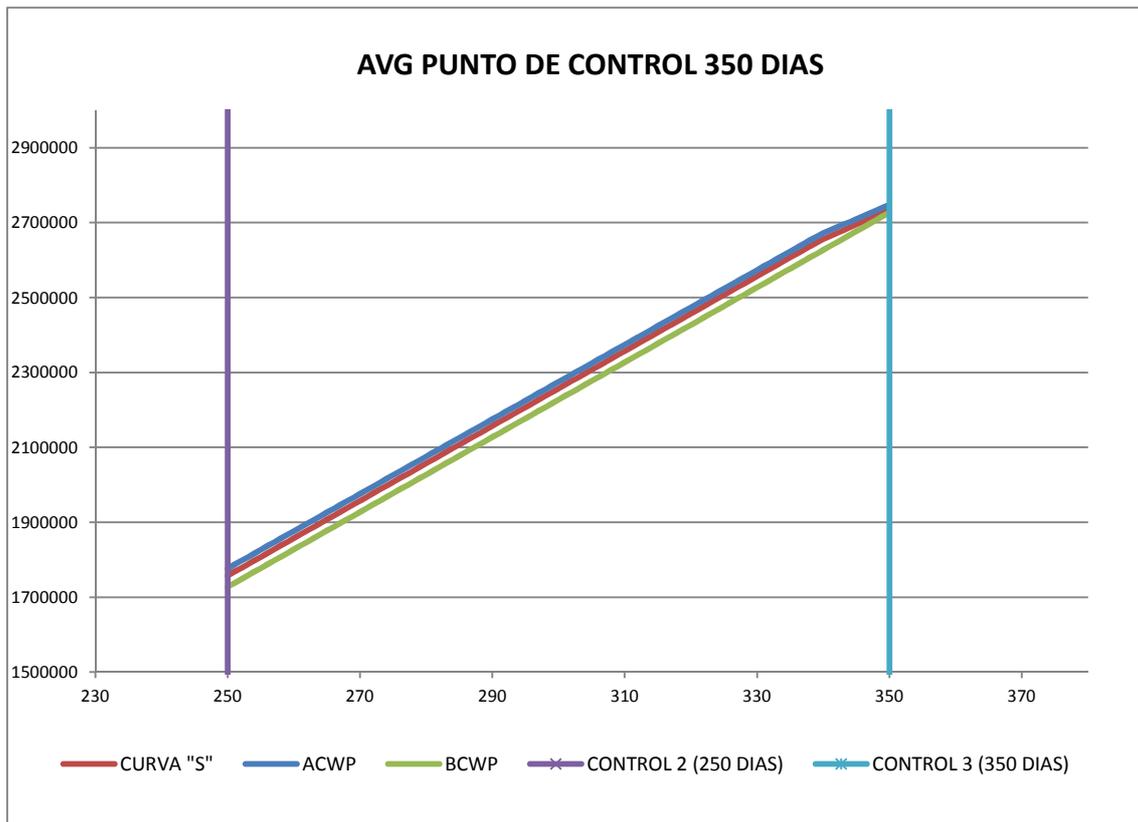


Figura 43. AVG control 350 días.

Aunque los resultados obtenidos son relativamente similares en los diferentes parámetros, el gráfico nos muestra que en el sector se presentó una diferencia notable en todo el tiempo, pero que al final se presenta una mejora en las diferencias de los parámetros, la cual vimos en los resultados de la tabla del punto de control 350 días, esto debido a que este dato pertenece solo al último día analizado.

#### 7.3.2.4 Sector entre punto de control 3 y punto de control 4.

Este sector es el que muestra la tendencia del gráfico BCWS a disminuir su pendiente, esto indica que las inversiones empiezan a bajar y las actividades a terminarse, por lo menos, las más principales y de mayor coste. Los resultados obtenidos son los siguientes.

PUNTO DE CONTROL 4 (500 DIAS)								
DIA	BCWS	BCWP	ACWP	CV	%CV	SV	%SV	EAC
500	3,813,658.76 €	3,785,869.88 €	3,907,813.92 €	-121,944.04 €	-3.22%	-27,788.88 €	-0.73%	4,107,595.28 €

Podemos observar que el valor de SV es aun negativo, el retraso persiste y presenta un aumento, es decir, viene acumulado desde el tramo anterior, lo mismo ocurre con el Parámetro CV, vemos que aún es negativo es decir, tenemos sobrecoste también, en este punto teniendo en cuenta que el proyecto está a punto de acabarse, podría ser pertinente hacer acciones correctivas aunque los porcentajes de CV y SV no son muy altos según lo contemplado inicialmente. Gráficamente obtenemos lo siguiente.

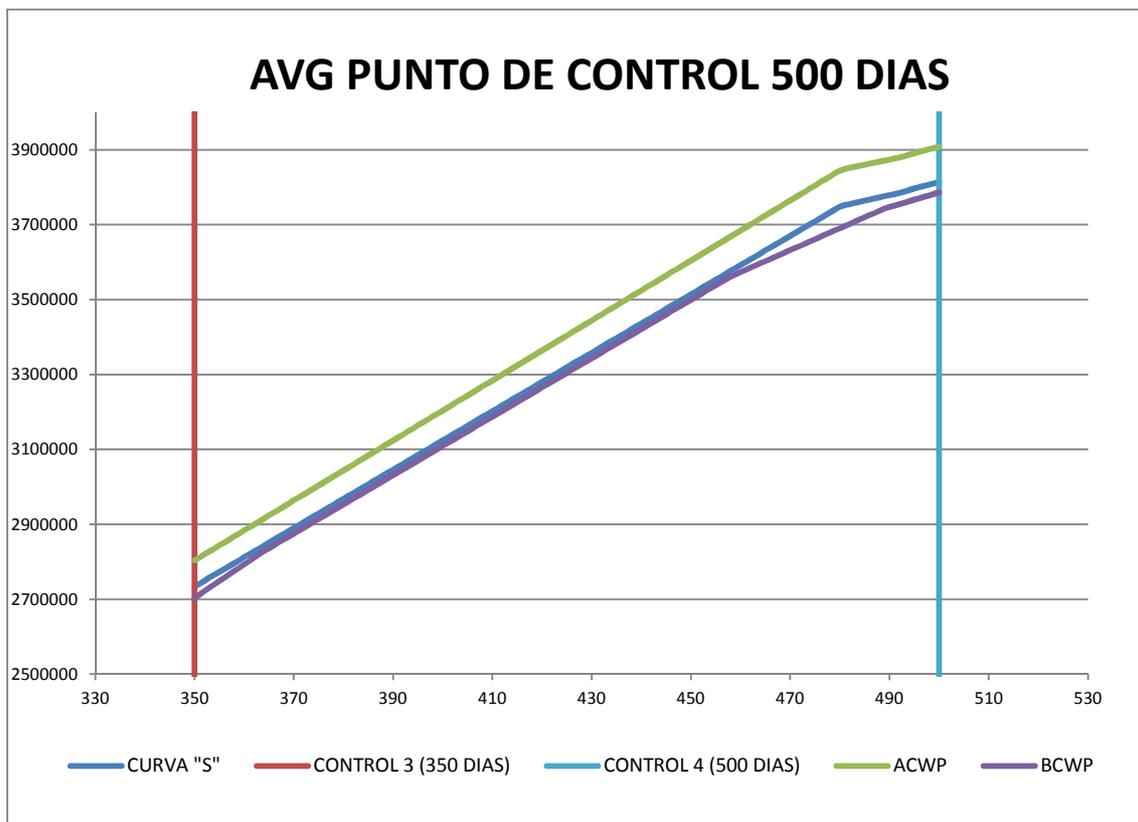


Figura 44. AVG control 500 días.

El gráfico nos muestra como los resultados son consecuentes, se observa bien las diferencias a la hora de llegar al punto de control de los 500 días, mostrando el retraso y el sobrecoste, una de las ventajas que tiene el proyecto,

es que al transcurrir todo el tiempo de ejecución, las gráficas siempre han mantenido su orden manteniéndose ACWP por encima y BCWP por debajo del gráfico BCWS (curva “S”).

El gráfico además nos muestra que la tendencia entre la curva “S” y BCWP ha sido de estar muy cercanos, esto implica un sobrecoste muy leve pero al final del tramo, se nota una separación de estas.

### 7.3.2.5 Sector entre punto de control 4 y final del proyecto.

Este sector final es decisivo y mostrará el posible sobrecoste y retraso del proyecto, lo cual implicará o no una penalización, los datos obtenidos para este sector son.

PUNTO DE CONTROL FINAL								
DIA	BCWS	BCWP	ACWP	CV	%CV	SV	%SV	EAC
FIN	3,979,417.02 €	3,927,739.45 €	4,087,290.43 €	-159,550.98 €	-4.06%	-51,677.57 €	-1.30%	4,141,067.23 €

La tendencia a lo largo de todo el proyecto se ha mantenido y se ve que el sobrecoste continuó así como el retraso. En el gráfico podemos observar este fenómeno y además podremos ver el retraso total del proyecto.

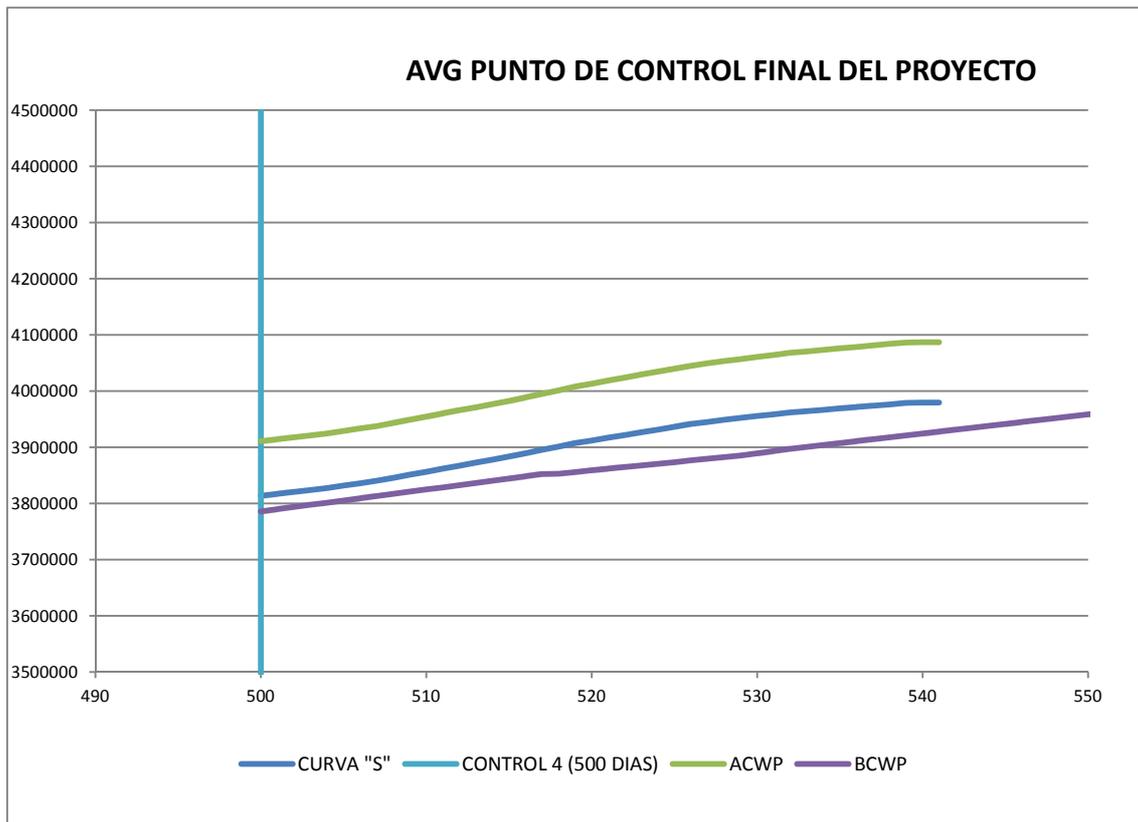


Figura 45. AVG control final.

Según lo obtenido los datos finales de sobrecoste y retraso son los siguientes.

DATOS FINALES		
<b>Sobrecoste</b>	161,650.20 €	
<b>Retraso</b>	40	días
<b>Penalización</b>	500.00 €	/día
<b>Total penalización</b>	20,000.00 €	
<b>Total sobrecoste</b>	181,650.20 €	
<b>% SOBRE LO PLANIFICADO</b>	4.56%	

Aunque no se supera lo inicialmente pactado, el sobrecoste es muy elevado y lo más preocupante es el retraso. Este no solo aumenta los costes fijos del proyecto si no también los variables, así como sus gastos generales, es decir, se obtendría un sobrecoste mucho más elevado del representado.

### 7.3.3 Medidas correctivas en el avance del proyecto.

Debido a que al final del proyecto se observa un sobrecoste así como un retraso, se deben tomar medidas correctivas durante el proyecto para así evitar dichos problemas y por consiguiente evitar la penalización.

La forma más directa de lograr esto es disminuir el tiempo de ejecución de las actividades aumentando la mano de obra en las actividades de más importancia, esto lo haremos solo para los últimos tramos del proyecto, ya que son los que más presentan dificultades en cuanto a sobrecoste y retraso.

Si tomamos la diferencia entre el valor presupuestado BCWS y BCWP podremos obtener una magnitud del valor a reducir en costes de duración y transformarlo a días. Obtenemos entonces lo siguiente.

<b>MEDIDA CORRECTIVA (tramo 350 a 500 días)</b>		
<b>BCWS</b>	3,813,658.76 €	
<b>BCWP</b>	3,785,869.88 €	
<b>DIFERENCIA</b>	27,788.88 €	
<b>COSTE DIA</b>	3900.19 €	PARA BCWP
<b>DIAS A REDUCIR</b>	8	DIAS

De igual manera se deduce para el tramo final del proyecto donde también se puede hacer una reducción de días en las actividades ingresando más recurso de mano de obra.

<b>MEDIDA CORRECTIVA (tramo 500 días a final)</b>		
<b>BCWS</b>	3,979,417.02 €	
<b>BCWP</b>	3,927,739.45 €	
<b>DIFERENCIA</b>	51,677.57 €	
<b>COSTE DIA</b>	3412.67 €	PARA BCWP
<b>DIAS A REDUCIR</b>	16	DIAS

Una reducción final de 24 días en los tramos o actividades contempladas entre los días 350 y 541 (final del proyecto), conlleva a una reducción de un retraso de 40 días sin obtener un sobrecoste, o por lo menos este sería el mínimo, en este caso no existiría penalización, si las reducciones son mayores pues podrían obtenerse mejores resultados y así obtener bonificación al final del proyecto.