



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – OBRAS HIDRÁLICAS

ANÁLISIS DE RIESGO APLICADO A LA
CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
JESÚS RÍOS MERLOS

TUTOR PRINCIPAL:
DR. HUMBERTO MARENGO MOGOLLÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. JUNIO, 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. Gabriel Moreno Pecero.

Secretario: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega.

Vocal: Dr. Humberto Marengo Mogollón.

1 er. Suplente: Ing. Ernesto René Mendoza Sánchez.

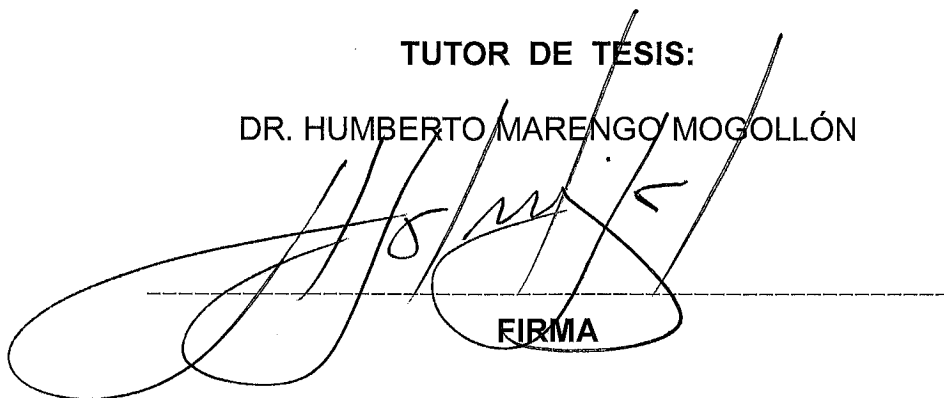
2 do. Suplente: M.I. Marco Tulio Mendoza Rosas.

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

México D.F.

TUTOR DE TESIS:

DR. HUMBERTO MARENGO MOGOLLÓN



FIRMA

“AL ESPÍRITU QUE INSPIRÓ EL LEMA DE MI UNIVERSIDAD”

INDICE

INDICE DE TABLAS	6
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	19
1.1. Objetivos	20
1.2. Declaración del problema y objetivo de la investigación	21
1.3. Ámbito de estudio	22
1.4. Resultados del estudio	22
1.5. Contribución de la Investigación	22
1.6. Organización de los capítulos	23
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES	27
2.1. Panorama general de la Administración de riesgos en construcción	27
2.2. Exposición de casos	28
2.3. Proyecto ITER	33
2.4. Definición de riesgo	38
2.5. Beneficios de la Administración de riesgos	40
2.6. Análisis de Riesgo para la Estimación de Presupuestos	41
2.7. Valor esperado y presupuesto de contingencia	44
2.8. Métodos de análisis	47
2.9. Aspectos económicos y financieros	49
2.10. Aspectos diversos de la Administración de Proyectos	52
2.10.1. Paradigma del Desempeño	52
2.10.2. Estructura desglosada de trabajo (WBS –Work Breakdown Structure–)	53
2.10.3. Principio de Pareto	55
2.10.4. Compensaciones (Trade-Offs)	56

CAPITULO 3. PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS MAGNOS	61
3.1. Potencial Hidroeléctrico	61
3.2. Complejos Hidroeléctricos en México	65
3.3. Visión a futuro	68
3.4. Complejo Hidroeléctrico del Río Santiago	73
3.5. Proyecto Hidroeléctrico El Cajón	76
3.5.1. Información General	76
3.5.2. Obras de Desvío	78
3.5.3. Obras de Contención	81
3.5.4. Obras de Generación	84
3.5.5. Obras de Excedencias	86
3.5.6. Obras Asociadas	88
3.5.7. Programa de construcción	89
3.5.8. Presupuesto	89
3.5.9. Evaluación Económica y Análisis de Sensibilidad	90
3.5.10. Contingencias Geológicas	101
3.5.11. Medidas implementadas y Cambios de Proyecto	102
3.6. Proyecto Hidroeléctrico La Yesca	105
3.6.1. Información General	105
3.6.2. Obras de Desvío	107
3.6.3. Obras de Contención	110
3.6.4. Obras de Generación	112
3.6.5. Obras de Excedencias	118
3.6.6. Obras Asociadas	119
3.6.7. Programa de Construcción	119
3.6.8. Presupuesto	120
3.6.9. Evaluación Económica y Análisis de Sensibilidad	121
3.6.10. Contingencia Geológica	124
3.6.11. Medidas implementadas y Cambios de Proyecto	128
CAPÍTULO 4. MÉTODOS DE ANÁLISIS	131
4.1. Investigación	131
4.2. Análisis de Sensibilidad	133

4.3. Simulación Monte Carlo	136
4.4. Modelo Administrativo y de Análisis de Riesgo de Programación Avanzada (APRAM)	146
4.5. Discusión de los Métodos	155
CAPÍTULO 5. APLICACIÓN A CASOS PRÁCTICOS	161
5.1 Proyecto Hidroeléctrico El Cajón	162
5.1.1 Estructura Desglosada de Trabajo (WBS)	162
5.1.2 Presupuesto	163
5.1.3 Programas	172
5.1.4 Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Financiera	179
5.1.4.1. Sensibilidad al incremento de la inversión	183
5.1.4.2. Sensibilidad al incremento en el periodo constructivo de la central	184
5.1.4.3. Sensibilidad a la Tasa de Descuento	186
5.1.4.4. Sensibilidad a la disminución de las tarifas	187
5.1.4.5. Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros	188
5.1.5 Simulación con el Método Monte Carlo	189
5.1.5.1. Formulación del problema	190
5.1.5.2. Colección de datos y análisis	198
5.1.5.3. Desarrollo del modelo	203
5.1.5.4. Verificación y validación del modelo	221
5.1.5.5. Experimentación y Análisis de las salidas	224
5.1.5.6. Implantación de los resultados de la simulación	225
5.1.6 Implementación del Método APRAM	237
5.1.6.1. Identificación de las posibles configuraciones del sistema	239
5.1.6.2. Identificación de las alternativas de diseño	240
5.1.6.3. Identificación de Fallas y Problemas Técnicos y de Gestión, totales y parciales	240
5.1.6.4. Optimización del diseño técnico para cada configuración	242
5.1.6.5. Optimización de la gestión de las reservas para cada configuración	243
5.1.6.6. Selección óptima del diseño que maximiza utilidad esperada	244
5.2 Proyecto Hidroeléctrico La Yesca	247
5.2.1. Estructura Desglosada de Trabajo (WBS)	247
5.2.2. Presupuesto	248
5.2.3. Programas	255
5.2.3. Análisis de varianza entre los proyectos El Cajón – La Yesca.	263

5.2.4. Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Financiera	267
5.2.4.1. Sensibilidad al Incremento de la Inversión	268
5.2.4.2. Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas	269
5.2.4.3. Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo	270
5.2.4.4. Sensibilidad a la Tasa de Descuento	273
5.2.4.5. Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros	274
5.2.5 Simulación con el Método Monte Carlo	275
5.2.5.1. Formulación del problema	276
5.2.5.2. Colección de datos y análisis	279
5.2.5.3. Desarrollo del modelo	279
5.2.5.4. Verificación y validación del modelo	291
5.2.5.5. Experimentación y análisis de las salidas	293
5.2.5.6. Implantación de los resultados de la simulación	294
5.2.6 Implementación del Método APRAM	307
5.2.6.1. Identificación de las posibles configuraciones del sistema	307
5.2.6.2. Identificación de las alternativas de diseño	308
5.2.6.3. Identificación de Fallas y Problemas Técnicos y de Gestión, totales y parciales	308
5.2.6.4. Optimización y determinación de Presupuesto de Refuerzo técnico	310
5.2.6.5. Optimización y determinación de la mejor respuesta a los problemas de administración	310
5.2.6.6. Selección de la Alternativa Óptima y asignación del presupuesto residual que minimiza el Riesgo Total	310
CAPITULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	317
6.1. Proyecto El Cajón	317
6.1.1. Pareto	317
6.1.2. Criticidad de Actividades	317
6.1.3. Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Financiera	319
6.1.3.1 Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros	320
6.1.4. Simulación Monte Carlo	321
6.1.5. APRAM	323
6.1.6. Síntesis de los Métodos de Análisis de Riesgo	324
6.2. Proyecto La Yesca.	327
6.2.1. Pareto	327
6.2.2. Criticidad de Actividades	328
6.2.3. Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Financiera	330
6.2.4. Simulación Monte Carlo	332

6.2.5. APRAM	335
6.2.6. Síntesis de los Métodos de Análisis de Riesgo	335
7. CONCLUSIONES	341
7.1. Conclusiones generales	341
7.2. Conclusiones particulares	342
7.2.1. Análisis de sensibilidad de la evaluación financiera	342
7.2.2. Método Monte Carlo	342
7.2.1. Método APRAM	344
7.3. Recomendaciones	345
BIBLIOGRAFÍA	351

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Potencial Hidroeléctrico Nacional.	64
Tabla 2.2 Datos de las Elevaciones de la Cortina de del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, Nayarit..	83
Tabla 1.3 Presupuesto Original de Construcción del P.H. El Cajón, Proyecto de Inversión Financiada (PIF-005/2003).	90
Tabla 1.4 Generación media anual (GWh).	95
Tabla 1.5. P.H. El Cajón – Resumen de perfiles de inversión (millones de dólares de 2001).	96
Tabla 1.6. P.H. El Cajón – Presupuesto Contemplado en Millones de Pesos (Grandes Rubros).	97
Tabla 1.7. P.H. El Cajón – Fechas de Eventos Claves.	98
Tabla 1.8. P.H. El Cajón – Parámetros de la Central.	98
Tabla 1.9. P.H. El Cajón – Tarifas HT-L (junio 2003).	99
Tabla 1.10. P.H. El Cajón – Vista de la Evaluación Financiera.	99
Tabla 1.11. P.H. El Cajón – Supuestos de la Evaluación Financiera.	100
Tabla 1.12. Materiales de la Cortina del P.H. La Yesca.	112
Tabla 1.13. Presupuesto original de Construcción del P.H. La Yesca,	121
Tabla 1.14. P.H. La Yesca – Principales supuestos de la Evaluación Financiera del proyecto.	123
Tabla 1.15. P.H. La Yesca – Sensibilidad al retraso del periodo de construcción.	124
Tabla 2.1. Ejemplo de tabla de sensibilidad al incremento en el periodo constructivo.	136
Tabla 2.2. Algunas Técnicas de Análisis de Riesgo y Riesgo por Programación (Imbeah y Guikema, 2009).	147
Tabla 4.3. Ejemplo de Costos estimados de falla para diversas configuraciones.	154
Tabla 4.4. Ventajas y Desventajas de los Métodos de Análisis de Riesgo (Análisis de Sensibilidad, Monte Carlo y APRAM).	157
Tabla 5.1. P.H. El Cajón – Presupuesto del Proyecto, Precio Alzado y Precios Unitarios, ordenado por partidas principales.	164
Tabla 5.2. P.H. El Cajón – Presupuesto Original y Real de acuerdo al Criterio de Pareto.	166
Tabla 5.3. P.H. El Cajón – Presupuesto Clasificado por Frente y Estructura.	168
Tabla 5.4. P.H. El Cajón – Presupuesto Clasificado por Frente y Tipo de Concepto.	169
Tabla 5.5. P.H. El Cajón – Presupuesto Original vs Real.	172
Tabla 5.6. P.H. El Cajón – Análisis Beneficio/Costo de la Central y su Red de Transmisión Asociada.	181
Tabla 5.7. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento de las Inversiones.	183
Tabla 5.8. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo.	184
Tabla 5.9. P.H. El Cajón – Sensibilidad a la Tasa de Descuento Real Anual.	186
Tabla 5.10. P.H. El Cajón – Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas.	187
Tabla 5.11. P.H. El Cajón – Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros; incremento en las inversiones, incremento en el periodo de construcción, tasa de descuento y disminución de las tarifas.	188
Tabla 5.12. P.H. El Cajón – Resultado de la Prueba de Bondad de Ajuste, Duración de las Actividades (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirinov, Anderson-Darling).	197
Tabla 5.13. P.H. El Cajón – Resultado de la Prueba de Bondad de Ajuste, Costo de las Actividades (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirinov, Anderson-Darling).	198

Tabla 5.14. P.H. El Cajón – Parámetros de ajuste a distribuciones Beta de los Costos de las Actividades por Frente de Trabajo de obra Civil.	201
Tabla 5.15. P.H. El Cajón; Parámetros de ajuste a distribuciones Beta de los Costos de las Actividades por Frente de Trabajo de obra Civil. NCCS Versión 07.1.21 ©.	202
Tabla 5.16. El Cajón – Duraciones, Comienzos, Fines y Costos de las principales actividades de la Programación OT-6 (Original), Convenio No.7 (Real) y Monte Carlo.	221
Tabla 5.17. P.H. El Cajón – APRAM, Optimización del diseño técnico de la configuración.	243
Tabla 5.18. P.H. El Cajón – APRAM, Optimización del diseño de reservas por gestión.	244
Tabla 5.19. P.H. El Cajón – APRAM, Selección óptima del diseño.	244
Tabla 5.20. Presupuesto original de Construcción del P.H. La Yesca,	249
Tabla 5.21. P.H. La Yesca – Presupuesto Original y Real de acuerdo al Criterio de Pareto.	251
Tabla 5.22. P.H. La Yesca – Presupuesto Clasificado por Frente y Estructura.	253
Tabla 5.23. P.H. La Yesca – Presupuesto Clasificado por Frente y Criterio de Pareto.	254
Tabla 5.24. P.H. El Cajón y P.H. La Yesca – Comienzos, Fines y Costos de las principales actividades de la Programación OT-6 (Original).	264
Tabla 5.25. P.H. La Yesca – Análisis Beneficio/Costo de la Central y su Red de Transmisión Asociada.	268
Tabla 5.26. P.H. La Yesca – Sensibilidad de la Evaluación Económica a la Variación del Presupuesto.	268
Tabla 5.27. P.H. La Yesca – Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas.	269
Tabla 5.28. P.H. La Yesca – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo.	270
Tabla 5.29. P.H. La Yesca – Sensibilidad a la Tasa de Descuento Real Anual.	273
Tabla 5.30. P.H. La Yesca – Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros; incremento en las inversiones, incremento en el periodo de construcción, tasa de descuento y disminución de las tarifas.	274
Tabla 5.31. P.H. La Yesca – Duraciones, Comienzos, Fines y Costos de las principales actividades de la Programación OT-6 (Original), Convenio No.2 (Real) y Monte Carlo.	291
Tabla 5.32. P.H. La Yesca – APRAM, Optimización del refuerzo técnico.	310
Tabla 5.33. P.H. La Yesca – APRAM, Optimización del refuerzo por gestión.	310
Tabla 5.34. P.H. La Yesca – APRAM, Optimización de la alternativa.	311
Tabla 6.1. P.H. El Cajón – Criticidad de las Actividades (1 de 2).	318
Tabla 6.2. P.H. El Cajón – Criticidad de las Actividades (2 de 2).	319
Tabla 6.3. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento en el Periodo de Construcción.	320
Tabla 6.4. P.H. El Cajón – Sensibilidad a la Tasa de Descuento.	320
Tabla 6.5. P.H. El Cajón – Actividades con mayor impacto en la duración del proyecto.	322
Tabla 6.6. P.H. El Cajón – Actividades con mayor impacto en el Presupuesto Total del Proyecto. ...	322
Tabla 6.7. Presupuestos P.H. El Cajón vs P.H. La Yesca.	327
Tabla 6.8. P.H. La Yesca – Criticidad de Actividades (1 de 2).	329
Tabla 6.9. P.H. La Yesca – Criticidad de Actividades (2 de 2).	330
Tabla 6.10. La Yesca – Sensibilidad al Incremento en el Periodo de Construcción.	331
Tabla 6.11. P.H. La Yesca – Sensibilidad a la Tasa de Descuento.	331
Tabla 6.12. P.H. La Yesca – Actividades con mayor impacto en la duración del proyecto.	333
Tabla 6.13. P.H. La Yesca – Actividades con mayor impacto en la duración del proyecto.	334

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Vista de satélite con la ubicación y conexiones Eurotunnel y croquis de una sección transversal típica de los dos túneles Ferroviarios y el túnel de servicio.	29
Figura 2.2. Vista aérea de la Hidroeléctrica China Shuibuya.	30
Figura 2.3. Vista aérea, junio del 2006, Grietas muestran claramente en la cara de concreto de la presa brasileña Campos Novos.	31
Figura 2.4. Vista de la cortina de gravedad de la Presa Tres Gargantas situada sobre el Rio Yangtsé en China.....	32
Figura 2.5. Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, 2007.	33
Figura 2.6. Proyecto ITER - Construcción de la cimentación que alojara el complejo del Tokamak, en Cadarache al Sudeste de Francia, septiembre del 2011.	35
Figura 2.7. Reunión de trabajo de científicos del proyecto ITER en la Universidad de Princeton, Estados Unidos, en septiembre del año 2011. Fuente: www.iter.org.....	36
Figura 2.8. Isométrico del Reactor Experimental de Fusión Nuclear (Tokamak).....	37
Figura 2.9. Incertidumbre e información de compensaciones.....	45
Figura 2.10. Paradigma de Desempeño.....	53
Figura 2.11. Principio de Pareto – Insumos versus Costos Acumulados.	55
Figura 2.12. Graficas que describen el comportamiento de las Compensaciones costo – tiempo.	57
Figura 2.13. Modelo Lineal de las Compensaciones Costo – Tiempo.	57
Figura 2.14. Costo mínimo por compensaciones de los costos directos e indirectos.....	58
Figura 3.1. Volumen Medio Anual de Aguas Nacionales (Marengo, 2008).	61
Figura 3.2. Principales Presas en México.....	62
Figura 3.3. Capacidad efectiva al 31 de diciembre del 2008 (Fuente: POISE 2010-2024).....	63
Figura 3.4. Energía producida en el 2007 y 2008 –servicio público- (Fuente: POISE 2010-2024).	65
Figura 3.5. Vista aérea del Sistema Hidroeléctrico del Río Grijalva.	66
Figura 3.6. Perfil del Sistema Hidroeléctrico del Río Grijalva.....	67
Figura 3.7. Principales Centrales Generadores en 2008, servicio público. Fuente: POISE 2010 – 2014.....	69
Figura 3.8. Participación de tecnologías en la capacidad de generación –servicio público-.....	70
Figura 3.9. Requerimientos de capacidad adicional 2019-2024 –servicio público-, 19'952 MW. Fuente POISE 2010-2024.	71
Figura 3.10. Cuenca del Río Santiago.....	73
Figura 3.11. Proyectos del Sistema Hidroeléctrico Santiago.	74
Figura 3.12. Perfil del Sistema Hidroeléctrico del Río Santiago.....	75
Figura 3.13. Potencia Total Instalable en el Sistema Hidroeléctrico Santiago.....	76
Figura 3.14. Generación media anual total en el Sistema Hidroeléctrico Santiago.	76
Figura 3.15. Localización del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón.	77
Figura 3.16. Arreglo del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit.	78
Figura 3.17. Perfil longitudinal del túnel de desvío No.2 –lumbreira de cierre final-.....	79
Figura 3.18. Sección transversal túnel de desvío No.2.....	79
Figura 3.19. Portal de entrada del Túnel No.1, marzo del 2004.....	80
Figura 3.20. Desvío del Rio Santiago por los Túnel No.1, marzo del 2004.....	80

Figura 3.21. Sección transversal de la Cortina del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit.....	81
Figura 3.22. Cortina del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit.....	82
Figura 3.23. Cortina del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit.....	82
Figura 3.24. Corte longitudinal de la Unidad No.2.....	84
Figura 3.25. Isométrico de las obras subterráneas de generación y vista de las carcadas de casa de maquinas.....	84
Figura 3.26. Corte Longitudinal de la Obra de Excedencias.....	86
Figura 3.27. Vista desde aguas arriba de la construcción de la zona de control de la obra de excedencias.....	87
Figura 3.28. Vertedor en operación de la Central Hidroeléctrica El Cajón.....	87
Figura 3.29. Vista del canal de descarga de la obra de excedencias.....	88
Figura 3.30. Programa general de Construcción del P.H. El Cajón.....	89
Figura 3.31. Determinantes de la Demanda.....	92
Figura 3.32. Historial y Estimación de la Ventas de Energía del Sector Eléctrico, Escenario de Planeación, año 1999.....	93
Figura 3.33. Crecimiento Promedio Anual de las Ventas (%) –sin exportaciones-.....	94
Figura 3.34. P.H. El Cajón – Trabajos de excavación de los portales de entrada de los túneles de desvío, junio del 2003.....	102
Figura 3.35. P.H. El Cajón – Vista de los Portales de Entrada de los Tuneles de Desvío, abril del 2004.....	103
Figura 3.36. P.H. El Cajón – Vista original del muro alabeado y con la remoción del material inestable.....	104
Figura 3.37. Ubicación del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.....	105
Figura 3.38. Localización del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca (Coordenadas Geográficas - Latitud Norte 21°11´49´´; Longitud Oeste 104°06´21´´).....	106
Figura 3.39. Arreglo General del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.....	107
Figura 3.40. Sección portal de los túneles de desvío.....	108
Figura 3.41. Vista hacia aguas debajo del portal de entrada de los túneles de desvío.....	109
Figura 3.42. Ubicación de las lumbreras de Cortante en la zona de los túneles de desvío.....	110
Figura 3.43. Sección transversal de la Cortina del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.....	111
Figura 3.44. Sección transversal original de la Cortina del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.....	112
Figura 3.45. Sección Transversal de las Obras de Generación del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.....	113
Figura 3.46. Planta de las Obras de Generación.....	114
Figura 3.47. Vista de la Obra de Toma.....	115
Figura 3.48. Avance en el montaje de las turbinas, septiembre de 2010.....	117
Figura 3.49. Perfil Transversal del Vertedor del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.....	118
Figura 3.50. Modelo en Laboratorio del Vertedor del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.....	119
Figura 3.51. P.H. La Yesca – Programa General de Construcción.....	120
Figura 3.52. P.H. La Yesca - Oferta Económica del P.H. La Yesca: Ventana donde se visualiza el archivo OE-11.....	121
Figura 3.53. Zona de la salida de los desvíos y descarga del vertedor, condiciones anteriores al deslizamiento, margen izquierda (Marengo, 2008).....	125

Figura 3.54. Principales Fallas Geológicas de la masa inestable de la Margen Izquierda (Marengo, 2008).....126

Figura 3.55. Vista del deslizamiento en la margen izquierda, bloques inestables sobre la falla Lavaderos (Marengo, 2008).126

Figura 3.56. P.H. La Yesca – Instrumentación adicional en la Margen Izquierda (Marengo, 2008).127

Figura 4.1. Grafica con un ejemplo de un análisis de sensibilidad.....134

Figura 4.2. Pasos en la Simulación.143

Figura 4.3. Metodología APRAM.149

Figura 4.4. Asignación óptima del presupuesto residual para un proyecto y configuración, que maximiza la utilidad esperada.152

Figura 4.5. Grafica de ejemplo, costos esperados de falla vs presupuesto total del proyecto.....154

Figura 5.1. Importancia de las decisiones y el costo de las correcciones en las distintas fases de un proyecto (PMBOK ® Guide, 2000 Edition – Project Management Institute).....161

Figura 5.2. P.H. El Cajón – WBS.....163

Figura 5.3. Conceptos propuestos para corroborar el Principio de Pareto.....165

Figura 5.4. P.H. El Cajón – Porcentaje Original de la participación de los Conceptos.167

Figura 5.5. P.H. El Cajón – %Conceptos Acumulados VS %Costos de Conceptos Acumulados.....167

Figura 5.6. El Cajón – Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas (1 y 2 de 3). Microsoft ® Office Project 2007.....173

Figura 5.7. P.H. El Cajón – Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas (1 y 2 de 3). Microsoft ® Office Project 2007.....174

Figura 5.8. P.H. El Cajón – Programa de Construcción con fechas reales. (1 y 2 de 3).175

Figura 5.9. P.H. El Cajón – Programa de Construcción con fechas reales. (3 de 3).176

Figura 5.10. P.H. El Cajón – Comparativa de los Programa de Construcción Fechas Originales VS Fechas. Reales (1 y 2 de 3).177

Figura 5.11. P.H. El Cajón – Comparativa de los Programa de Construcción Fechas Originales VS Fechas. Reales (1 y 2 de 3).178

Figura 5.12. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento de las Inversiones.183

Figura 5.13. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo (1 de 2).184

Figura 5.14. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo (2 de 2).185

Figura 5.15. P.H. El Cajón – Sensibilidad a la Tasa de Descuento Real Anual.186

Figura 5.16. P.H. El Cajón – Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas.....187

Figura 5.17. P.H. El Cajón – Grafica Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros; incremento en las inversiones, incremento en el periodo de construcción, tasa de descuento y disminución de las tarifas.189

Figura 5.18. P.H. El Cajón. Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas, dependencia entre actividades y Ruta Crítica (1 y 2 de 3). Microsoft ® Office Project 2007.....191

Figura 5.19. P.H. El Cajón. Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas, dependencia entre actividades y Ruta Crítica (3 de 3). Microsoft ® Office Project 2007.....192

Figura 5.20. Forma de la Función de densidad de Probabilidad Beta de acuerdo a diferentes parámetros de forma α y β194

Figura 5.21. P.H. El Cajón – Ventana con la aplicación de prueba de bondad de ajuste (Duración – Concretos en las Obras de Desvío), Palisade ® @Risk for Project 4.14196

Figura 5.22. P.H. El Cajón – Ventana con la aplicación de prueba de bondad de ajuste (Costos – Excavación a Cielo Abierto), Palisade ® @Risk for Project 4.14196

Figura 5.23. P.H. El Cajón – Ventana con la aplicación de ajuste a una distribución Beta. NCSS Versión 07.1.21 ©.199

Figura 5.24. P.H. El Cajón – Ventana de resultados de la aplicación Ajuste a una distribución Beta. NCSS Versión 07.1.21 ©.....200

Figura 5.25. Vista de las distribución de probabilidad disponibles para las varialbes de entrada en el software Palisade ®@Risk for Project 4.14.203

Figura 5.26. Ejemplo de definición de distribución de probabilidad a la duración de una actividad del programa de construcción. Palisade ®@Risk for Project 4.14.204

Figura 5.27. Ejemplo de algunas distribuciones asignadas a las actividades de construcción del proyecto el Cajón. Palisade ®@Risk for Project 4.14.....205

Figura 5.28. P.H. El Cajón – Ejemplo de definición de distribución de probabilidad a la duración de una actividad del programa de construcción. Palisade ®@Risk for Project 4.14.206

Figura 5.29. P.H. El Cajón – Ejemplo de algunas distribuciones asignadas a las actividades de construcción del proyecto el Cajón. Palisade ®@Risk for Project 4.14.207

Figura 5.30. Ejemplo asignación de salidas (Add Outputs). Palisade ®@Risk for Project 4.14.208

Figura 5.31. Gráfica de tornado de un análisis de sensibilidad, Palisade ®@Risk for Project 4.14 .210

Figura 5.32. Ventaja donde se observa el proceso de simulación Monte Carlo. Palisade ®@Risk for Project 4.14.....210

Figura 5.33. Ventaja donde se observa la ventana de resultados de la simulación. Palisade ®@Risk for Project 4.14.....211

Figura 5.34. Ventaja de resultados donde se muestra un histograma de frecuencias. Palisade ®@Risk for Project 4.14.....212

Figura 5.35. P.H. El Cajón – Histogramas, Fin de Actividades (1 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.....213

Figura 5.36. P.H. El Cajón – Histogramas, Fin de Actividades (2 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.....214

Figura 5.37. P.H. El Cajón – Histogramas, Fin de Actividades (3 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.....215

Figura 5.38. P.H. El Cajón – Histogramas, Fin de Actividades (4 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.....216

Figura 5.39. P.H. El Cajón – Histogramas, Costo Principales Frentes de Trabajo de Obra Civil (1 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.217

Figura 5.40. P.H. El Cajón – Histogramas, Costo Principales Frentes de Trabajo de Obra Civil (2 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.218

Figura 5.41. P.H. El Cajón – Histogramas, Costo Principales Frentes de Trabajo de Obra Civil (3 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.219

Figura 5.42. P.H. El Cajón – Histogramas, Costo Principales Frentes de Trabajo de Obra Civil (4 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.220

Figura 5.43. P.H. El Cajón – Valores de entrada para la prueba estadística ANOVA. NCSS Versión 07.1.21 ©.223

Figura 5.44. P.H. El Cajón – Resultado del ANOVA aplicado al modelo Monte Carlo. NCSS Versión 07.1.21 ©.224

Figura 5.45. P.H. El Cajón – Histograma de la Simulación Monte Carlo del Presupuesto total Proyecto con una media de \$830'394 USD. Palisade @Risk for Project 4.14.226

Figura 5.46. P.H. El Cajón – Probabilidades acumuladas de las fechas de término de las principales actividades del Proyecto. Palisade @Risk for Project 4.14.226

Figura 5.47. P.H. El Cajón – Análisis de Sensibilidad de los Costos de las Actividades (Coeficientes de Regresión y Correlación). Palisade @Risk for Project 4.14.227

Figura 5.48. P.H. El Cajón – Grafica de Correlación de los Costos de las Actividades - Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade @Risk for Project 4.14.....228

Figura 5.49. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Desvíos. Palisade @Risk for Project 4.14.....228

Figura 5.50. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Contención. Palisade @Risk for Project 4.14.229

Figura 5.51. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Excedencias. Palisade @Risk for Project 4.14.229

Figura 5.52. P.H. El Cajón – Análisis de Sensibilidad de las Duraciones de las Actividades (Coeficientes de Regresión y Correlación). Palisade @Risk for Project 4.14.230

Figura 5.53. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de las Duraciones de la Obra de Desvíos. Palisade @Risk for Project 4.14.230

Figura 5.54. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de las Duraciones de la Obra de Contención. Palisade @Risk for Project 4.14.231

Figura 5.55. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de las Duraciones de la Obra de Excedencias. Palisade @Risk for Project 4.14.231

Figura 5.56. P.H. El Cajón – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (1 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.233

Figura 5.57. P.H. El Cajón – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (2 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.234

Figura 5.58. P.H. El Cajón – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (3 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.235

Figura 5.59. P.H. El Cajón – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (4 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.236

Figura 5.60. Metodología APRAM.239

Figura 5.61. P.H. El Cajón – APRAM, Fallas por Gestión.....241

Figura 5.62. P.H. El Cajón – APRAM, Fallas Técnicas.....241

Figura 5.63. P.H. El Cajón – APRAM, Probabilidad de Diferentes Estados de Falla versus Fracción del Presupuesto Residual.245

Figura 5.64. P.H. El Cajón – APRAM, %Presupuesto Adicional versus Costo Esperado de Falla – Probabilidad de Falla.....246

Figura 5.65. WBS del P.H. La Yesca.....247

Figura 5.66. P.H. La Yesca – Conceptos propuestos para corroborar el Principio de Pareto.250

Figura 5.67. P.H. La Yesca – Porcentaje Original de la participación de los Conceptos.....252

Figura 5.68. P.H. La Yesca – %Conceptos vs %Costos de Conceptos Acumulados.....252

Figura 5.69. P.H. La Yesca – Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas (1 de 2). Microsoft® Office Project 2007.....257

Figura 5.70. P.H. La Yesca – Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas (2 de 2). Microsoft® Office Project 2007.....258

Figura 5.71. P.H. La Yesca – Programa de Construcción con fechas del Convenio No.2 (1 de 2). Microsoft® Office Project 2007.....259

Figura 5.72. P.H. La Yesca – Programa de Construcción con fechas del Convenio No.2 (2 de 2). Microsoft® Office Project 2007.....260

Figura 5.73. P.H. La Yesca – Comparativa de los Programa de Construcción Fechas Originales VS Fechas Convenio No.2 (1 de 2). Microsoft® Office Project 2007.....261

Figura 5.74. P.H. La Yesca – Comparativa de los Programa de Construcción Fechas Originales VS Fechas Convenio No.2 (2 de 2). Microsoft® Office Project 2007.....262

Figura 5.75. P.H. El Cajón – P.H. La Yesca, Valores de entrada para la prueba ANOVA, duraciones y costos de las actividades principales originales, NCSS Versión 07.1.21 ©.....265

Figura 5.76. P.H. El Cajón – P.H. La Yesca. Resultado del ANOVA, aplicado a las duraciones y costos de las actividades principales. NCSS Versión 07.1.21 ©.....266

Figura 5.77. P.H. La Yesca - Sensibilidad de la Evaluación Económica a la Variación del Presupuesto.....269

Figura 5.78. P.H. La Yesca – Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas.270

Figura 5.79. P.H. La Yesca – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo.....271

Figura 5.80. P.H. La Yesca – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo.....272

Figura 5.81. P.H. La Yesca – Sensibilidad a la Tasa de Descuento Real Anual.273

Figura 5.82. P.H. La Yesca – Grafica de Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros; incremento en las inversiones, incremento en el periodo de construcción, tasa de descuento y disminución de las tarifas.275

Figura 5.83. P.H. La Yesca – Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas, dependencia entre actividades y Ruta Critica (1 de 2). Microsoft® Office Project 2007.....277

Figura 5.84. P.H. La Yesca – Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas, dependencia entre actividades y Ruta Critica (2 de 2). Microsoft® Office Project 2007.....278

Figura 5.85. P.H. La Yesca – Ventaja donde se observa el proceso de simulación Monte Carlo. Palisade®@Risk for Project 4.14.280

Figura 5.86. P.H. La Yesca – Ventaja donde se observa la ventana de resultados de la simulación. Palisade®@Risk for Project 4.14.280

Figura 5.87. P.H. La Yesca – Ventaja de resultados donde se muestra un histograma de frecuencias (Costo total de Proyecto). Palisade®@Risk for Project 4.14.281

Figura 5.88. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (1 de 4). Palisade®@Risk for Project 4.14.....283

Figura 5.89. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (2 de 4). Palisade®@Risk for Project 4.14.....284

Figura 5.90. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (3 de 4). Palisade®@Risk for Project 4.14.....285

Figura 5.91. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (4 de 4). Palisade®@Risk for Project 4.14.....286

Figura 5.92. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (1 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.....287

Figura 5.93. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (2 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.....288

Figura 5.94. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (3 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.....289

Figura 5.95. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (4 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.....290

Figura 5.96. P.H. La Yesca – Valores de entrada para la prueba estadística ANOVA. NCSS Versión 07.1.21 ©.292

Figura 5.97. P.H. La Yesca – Resultado del ANOVA aplicado al modelo Monte Carlo. NCSS Versión 07.1.21 ©.293

Figura 5.98. P.H. La Yesca – Histograma de la Simulación Monte Carlo del Presupuesto total Proyecto con una media de \$827'265 USD. Palisade ®@Risk for Project 4.14.294

Figura 5.99. P.H. La Yesca – Probabilidades acumuladas de las fechas de término de las principales actividades del Proyecto. Palisade ®@Risk for Project 4.14.295

Figura 5.100. P.H. La Yesca – Análisis de Sensibilidad de los Costos de las Actividades (Coeficientes de Regresión y Correlación). Palisade ®@Risk for Project 4.14.296

Figura 5.101. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de los Costos de las Actividades - Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.296

Figura 5.102. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Desvío. Palisade ®@Risk for Project 4.14.....297

Figura 5.103. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Contención Palisade ®@Risk for Project 4.14.297

Figura 5.104. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Excedencias Palisade ®@Risk for Project 4.14.298

Figura 5.105. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Generación. Palisade ®@Risk for Project 4.14.298

Figura 5.106. P.H. La Yesca – Análisis de Sensibilidad de las Duraciones de las Actividades (Coeficientes de Regresión y Correlación). Palisade ®@Risk for Project 4.14.299

Figura 5.107. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de las Duraciones de las Actividades - Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.299

Figura 5.108. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de las Duraciones de las Obras de Desvío - Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.300

Figura 5.109. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de las Duraciones de las Obras de Contención -Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.300

Figura 5.110. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de las Duraciones de las Obras de Excedencias -Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.301

Figura 5.111. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de las Duraciones de las Obras de Generación -Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.301

Figura 5.112. P.H. La Yesca – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (1 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.....303

Figura 5.113. P.H. La Yesca – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (2 de 4). Palisade
 ®@Risk for Project 4.14.....304

Figura 5.114. P.H. La Yesca – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (3 de 4). Palisade
 ®@Risk for Project 4.14.....305

Figura 5.115. P.H. La Yesca – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (4 de 4). Palisade
 ®@Risk for Project 4.14.....306

Figura 5.116. P.H. La Yesca – APRAM, Fallas por Gestión.309

Figura 5.117. P.H. La Yesca – APRAM, Falla Técnica.309

Figura 5.118. P.H. La Yesca – APRAM, Probabilidad de Diferentes Estados de Falla versus Fracción
 del Presupuesto Residual.312

Figura 5.119. P.H. La Yesca – APRAM, %Presupuesto Adicional versus Costo313

Figura 6.1. P.H. El Cajón – Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros.....321

Figura 6.2. P.H. El Cajón – Histograma de la Simulación Monte Carlo del Presupuesto total Proyecto
 con una media de \$830'394 USD.....323

Figura 6.3. P.H. El Cajón – Síntesis de los Métodos de Análisis de Riesgo (Sensibilidad, Monte Carlo
 y APRAM).325

Figura 6.4. P.H. La Yesca – Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros.....332

Figura 6.5. P.H. La Yesca – Histograma de la Simulación Monte Carlo del Presupuesto total Proyecto
334

Figura 6.6. P.H. La Yesca – Síntesis de los Métodos de Análisis de Riesgo (Sensibilidad, Monte
 Carlo y APRAM).....337

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.

En México, en el año 2003, se reactivó la construcción de Obras Hidroeléctricas Magnas, con el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, sobre el cause del Río Santiago en el estado de Nayarit; esto después de casi una década de haber culminado la última obra de este tipo, constituida por la Central Aguamilpa. El proyecto representó el último gran aprovechamiento para la generación de energía eléctrica del Río Santiago y cuyo inicio de operación se remonta a septiembre del año 1994.

Actualmente la sinergia continúa con la construcción del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, cuyo inicio de operación para la generación de energía eléctrica se previó para el año 2012: esta obra representa el tercer gran aprovechamiento del cauce del Santiago, todos ellos dirigidos, planeados y proyectados por la Comisión Federal de Electricidad del Gobierno Federal.

Hoy nuestro país, como otras regiones del mundo, todavía sufre las consecuencias de la crisis económica del año 2009. Bajo este escenario y con la falta de certeza en diversos aspectos, entre ellos el económico, obliga a los gobiernos a adoptar restricciones presupuestales y a buscar distribuir los recursos de mejor manera.

México no ha sido la excepción: en este contexto de escasez de recursos resalta la importancia de la toma de decisiones con base en marcos estructurados y la aplicación de métodos que no son ajenos a los proyectos de infraestructura; con el enfoque en uno de los aspectos de mayor relevancia, que es el presupuestal, el cual sin duda está íntimamente ligado al tiempo de ejecución estimado que se representa en una programación de obra, para cumplir los alcances de un proyecto. Acentuando el valor de estos análisis en Proyectos de Gran Magnitud y entre ellos destacando como iconos sexenales los Proyectos Hidroeléctricos que están expuestos a una gran incertidumbre; principalmente durante su construcción, debido a la múltiple variedad de incógnitas como lo pueden ser las cuestiones

económicas, presupuestales, geológicas, hidrológicas, etc., a pesar de los estudios exhaustivos durante las etapas de planeación, diseño y actividades previas a la construcción.

Un marco de análisis de riesgo para la estimación de los presupuestos, con base en los párrafos anteriores, es uno de los aspectos más importantes tanto para el éxito de un proyecto como para la buena toma de decisiones dentro de un escenario de incertidumbre.

En esto radica la importancia de proveer métodos de análisis con un marco lógico y consistente para incorporar un buen juicio en la toma de decisiones; más aún cuando las incertezas son significativas.

En la Administración de Proyectos existen tres restricciones que compiten entre sí que son: el costo, el tiempo de ejecución y el alcance; estos puntos se visualizan fácilmente, pues invariablemente un incremento en el alcance redundará en el costo y tiempo, igualmente una restricción de tiempo, puede implicar un notable aumento en los costos; o bien, en una reducción de los alcances, pero un aspecto inherente ante cualquier escenario planteado es el riesgo, más tratándose de la industria de la construcción, donde los proyectos pueden implicar frecuentemente un sin número de incertidumbres.

Por lo tanto, para el dueño de un proyecto el éxito consiste básicamente en la capacidad para construir cumpliendo con fechas específicas y dentro de un presupuesto determinado.

1.1. Objetivos

Los objetivos que se plantean en el presente trabajo son los siguientes:

- Exponer la importancia actual de los análisis de riesgos, considerando los planes de contingencia como eje fundamental en la Administración de proyectos de obra civil, desde la etapa de factibilidad y su seguimiento hasta la etapa de construcción para optimizar los recursos de inversión.
- Presentar la investigación realizada con el fin de mejorar la Administración de Grandes Proyectos Hidroeléctricos, debido a las contingencias que modifican su presupuesto y programa de obra originales.
- Determinar la viabilidad del análisis de riesgo para mejorar el proceso de estimación de los costos en proyectos de obra civil.

- Presentar la aplicación del método innovador de análisis de riesgo, nombrado Modelo Administrativo y de Análisis de Riesgo de Programación Avanzada (Advanced Programmatic Risk Analysis and Management “APRAM”) y su adaptación a proyectos de obra civil.
- Aportar propuestas coherentes de mejora para la práctica actual de la administración de los Magnos Proyectos Hidroeléctricos en México en la etapa de construcción.
- Comprobar el beneficio del uso de Análisis de riesgo en casos prácticos como lo son los Magnos Proyectos Hidroeléctricos El Cajón y La Yesca, este último actualmente en construcción, aplicando los métodos propuestos de Análisis de Sensibilidad, Simulación Monte Carlo y APRAM, así como presentar comparativas de la información que cada uno de los métodos genera y su utilidad.
- Demostrar que el Análisis de riesgo genera información que mejora la calidad de las decisiones.

1.2. Declaración del Problema y objetivo de la investigación.

Partiendo de la incertidumbre derivada de incrementos en los presupuestos programados para la construcción de los Proyectos Hidroeléctricos Magnos en México, es como surge la idea de elaborar este trabajo. La parte correspondiente a la obra civil está expuesta a una serie de factores (aspectos económicos, financieros, hidrológicos, geológicos, etc.) que en diversas ocasiones originan cambios de diseño, reprogramación de la construcción e incluso la reevaluación financiera.

Derivado de lo anterior, surge la necesidad de expresar el incremento en el presupuesto de una forma práctica como un porcentaje con relación al originalmente planteado; por lo cual, se habla de incrementos de 10% o 20% por ejemplo; así mismo este incremento inesperado se pueden representar en una evaluación detallada a partir del presupuesto base; con esto, mejorar las practicas en la Administración de Proyectos desde etapas tempranas de planeación. Asimismo, contar con una herramienta valiosa durante el seguimiento de la construcción de las Obras referidas y otros proyectos de similar complejidad, conforme a prácticas internacionales o métodos innovadores para la evaluación y análisis.

1.3. Ámbito de Estudio

El presente estudio se limita a la aplicación de Métodos de Análisis de Riesgos a Proyectos Hidroeléctricos Magnos en México, recientemente puestos en operación y actualmente en construcción como lo son El Cajón y La Yesca respectivamente, basados en dos aspectos prioritarios como son el incremento del presupuesto y la reprogramación de la construcción acorde a los alcances definidos, esto con el fin de evaluar, innovar y mejorar las practicas en la Administración de Proyectos Magnos o bien, de complejidad semejante.

Considerando que una mejor estimación de los presupuestos conlleva una mejor toma de decisiones, se observa la necesidad de tener apropiados métodos aplicados, para identificar los riesgos con el propósito de incrementar el éxito de un proyecto,

1.4. Resultados del estudio

El presente trabajo brinda un escenario de los Métodos de Análisis de Riesgo enfocados prioritariamente al Presupuesto, como herramientas de soporte útiles y efectivas para la Administración de Proyectos Hidroeléctricos Magnos con énfasis en la etapa de construcción.

La utilidad de estas herramientas, destaca para evaluar los cambios del proyecto y los riesgos inherentes en la etapa de construcción y su impacto en el presupuesto. Finalmente el enfoque basado en la administración de riesgos; el éxito radica en producir un conjunto de modelos flexibles, al generar modelos matemáticos y que pueden ser representados gráficamente, con el auxilio de programas de cómputo adecuados que sirven como herramientas para sensibilizar a los responsables de la Dirección de los Proyectos.

Aunque está fuera del alcance del presente trabajo, se visualiza que los análisis de riesgo resultan útiles; incluso para evaluar desde etapas tempranas de planeación y diseño.

1.5. Contribución de la Investigación

La investigación ha demostrado la utilidad de los Métodos de Análisis de Riesgo, enfocados a la Administración de Magnos Proyectos Hidroeléctricos durante la etapa de

construcción; como pueden ser la Simulación Monte Carlo, el Análisis de Sensibilidad de Evaluación Económica y el Modelo Administrativo y de Análisis de Riesgo de Programación Avanzada “APRAM”, con orientación hacia los Administradores en la Construcción de Proyectos; los cuales identifican, evalúan y analizan los riesgos de los proyectos con el propósito de lograr los objetivos. Cabe señalar que un buen análisis de riesgo no es suficiente para reducir las probabilidades de fracaso de un proyecto, pues se deben respetar las buenas prácticas contempladas en reglamentos, que finalmente forman parte de los alcances de todo proyecto.

1.6. Organización de los Capítulos

En el **capítulo segundo**, “**ANTECEDENTES**”, se presenta un panorama general y el marco conceptual del Análisis de Riesgos en Proyectos enfocado a la Estimación de los Costos y los beneficios de la Administración de Riesgos. También se explican los diversos métodos que existen para dichos análisis, como lo son los Análisis de Sensibilidad, la Simulación Monte Carlo y el Modelo Administrativo y de Análisis de Riesgo de Programación Avanzada “APRAM”, todos ellos con la finalidad de estimar el Presupuesto de Contingencia adecuado con parámetros de riesgo aceptables.

En el **capítulo tercero**, “**PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS MAGNOS**”, se exhibe un bosquejo general de los Proyectos Hidroeléctricos Magnos construidos en México; la planeación estratégica que existe en la Comisión Federal de Electricidad, para la expansión del Sistema Eléctrico Nacional, para satisfacer la demanda de energía eléctrica. Enfocándose en el aprovechamiento de los principales Complejos Hidroeléctricos del País como lo son el Grijalva y el Lerma-Santiago; en particular este último, pues en este sistema es donde se han construido las últimas Centrales Hidroeléctricas; Aguamilpa con su inicio de operación en septiembre del año 2004, El Cajón con su ingreso reciente al Sistema en marzo del año 2007 y el proyecto La Yesca actualmente en construcción.

En el **cuarto capítulo**, nombrado “**MÉTODOS DE ANÁLISIS**”, se muestra la descripción de los tres métodos propuestos para el Análisis de riesgo, incluyendo una discusión sobre sus ventajas y limitaciones, los métodos son los siguientes:

- Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Económica
- Simulación Monte Carlo
- Modelo Administrativo y de Análisis de Riesgo de Programación Avanzada “APRAM”

El **quinto capítulo**, “**APLICACIÓN A CASOS PRÁCTICOS: PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS EL CAJÓN Y LA YESCA**”, representa la parte medular de este trabajo de tesis, pues se expone la aplicación de cada uno de los métodos descritos en el capítulo anterior, en específico a dos Proyectos Íconos de Infraestructura en nuestro país de los últimos años. En primer término El Cajón, que representó la reactivación de la construcción de proyectos hidroeléctricos de gran magnitud en nuestro país; asimismo, para fines de comparación y correlación de la misma manera se realiza el análisis del Proyecto La Yesca, actualmente en construcción, ambos pertenecen al Complejo Hidroeléctrico del Río Santiago.

En el **sexto capítulo**, “**DISCUSIÓN DE RESULTADOS**”, se presentan los resultados obtenidos con los tres métodos de análisis de riesgo, se realiza la correlación de resultados; enfocándose prioritariamente en el denominado Presupuesto de Contingencia, y con ello se determina la utilidad de cada método, con el fin de visualizar el beneficio de los Análisis de Riesgo para la Administración de los Proyectos.

En el **capítulo séptimo**, “**CONCLUSIONES**”, finalmente se plasman las aportaciones significativas a la Administración en la Construcción de futuros Proyectos Hidroeléctricos, las ventajas en la aplicación de los métodos presentados en ésta tesis, como también recomendaciones con el fin de retroalimentar su aplicación a nuevos proyectos, buscando ser eficaces y eficientes en ello.

CAPITULO 2. ANTECEDENTES

CAPITULO 2. ANTECEDENTES

2.1. Panorama General de la Administración de Riesgos en Construcción.

En general los proyectos en construcción están expuestos a una seria de incertidumbres, los riesgos inherentes a todo proyecto pueden ser la causa del fracaso del mismo para lograr los objetivos y alcances predefinidos de costo, plazos y calidad.

La construcción implica un reto complicado envuelto de incertezas, este reto se incrementa en los Proyectos de Gran Magnitud, un caso particular son las obras Hidroeléctricas, construidas para contribuir en la generación a gran escala de energía eléctrica, cuya importancia se ha incrementado a fechas recientes por tratarse de la llamada energía limpia: medios sustentables que pueden ser contemplados como Mecanismos de Desarrollo Limpio a nivel mundial.

En el ámbito de la Construcción es responsabilidad de todos los involucrados de un proyecto considerar las medidas adecuadas para identificar los riesgos. Ahora bien, el Análisis de Riesgos o también llamado Análisis de Decisiones, es la disciplina que ayuda a tomar decisiones de forma más sabia bajo condiciones de incertidumbre. El Análisis de Riesgo resulta en la actualidad una herramienta valiosa para evaluar las incertidumbres a las cuales están expuestos los proyectos, el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers) define al Análisis de Riesgos (**Charles Yoe et al., 2000**) como:

“El proceso de separación de la totalidad del riesgo en sus componentes mediante la evaluación de los riesgos e incertidumbres relacionados con el propósito de la administración eficaz del riesgo, facilitado por la comunicación efectiva acerca de los riesgos”.

La importancia en la toma de buenas decisiones, cada vez más, se incrementa ante escenarios de restricciones presupuestales y en este sentido se convierte en una de las habilidades más importantes para el éxito de un proyecto.

John Schuyler (2001) expone que las tres características principales del enfoque del Análisis de Riesgo son:

- (1) Un mejor juicio sobre los riesgos e incertidumbres que finalmente son expresados como distribuciones de probabilidad;
- (2) Un modo de proyecto establece el valor de resultado para los escenarios posibles;
- (3) El Valor Esperado (VE) provee un valor de la probabilidad ponderada para la toma de decisiones.

Finalmente, como indica el autor mencionado *“El Análisis de Riesgo provee la única lógica, consistente para incorporar un juicio acerca de los riesgo y las incertezas en un análisis”*. Por lo anterior, cuando las incertezas son significativas, las técnicas y métodos desarrollados dentro de esta disciplina representan el mejor camino hacia las decisiones de proyecto creíbles.

Durante el proceso de planeación de un proyecto, uno de los objetivos fundamentales resulta en maximizar la diferencia entre los beneficios y los costos del mismo. En este sentido los responsables de la administración de proyectos deben asignar apropiadamente los recursos a las tareas para minimizar la suma total de costos, para encontrar la óptima compensación entre los costos.

Ted Klastorin (2004) indica que cuando un proyecto no cumple en su presupuesto proyectado, se puede deber a una pobre dirección del proyecto, a un presupuesto pobre, cambios en el medio ambiente, cambios de orden geológico, etc.

2.2. Exposición de casos

La importancia en la gestión de proyectos complejos, radica en el importante número de proyectos que han fallado en el alcance de sus objetivos. Solo en Estados Unidos el Standish Group reportó que solo el 26 por ciento de los proyectos en **1998** fueron completados con éxito, mientras el 46 por ciento de ellos fueron impugnados, esto es, fueron cambiados pero con un incremento en el presupuesto y/o del tiempo; y el 28 por ciento restante fue considerado como fallas, cuyo costo represento casi a \$75 billones de dólares

en 1998 en Estados Unidos, sólo para exponer la situación que guarda el país con la principal economía a nivel mundial y que no es ajena a esta problemática.

Un caso histórico es el proyecto del trasbordador espacial de Estados Unidos: en 1980 la administración de la NASA contemplaba un incremento probable entre el 10 al 20 por ciento al presupuesto original de 1972 que consideraba un presupuesto de 5.5 billones de dólares más un 20 por ciento contemplado para contingencias lo cual se previó en presupuesto total de 6.6 billones de dólares, finalmente el proyecto alcanzo los 17.789 billones de dólares, casi el triple del contemplado originalmente.

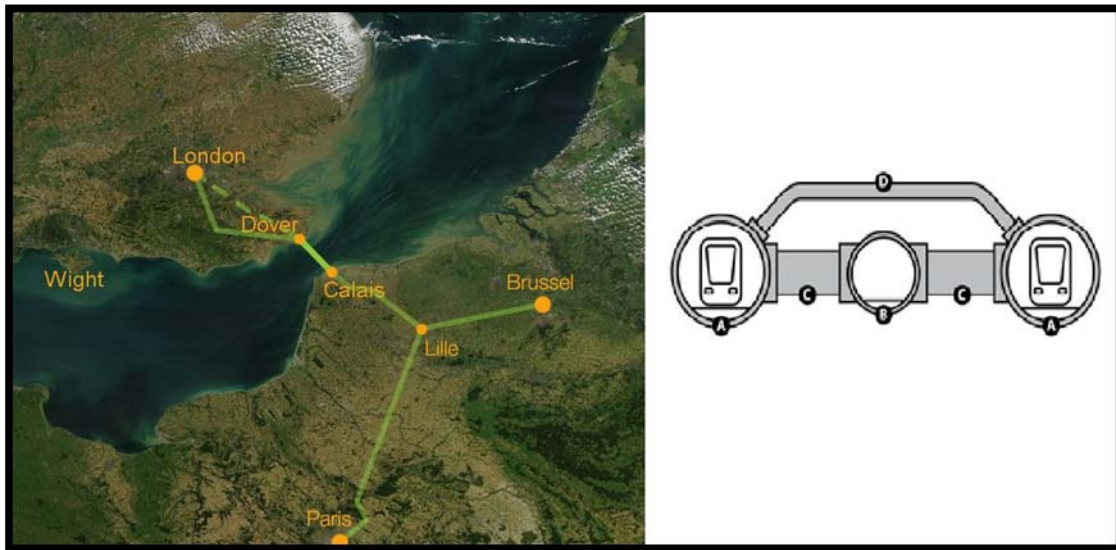


Figura 2.1. Vista de satélite con la ubicación y conexiones Eurotunnel y croquis de una sección transversal típica de los dos túneles Ferroviarios y el túnel de servicio.

Una importante obra conocida a nivel mundial es el Eurotunnel, que une a Francia con Inglaterra en un recorrido de uno 35 minutos cruzando el canal de la Mancha a través de los túneles de 50.5 kilómetros de longitud.

Las dificultades de coordinación entre empresas contratadas y subcontratadas, así como la dificultad técnica del proyecto elevaron considerablemente los costos; dichos costos totales de inversión a precios de 1985 fueron 2.6 mil millones de euros, que al finalizar la obra en el año 1994 ascendieron a 4.65 mil millones de euros a precios de 1985, dicho sobrecosto implicó alrededor de un 140% de sobrecostos financieros con una importante intervención de los gobiernos Francés e Inglés, **Figura 2.1.**

Abordando los proyectos hidroeléctricos constituidos de una cortina de enrocamiento con cara de concreto recientemente puestos en operación, encontramos la presa Shuibuya en China construida sobre el río Qingjian: es la presa más alta en su tipo en el mundo con 233 metros de altura con una potencia instalada de 1'840 MW y proyectada para generar 3'985 GWh al año. **Figura 2.2.**

Con el propósito de adelantar los beneficios del proyecto, el evento de cierre del río para la generación se realizó con un año de antelación en octubre del año 2002, por lo que se debieron adelantar la relocalización de los residentes afectados y las compensaciones finalmente el costo de construcción de la hidroeléctrica alcanzó los 1.5 billones de dólares.



Figura 2.2. Vista aérea de la Hidroeléctrica China Shuibuya.

Otro caso reciente es la Presa Campos Novos construida en Brasil, se construyó casi de forma paralela que las presas El Cajón en México y Shuibuya en China, está constituida también por una cortina de enrocamiento con cara de concreto con 202 metros de altura con una potencia instalada total de la central de de 880 MW. Se construyó con un presupuesto de \$671 millones de dólares, sin embargo pocos meses durante el llenado de la presa en enero y febrero de 2006 se identificaron grietas en la cara de concreto y filtración.



Figura 2.3. Vista aérea, junio del 2006, se muestran claramente grietas en la cara de concreto de la presa brasileña Campos Novos.

El sobrecosto debido a las reparaciones y sanciones debidas a las fallas ocurridas al inicio de operación de Campos Novos, se estima en alrededor de \$110 millones de dólares, lo cual representa alrededor de un 20 por ciento respecto al presupuesto original.

No todo es negativo: se ha demostrado el éxito del uso de técnicas para la administración de proyecto. Como ejemplo está la hidroeléctrica Revelstoke construida en British Columbia, Canadá, la cual se terminó a tiempo en el año 1984 con la ampliación de una unidad culminada en el 2010 y un 21 por ciento por debajo del presupuesto original.

Lo anterior sólo es un ejemplo aplicado a proyectos de ingeniería civil, cuyo enfoque es el del presente trabajo, sin embargo el alcance se extiende a una diversidad de ramas como los negocios, biología, arqueología, tecnológicos, etc.

La Hidroeléctrica Tres Gargantas, ubicada en el curso del Rio Yangtsé en China, es el complejo hidroeléctrico más grande del mundo en cuanto a generación de electricidad, superando a la brasileña Itaipú ubicada en el Rio Paraná. Esta presa está constituida por una cortina de gravedad con una altura de 181 metros de altura, la cual alberga la casa de maquinas con sus 26 unidades de 700 MW de potencia instalada para un total 18'200 MW

de potencia instalada de la Central, la cual he realizado su mayor generación de energía eléctrica en el año 2010 con un record de 84 TWh.



Figura 2.4. Vista de la cortina de gravedad de la Presa Tres Gargantas situada sobre el Río Yangtsé en China.

La construcción de esta hidroeléctrica inició el 14 de diciembre de 1994. El gobierno chino contempla que en su construcción se ha realizado dentro de presupuesto, 27.19 billones de dólares, incluso que su costo será menor debido a la estabilización de los precios de las materias primas y las tasas de interés bajas. Sin embargo detractores (Fuente: Yangtze! Yangze! De Dai Qing) estiman que el costo final se incrementará por lo menos cuadruplicando el presupuesto inicial, debido a los costos financieros. Este caso, a igual que el caso del Eurotunnel ejemplifica otro caso tipo de riesgo, el financiero.

En México el proyecto hidroeléctrico El Cajón, igualmente experimentó un incremento en su presupuesto original de 749 millones rebasando los 830 millones de dólares como se expondrá a mayor detalle en el quinto capítulo, **Figura 2.5.**



Figura 2.5. Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, 2007.

2.3. Proyecto ITER

Con respecto a las nuevas tecnologías de generación de energía eléctrica a gran escala, en México la CFE contempla en su Programación del Sistema Eléctrico Nacional la generación de energía nuclear a partir del desarrollo tecnologías para obtener energía neta a partir de la fusión nuclear –no fisión nuclear-, la cual se vislumbra a un largo plazo en esta Programación. Sin embargo, este trabajo procura ser innovador y con ello también presentar información con la cual se visualice el impacto que tendrá la tecnología en el desarrollo del campo energético y más particularmente en la generación a gran escala, requerida para el desarrollo de la humanidad.

Como un antecedente que puede resultar histórico, actualmente el proyecto ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), es el desarrollo del Reactor

Termonuclear Experimental Internacional, cuyo presupuesto se prevé esté entre los tres más caros de la historia, después del proyecto Manhattan y la Estación Espacial Internacional.

El proyecto ITER no puede pasar desapercibido por la apuesta que están realizando los socios de este proyecto multinacional conformado por la Unión Europea, Japón, Estados Unidos, Corea del Sur, la India, Rusia y China (Brasil ha intentado un acuerdo de ingreso al proyecto desde el año 2007). Como principal dato de interés, que concierne al presente trabajo, la inversión multimillonaria que originalmente se estimaba en 5 billones de Euros (costo sensiblemente igual a la facturación energética mundial de un día), se ha visto incrementado por el precio de las materias primas y los cambios de diseño, lo que ha provocado que el presupuesto se incremente en más del triple con un costo total esperado de 16 billones de euros.

Aunque se trata de un proyecto de innovación tecnológica de gran magnitud (posiblemente presupuestalmente fuera del alcance de un país como México), es un claro ejemplo de la importancia del enfoque de análisis de riesgos para mejorar la administración de los costos y programas de ejecución, motivo del presente trabajo.

Este proyecto está actualmente en construcción, se prevé su actividad pico en los años 2014 y 2015. Se contempla realizar la primera fusión nuclear –con energía neta- en el año 2018 o 2019.



Figura 2.6. Proyecto ITER - Construcción de la cimentación que alojara el complejo del Tokamak, en Cadarache al Sudeste de Francia, septiembre del 2011.

Para visualizar la importancia del análisis de riesgo, en una reunión de trabajo de científicos del proyecto ITER en la Universidad de Princeton, Estados Unidos, en septiembre del año 2011. Se observa el cuestionamiento “Failure tolerance goes down as cost goes up?” que en español es “¿La tolerancia a la falla se reduce en la medida que se eleva el costo?”.

Figura 2.7.

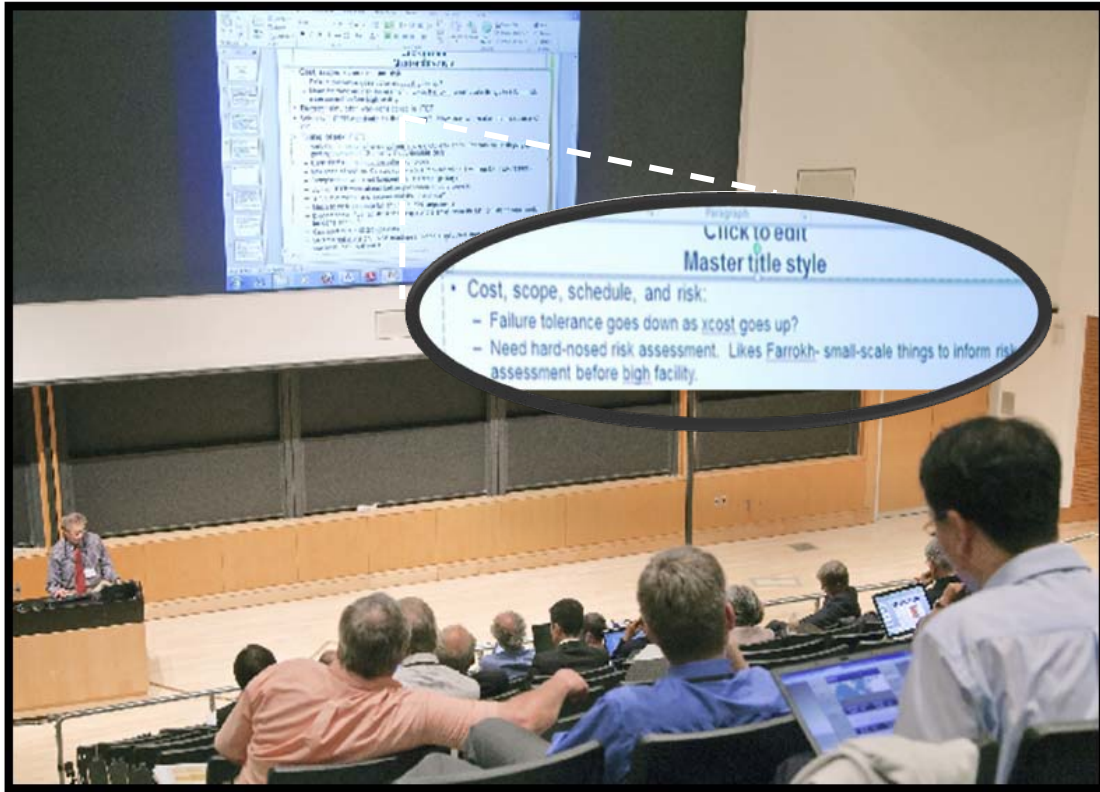


Figura 2.7. Reunión de trabajo de científicos del proyecto ITER en la Universidad de Princeton, Estados Unidos, en septiembre del año 2011. Fuente: www.iter.org

La fusión nuclear no es algo nuevo, aunque se han realizado experimentos exitosos en este sentido, hasta ahora los reactores construidos no han logrado generar energía neta, esto es, se requiere más energía para lograr el proceso que la energía disipada por la reacción nuclear. El reactor experimental ITER es un proyecto de gran complejidad ideado para demostrar la factibilidad científica y tecnología de la fusión nuclear para la producción de energía comercial, el cual promete en conjunto con las actuales fuente renovables de energía satisfacer la demanda de energía para la segunda mitad del presente siglo.

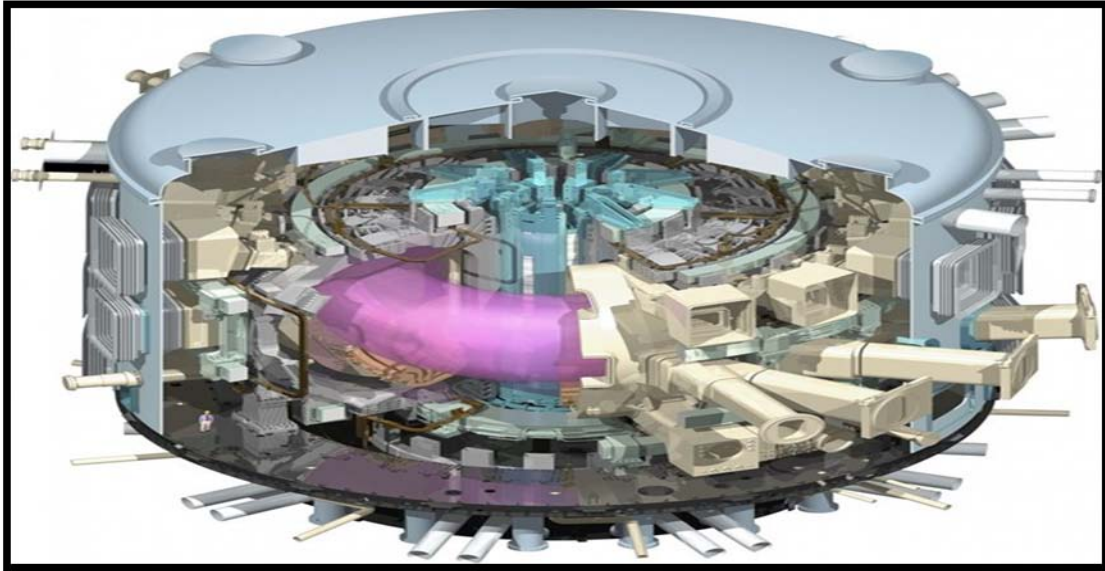


Figura 2.8. Isométrico del Reactor Experimental de Fusión Nuclear (Tokamak).

El objetivo del proyecto ITER es adquirir los conocimientos necesarios a partir de esta planta de demostración de planta de energía de fusión nuclear basado en un reactor tipo Tokamak, para el diseño de los dispositivos de la próxima etapa. En el ITER, los científicos estudiarán plasmas en condiciones similares a las esperadas en una planta de energía en el futuro. El ITER representa el esfuerzo para realizar un experimento de fusión nuclear para producir energía neta, en el cual se pondrán a prueba las tecnologías clave de calefacción, control, diagnóstico y mantenimiento remoto.

El diseño del reactor se contempla para producir aproximadamente 500 MW de potencia de salida por 50 MW de potencia de entrada. En términos prácticos la generación de 10 unidades de energía por cada unidad invertida con combustibles grandes.

Se contemplan tres ventajas principales a partir de la generación de energía a partir de la fusión nuclear son: a) en gran parte sus desechos no revisten la problemática de los provenientes de fisión; b) abundancia -y buen precio- de materias primas, principalmente del isótopo de hidrógeno, deuterio; c) si una instalación dejara de funcionar se apagaría inmediatamente, sin peligro de fusión no nuclear.

Algunos de los ejemplos anteriores implican cuestiones como innovación tecnología en el caso del Eurotunnel y el reactor experimental de fusión nuclear, sin embargo como se ha

visto todos ellos están expuestos a riesgos que redundan en el presupuesto final erogado para su culminación y retrasos en el inicio de operación.

La firma de consultoría Robbins-Gioia ha reportado que el 44 por ciento de todos los proyectos han rebasado sus presupuesto entre el 10 al 40 por ciento y que sólo el 16 por ciento de los administradores conocen sus fechas programadas.

2.4. Definición de Riesgo

En el lenguaje cotidiano, el riesgo se refiere generalmente como algo malo o indeseable, cuando se habla de Riesgo necesariamente está ligado el concepto de probabilidad que básicamente es el lenguaje de la incerteza. El Riesgo puede ser definido dependiendo de la aplicación específica, *en el campo de la ingeniería, la definición de riesgo combina la probabilidad de ocurrencia, así como la consecuencia de un evento específico no deseado y esto es a menudo simplemente expresado como el producto de la probabilidad de ocurrencia del evento por la consecuencia de este (Kerzner, 2003).*

Una definición es la adoptada por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos **(Charles Yoe et al., 2000)**:

“El riesgo es una característica de una situación, acción o evento en el que una serie de resultados posibles, cuyo particular resultado es incierto y por lo menos una de las posibilidades no es deseable”.

Otras definiciones de interés en el campo de la ingeniería, particularmente en la ingeniería de presa, son las siguientes **(Marengo, 1996)**:

“El Riesgo potencial se explica usualmente en función de las consecuencias provocadas al ocurrir un accidente, independientemente de su probabilidad de ocurrencia, evaluándose las mismas en función de los requerimientos de evacuación, daño potencial, altura de la presa, etcétera”.

“El Riesgo efectivo se ha determinado para varias disciplinas como la probabilidad de falla en un periodo definido, un año o la vida útil del proyecto; el recíproco del tiempo esperado para que se presente la falla, el cual está asociado al concepto de periodo de retorno; el costo esperado de falla; el valor actual asociado a la falla; y el costo esperado de

falla, o sea el producto de la probabilidad de falla en el periodo analizado, multiplicado por el valor monetario que implique la ocurrencia de la misma, que es el apropiado desde el punto de vista de la ingeniería”.

“La Incertidumbre se define como la variabilidad de la función analizada en repetidas ocasiones, observaciones o estimaciones. Al tratar con incertidumbres en el diseño de estructuras hidráulicas Yen y Ang (1971), las clasifican en objetivas y subjetivas; las primeras son mesurables o cuantificables, tales como las muestras de datos estadísticos y su correspondiente información probabilística. Las incertidumbres subjetivas son aquellas que intervienen para la estimación de los datos y deben manejarse con cierto juicio e intuición”.

En el campo de las inversiones y las finanzas, el riesgo puede definirse como *la posibilidad de pérdida o la incertidumbre de los rendimientos futuros, esto es, como la posibilidad de pérdida del capital comercial.*

En el campo de la construcción, el riesgo se refiere a *la falta de potencial para alcanzar los objetivos pre-definidos que son por lo general relacionadas con el proyecto del presupuesto, el calendario y el rendimiento de las instalaciones construidas, y acorde a lo indicado por **Guikema y Ansah (2007)** se pueden identificar los siguientes tres puntos con relación a la industria de la construcción:*

- (1) El primero atribuido al exceder el presupuesto del proyecto;
- (2) el segundo se refiere al tiempo y
- (3) el tercero con las características técnicas de las instalaciones construidas.

La definición de principal interés para el presente trabajo es la adoptada por Guikema y Paté-Cornell en la aplicación de su Modelo Administrativo y de Análisis de Riesgo de Programación Avanzada y difundido por sus siglas en ingles APRAM, y que se ampliara en capítulos posteriores:

“riesgo/costo para el modelado de sistemas en los cuales la probabilidades de falla de un sistema decrece exponencialmente como lo hace la inversión del dinero para hacer el sistema más robusto y mejorar el desempeño”.

El Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers), determina otras definiciones de interés (**Charles Yoe et al., 2000**) son las siguientes:

“El análisis de riesgos es el proceso de separación de la totalidad del riesgo en sus componentes mediante la evaluación de los riesgos e incertidumbres relacionados con el propósito de la gestión eficaz del riesgo, facilitado por la comunicación efectiva acerca de los riesgos”.

“La Evaluación de Riesgos es un proceso sistemático para cuantificar y describir la naturaleza, probabilidad y magnitud del riesgo asociado a alguna sustancia, la situación, evento o actividad, incluida la consideración de las incertidumbres pertinentes”.

“La Administración de Riesgos es el proceso de identificar, evaluar, seleccionar, aplicar y supervisar las medidas adoptadas para alterar los niveles de riesgo, plenamente consciente de las incertidumbres pertinentes. El objetivo de la gestión del riesgo es científicamente sólida, rentable, con acciones integradas que reduzcan los riesgos, teniendo en cuenta los aspectos sociales, culturales, éticos, políticos y jurídicos”.

2.5. Beneficios de la Administración de Riesgos.

Retomando las definiciones del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (**Charles Yoe et al., 2000**):

“La Administración de Riesgos es el proceso de identificar, evaluar, seleccionar, aplicar y supervisar las medidas adoptadas para alterar los niveles de riesgo, plenamente consciente de las incertidumbres pertinentes. El objetivo de la administración del riesgo es científicamente sólida, rentable, con acciones integradas que reducen los riesgos, teniendo en cuenta los aspectos sociales, culturales, éticos, políticos y jurídicos”.

Con respecto a la definición presentada en el párrafo anterior de la Administración de Riesgos, en este renglón, los beneficios básicamente se refieren a un mejor entendimiento de la naturaleza y origen de los riesgos a los que está expuesto un proyecto, sus efectos e interrelaciones. Para concebir y desarrollar mejores **planes de contingencia** con el propósito de mitigar los riesgos.

Otro aspecto que implica un gran beneficio es la retroalimentación que puede beneficiar desde las etapas de planeación y diseño del proyecto, para mejorar el estado del arte en futuros proyectos. Finalmente se refleja en un conocimiento que está encaminado a lograr mejores juicios.

Ahora bien **Charles Yoe et al. (2000)** sugiere que dichos modelos para Administración de los Riesgos deben responder adecuadamente a los siguientes cuestionamientos:

- (1) ¿Qué se puede hacer para reducir el impacto del riesgo descrito?
- (2) ¿Qué se puede hacer para reducir la probabilidad del riesgo descrito?
- (3) ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de las opciones disponibles?
- (4) ¿Cuál es la mejor manera de abordar el riesgo descrito?

Finalmente, la Administración de Riesgos y la implementación exitosa de un modelo debe producir en general un conjunto grafico, matemático y de comunicación apoyado adecuadamente en programas de cómputo.

2.6. Análisis de Riesgo para la Estimación de Presupuestos

La estimación del presupuesto de un proyecto es clave para su planeación, diseño y construcción; el proceso de estimación depende invariablemente de la cantidad y calidad de información que se posea, principalmente de las actividades principales a desarrollarse del proyecto.

La estimación del presupuesto es útil en las diversas fases de un proyecto, desde su planeación, pero resulta en una herramienta muy útil para el seguimiento y control durante la construcción. Un punto importante es que las incertidumbres con respecto a la variación del presupuesto total del proyecto se vayan reduciendo a medida que avanza el proyecto, en cada una de sus fases. Regularmente el Gobierno, cuando se trata de obras públicas, realiza una estimación total del presupuesto o denominado **presupuesto base** como si el propio gobierno compitiera en la adjudicación del contrato.

El enfoque tradicional para la estimación de presupuestos basado en la obtención de un solo valor, no provee información crucial como la probabilidad de rebasamiento del

presupuesto, o bien, la contingencia necesaria para obtener un nivel de confianza del presupuesto estimado.

En este sentido se visualiza la ventaja de Estimación de Costos y Presupuestos basados en métodos probabilísticos sobre los métodos tradicionales que arrojaron sólo un valor.

El análisis de Riesgo para la Estimación de Presupuestos, con las ventajas de los métodos probabilísticos, muestra una mayor efectividad para determinar la viabilidad de los proyectos y la comparación entre las diversas alternativas de diseño, ya sea para propósitos planeación y/o decisiones técnicas. Con este análisis se puede lograr un pleno conocimiento de la gama de costos potenciales en los cuales puede incurrir el proyecto y con base en ellos anticipar los impactos de este con el fin de mejorar las condiciones del financiamiento lo cual es una parte fundamental para dar respuesta a una gran gama de inquietudes y la mejora de la planificación.

La predicción en la estimación de los costos es definida por la **American Association of Cost Engineers** como *“el área de la ingeniería práctica donde el criterio, juicio y experiencia ingenieril son utilizados en la aplicación de los principios científicos y técnicos a los problemas de la estimación de costos, control de costos y rentabilidad”*.

En general para la evaluación de riesgos en la estimación de los costos que redundan en la estimación del presupuesto total del proyecto **Charles Yoe et al. (2000)**, plantea las siguientes preguntas:

- (1) ¿Qué puede salir mal?
- (2) ¿Cómo puede suceder?
- (3) ¿Qué probabilidades hay?
- (4) ¿Cuál es la magnitud del evento negativo en caso de que suceda?

Existen un gran número de interesados, como es obvio, en la estimación del presupuesto, principalmente de la Obra Civil; estas figuras pueden ser los contratistas, las entidades gubernamentales, los asesores, los servicios de consultoría, etc. Este proceso de estimación varía de la perspectiva y acorde a las necesidades, pues se puede interpretar de forma diferente la información según los usos que se requieran.

El Concepto de Análisis de Riesgo todavía es una novedad para los Profesionales encargados de la Estimación de Presupuestos. Solo si se contempla las ventajas ya comentadas se puede lograr el cambio en práctica profesional como una herramienta valiosa.

En el caso particular de la Presas el análisis de riesgo puede y debe contemplar la inversión necesaria para la rehabilitación e impacto ambiental y los beneficios derivados del proyecto, entre ellos la reducción de inundaciones en el marco de análisis. En general para los proyectos de esta complejidad se forman equipos interdisciplinarios que se abocan a evaluar los riesgos de las tecnologías y los riesgos asociados con fallas en diversos procesos son el foco de ingenieros de diversas disciplinas.

Para las personas encargadas de tomar las decisiones, la importancia en la estimación del presupuesto de construcción, radica en ser el mejor indicador de los recursos necesarios para realizar el proyecto, lo cual es vital para la programación del proyecto, la autorización de los fondos presupuestales, permisos, entre otros aspectos, pues finalmente este refleja paso a paso el plan del proyecto.

Por los argumentos expuestos en este apartado se vislumbra que el análisis de riesgo debe contemplarse como una actividad integral de todo análisis económico y financiero para determinar con criterio si el proyecto es eficiente y financieramente viable, igualmente para el control de costos, la planeación, contabilidad y otras funciones de análisis y de gestión se basan en la estimación de los gastos.

La estimación de costos es un proceso fundamentalmente incierto que se adapta bien a las técnicas de análisis de riesgo para hacer frente a las incertidumbres inherentes.

La estimación de costos a partir del enfoque de análisis de riesgos es un área emergente de interés en la industria de la construcción, por lo que explorar esta área debe repercutir en una mejora de las prácticas y mantenerse actualizado en esta industria.

El análisis de riesgos del costo del proyecto no es una idea nueva, ya desde la década de 1970, sólo por mencionar un ejemplo, la **Asociación para la Promoción de la Ingeniería de Costo** “Association for the Advancement of Cost Engineering” **AACE** creó una

guía práctica de riesgo (*International's Professional Practice Guide to Risk "CURRAN"*) con un conjunto de 360 artículos compilados en tres volúmenes con 2'230 paginas.

Se vislumbra que continúe la tendencia en el futuro próximo, sin que a la fecha sea todavía un requisito, la necesidad de los análisis de riesgo en lo que ha presupuestos se refiere. El desarrollo de las técnicas, métodos y otros estudios van de la mano de las necesidades para incorporarse planes y programas como herramientas que implican una clara ventaja sobre procesos comunes actualmente en práctica, en este sentido es un ámbito de oportunidad para desarrollar y explotar.

El presente trabajo es un esfuerzo por poner en práctica las técnicas de Análisis de Riesgo de **Contingencias** con énfasis en la obra civil, el objetivo fundamental es proporcionar más y mejor información que impacte en una mejor toma de decisiones

Se pueden reconocer dos beneficios en relación al análisis de riesgo para la estimación de costos:

- (1) mejorar la exactitud de las estimaciones de los presupuestos y;
- (2) mejorar la toma de decisiones

2.7. Valor Esperado y Presupuesto de Contingencia

En teoría de probabilidad y estadística, el valor esperado de una variable aleatoria es la integral de la variable aleatoria con respecto a su medida de probabilidad. Esto intuitivamente, es la expectativa media a largo plazo; si una prueba puede repetirse muchas veces, la expectativa es la medida de todos los resultados.

El concepto de costo estimado, como una predicción, se usara a lo largo de este trabajo enfatizando fundamentalmente en su naturaleza de incertidumbre. En este sentido un esquema de análisis de riesgo para la estimación del presupuesto persigue mejorar la calidad de la estimación de los costos de los trabajos, principalmente de Obra Civil, pues ofrece la oportunidad para abordar gran parte de la incertidumbre inherente en el proceso de estimación de costos.

La incertidumbre inherente a la estimación de los costos se basa en la calidad y cantidad de información disponible, pues como se puede visualizar una mayor y mejor calidad

redunda en una disminución de la tan mencionada incertidumbre. Actualmente resulta de mayor valor, proveer más y mejor información desde las etapas de planeación y diseño.

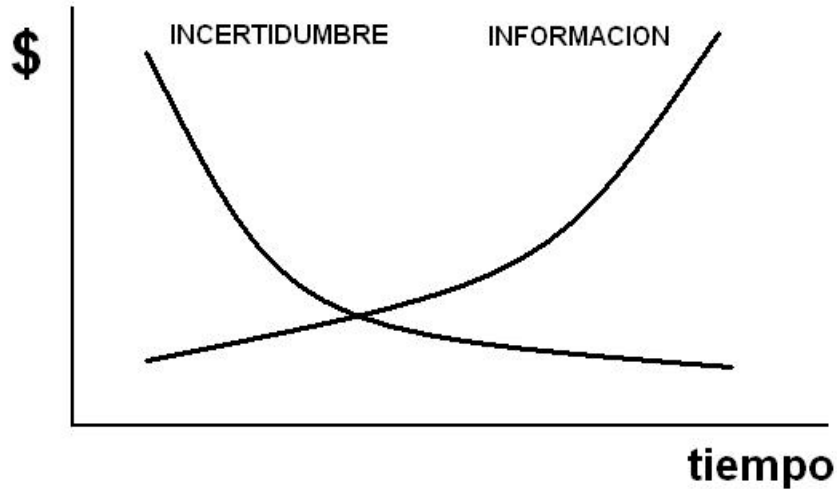


Figura 2.9. Incertidumbre e información de compensaciones.

Como ya se ha comentado, la práctica común para la estimación de un presupuesto radica en determinar puntualmente un valor que refleja el presupuesto total de un proyecto, lo cual también comúnmente resulta ser inexacto y, en el mejor caso, los responsables de la estimación realizan un buen trabajo acorde a costos reales e igualmente buenas consideraciones. Esta estimación del presupuesto resulta suficientemente cercana al costo real que no provoque mayores consecuencias por un incremento con relación al costo final del proyecto.

Por la anterior razón, un intervalo que representa una gama de valores resulta más preciso que una estimación puntual del presupuesto, lo anterior ligado a una distribución de probabilidad que le añade dimensión al rango, lo cual refleja los intervalos más probables que se pueden presentar.

Aunque el ideal es representado por un valor exacto y preciso, pero como ya se ha comentado un intervalo resulta más exacto que un valor puntual, aunque por lo general más exactitud implica menos precisión y viceversa mayor precisión significa menor precisión. Por fortuna ante el ámbito de incertidumbre en la predicción de valores a menudo se presenta

una compensación entre dicha exactitud y precisión; esta condición también debe tenerla presente el proyectista o encargado del análisis para determinar una combinación deseada de acorde a los objetivos trazados.

No hay una manera objetiva de calcular la probabilidad del costo puntualmente, a través de métodos tradicionales. Las estimaciones del presupuesto a partir del análisis de riesgo puede producir una distribución de los costos totales, o bien cualquier elemento de los costos totales, es relativamente sencilla la obtención cuantificada de la probabilidad de que una estimación de costos superara una distribución de costos determinada.

Introducir la idea de la estimación de los costos en los Programas de Obra Civil, pueden ser mejorados a través de análisis de riesgo, esta es una actividad de predicción y como tal está llena de incertidumbres

Hay que recordar que el análisis de riesgo no es una ciencia y en lo que se refiere a la estimación de las probabilidades de exceder un determinado presupuesto estimado no existe un único camino objetivo par la determinación de dichas probabilidades de presupuesto.

Uno de los propósitos del presente trabajo es demostrar la viabilidad del uso del análisis de riesgo aplicado al presupuesto para mejorara la calidad en la estimación del presupuesto con el uso de varios métodos modernos e innovadores de análisis. Ahora bien, el análisis de riesgo no es una ciencia y por lo tanto en lo que se refiere a la estimación de las probabilidades de exceder un determinado presupuesto, no existe un único camino objetivo para la determinación de dichas probabilidades.

Otro concepto fundamental para el desarrollo de este trabajo es el concepto de Presupuesto Residual (para la atención a las Contingencias) se refiere a “la cantidad de dinero disponible para mejorar los elementos técnicos de la instalación y gestión de las reservas” **(Imbeah y Guikema, 2007)**.

Por si sola la estimación del Presupuesto de Contingencia, que forma parte integral del Presupuesto Total de un Proyecto, es suficiente para justificar un estudio de análisis de riesgo, si a ello se añaden otros atributos que sirven como herramientas e información sobre los costos con lo cual podemos determinar que puede ir mal, que tan probable es y hasta sus consecuencias todo lo cual auxilia para la mejora en la toma de decisiones.

Para mejorar la probabilidad en la estimación de los costos y presupuesto el análisis de riesgo se convierte en un medio con una variedad de opciones para mejorar esta estimación. Esto incluye la capacidad de estimar un sobre costo, los componentes clave de la estimación del presupuesto a través de una evaluación del riesgo, así como una multitud de conocimiento sobre el presupuesto y los costos que lo compone que en conjunto representa una potente herramienta para la administración del proyecto desde cualquier etapa del mismo.

Finalmente un propósito prioritario del presente trabajo es demostrar la factibilidad de la incorporación y rentabilidad de los análisis de riesgo en la estimación del presupuesto tomando como casos de estudio Magnos Proyectos Hidroeléctricos. Con una visión a futuro a partir de un enfoque que explora los métodos de análisis de riesgo, donde los principales interesados son los ingenieros encargados desde las etapas de planeación, diseño y construcción.

2.8. Métodos de análisis.

Se puede decir que no hay una manera correcta y única de hacer una evaluación del riesgo, pues la evaluación de riesgo no es una ciencia, pero se organiza de una forma estructurada y como guía se auxiliar de las siguientes preguntas:

- ¿Qué puede salir mal?
- ¿Cómo puede suceder?
- ¿Cómo es la probabilidad?
- ¿Cuáles son las consecuencias?

Hay dos criterios básicos que permiten evaluar el riesgo en falla de un sistema de ingeniería; uno es el seguimiento de fallas históricas en sistemas similares, como se indica en este artículo, el cual en muchas ocasiones puede no ser del todo aplicable por las diferentes condiciones entre el caso analizado y los históricos reportados; otro criterio consiste en la simulación, donde se considera el comportamiento de los factores que intervienen en el fenómeno y la comprobación probabilística de éstos para estimar el riesgo de falla del sistema en conjunto **(Marengo, 1996)**.

Ahora bien, una buena evaluación del riesgo se centra en la ciencia en la medida de lo posible, de una manera transparente y racional, separando lo que se conoce de lo que es desconocido y el tratamiento de cada uno de manera adecuada.

Hay muchas herramientas y técnicas para el análisis de riesgo, útiles para los diversos propósitos y objetivos en la administración de proyectos: uno de los más recurrentes es la estimación de costos.

Cualquier técnica de evaluación de riesgos específica requiere una estrategia, en este sentido lo mejor es comenzar por proporcionar una forma de pensar sobre la evaluación del riesgo que es aplicable a cualquier herramienta. En un capítulo posterior se expondrán con mayor detalle los tres métodos elegidos para ser aplicados a los casos de estudio objeto del presente trabajo, los métodos elegidos son:

- El Análisis de sensibilidad de la Evaluación Económica, la cual es una herramienta que se ha utilizado en gran medida para la estimación y evaluación de los costos y presupuestos.
- La Simulación de Monte Carlo es una herramienta que se presenta con mayor interés, ya que es la herramienta que se utiliza más a menudo.
- Por último se presenta una herramienta innovadora nombrada APRAM, que recientemente se ha aplicado a proyectos espaciales en la NASA y que también se ha realizado un esfuerzo por su adaptación a proyectos de obra civil.

Cabe destacar que cada disciplina capacita a su gente para abordar los problemas de una manera determinada. Los ingenieros piensan acerca de los problemas de una manera, los economistas lo abordan de otra manera, los biólogos pueden enfocarlo de manera diferente y así sucesivamente. El denominador común es que las disciplinas con experiencia, enseñan la forma de abordar un problema y la forma de adaptarse a las necesidades de cada individuo, grupo y experiencia de los mismos, con un enfoque básico.

Para empezar a hacer una evaluación de riesgos, se requiere pensar en de los problemas con el fin de acercarse a un consenso general sobre la manera de proceder.

Charles Yoe et al. (2000) plantean los siguientes aspectos para realizar dicho enfoque:

1. Reconocer que la incertidumbre existe.
2. Identificar las principales fuentes de incertidumbre.
3. Reducir la incertidumbre siempre que sea posible.
4. Cuantificar la incertidumbre que no puede ser reducida.
5. No ignorar la incertidumbre significativa en la estimación de costos.

El primer paso es el más importante, no existe una evaluación de riesgos y análisis a menos que haya un reconocimiento de la incertidumbre en el trabajo que se realiza, esto es estar conscientes que las cosas pueden ir mal y de muchas formas. Ahora las probabilidades de cada uno de estos resultados, no son todos iguales y tampoco sus consecuencias. En este sentido se debe ser honesto acerca de las limitaciones de los datos y de los propios conocimientos, reconociendo la incertidumbre que existe representa el primer paso.

El segundo paso es estar consciente que no todas las incertidumbres son igualmente importantes, por lo que es importante indagar e investigar con rigor las principales fuentes de incertidumbre. En este sentido se debe tener cuidado, aunque la experiencia juega un papel importante, en crear una tendencia para dar mayor importancia a ciertos aspectos de acuerdo con un sentir, por ello se debe estar consciente de las limitaciones y estar abiertos a la posibilidad de que las incertidumbres importantes pueden surgir de zonas insospechadas.

Una vez que las principales fuentes de incertidumbre se han identificado el paso natural es intentar reducir dichas incertidumbres en la medida de las posibles. Para esto se puede recopilar datos adicionales, pues las incertidumbres significativas se deben reducir en lo posible, dentro de las limitaciones de recursos (tiempo, personal y experiencia).

Por último, una vez que han sido identificadas las incertidumbres significativas y estas no pueden reducirse; no se deben ignorar, se deben tener presentes y hacer uso de las herramientas que se tengan a la mano para evaluar el riesgo.

2.9. Aspectos Económicos y Financieros.

Con respecto al aspecto económico y financiero, cabe destacar lo siguiente: la evaluación económica se encarga de calcular los impactos de un proyectos desde el punto

de vista de la economía nacional, en tanto que la evaluación financiera lo hace desde el punto de vista de una entidad aislada.

En la evaluación económica, para la comparación de los flujos de dinero que se presentan en diferentes períodos se emplea la tasa de descuento social. Esta tasa es determinada por las autoridades de planificación a nivel nacional y es función de varios factores, entre los que destacan los siguientes: el costo del dinero; la relación entre la inversión, el consumo y el ahorro interno; los objetivos de redistribución del ingreso; las relaciones entre los diferentes sectores de la economía. Mientras que en el financiamiento, la tasa de descuento está determinada por el costo del dinero o las oportunidades alternas de inversión.

El período de análisis en la evaluación económica abarca la vida útil del proyecto, en tanto que en el financiamiento debe corresponder a un plazo fijado de manera -más o menos arbitraria- con límite inferior el período de recuperación de las inversiones y el del repago del financiamiento. Ahora bien, para evaluar económicamente de un proyecto, el origen preciso de los recursos monetarios es irrelevante, mientras que para el financiamiento es de importancia vital.

Para cada proyecto se debe definir qué parte de la inversión será financiada con recursos propios y cuál con recursos de terceros. Con ello es necesario identificar las condiciones que fijan los accionistas en cuanto a rendimiento y período de recuperación de la inversión, distinguir para cada préstamo específico sus condiciones (monto, tasa de interés, período de capitalización, período de gracia, plazo y método de amortización) y condiciones adicionales.

No se debe olvidar que para lograr un proyecto exitoso, se debe vigilar que las condiciones de los créditos sean adecuadas para el tipo del proyecto que se desea realizar.

Con relación a los Magnos Proyectos Hidroeléctricos en México, se tratan de proyectos de inversión, necesarios para otorgar el Servicio Público de Energía Eléctrica que requiere el país, lo cual es una actividad estratégica y prioritaria, contemplados dentro de una programación de expansión a costo mínimo.

Enfocándose a los casos de estudio del presente trabajo, los Proyectos Hidroeléctricos El Cajón y La Yesca, construidos por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Cada uno de estos Proyectos, en su momento, debió cumplir con los lineamientos vigentes y cumplir con los análisis de costo beneficio de los programas de inversión correspondiente a los proyectos de infraestructura económica del sector económico – electricidad. Para la aprobación de su construcción se debe cumplir con la normatividad que establece la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP) del Gobierno Federal, no se pretende exponer aquí una guía extensa de evaluación socioeconómica de proyectos de inversión, pero (sin llegar a mayor detalle) sí dejar claro que todo proyecto hidroeléctrico por su impacto social y económico en general debe generar más beneficios que costos, y contemplarse como una opción más viable que otros proyectos, esto es, cumplir con eficiencia. Para tomar la decisión para ejecutar un proyecto de construcción de esta magnitud, debe cumplir con criterios de evaluación

En los casos de los proyectos de inversión pública en México estos proyectos se establece una tasa de descuento del 12% (parámetro oficial de la Unidad de Inversiones de la SHCP).

Para efecto de su inclusión en el Presupuesto de Egresos de la Federación, tanto la central generadora y su red de transmisión asociada, se licitaron bajo el esquema de Obra Pública Financiada, conforme a la estructura del esquema OPF la CFE liquida el 100% del precio ofertado al término del periodo de construcción, para lo cual se consideran varios escenarios de financiamiento para el período posterior a la recepción de las obras y uno sólo para el de construcción.

En el esquema OPF, la empresa adjudicataria es la responsable del financiamiento para el periodo de construcción, mientras que CFE es la responsable de captar el financiamiento que permita pagar a dicha empresa el precio del contrato de obra pública financiada.

Las evaluaciones, tanto económica como la financiera, no se compara el proyecto individualmente con otros alternativos, sino que únicamente se verifica que los parámetros de evaluación sean atractivos y, en el caso de la evaluación financiera, que se cumpla con las restricciones impuestas a PIDIREGAS.

La evaluación financiera se realiza comparando el resultado neto de operación de la central, con los pagos financieros que deberá realizar CFE por: i) el repago (principal e intereses) del financiamiento de la central generadora, y ii) el repago (principal e intereses) del financiamiento para la red de transmisión asociada y sus indemnizaciones.

Asimismo, se calculan los parámetros de evaluación (TIR y B/C) tomando en cuenta, además del resultado neto de operación y los pagos financieros, la inversión presupuestaria para: en el caso de la central, los estudios, unidades de reasentamiento, supervisión e indemnización; en el caso de la red de transmisión, para la supervisión de la construcción.

Con relación a los aspectos financieros, un presupuesto puede ser afectado por las decisiones de la programación, lo cual puede afectar dramáticamente el flujo de caja y el valor presente. Los parámetros básicos a cuidar son la tasa de interés o bien la tasa de descuento, sin olvidar las Políticas de la Secretaria de Hacienda

El análisis de sensibilidad aplicado a la evaluación financiera, se dirigió en determinar el impacto que tienen los siguientes parámetros:

1. Incremento en las inversiones que permitan cumplir los lineamientos dictados por la Secretaria de Hacienda y crédito público, esto es, i) que la relación Beneficio/Costo (B/C) en la evaluación financiera sea mayor o igual a 1.0 y ii) que el resultado neto de operación sea mayor que los pagos financieros de las Obra Pública Financiada (OPF's) que incluye la Central Hidroeléctrica El Cajón y su Red de Transmisión – excepto tres años con déficit-.
2. Con relación a la Tasa Interna de Retorno (TIR)
3. A la duración en el periodo de ejecución del proyecto, para determinar –conforme a diferentes incrementos de duración-, el aumento en el precio del proyecto originado por la capitalización del costo financiero durante dichos periodos.

2.10. Aspectos diversos de la Administración de Proyectos

2.10.1. Paradigma del Desempeño

Un proyecto, por definición, tiene un punto inicio y otro de fin, determinado para cumplir los objetivos específicos, los cuales pueden ser amplios; sin embargo, se deben conocer tres criterios fundamentales:

1. El proyecto debe completarse en tiempo.
2. El proyecto debe llevarse a cabo un presupuesto.
3. El proyecto debe cumplir con requisitos mínimos de calidad

Los criterios anteriores pueden ser representados gráficamente por el bien conocido triangulo de proyecto, que representa estos tres aspectos fundamentales para un proyecto,

Figura 2.10.



Figura 2.10. Paradigma de Desempeño.

La prioridad de cada uno de estos criterios depende de la industria que se trata, así como del proyecto en sí de que se trate, pues existen proyectos donde la seguridad resulta primordial, como lo pueden ser los proyectos de ferrocarriles, la automotriz, dentro del paradigma de desempeño de los proyectos el aspecto costo en conjunto con el aspecto tiempo, regularmente resultan los de mayor prioridad en el ámbito de la gestión de un proyecto:

2.10.2. Estructura desglosada de trabajo (WBS –Work Breakdown Structure–).

Para la efectividad para la dirección en el desarrollo de un proyecto, es importante dividir el proyecto en partes identificables para definir los trabajos y con ello obtener un control que

mejore el rendimiento para lograr los objetivos previamente definidos del proyecto. Es esencial para cada parte identificable ser lo suficientemente definido para lograr que el trabajo sea medible, presupuestable, programable y administrado.

Para los fines expuestos en el párrafo anterior el concepto de Estructura desglosada de Trabajo, conocido como WBS por sus siglas en ingles, inició desde el trabajo desarrollado con la Evaluación de Programas y Técnica de Revisión, PERT por sus siglas en ingles, por la marina de los Estados Unidos en los años cincuentas en su programa de desarrollo de misiles Polaris.

El Project Management Instituto (PMI) en los años ochentas expandió y difundió esta técnica a proyectos no militares a traves de su Guía para la Dirección de Proyectos conocida como PMBOK (Project Management Body of Knowledge).

El WBS es la división jerárquica, orientada al producto entregable, del trabajo que sea ejecutado por el equipo del proyecto, para lograr los objetivos del proyecto y crear productos entregables requeridos **(PMBOK, PMI, 2004)**.

Su estructura debe mostrar una subdivisión del esfuerzo requerido para lograr un objetivo, empezando por el objetivo final y, sucesivamente, se subdivide en componentes manejables en términos de tamaño, duración y responsabilidad, que deben incluir las medidas necesarias para lograr el objetivo. La subdivisión del proyecto en porciones mas pequeñas y fáciles de manejar, donde cada nivel descendente representa una definición cada vez más detallada que deben ser capaces de programarse, supervisarse, controlarse y estimarse su costo.

Para la construcción de un WBS Weiss y Wysocki (1992) proponen las siguientes características (Phase Project Management, Weiss & Wysocki, 1992):

1. Su estado y su conclusión se midan con facilidad
2. Posee un evento inicial y uno final bien definido
3. Es familiar (puede haberse realizado antes) y el tiempo para concluirlo, así como sus costos, pueden estimarse fácilmente a partir de experiencias previas
4. Comprende asignaciones de trabajo que son administrables, medibles, integrables e independientes de otras actividades

5. Deberá constituir una corriente continua de trabajo de principio a fin

Finalmente la estructura de un WBS debe proporcionar un marco común para el desarrollo natural para la planificación general y el control de un proyecto, por ello esta estructura debe permitir sumar los costos de las tareas subordinadas de cada tarea formado por un conjunto relativamente estable de categorías, que finalmente deben reflejar las acciones planificadas y con ello determinar los niveles específicos.

2.10.3. Principio de Pareto

El Principio de Pareto, también conocido como la Regla 80-20, en honor al italiano Vilfredo Pareto (1848 – 1923), quien lo enunció por primera vez, basándose en el denominado conocimiento empírico. Aplicado al caso de Costos y Presupuestos indica que el 80% del monto total de un Presupuesto, se concentra aproximadamente solo en un 20% de los Insumos que componen dicho Presupuesto. Este principio puede resultar de gran utilidad para determinar aquellos aspectos de los costos que tienen mayor importancia en el presupuesto total de un proyecto, que aunque puede resultar obvio brinda una estructura para contemplar los insumos o grupos de precios que tienen mayor injerencia y por lo tanto lograr un énfasis en su planeación y control por su innegable impacto al proyecto.

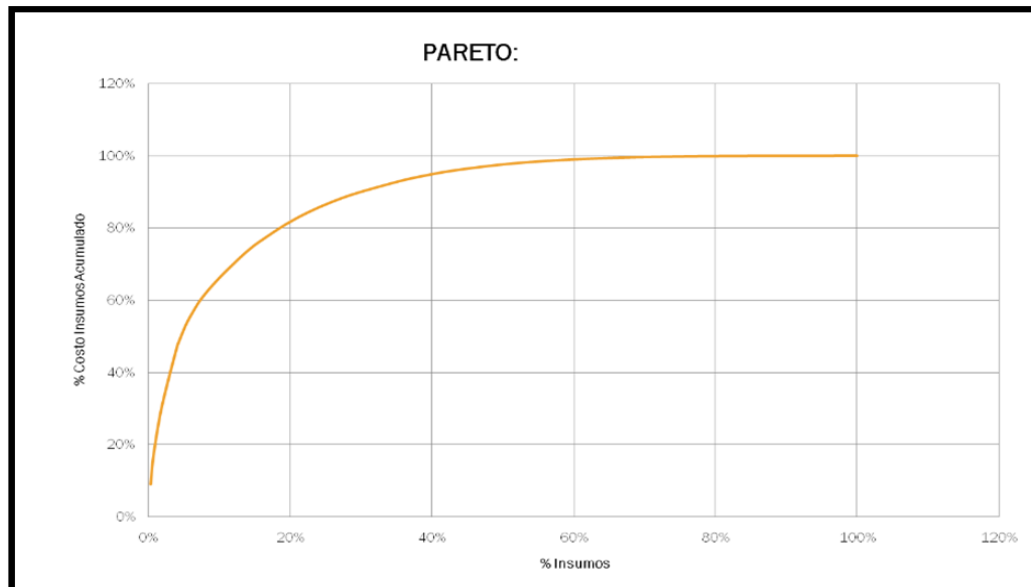


Figura 2.11. Principio de Pareto – Insumos versus Costos Acumulados.

2.10.4. Compensaciones (Trade-Offs)

Estas compensaciones pueden ser visualizadas como un cubo, en el cual cada uno de los ejes representa objetivos en particular: costo, tiempo y calidad.

Lidiar con estos tres aspectos; costo, tiempo y calidad, ya representa un reto: si se incluye el aspecto de riesgo en función de la calidad del proyecto, el desafío aumenta.

El aspecto de compensaciones tiene una gran importancia en la administración de proyectos, pues esta actividad debe enfocar su atención sobre las compensaciones que implica un proyecto (tiempo, costo, alcance) en función de distintos objetivos.

Si se desea éxito en la administración de los proyectos se necesita entender la dificultad que implican las compensaciones que se enfrentan en el mundo real. Por ello la importancia la relación del costo-tiempo en relación al análisis de las compensaciones, con el fin de completar en tiempo y forma los proyectos.

La experiencia dicta que en la realidad que sólo se puede lograr alcanzar uno de estos objetivos, dos a lo más, en la gran mayoría de los casos; siendo la calidad la menos visible y cuantificable, y cotidianamente el aspecto a sacrificar. Se reconoce que se incrementará la necesidad de la integración de estos tres aspectos y se visualiza el desarrollo en este sentido.

Un mejor entendimiento de las compensaciones retribuirá en mejores decisiones y en la mejora de la gestión de proyectos. Para alcanzar estos objetivos también se puede concebir la necesidad del uso de la tecnología para la aplicación de métodos.

El comportamiento de las compensaciones costo – tiempo, regularmente describe una curva, cóncava o convexa, aunque frecuentemente se presenta el caso de la curva convexa en las compensaciones **Figura 2.12.**

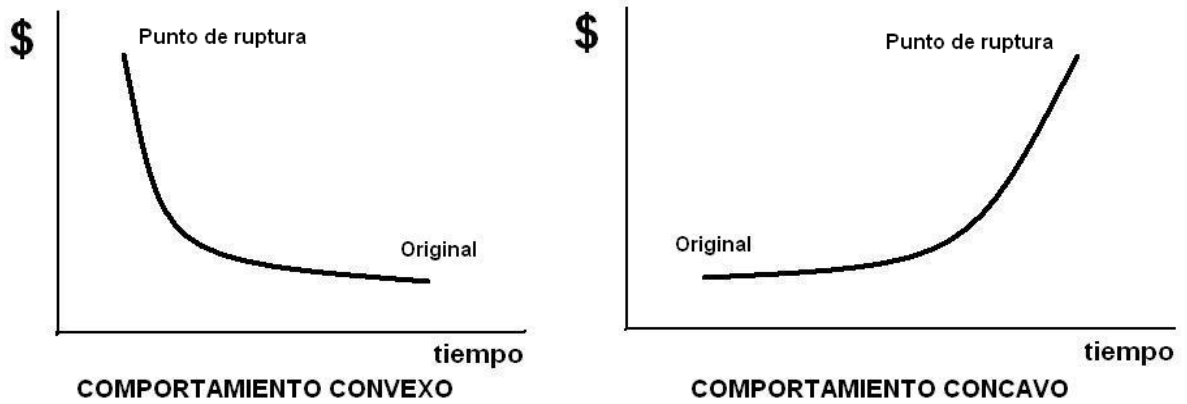


Figura 2.12. Graficas que describen el comportamiento de las Compensaciones costo – tiempo.

La representación lineal resulta una buena aproximación de las compensaciones costo – tiempo. Para fines didácticos se presenta sólo para comprensión de este aspecto, **Figura 2.13.**

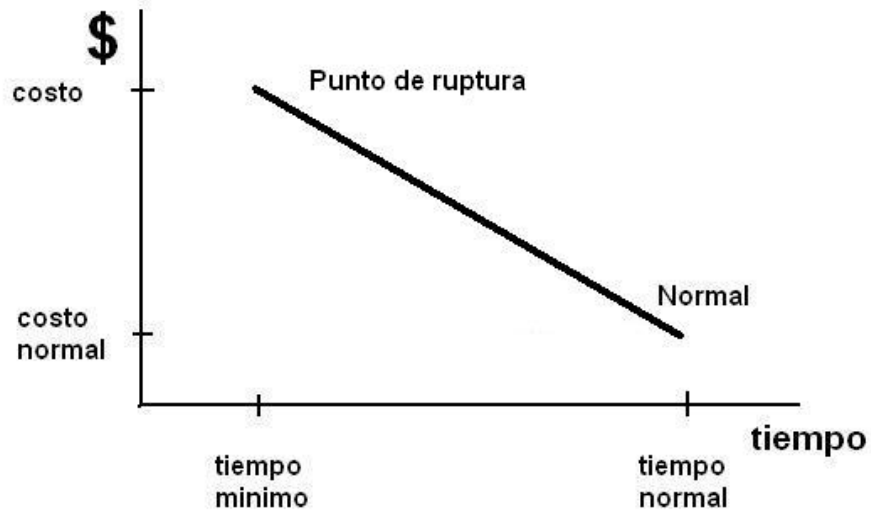


Figura 2.13. Modelo Lineal de las Compensaciones Costo – Tiempo.

Considerando las compensaciones entre los costos directos y otros costos del proyecto, se puede visualizar que al reducir la duración del proyecto con el objetivo de reducir los costos generales y/o indirectos del proyecto. Este concepto se representa en la **Figura 2.14**, donde se ve el costo total del proyecto en la programación.

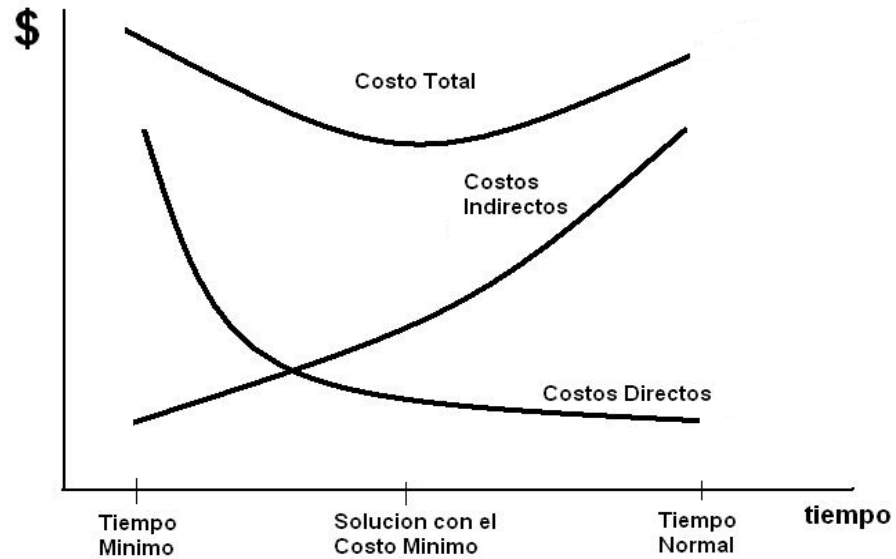


Figura 2.14. Costo mínimo por compensaciones de los costos directos e indirectos.

CAPITULO 3. PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS MAGNOS

CAPITULO 3. PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS MAGNOS.

3.1. Potencial Hidroeléctrico.

En este capítulo se presenta un panorama del potencial hidroeléctrico en México y su relación con la capacidad de generación de energía del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), lo anterior concierne a la diversidad de fuentes de generación de electricidad.

Se comienza presentando la disponibilidad del recurso hídrico en nuestro país, lo cual está íntimamente ligado al desarrollo hidroeléctrico en México, los datos son los siguientes (Marengo, 2008):

- El escurrimiento medio anual total del país es de 410,000 Mm³.
- El almacenamiento y regulación es del orden de 150,000 Mm³.
- Para generación de energía eléctrica se aprovechan 100,000 Mm³



Figura 3.1. Volumen Medio Anual de Aguas Nacionales (Marengo, 2008).

El grupo de centrales hidroeléctricas que cuentan con capacidad de regulación representa un **79.8%** del total en operación y que está integrado por las once grandes Hidroeléctricas del país:

“Angostura” “Chicoasen” (Manuel Moreno Torres), “Malpaso” y “Peñitas” (Angel Albino Corso) en el río Grijalva; el “Caracol” (Carlos Ramírez Ulloa), “Infiernillo” y la “Villita” (José María Morelos) en el río Balsas; “Temascal” en la confluencia de los ríos Tonto y Santo Domingo; “El Cajón” (Leonardo Rodríguez Alcaine) y “Aguamilpa” (Solidaridad) en el río Santiago, y “Zimapan” (Fernando Hiriart Balderrama) en el río Moctezuma.



Figura 3.2. Principales Presas en México.

Ahora bien, la infraestructura para generar la energía eléctrica en México está compuesta básicamente de centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctrica, eoloeléctricas y una nucleoeeléctrica. De acuerdo a datos del **POISE 2010-**

2024, al año 2008 está infraestructura está compuesta por **178** centrales generadores, con una capacidad instalada de 51'105 mega watts (MW) de los cuales 11'343 (MW) corresponden a 79 centrales hidroeléctricas que representan el 22.2%. **Figura 3.3.**

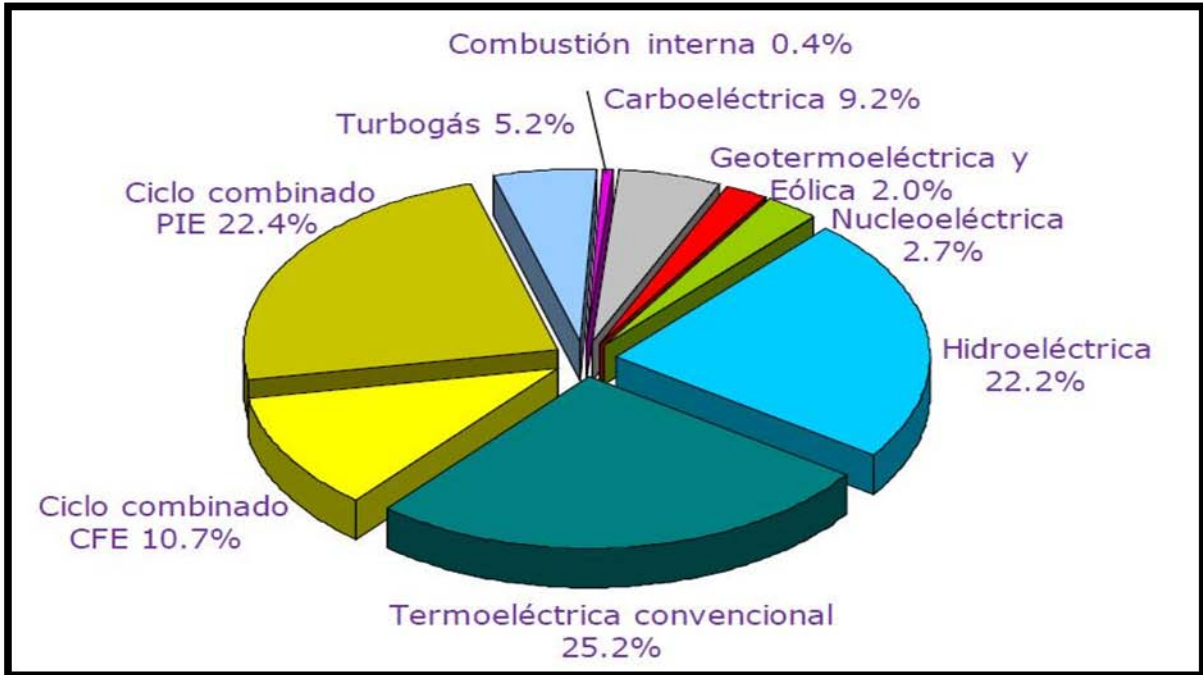


Figura 3.3. Capacidad efectiva al 31 de diciembre del 2008 (Fuente: POISE 2010-2024).

En México el Organismo Público descentralizado encargado de generar, transmitir, distribuir y comercializar la energía eléctrica es la Comisión Federal de Electricidad, este organismo también está encargado de la planeación del sistema eléctrico nacional, dicha función la plasma en su Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico, mejor conocido por sus siglas: POISE.

En dicho documento se plantea la evolución del mercado eléctrico, así como la expansión de la capacidad de generación y transmisión para satisfacer la demanda con un horizonte de planeación de quince años. Entre los propósitos del presente trabajo no se persigue entrar en mayor detalle sobre los procesos y metodologías utilizadas en el POISE para determinar el futuro consumo y la demanda máxima de electricidad a nivel, regional y sectorial, para determinar los requerimientos futuros de capacidad del Sistema Eléctrico Nacional; sin embargo, se presentan datos, figuras y tablas con información que pretende

sensibilizar y dar un panorama del lugar que ocupan las hidroeléctricas en la generación de electricidad y, con ello, del desarrollo del país.

En la actualidad, en México existe un conjunto de magnos proyectos concebidos (desde los que se encuentran en su etapa de planeación hasta los actualmente en construcción) para satisfacer la demanda de energía eléctrica que requiere el país, diversificando las fuentes de generación. Por el tema en boga del cambio climático se ha promovido la generación por medio de fuentes renovables, eligiendo entre sus opciones aquéllas que optimicen la relación beneficio - costo para la economía nacional; para ello se ha determinado conforme a los diferentes niveles establecidos en el Proceso de Planeación, el Potencial Hidroeléctrico Nacional siguiente **Tabla 3.1**:

NIVEL	Número de Proyectos	Potencia Instalada (MW)	Generación media anual (GW/h)
Identificación	320	21,257	63,796
Gran Visión	120	7,884	22,047
Prefactibilidad	28	3,387	9,048
Factibilidad	35	6,953	17,280
Diseño	1	900	1,372
Construcción	1	750	1,210
Total	505	42,132	114,754

Tabla 3.1. Potencial Hidroeléctrico Nacional.

La hidroelectricidad en México ocupa un lugar preponderante, pues con base el recurso hídrico actual aprovechado para la generación de electricidad se plantean los escenarios de operación de los años inmediatos. En la **Figura 3.4** se presenta los la cantidad de energía hidroeléctrica producida recientemente en los años 2007 y 2008 que redunda en una aportación de alrededor del 16%.

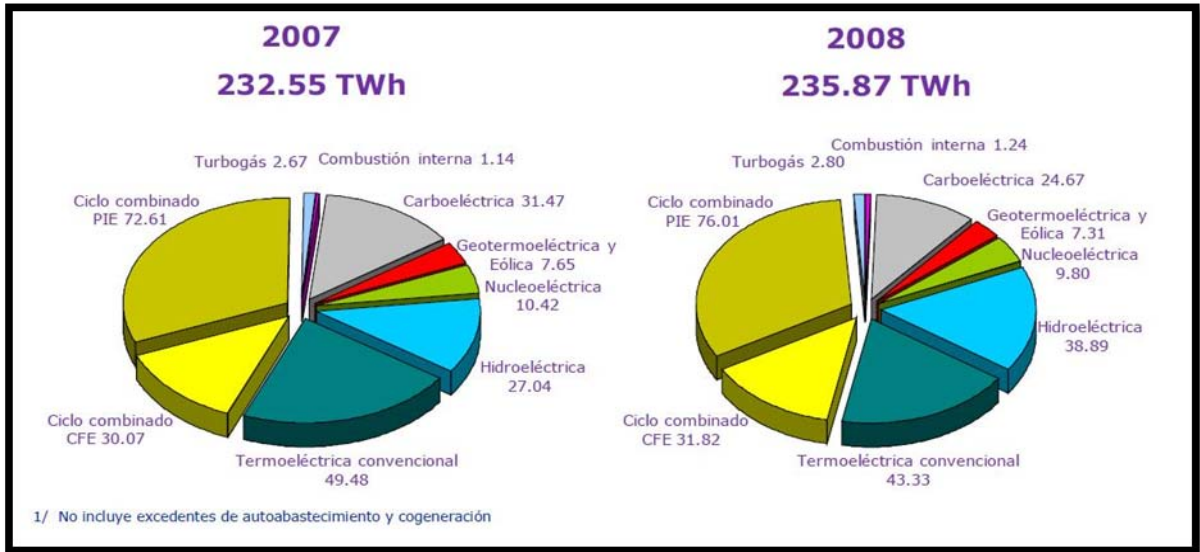


Figura 3.4. Energía producida en el 2007 y 2008 –servicio público- (Fuente: POISE 2010-2024).

3.2. Complejos Hidroeléctricos en México.

Para reflejar la importancia de los magnos proyectos hidroeléctricos concebidos y construidos en México, la Presa Chicoasen con una cortina de enrocamiento con núcleo de arcilla de 262 metros de altura está entre las más altas en el mundo, en el mismo sistema hidroeléctrico Grijalva la presa Angostura permite almacenamientos interanuales de su agua almacenada, lo anterior significa que el agua almacenada en una época de lluvias se puede regular y aprovechar para la generación de energía eléctrica en años posteriores, en el río Santiago la cortina de la Presa Aguamilpa de 187 metros de altura representó por alrededor de una década la cortina de enrocamiento con cara de concreto más alta del mundo y represento un marco de referencia para el desarrollo y construcción de cortinas de este tipo alrededor del mundo.

Recientemente, en marzo del 2007, entró en funcionamiento sobre el mismo río Santiago la Hidroeléctrica El Cajón, con una cortina de enrocamiento con cara de concreto con un metro más de altura, esto es: 189 metros. Actualmente se encuentra en construcción el proyecto hidroeléctrico La Yesca, aguas arriba de El Cajón, con una cortina también de enrocamiento y cara de concreto que alcanzara los 208.50 metros de altura y será la segunda más alta en su tipo en el mundo, sólo debajo de la cortina de la presa Shuibuya en China.

En octubre del año 2009 Comisión Internacional de Grandes Presas ICOLD por sus siglas en inglés (International Commission of Large Dams) en el Primer Simposio Internacional de Presas de Concreto, las presas El Cajón y Chicoasen fueron reconocidas por su diseño, supervisión y construcción, entre las 5 mejores del mundo cada una en su tipo.

En la cuenca del río Grijalva se localiza al mayor desarrollo hidroeléctrico del país, con 4,800 MW de potencia instalada. Está integrado por las centrales Angostura (Belisario Domínguez), Chicoasen (Manuel Moreno Torre), Malpaso y Peñitas (Ángel Albino Corzo). Representa el 42.3% de la capacidad hidroeléctrica total en operación a diciembre de 2008.



Figura 3.5. Vista aérea del Sistema Hidroeléctrico del Río Grijalva.

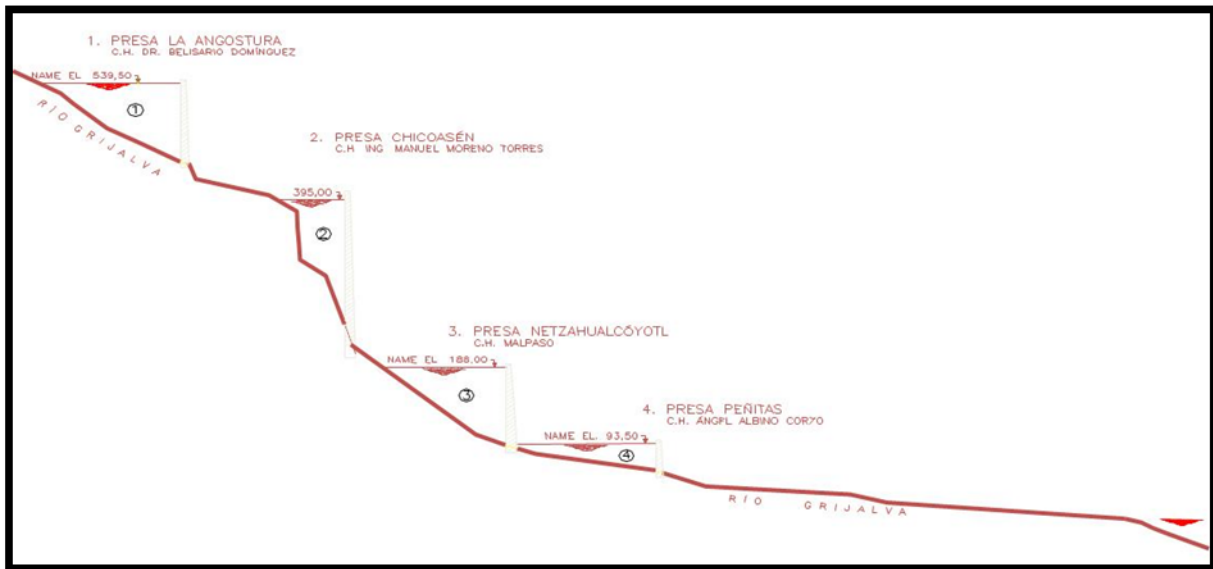


Figura 3.6. Perfil del Sistema Hidroeléctrico del Río Grijalva.

Al occidente del país en la cuenca del río Balsas se encuentra otro desarrollo. Está constituido por las hidroeléctricas El Caracol (Carlos Ramirez Ulloa), Infiernillo y la Villita (José María Morelos) con un total de 1900 MW de potencia instalada, que corresponden al 16.7% de la capacidad hidroeléctrica total del país.

En el 2007 entró en operación la central El Cajón, con 750 MW, que junto con la presa de Aguamilpa, también en el Estado de Nayarit, ambas en la cuenca del río Santiago; participan con 1710 MW, lo que equivale a 15.1% de la instalación con esta tecnología.

Huites (Luis Donald Colosio) en el noroeste, con dos unidades de 211 MW cada una; Zimapán (Fernando Hiriart Balderrama) en la zona centro del país, también con dos unidades de 149 MW cada una. En total representan un 6.3% de la capacidad hidroeléctrica total. El 19.6% restante se encuentra distribuido principalmente en las cuencas de los ríos Papaloapan, Santiago, Pánuco, Yaqui, El Fuerte, Culiacán y Sinaloa.

Como ya se mencionó, apenas en marzo del año 2007 se inició formalmente la operación y generación de la Central Hidroeléctrica el Cajón ubicada en el Estado de Nayarit y que pertenece al Sistema en Cascada del río Santiago, la cual ha sido la culminación de la última magna obra en lo que a Proyectos Hidroeléctricos se refiere.

Como ya se pudo observar en la **Figura 3.4.**, la energía producida total para el Servicio Público en el año 2008 ascendió a 235.87 TWh al año de los cuales 38.89 corresponden a la Generación Hidroeléctrica, lo cual representa un 16.49%, Fuente POISE 2010-2024.

3.3. Visión a Futuro

Para determinar el plan de expansión del sistema de generación eléctrica el POISE, conforme a las estimaciones futuras de consumo y la demanda máxima nacional, regional y sectorial, en correspondencia con las proyecciones macroeconómicas y de precios de los combustibles establecidos por la Secretaria de Energía del Gobierno Federal, se plantean como insumos importantes a considerar los siguientes:

- Tiempos de maduración de los proyectos.
- Escenarios de precios de combustibles.
- Costos de inversión para las tecnologías.
- Disposiciones para generar energía limpia en zonas críticas.

Considerando todos los puntos anteriores, pero centrándose en la generación de energía limpia, en México la generación con plantas hidroeléctricas representa muy probablemente la mejor opción para la generación de energía.

En la **Figura 3.7** se presentan un mapa de la República Mexicana con la ubicación de las principales Centrales Generadoras en 2008 para el servicio público.



Figura 3.7. Principales Centrales Generadoras en 2008, servicio público. Fuente: POISE 2010 – 2014.

En el POISE versión 2010-2024, se plantean los requerimientos de capacidad instalada para el país, por tipo de tecnología, conforme a los escenarios de planeación, en la **Figura 3.8** se observan tales requerimientos que en lo relativo a plantas hidroeléctricas asciende a alrededor de 2252 MW de potencia a instalar en los próximos años.

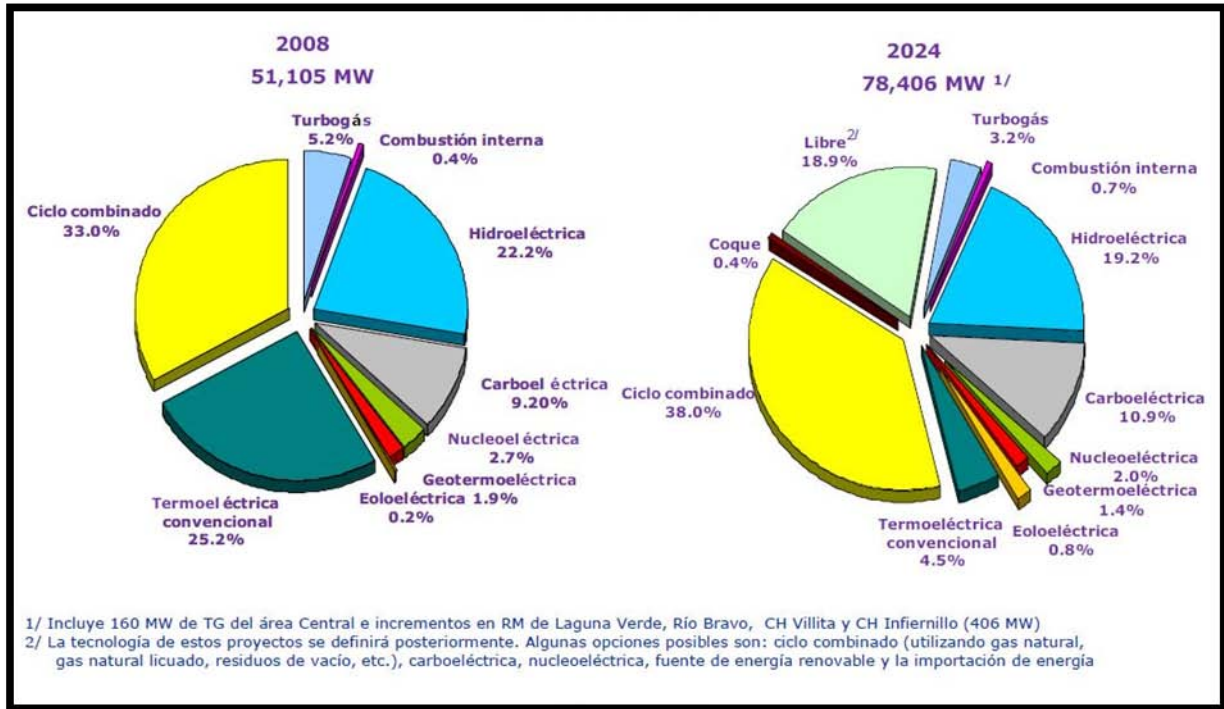


Figura 3.8. Participación de tecnologías en la capacidad de generación –servicio público-.
Fuente: POISE 2010 – 2014.

Cabe mencionar que los proyectos hidroeléctricos se incluyen a la cartera de tecnologías candidatas para incorporarse en el sistema eléctrico una vez que alcanzan el nivel de Proyectos con estudios avanzados, esto es, cuando cuentan con la definición de un conjunto de datos hidroenergéticos –capacidad, gasto de diseño y eficiencia global-; los parámetros del vaso como lo son NAMINO, NAMO, Volúmenes útil, etc.; estadísticas de escurrimientos de la cuenca, así como la estimación de los requerimientos de inversión para la obra civil y del equipo electromecánico.

En la **Figura 3.9** se presenta la ubicación de los proyectos para cubrir los requerimientos de capacidad para los próximos años, en lo que a hidroeléctricas se refiere se plantean 5 proyectos para instalar 2252 MW.

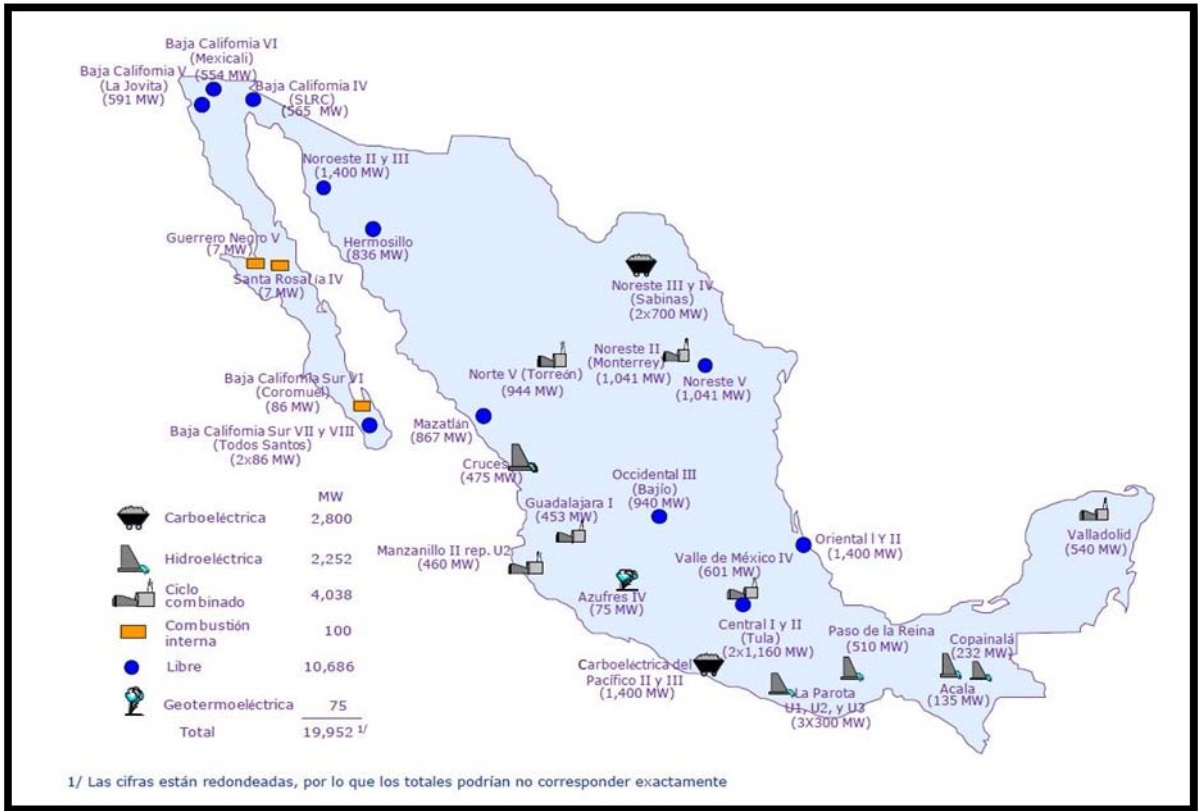


Figura 3.9. Requerimientos de capacidad adicional 2019-2024 –servicio público-, 19’952 MW. Fuente POISE 2010-2024.

A nivel mundial se presentan problema para el abasto de los recursos energéticos primarios a base de combustibles fósiles, la volatilidad de los precios de los combustibles y la incertidumbre en la evolución y costos de las tecnologías para generación de electricidad, así como los impactos derivados del cambio climático observados en años recientes; la diversificación adquiere una importancia relevante para reducir riesgos. Por lo que un plan de expansión con mayor grado de diversificación permite una reducción a la exposición al riesgo, aún con un mayor costo.

Las importantes ventajas de una estrategia de diversificación son: mayor protección contra la volatilidad de los precios de los energéticos primarios, menor dependencia de un proveedor único de combustibles prioritarios y reducción de la contaminación atmosférica en caso de uso de fuentes de energía renovable.

Los costos de inversión de las Centrales Hidroeléctricas son mayores a los de tecnologías a base de combustibles fósiles y derivados de su construcción se requiere inundar grandes extensiones de tierra: en algunos casos existen problemas sociales derivados de ello. También, en la mayoría de los casos, los factores de planta son bajos e involucran una alta incertidumbre en la disponibilidad de recurso hidrológico.

Las Centrales Hidroeléctricas podrían operar competitivamente, ya sea en las horas de demanda máxima o con producción continua. Los beneficios que ofrecen son los siguientes: I) utilizan energía renovable, II) no contaminan el ambiente, III) su construcción tiene el mayor componente de integración nacional, y IV) las obras civiles y las presas generalmente pueden destinarse entre otros usos al riego, control de avenidas en ríos, agua potable, turismo y navegación.

Cabe destacar que una característica de las Centrales Hidroeléctricas es que estas plantas no permiten una estandarización, debido a que en cada lugar se diferencian las condiciones topográficas y geológicas. La diversidad de los proyectos da lugar a la existencia de una gran variedad de diseños, métodos constructivos y tamaños. Como consecuencia de lo anterior, la determinación de un costo unitario de referencia para centrales hidroeléctricas es inoperante, por lo cual sólo se pueden determinar costos de proyectos específicos.

Debido a que cada proyecto tiene características propias, no es posible establecer un costo único para aplicarlo indiscriminadamente a cada tecnología, más tratándose de los Proyectos Hidroeléctricos donde las características topográficas, geológicas, hidrológicas son variables que determinan proyectos únicos.

La Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos es el Área encargada de la Comisión Federal de Electricidad de la planeación, diseño, construcción y puesta en operación para la expansión del sistema hidroeléctrico nacional. Sin entrar en una polémica sobre los medios de generación con energía renovables y proyectos sustentables, definitivamente en México la generación con Hidroelectricidad está entre las más rentables y con mayor potencia, aunado a lo anterior, si se considera la diversificación de las fuentes de energía para el desarrollo del país, se visualiza claramente la justificación para la construcción de estas

plantas, siempre que cumplan con los índices de rentabilidad, impacto ambiental y ser socialmente deseables.

3.4. Complejo Hidroeléctrico del Río Santiago.

Entre 1989 y 1993 se realizó el ambicioso proyecto, previsto desde hace mucho, en la cuenca del río Santiago, en los municipios de el Nayar y de Tepic, La Hidroeléctrica Aguamilpa – Solidaridad. Esa obra hidroeléctrica se encuentra aguas abajo de la confluencia de los ríos Santiago y Huaynamota. Genera energía eléctrica, regular las aguas de un río y alimentar el riego de una fértil región. Por su magnitud, el proyecto necesitó muchos esfuerzos y hasta recursos adicionales del Banco Mundial. Fue necesario cavar túneles para desviar el cauce del río en tanto se construía la cortina de contención.

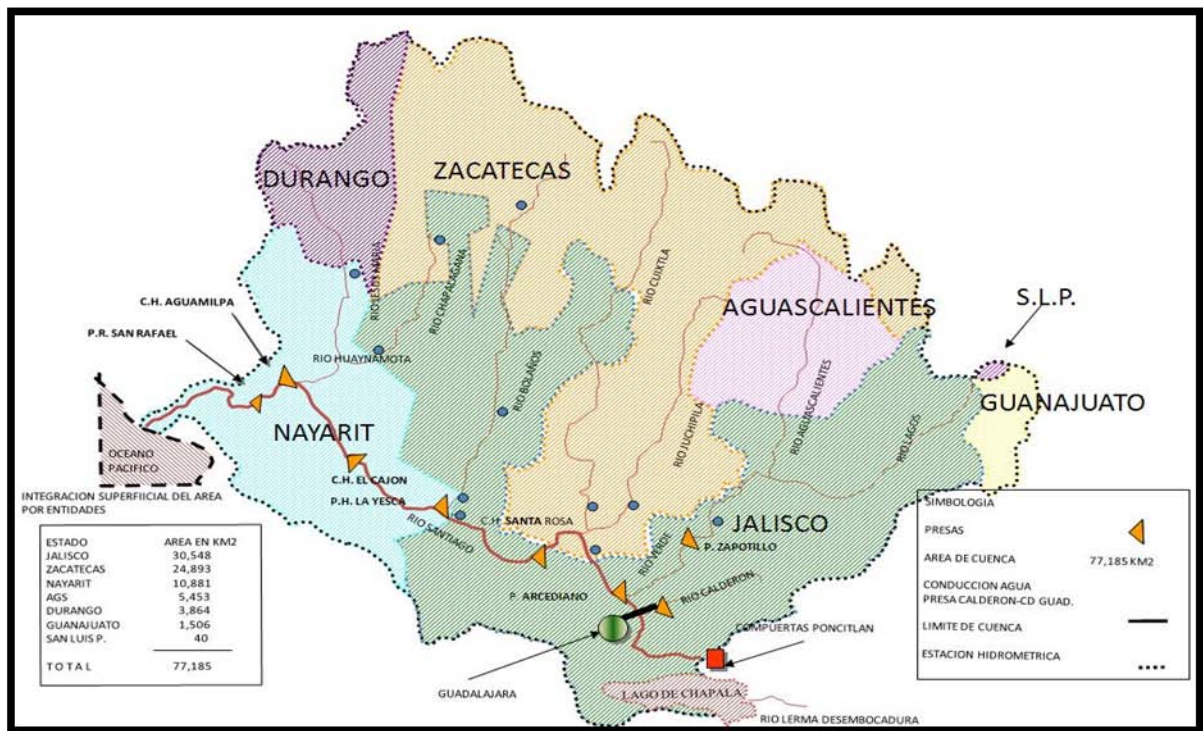


Figura 3.10. Cuenca del Río Santiago.

Aguamilpa, aporte de importancia en cuanto a generación de energía eléctrica, también ha servido de forma valiosa para regular las avenidas y evitar así la inundación de los pueblos ubicados río abajo de la presa.

En relación con otras hidroeléctricas del Sistema Eléctrico Nacional, Aguamilpa ocupa el cuarto lugar después de Chicoasén, Malpaso y el Infiernillo, con altos índices de eficiencia y rentabilidad, imprescindibles que contribuyan ampliamente al desarrollo y progreso del país.

Aguamilpa consta de tres unidades de 320 megawatts (MW), que fueron puestas en servicio en agosto de 1994. Esta obra tiene como funciones específicas cubrir la creciente demanda máxima de energía y potencia en las áreas de generación occidental y noroeste, así como en reducir las inundaciones e incrementar la superficie bajo riego en la planicie costera del estado de Nayarit.

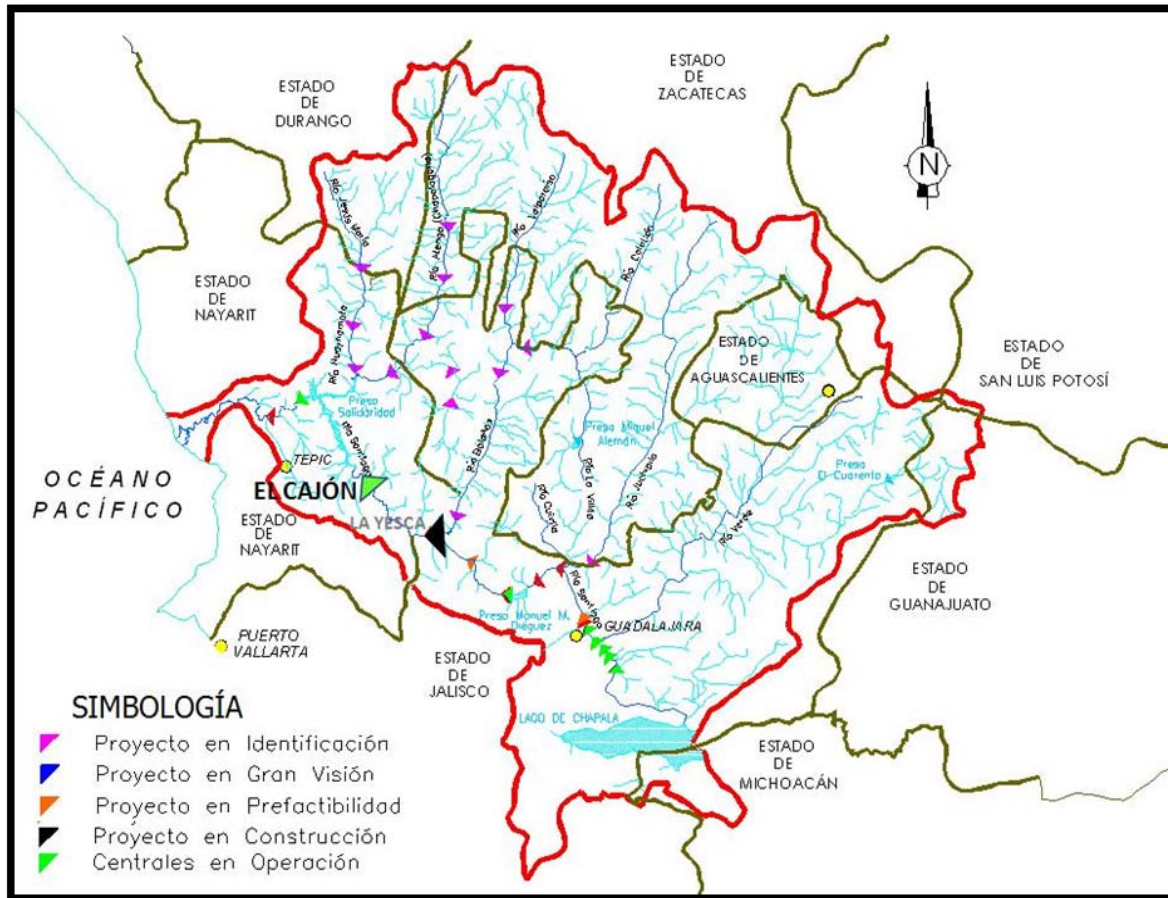


Figura 3.11. Proyectos del Sistema Hidroeléctrico Santiago.

Este sistema contempla los ríos Santiago, Huayanamota, Bolaños, Juchilpa, Verde y el Lago de Chapala y comprende a 28 proyectos con un potencial hidroenergético de 4391 MW, del cual se ha desarrollado el 47% mediante la construcción de siete Centrales. El

Cajón ocupa el segundo lugar en potencia y generación dentro del sistema, después de la Central de Aguamilpa y actualmente se encuentra en construcción el Proyecto de La Yesca.

Para consolidar y ampliar notablemente la participación dentro del contexto general de los principales aprovechamientos en operación se han propuesto y construido otros proyectos similares como El Cajón y La Yesca, que permitirán integrar y aprovechar óptimamente el potencial hidroenergético de la cuenca de los ríos Santiago.

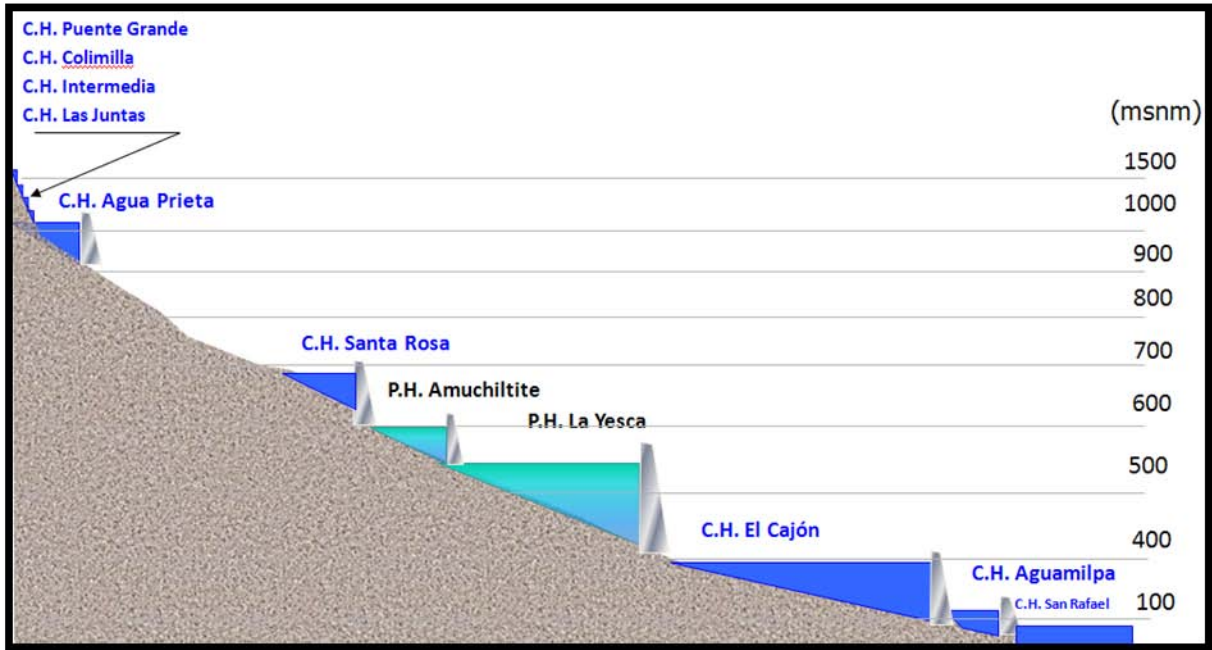


Figura 3.12. Perfil del Sistema Hidroeléctrico del Río Santiago.

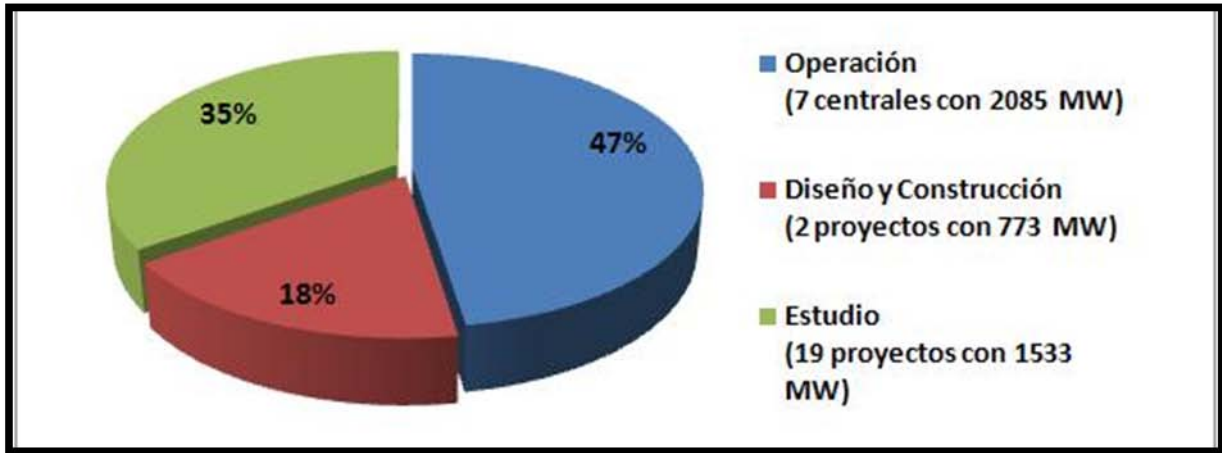


Figura 3.13. Potencia Total Instalable en el Sistema Hidroeléctrico Santiago.

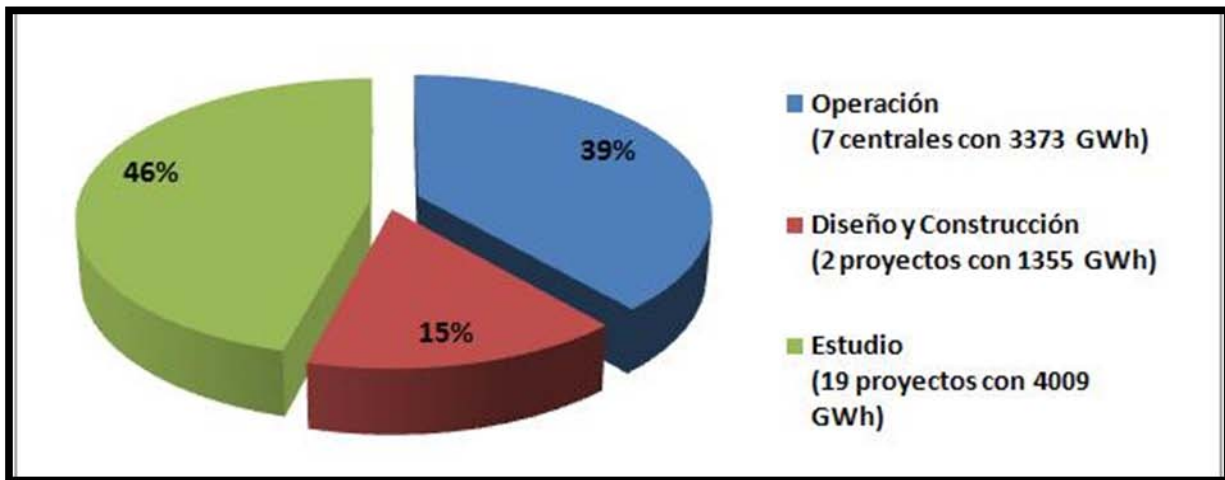


Figura 3.14. Generación media anual total en el Sistema Hidroeléctrico Santiago.

3.5. Proyecto Hidroeléctrico El Cajón.

3.5.1. Información General.

Este proyecto se construyó en el Estado de Nayarit al oriente de la Ciudad de Tepic en los municipios de La Yesca y Santa María del Oro, en terrenos comunales del poblado cantiles, sobre el río Santiago a 60 Km. Aguas arriba de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa; sus coordenadas geográficas son 21°25'41" de altitud norte y a 104°27'14" de longitud oeste,

Figura 3.15..



Figura 3.15. Localización del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón.

El proyecto hidroeléctrico El Cajón forma parte del Sistema Hidrológico Santiago, que como ya se comentó comprende a 28 proyectos con un potencial hidroenergético de 4391 MW y fue concebido como una planta para suministrar energía pico con una potencia total instalada de 750 MW y una producción media anual de 1'227 GWh

Entre los principales beneficios del Proyecto está la Diversificación de las Fuentes primarias de energía al Sistema Eléctrico Nacional con la Generación Media anual de 1'228 GWh/año, lo cual representa el ahorro de 2 millones de barriles de combustóleo al año, el aumento en la generación firme de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa y la mejora de vías terrestres. También, en su momento, creó alrededor de 10'000 empleos directos e indirectos y una importante derrama económica en la región,

En la **Figura 3.16** se presenta el esquema general de obra del proyecto, el cual está constituido por cinco frentes principales:

- Obras de Desvío;
- Obras de Contención;
- Obras de Generación;
- Obras de Excedencias;
- Obras Asociadas.

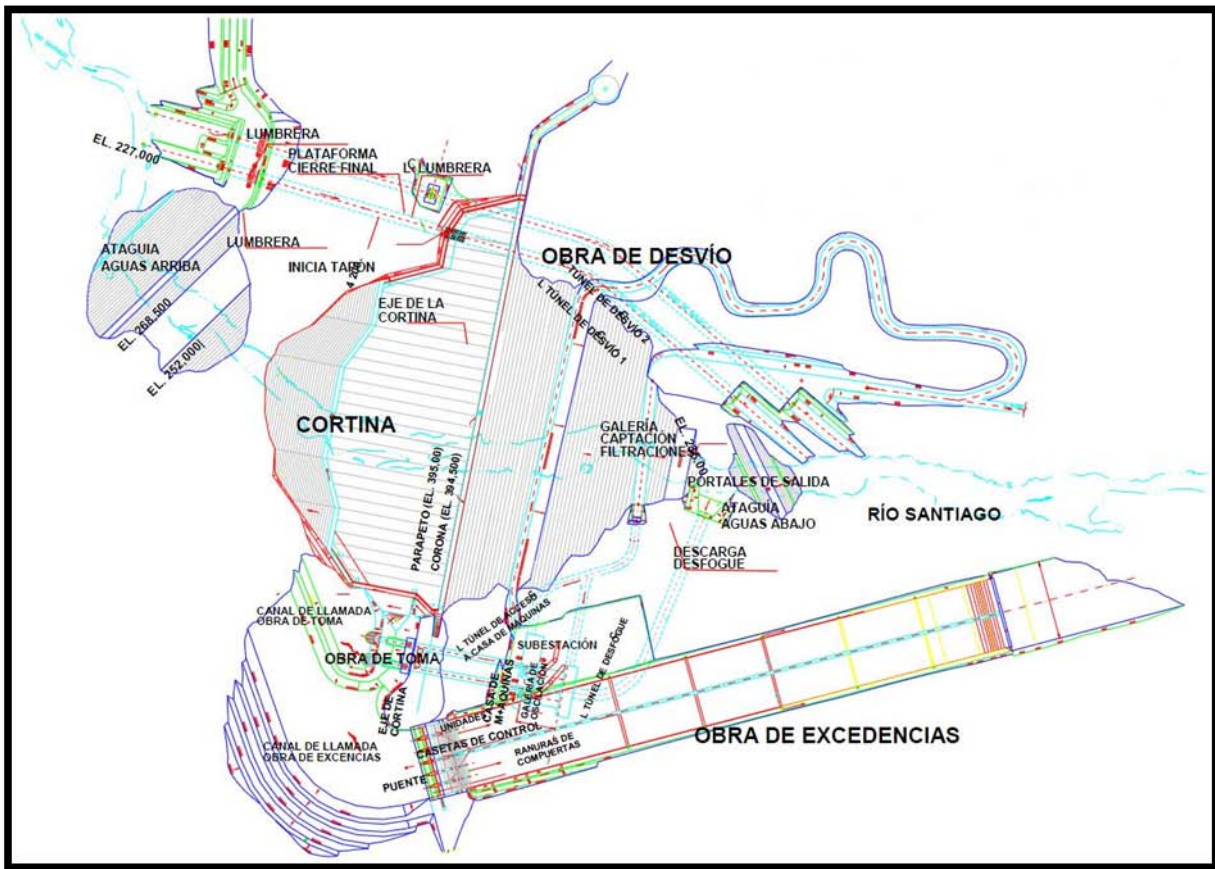


Figura 3.16. Arreglo del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit.

3.5.2. Obras de Desvío.

La obra de desvío consiste de dos túneles, una preatagüía, dos atagüías, un bordo y lumbreras de cierre provisional y una lumbrera de cierre final.

Los dos túneles son de sección portal de 14x14 metros, localizados en la margen izquierda del río, escavados en roca, revestidos de concreto hidráulico en la plantilla y con concreto lanzado tanto en muros como en bóveda; diseñados para transitar una avenida de diseño con un gasto máximo de $6'481 \text{ m}^3/\text{s}$. Los portales de entrada y salida serán escavados en roca; los túneles deberán contar con una estructura de concreto en lumbrera para alojar y operar los obturadores de cierre provisional, los obturadores serán accionados por mecanismos de izaje que permitan controlar el flujo de agua. Para el cierre definitivo de los túneles se colocaron tapones de concreto al interior de cada uno de los túneles.

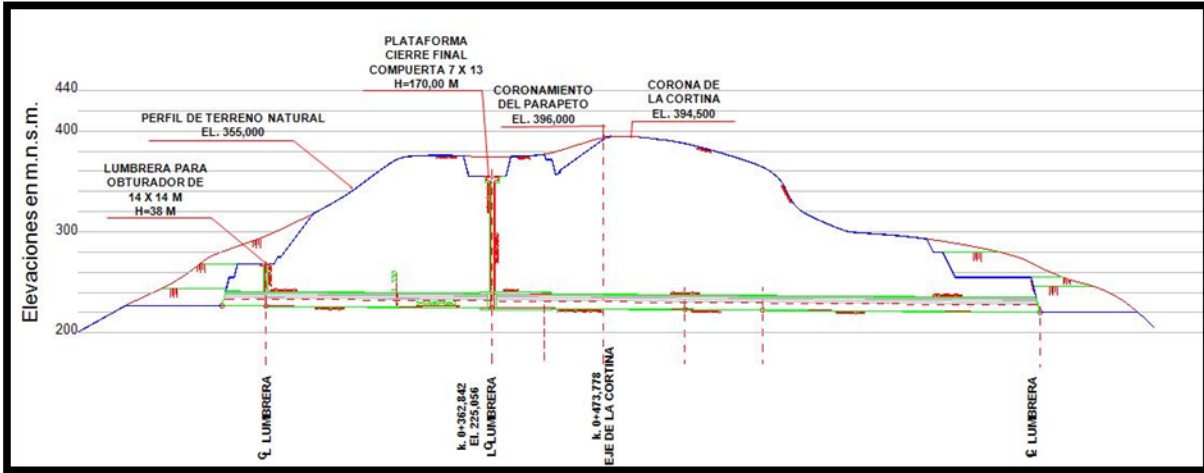
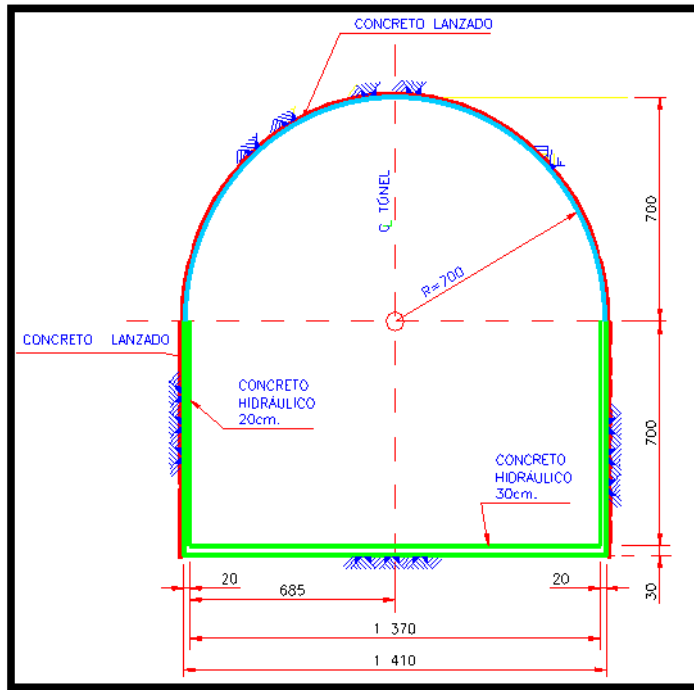


Figura 3.17. Perfil longitudinal del túnel de desvío No.2 –lumbrera de cierre final-.



Obra de desvío	
Tipo	Túnel (sección portal)
Número de túneles	2
Sección portal	14x14 m
Longitud túnel 1	734.09 m
Longitud túnel 2	811.02 m
Gasto máximo de la avenida	6481.00 m ³ / s
Gasto máximo de diseño	5248.79 m ³ / s
Velocidad máxima de descarga	14.96 m/s
Volumen de la avenida	1930.39 hm ³
Elevación de entrada t1	223.00 m
Elevación de salida t1	220.50 m
Elevación de entrada t2	227.00 m
Elevación de salida t2	220.50 m
Elevación máxima de descarga (río)	233.39 m
Obturadores 2 para t1 (ancho x alto)	6X14 m
Obturadores t2 (ancho x alto)	14X14 m
Carga hidráulica máxima (t1 / t2)	27 / 38 m
Masa estimada de cada elemento	86 / 220 t
Periodo de retorno (Tr)	50 años
Ataquéa aguas arriba	
Elevación de la corona	268.50 m
Ancho de la corona	8.00 m
Longitud de la corona	248.00 m
Altura (desplante El. 220.00)	48.50 m
Volumen	708 532 m ³
Ataquéa aguas abajo	
Elevación de la corona	235.00 m
Ancho de la corona	8.00 m
Longitud de la corona	128.50 m
Altura (desplante El. 220.00)	15.00 m
Volumen	60 444 m ³

Figura 3.18. Sección transversal túnel de desvío No.2.



Figura 3.19. Portal de entrada del Túnel No.1, marzo del 2004.



Figura 3.20. Desvío del río Santiago por los Túnel No.1, marzo del 2004.

El nivel del piso del túnel 1 se diseñó en su momento para que en su momento fuera inferior al del túnel 2. Este último contó con una lumbrera vertical de concreto con una plataforma para la instalación de los mecanismos para la compuerta del cierre final de la presa con la cual se inicio el llenado del embalse.

Cabe mencionar que, en su momento, la compuerta de cierre final habilitada para el cierre final del río e inicio del llenado fue la misma que se ha utilizado con el mismo fin en los proyectos de Aguamilpa.

El complemento de la obra de desvío fueron dos ataguías construidas con materiales graduados. El núcleo impermeable de ambas ataguías se ligó a una pantalla impermeable construída a través del aluvión hasta la roca sana del fondo del cauce del río con el propósito de evitar filtraciones en la zona de construcción de la cortina.

También se realizaron trabajos de estabilización de las excavaciones, al realizar tratamientos del macizo rocoso que consistieron de concreto lanzado y anclaje. Igualmente se utilizaron ademes metálicos en los portales de entrada y salida de los túneles.

3.5.3. Obras de Contención

El proyecto se distingue por ser uno de los tres más altos en el mundo en su tipo, cortina de enrocamiento con cara de concreto.

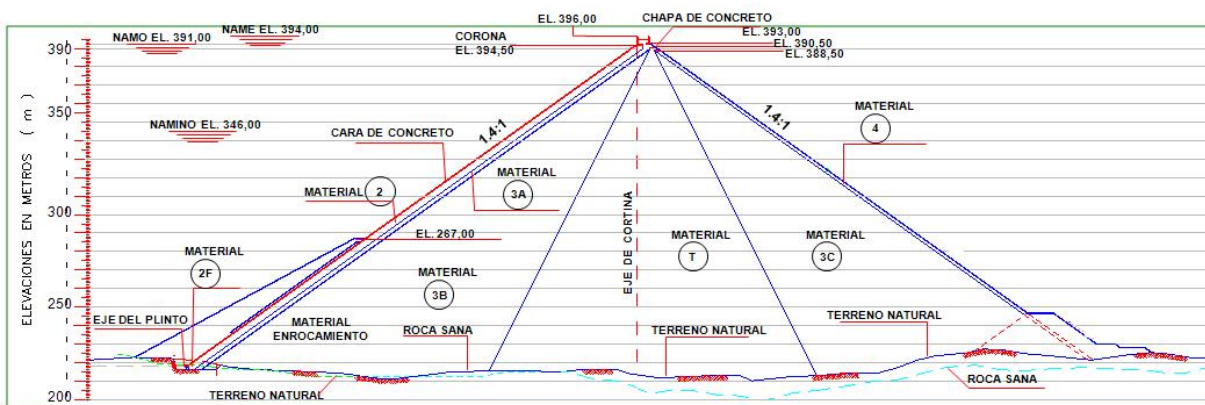


Figura 3.21. Sección transversal de la Cortina del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit.



Figura 3.22. Cortina del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit.



Figura 3.23. Cortina del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nayarit.

Las obras de contención las constituyen la cortina de enrocamiento con cara de concreto y un sistema de galerías excavadas en ambas laderas adyacentes al empotramiento de la cortina, todas estas estructuras tienen como fin el formar el plano de estanquedad.

La parte principal la constituye una cortina de enrocamiento con cara de concreto, cuyo cuerpo se compone de materiales graduados que dan apoyo a la cara de concreto de espesor variable. La cara de concreto se apoya en el plinto que además sirve como plataforma para realizar las inyecciones de consolidación y la pantalla impermeable.

La cara de concreto formada por tableros de 15 metros de ancho y espesor variable y que remata en la parte superior con el parapeto, cuenta con un sistema de sellos de cobre colocados en todas las juntas de la cara y en la junta perimetral con el plinto, con el fin de abatir al mínimo las filtraciones.

Para medir las filtraciones se construyó una galería filtrante que se ubica en el pie de la cortina en la zona aguas abajo, así mismo en el talud de aguas abajo se ubican las casetas de instrumentación y caminos de acceso.

<i>Cortina</i>		
Tipo	Enrocamiento con cara de concreto (CFRD)	
Elevación de la corona	394.5	m
Elevación máxima del parapeto	396.0	m
Elevación máxima de terracerías (aguas arriba)	392.0	m
Elevación máxima de terracerías (aguas abajo)	393.0	m
Longitud de la corona	550.0	m
Altura total al desplante	186.0	m
Elevación de desplante	210.0	m
Altura bordo libre	2.0	m
Talud aguas arriba	1.4 :1	
Talud aguas abajo	1.4 :1	

Tabla 3.2. Datos de las Elevaciones de la Cortina de del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, Nayarit.

3.5.4. Obras de Generación

La Central Hidroeléctrica El Cajón, en la actualidad ya en operación, contiene las turbinas más grandes instaladas en México, tipo Francis cada una con una capacidad de 375 MW.

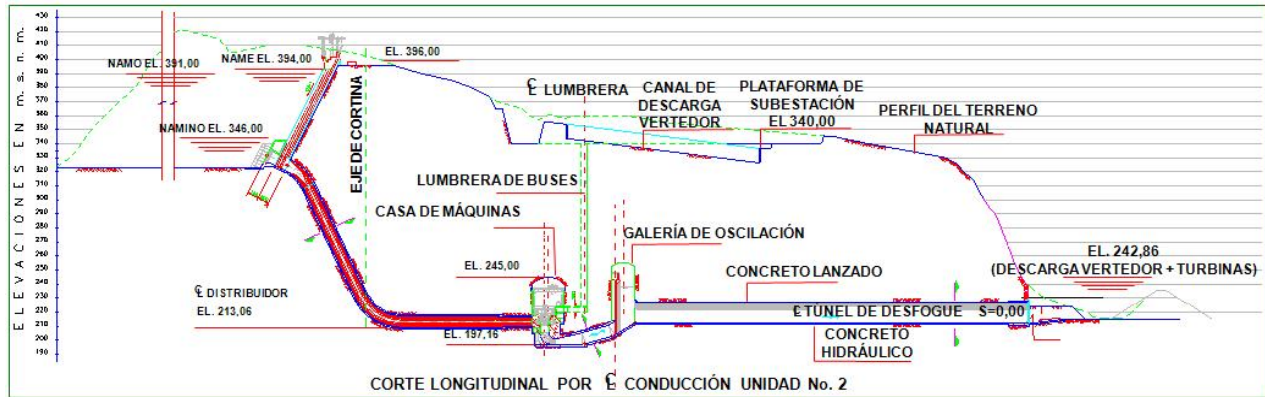


Figura 3.24. Corte longitudinal de la Unidad No.2.

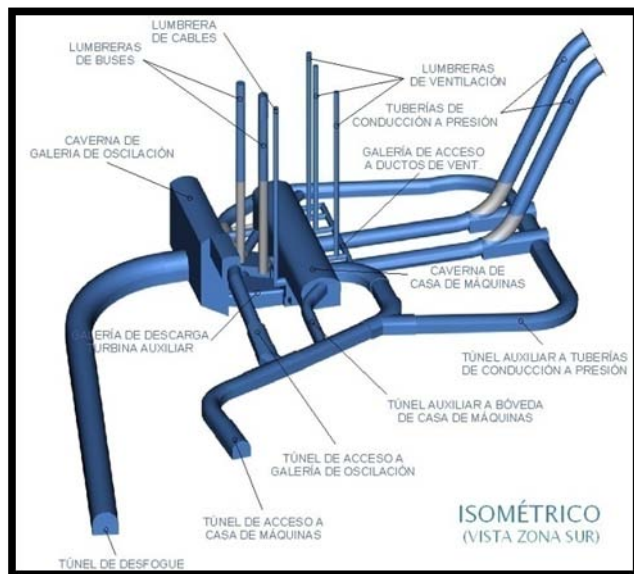


Figura 3.25. Isométrico de las obras subterráneas de generación y vista de las carcassas de casa de maquinas.

Estas obras se localizan en la margen derecha del río, inician con un canal de llamada a cielo abierto donde se aloja la obra de toma de concreto y reforzado que cuenta con rejillas finas metalizas para impedir el paso de cuerpo extraños que puedan dañar las turbinas, la estructura de toma aloja en dos guías, las dos compuertas rodantes de servicio son cuales

son accionadas con servomotores y una compuerta de servicio que rueda por las guías auxiliares

La obra de control de la obra de toma, da paso a los dos conductos de control, uno para cada unidad, en túneles excavados en roca de sección circular, revestidos con concreto reforzado inicialmente y posteriormente con camisa metálica empacada con concreto y tratada mediante inyecciones de consolidación y de contacto concreto – roca y concreto placa.

La tubería a presión emboca en la casa de maquinas donde se instalaron dos turbinas tipo Francis de eje vertical y una auxiliar para servicios propios de la planta, también de tipo Francis, pero en este caso de eje horizontal; esta casa de maquinas es del tipo caverna, la cual fue excavada en roca. Para instalar el equipamiento electromecánico se construyo como obra civil al interior de la caverna un conjunto de losas y muros de concreto reforzado y a la bóveda se trato con concreto lanzado. Sin dejar de mencionar los concretos masivos realizados para confinar las carcasas de las turbinas.

Se construyeron una serie de estructuras metálicas para soportar las trabes carril para soportar las grúas viajeras; durante el inicio de la construcción se contó con una grúa que auxilió en los trabajos de construcción y montaje, posteriormente se ubicaron las grúas definitivas necesarias para colocar el equipo de mayor peso.

Otras estructuras que componen este conjunto son las tres lumbreras verticales de ventilación cuyo objetivo es remover el calor y el aire, así como extraer los gases de la casa de maquinas y de los fosos de las turbinas.

A la casa de maquinas se ingresa por medio de un túnel de acceso vehicular, cuyo dimensionamiento se diseñó para poder ingresar las mayores partes de los equipos instalados.

Aguas abajo de la casa de maquinas, se ubica la galería de oscilación también excavada en roca y revestida de concreto reforzado y concreto lanzado en la bóveda,

La subestación se ubica en la margen derecha en una plataforma exterior con cunetas, trincheras para calves y buses, zona de transformadores, cimentaciones para equipos

mayores y menores, el edificio tipo y será blindada tipo SF₆ es blindado, el edificio de control, tanque separador aceite-agua, casetas de ventilación y la protección de seguridad física

3.5.5. Obras de Excedencias

La obra de excedencias se localizan en la margen derecha del río, esta obra se concibió como un vertedor controlado, que sirve para extraer en forma controlada las aguas remanentes del embalse.

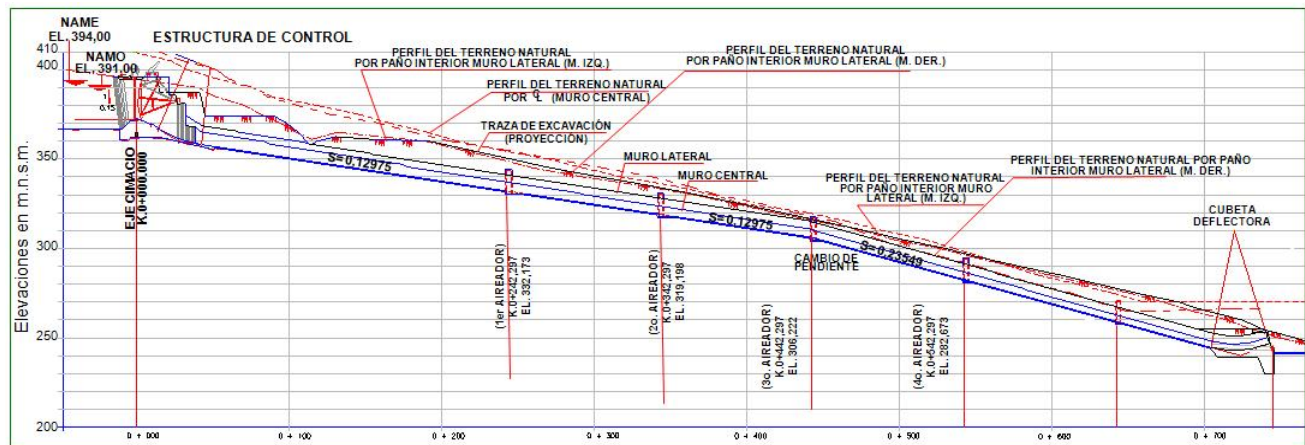


Figura 3.26. Corte Longitudinal de la Obra de Excedencias.

Esta obra se diseñó para verter un gasto máximo de 14 864 m³/s, correspondiente a una avenida con un periodo de retorno de 10'000 años y un gasto máximo de la avenida de diseño de 15915 m³/s.

Las obras inician con un canal de llamada de 400 metros de longitud excavado a cielo abierto que conduce el agua a la zona de control del vertedor, el cual está formado por un cimacio y pilas de concreto reforzado para formar 6 vanos de 12 metros de ancho equipados con compuertas radicales, accionadas con servomotores oledinámicos; igualmente se han proveído una compuerta plana auxiliar conformada con agujas que se alojan en ranuras.

Dadas las características de operación del vertedor, para casos de emergencia, en la zona de control se ha incluido una planta generadora de combustión interna en una caseta.

A continuación, de la zona de control se ubican los dos canales de descarga: tres vanos por cada canal. Estos canales tienen 43.6 metros de ancho cada uno, revestidos de concreto reforzado, el revestimiento del canal de descarga se debe a la velocidad del agua y la longitud del canal. Estos canales cuentan también con aireadores en el piso que son y divididos por un muro separador también de concreto reforzado, que también sirve como captación de todas las filtraciones que recibe la red de drenaje. Los canales de descarga terminan en una estructura deflectora para reducir el efecto de la caída del chorro de agua.



Figura 3.27. Vista desde aguas arriba de la construcción de la zona de control de la obra de excedencias.

Figura 3.28. Vertedor en operación de la Central Hidroeléctrica El Cajón.



Figura 3.29. Vista del canal de descarga de la obra de excedencias.

3.5.6. Obras Asociadas

Es la infraestructura de apoyo necesaria durante la construcción y operación de la Central, vialidades internas, los edificios e instalaciones que se requieren para la operación y vigilancia de la Central.

Esta infraestructura la comprenden, camino de acceso, puente sobre el río Santiago – para dar acceso a la margen izquierda-, Taller mecánico y eléctrico, Comedor, Almacenes, Edificio de seguridad física, Instalaciones de seguridad física e industrial, Protección Periférica, Subestación, Edificios auxiliares, Portones de acceso a las Galerías de la Cortina, Instalaciones de entrada al túnel de casa de maquinas, torres de vigilancia, embarcadero, Clínica IMSS, plataformas.

3.5.7. Programa de Construcción.

De conformidad con las bases de licitación y con la oferta, el proyecto se planteó para una duración de cuatro años cuatro meses, que como ya se comentó anteriormente, fueron obtenidos y financiados por el consorcio al que se le asignó la ejecución del contrato.

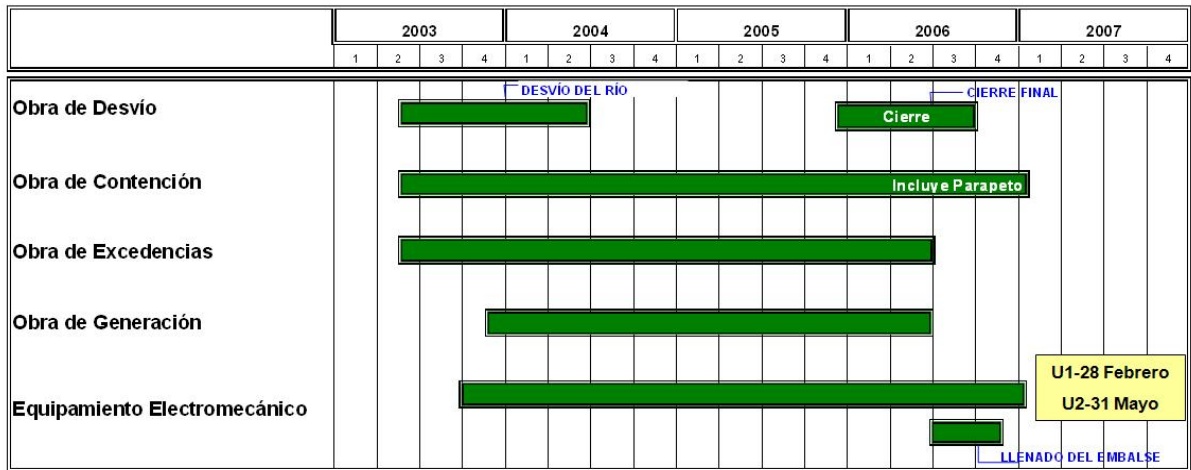


Figura 3.30. Programa general de Construcción del P.H. El Cajón.

3.5.8. Presupuesto.

En su momento, el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón se trató de la primera obra del tipo “Ingeniería, Procura y Construcción”, el cual consiste de un contrato mixto de obra pública financiada para la construcción de las obras civiles de enrocamiento con cara de concreto, obras electromecánicas y obras asociadas, procura, montaje, ingeniería, transporte, pruebas y puesta en servicio de dos unidades turbogeneradoras equipadas con valores garantizados

de potencia a diferentes caídas hidráulicas, las cuales en condiciones de diseño y en su conjunto no tendrán una potencia menor de 750 MW.

La inversión total original se contempló en poco más de 723.2 millones de dólares, de los cuales 681.9 millones (77.9%) correspondieron a la oferta a precio alzado y los restantes 41.3 millones correspondieron a la parte a precios unitarios, cabe destacar que en esta oferta original la obra civil representó cerca del 78% del monto total.

Cabe resaltar que uno de los principales objetivos que persigue la modalidad OPF es con la parte correspondiente al precio alzado es fijar el monto total de la obra. La característica es que el precio alzado no tiene variación ni en tiempo ni en costo.

CONCEPTOS	COSTOS EN USD		
	PRECIO ALZADO	PRECIO UNITARIO	TOTAL
I. Y II. CONCEPTOS MECÁNICOS Y ELECTRICOS	159,303,893.94		159,303,893.94
III.1 OBRA DE DESVIO	44,255,629.31	24,988,514.62	69,244,143.93
III.2 OBRA DE CONTENCIÓN	184,414,909.76	22,605,357.76	207,020,267.53
III.3 PLANTA HIDROELÉCTRICA	92,607,435.12	15,906,922.18	108,514,357.29
III.4 OBRAS DE EXCEDENCIAS	106,058,690.78	2,272,278.03	108,330,968.82
III.5 SUBESTACIÓN ELEVADORA	5,350,395.66		5,350,395.66
IV. OBRAS ASOCIADAS	91,785,460.76		91,785,460.76
Total general	683,776,415.34	65,773,072.59	749,549,487.93

Tabla 3.3. Presupuesto Original de Construcción del P.H. El Cajón, Proyecto de Inversión Financiada (PIF-005/2003).

3.5.9. Evaluación Económica y Análisis de Sensibilidad.

Conforme a lo establecido por La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la ejecución del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón pertenece a un área de actividad de carácter estratégico (Artículo 28, párrafo cuarto) la cual está a cargo, de manera exclusiva, del sector público (Artículos 25 y 26, párrafos cuarto y séptimo respectivamente).

La Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos de la CFE en junio de 2002 presentó el presupuesto, al final de varias revisiones de aspectos hidrológicos, de costos y procesos de construcción; con un costo instantáneo de inversión a financiar de 6,042 millones de pesos de 2002, una capacidad de 750 MW y un plazo constructivo de 52 meses. Con una reducción al plazo de construcción, la fecha de entrada en operación comercial se considero a mayo de 2007. En estas condiciones, la inversión total, incluyendo intereses durante la

construcción, ascendió a 812.15 millones de dólares, menor en ese momento al techo autorizado originalmente de 1053 millones de dólares. También se requería una inversión presupuestaria de 981.21 millones de pesos que, en su momento incluyó la primera parte del camino de acceso, la supervisión e indemnizaciones.

En general la red consiste de líneas de 400 kV, 18 km de estas líneas en doble circuito y 203 km en líneas de un circuito. Incluyendo, 10 alimentadores de 400 kV y 166.7 MVAR de compensación reactiva inductiva en paralelo.

La central se licitó con un monto de inversión, incluyendo intereses durante la construcción con un total 748.3 millones de dólares como resultado de todas la revisiones y adecuaciones. Este proyecto fue financiado bajo un esquema de Obra Pública Financiada (OPF), en la que la responsabilidad del financiamiento durante la construcción corrió por parte del licitante ganador.

De acuerdo a lo determinado por los estudios de crecimiento de la demanda en los que se basa el POISE, el proyecto hidroeléctrico El Cajón tiene por objeto contribuir a la satisfacción de la demanda de energía eléctrica esperada en el Área Occidental en las horas de máxima demanda, permitiendo disminuir el costo de producción de energía en las horas punta en el sistema eléctrico de esta Área, satisfaciendo con ello la demanda de energía al menor costo de largo plazo a nivel nacional; reducir la esperanza de energía no suministrada a consumidores debido a fallas en el sistema y en conjunto con su Red de Transmisión Asociada, se concibió para mantener la oferta de energía eléctrica requerida por el Sistema Eléctrico Nacional, apoyando en su momento al año crítico 2007, cuando fallas imprevistas en el sistema hubieran ocasionado cortes de suministro.

Sin entrar en mayores detalles se presenta un esbozo de los análisis de la oferta y la demanda, cuyos datos son necesarios para dar justificación al proyecto, tanto en su evaluación económica como financiera.

Sin embargo, cabe aclarar que tanto en la evaluación económica como en la financiera, no se compara el proyecto individualmente con otros proyectos alternativos, sino que únicamente se verifica que los parámetros de evaluación sean atractivos y, en el caso de la evaluación financiera, se cumpla con las restricciones impuestas a los Proyectos de

Inversión Diferida en el Registro del Gasto (PIDIREGAS), que se tratan de proyectos de inversión productiva a largo plazo, la Secretaria de Hacienda y Crédito Público rige los presupuestos en su Manual de Normas Presupuestarias para la Administración Pública Federal.

Análisis de la demanda. En 1999 en México la venta total de energía ascendió a 145.1 TWh, que fue consumida por 22.9 millones de usuarios en los sectores industrial, comercial, servicios, residencial y agrícola.

Estas ventas implicaron un consumo per cápita de 1,493 kWh por usuario por año, según datos disponibles para 1999. Este consumo implicó una proyección de crecimiento de la demanda eléctrica en el país relativamente alta, conforme México logre mayores niveles de desarrollo económico.

A continuación se presentan los datos determinantes de la demanda, **Figura 3.31.**

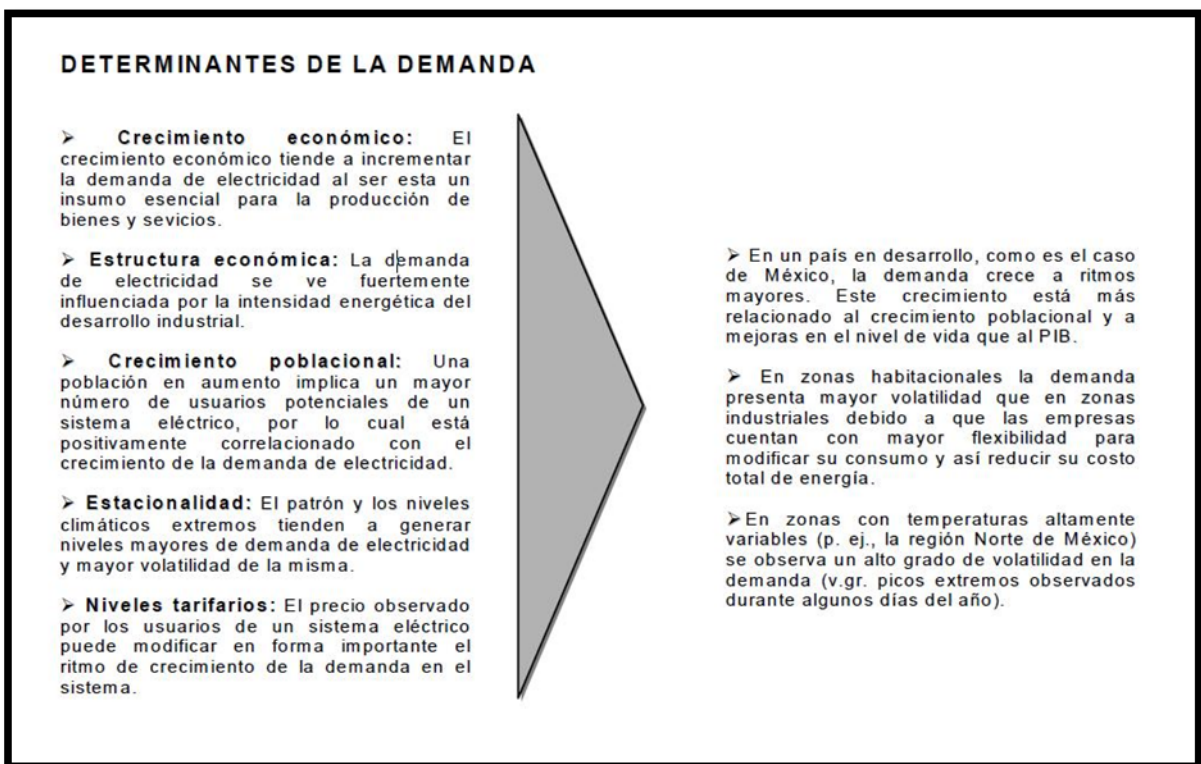


Figura 3.31. Determinantes de la Demanda.

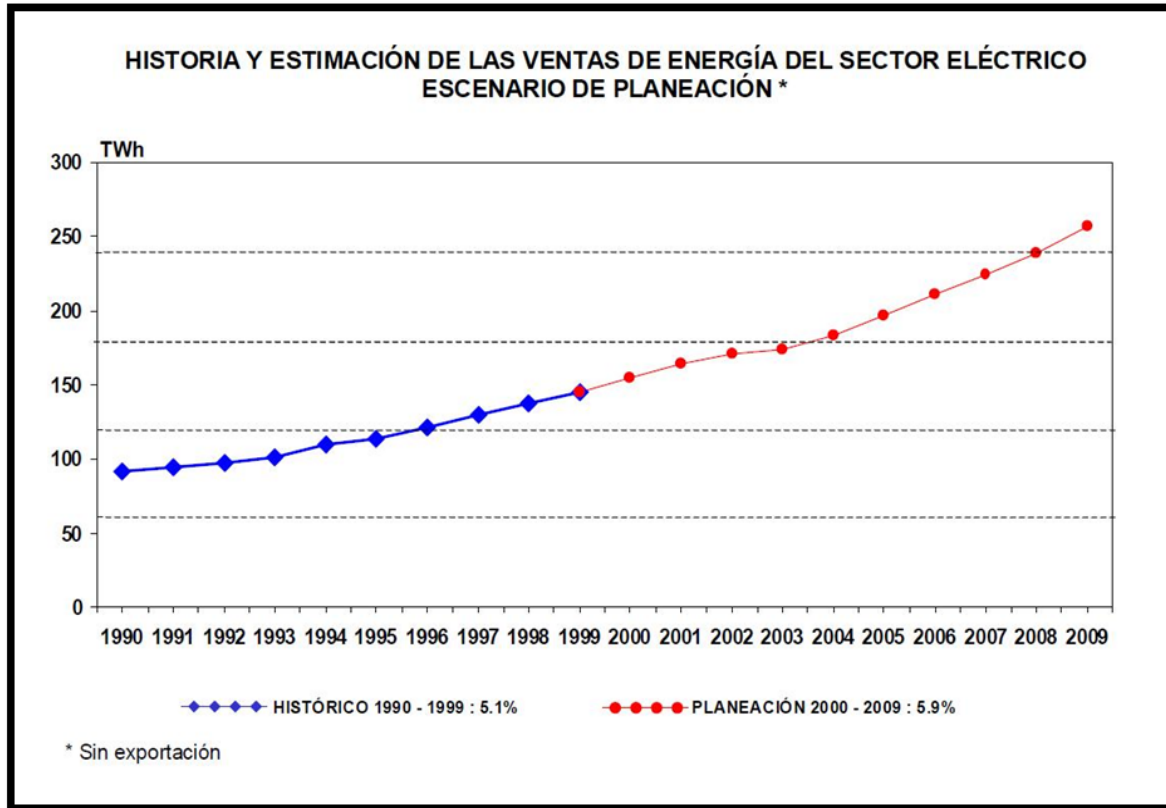


Figura 3.32. Historial y Estimación de la Ventas de Energía del Sector Eléctrico, Escenario de Planeación, año 1999.

Análisis de la oferta. El programa de inversiones establecido en el POISE se basa en la política sectorial para inversiones que establece la Secretaría de Energía, en la política de uso de combustibles y en las proyecciones de costos de operación y mantenimiento de obras de generación y transmisión (COPAR).

Para minimizar el costo de suministro de energía en México, la información del POISE y el COPAR se incorpora a modelos de simulación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), lo cual permite, en función de diferentes opciones y puntos de operación cuantificar la evolución de la red de transmisión con sus inversiones.

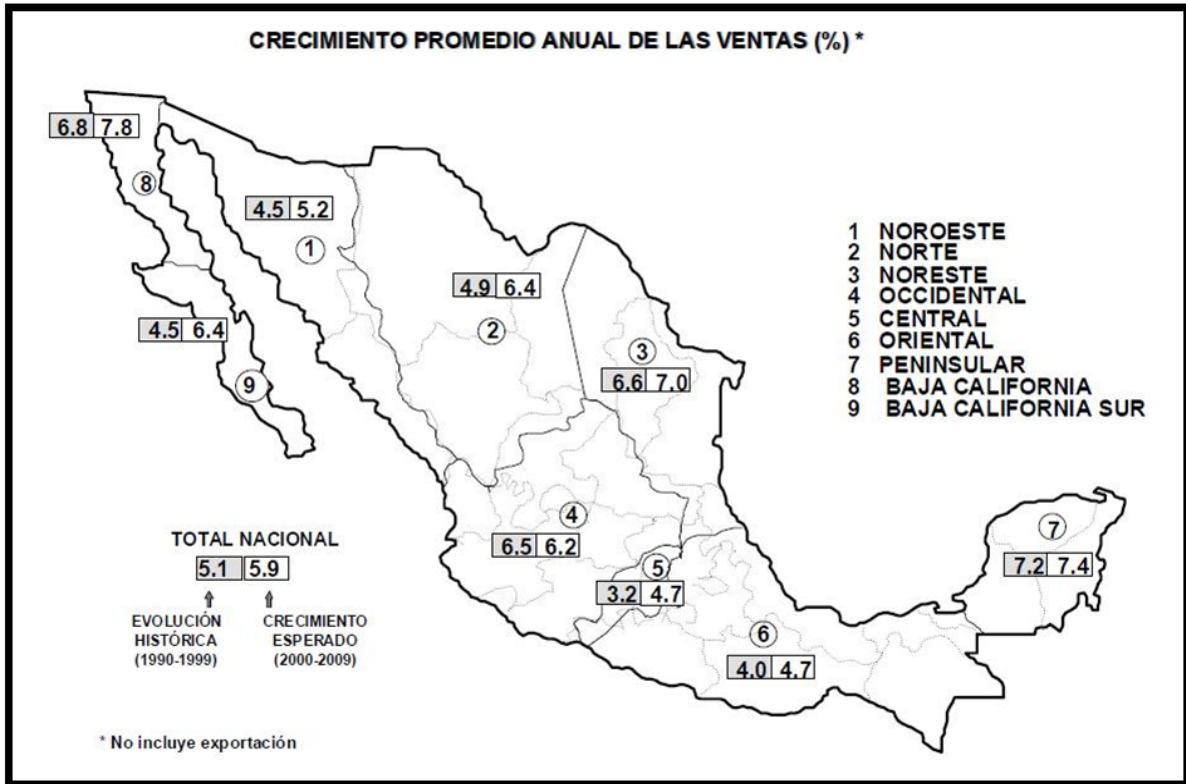


Figura 3.33. Crecimiento Promedio Anual de las Ventas (%) –sin exportaciones–.

Se determinó que el proyecto permite mantener la oferta de energía económica requerida por el sistema, apoyo al año 2009 considerado crítico, año en que las fallas imprevistas del pudieron ocasionar cortes de suministro, tales beneficios sólo se obtenían al realizarse de forma conjunta el proyecto de la planta de generación y la de trasmisión.

Se considera necesario un proyecto de generación cuando el margen de reserva en el área es menor al requerido y definido para un suministro confiable, conforme a las tasas de indisponibilidad de los equipos del sistema.

Generación. La Generación media anual del proyecto hidroeléctrico, considerando el volumen autorizado por la CNA, fue la siguiente:

GENERACION	DISEÑO	AUTORIZADO	DIFERENCIA
Firme	864.39	825.12	-5%
Secundaria	364.25	281.86	-23%
Total	1228.64	1106.98	-10%

Tabla 3.4. Generación media anual (GWh).

Monto de la Inversión

Inversión financiada directa en la central generadora

El monto licitado para la central generadora (esquema Obra Pública Financiada), incluyendo costos financieros, es de 748.3 millones de dólares, resultado de la licitación correspondiente. Adicionalmente, se considero un monto de 7.41 millones de dólares para el pago de la prima de seguro. La suma de estos montos, 755.71 millones de dólares, resultó el monto total a financiar.

Inversión presupuestaria en central generadora

La CFE adicionalmente debió erogar 978.51 millones de pesos de 2003, equivalentes a 96.88 millones de dólares de 2003, de gasto programable para el pago de la supervisión e indemnizaciones de las obras, así como de la línea de transmisión necesaria durante la construcción y de la primera parte del camino de acceso.

Inversión financiada directa en red asociada

Bajo el mismo esquema de Obra Pública Financiada (OPF), el monto del paquete de transmisión y transformación, incluyendo costos financieros, estimado como la suma de las amortizaciones del crédito para pagar el OPF, es de: 888.99 millones de pesos, equivalente a 88.02 millones de dólares.

El monto instantáneo de inversión (overnight cost) ascendió a 760.60 millones de pesos de 2003, equivalente a 75.31 millones de dólares de 2003.

Inversión presupuestaria en red asociada

Al igual que en el caso de la central, la CFE debió contemplar la erogación de 17.21 millones de pesos de 2003, equivalentes a 1.70 millones de dólares de 2003, como gasto

programable para el pago de la supervisión e indemnizaciones de las obras de transmisión y de transformación.

Finalmente los montos contemplados de inversión para la central generadora, así como la Red de transmisión, que contrajeron compromisos de pagos, sin considerar las indemnizaciones que se cubrirán con recursos presupuestarios, que están representados por la suma de las amortizaciones del crédito que CFE tendría que obtener al final del periodo constructivo, lo cual represento para la Central generadora un monto de 9'167.07 millones de pesos (907.63 millones de dólares) y para la Red de transmisión se considero un monto de 1'037.78 millones de pesos (102.75 millones de dólares).

Los costos de operación y mantenimiento se refieren al costo variable de operación y mantenimiento, producto de la generación de la Central. En este sentido el COPAR arroja 20'139.98 dólares/año; más los costos de operación y mantenimiento fijo de la central de 2'658'259.31 dólares/año. Por el uso de agua, la Comisión Nacional del Agua (CNA) estableció una cuota anual de 0.28 dólares/año a precio del 2001, lo que redunda en un pago de 810'932 dólares/año por consumo de agua.

Para la red asociada el costo anual de operación y mantenimiento se estima como un 0.1 % anual de los costos de inversión en transmisión, lo cual representa 0.09 millones de dólares de 2001.

Concepto		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
Central y Camino	O. civil	10.901	64.570	90.660	63.141	78.897	85.839	63.222	2.802	460.031
	O. Electromecánica					31.130	49.137	30.661	8.980	119.908
	Supervisión	2.173	4.347	4.347	4.347	4.347	4.347	4.347	2.173	30.429
	Indemnizaciones	10.407	8.951	8.951	5.968					34.277
Subtotal central		23.482	77.868	103.958	73.455	114.374	139.323	98.229	13.955	644.645
Red Asociada	Obra					3.965	30.438	53.032	1.336	88.771
	Supervisión				0.132	0.130	0.997	1.059	0.088	2.274
	Afectaciones					3.444	2.016			5.593
Subtotal red					0.132	7.539	33.452	54.091	1.425	96.639
Total		23.48	77.87	103.96	73.59	121.91	172.77	152.32	15.38	741.28
Capacidad bruta:			680.0	MW						
Capacidad neta (0.5 % usos propios):			676.6	MW						

Tabla 3.5. P.H. El Cajón – Resumen de perfiles de inversión (millones de dólares de 2001).

Concepto	Miles de Pesos 2000 ^{1/}	Miles de Pesos 2001	Miles de Dólares 2001
Supervisión e Indemnizaciones	610,308	653,659	64,719
Obras de infraestructura	454,167	486,427	48,161
Obras diversas	89,410	95,761	9,481
Puente Santiago	36,049	38,610	3,823
Camino de acceso	328,707	352,056	34,857
Obras de Desvío	597,713	640,170	63,383
Excavaciones a cielo abierto	93,665	100,319	9,933
Excavaciones subterráneas	104,949	112,404	11,129
Terracerías	46,088	49,362	4,887
Concretos	48,440	51,881	5,137
Tratamientos	304,570	326,205	32,297
Obras de Contención	1,806,608	1,934,934	191,578
Excavaciones a cielo abierto	142,426	152,543	15,103
Excavaciones subterráneas	10,002	10,713	1,060.7
Terracerías	1,177,371	1,261,002	124,852
Concreto en planta y galerías	263,931	282,679	27,988
Concreto en cara y parapeto			
Tratamientos	212,877	227,998	22,574
Planta Hidroeléctrica	637,202	682,463	67,571
Excavaciones a cielo abierto	115,367	123,562	12,234
Excavaciones subterráneas	131,961	141,334	13,994
Concretos	198,339	212,428	21,032
Tratamientos	191,534	205,139	20,311
Obras de excedencias	842,475	902,318	89,338
Excavaciones a cielo abierto	271,122	290,381	28,751
Concretos	488,098	522,768	51,759
Tratamientos	83,255	89,169	8,829
Total de Obra Civil	4,338,166	4,646,312	460,031
Equipo Electromecánico	1,130,751	1,211,070	119,908
Total	6,079,225	6,511,041	644,658

Distribución de la Inversión para fines de Financiamiento

Monto a Financiar

Equipo Electromecánico	1,130,751	1,211,070	119,908
Obra Civil con imprevistos	4,338,166	4,646,312	460,031
Inversión Total	5,468,917	5,857,382	579,939
Intereses durante la construcción: ^{2/}		3,309,686	327,692
Monto Total a Financiar		9,167,068	907,631

Inversión Presupuestaria

Supervisión e Indemnizaciones	610,308	653,659	64,719
-------------------------------	---------	---------	--------

Notas:

Factor de actualización del año 2000 al 2001: 1.0710

Tipo de cambio Peso/Dólar: 10.1

Imprevistos: 10% de la inversión total, aplicado a la obra civil

^{1/} Información directa del análisis de costos de la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos

^{2/} Véase el Capítulo 4 del Documento de Evaluación

Tabla 3.6. P.H. El Cajón – Presupuesto Contemplado en Millones de Pesos (Grandes Rubros).

Las fechas de los eventos claves para el proyecto son las mostradas en el siguiente cuadro.

FECHAS	CENTRAL	RED
Convocatoria	Jul-02	Dic-03
Recepción	Oct-02	Jun-04
Fallo	Ene-03	Jul-04
Inicio	Feb-03	Ago-04
Fecha de última inversión	May-07	Ene-07
Fecha de operación comercial U1	Feb-07	
Fecha de operación comercial U2	May-07	Feb-07

Tabla 3.7. P.H. El Cajón – Fechas de Eventos Claves.

Evaluación financiera. Esta se realizó en forma integral para el conjunto Central – Red de transmisión. Consistió en comparar el resultado neto de operación con los pagos financieros totales. También se calcularon los parámetros de evaluación como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Beneficio/Costo (B/C).

El resultado neto de operación y los pagos financieros, las inversiones presupuestarias para la supervisión e indemnizaciones derivadas de la construcción de las obras.

Se adoptaron los siguientes parámetros de la central para estimar los ingresos

Potencia	750.00 MW
Generación neta anual total:	1,101.45 GWh
Energía de punta	578.25 GWh
Energía intermedia	523.20 GWh

Tabla 3.8. P.H. El Cajón – Parámetros de la Central.

Para el cálculo de los ingresos se aplicaron los cargos de la tarifa representativa (HT-L) que correspondió a junio del 2003.

Cargo por demanda	79.17 \$/kW-mes
Cargo por energía de Punta	1.3324 \$/kWh
Cargo por energía Intermedia	04511 \$/kWh
Cargo por energía de Base	0.4263 \$/kWh

Tabla 3.9. P.H. El Cajón – Tarifas HT-L (junio 2003).

De acuerdo con los flujos de inversión y del resultado neto de operación, el proyecto obtuvo una relación Beneficio/Costo (B/C) de 2.472 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 40.73 y un resultado neto de operación mayor que los pagos financieros durante toda la operación del proyecto.

Fecha:		Folio:												
III. Previsiones de Gasto Público (Miles de dólares corrientes)												CH El Cajón y LT Red de Transmisión Asociada a la CH El Cajón		
Año Fincl	Resultado neto de operación (1)	Costos financieros				Red de transmisión		Total de pagos financieros (13) = (2) + (4) + (6) + (9)	Inversión presupuestada en Obras (11)	Ingresos presupuestados en rep. y otros (12)	Flujo neto del proyecto (13) = (1) + (2) - (3) - (4) - (5) + (6) + (7) + (8) + (10)	Saldo residual (14)	Pasivo directo (15)	Pasivo contingencia (16)
		Amortizaciones (2)	Intereses (3)	Otra financiación 1 (4)	Intereses (5)	Amortizaciones (6)	Intereses (7)							
2002														
2003														
2004														
2005														
2006														
2007	144,189		11,949	3,244	2,557	2,900	2,000	2,000	3,270	27,476	112,230	1,006,126	185,246	1,250,100
2008	100,846	10,007	31,403	9,732	2,209	2,500	2,517	2,152	6,190	29,470	85,175	1,077,649	392,245	1,202,204
2009	101,296	10,007	35,563	12,975	0,903	10,000	6,469	6,605	6,614	106,876	86,300	1,400,150	300,262	1,279,338
2010	195,930	10,007	37,254	12,975	0,147	10,000	5,729	7,804	5,140	102,980	102,993	1,300,304	203,295	1,279,279
2011	200,030	10,007	35,564	12,975	7,112	10,000	4,900	7,620	4,830	100,093	100,723	1,378,348	197,312	1,202,108
2012	205,730	10,007	34,874	12,975	6,476	10,000	4,261	6,184	4,086	97,213	100,568	1,179,219	101,241	987,678
2013	210,083	10,007	33,244	12,975	5,241	10,000	3,612	6,760	3,000	94,538	116,236	1,000,806	165,272	886,234
2014	216,072	10,007	31,956	12,975	4,006	10,000	2,722	5,444	2,070	91,444	124,027	907,670	100,037	807,072
2015	221,409	10,007	30,666	12,975	2,969	10,000	2,022	15,140	2,193	88,622	132,246	806,234	174,244	721,200
2016	226,877	10,007	29,266	12,975	2,134	10,000	1,294	10,000	1,467	85,602	141,936	699,672	101,009	646,713
2017	232,481	10,007	27,906	12,975	2,289	7,000	556	7,611	607	76,217	156,304	721,960	138,622	603,368
2018	238,224	10,007	26,586	12,975	1,483	2,900	88	1,901	181	62,406	176,819	648,775	144,698	511,077
2019	244,100	10,007	25,246	12,975	872	629				52,291	191,017	580,360	16,243	407,136
2020	250,137	10,007	23,906	12,975	43,697					43,692	205,156	531,877	63,226	347,893
2021	256,316	10,007	22,566	12,975	25,216					25,216	219,242	480,126	77,216	405,918
2022	262,646	10,007	21,226	12,975	37,843					37,843	234,703	447,803	74,527	373,296
2023	269,134	10,007	19,947	12,975	50,470					50,470	251,220	409,930	71,990	339,012
2024	275,781	10,007	18,717	12,975	63,097					63,097	268,867	373,240	69,238	304,268
2025	282,588	10,007	17,527	12,975	75,724					75,724	287,654	338,012	66,478	271,434
2026	289,557	10,007	16,377	12,975	88,351					88,351	307,681	303,019	63,718	240,140
2027	296,786	10,007	15,266	12,975	100,978					100,978	329,048	271,434	61,260	210,176
2028	304,265	10,007	15,200	12,975	113,605					113,605	351,863	240,140	58,500	181,540
2029	311,994	10,007	15,130	12,975	126,232					126,232	376,117	210,176	55,740	154,296
2030	319,961	10,007	15,056	12,975	138,859					138,859	401,921	180,540	52,980	129,200
2031	328,166	10,007	14,979	12,975	151,486					151,486	429,175	150,216	50,220	103,814
2032	336,609	10,007	14,900	12,975	164,113					164,113	457,079	120,216	47,460	80,260
2033	345,290	10,007	14,819	12,975	176,740					176,740	485,623	90,216	44,700	57,510
2034	354,209	10,007	14,736	12,975	189,367					189,367	514,807	60,216	41,940	35,760
2035	363,366	10,007	14,651	12,975	201,994					201,994	544,631	30,216	39,180	15,210
2036	369,996	10,007	14,566	12,975	214,621					214,621	575,095	0,216	36,420	3,330
2037	376,224	10,007	14,479	12,975	227,248					227,248	606,209	-10,216	33,660	0,000
2038	382,059		14,391		239,875					239,875	637,972	-30,216	30,900	-10,000
2039	387,500		14,302		252,502					252,502	670,386	-60,216	28,140	-20,000
2040	392,646		14,213		265,129					265,129	703,450	-90,216	25,380	-30,000
2041	397,500		14,124		277,756					277,756	737,174	-120,216	22,620	-40,000
2042	402,166		14,035		290,383					290,383	771,558	-150,216	19,860	-50,000
2043	406,646		13,946		303,010					303,010	806,602	-180,216	17,100	-60,000
2044	410,930		13,857		315,637					315,637	842,316	-210,216	14,340	-70,000
2045	415,024		13,768		328,264					328,264	878,700	-240,216	11,580	-80,000
2046	418,930		13,679		340,891					340,891	915,764	-270,216	8,820	-90,000
2047	422,646		13,590		353,518					353,518	953,508	-300,216	6,060	-100,000
2048	426,170		13,501		366,145					366,145	991,932	-330,216	3,300	-110,000
2049	429,500		13,412		378,772					378,772	1,031,046	-360,216	0,540	-120,000
2050	432,646		13,323		391,399					391,399	1,070,850	-390,216	-0,220	-130,000
2051	435,610		13,234		404,026					404,026	1,111,354	-420,216	-0,900	-140,000
2052	438,390		13,145		416,653					416,653	1,152,558	-450,216	-1,580	-150,000
2053	441,000		13,056		429,280					429,280	1,194,362	-480,216	-2,260	-160,000
2054	443,440		12,967		441,907					441,907	1,236,766	-510,216	-2,940	-170,000
2055	445,720		12,878		454,534					454,534	1,279,770	-540,216	-3,620	-180,000
2056	447,840		12,789		467,161					467,161	1,323,374	-570,216	-4,300	-190,000
2057	449,800		12,700		479,788					479,788	1,367,578	-600,216	-4,980	-200,000
2058	451,610		12,611		492,415					492,415	1,412,382	-630,216	-5,660	-210,000
2059	453,280		12,522		505,042					505,042	1,457,786	-660,216	-6,340	-220,000
2060	454,810		12,433		517,669					517,669	1,503,790	-690,216	-7,020	-230,000
2061	456,200		12,344		530,296					530,296	1,550,394	-720,216	-7,700	-240,000
2062	457,450		12,255		542,923					542,923	1,597,608	-750,216	-8,380	-250,000
2063	458,560		12,166		555,550					555,550	1,645,432	-780,216	-9,060	-260,000
2064	459,530		12,077		568,177					568,177	1,693,866	-810,216	-9,740	-270,000
2065	460,360		11,988		580,804					580,804	1,742,910	-840,216	-10,420	-280,000
2066	461,050		11,899		593,431					593,431	1,792,574	-870,216	-11,100	-290,000
2067	461,600		11,810		606,058					606,058	1,842,858	-900,216	-11,780	-300,000
2068	462,020		11,721		618,685					618,685	1,893,762	-930,216	-12,460	-310,000
2069	462,310		11,632		631,312					631,312	1,945,296	-960,216	-13,140	-320,000
2070	462,470		11,543		643,939					643,939	1,997,470	-990,216	-13,820	-330,000
2071	462,500		11,454		656,566					656,566	2,050,294	-1,020,216	-14,500	-340,000
2072	462,400		11,365		669,193					669,193	2,103,778	-1,050,216	-15,180	-350,000
2073	462,180		11,276		681,820					681,820	2,157,922	-1,080,216	-15,860	-360,000
2074	461,830		11,187		694,447					694,447	2,212,736	-1,110,216	-16,540	-370,000
2075	461,350		11,098		707,074					707,074	2,268,230	-1,140,216	-17,220	-380,000
2076	460,740		11,009		719,701					719,701	2,324,404	-1,170,216	-17,900	-390,000
2077	460,000		10,920		732,328					732,328	2,381,258	-1,200,216	-18,580	-400,000
2078	459,130		10,831		744,955					744,955	2,438,792	-1,230,216	-19,260	-410,000
2079	458,140		10,742		757,582					757,582	2,496,916	-1,260,216	-19,940	-420,000
2080	457,030		10,653		770,209					770,209	2,555,640	-1,290,216	-20,620	-430,000
2081	455,800		10,564		782,836					782,836	2,614,974	-1,320,216	-21,300	-440,000
2082	454,450		10,475		795,463					795,463	2,674,918	-1,350,216	-21,980	-450,000
2083	452,980		10,386		808,090					808,090	2,735,472	-1,380,216	-22,660	-460,000
2084	451,390		10,297		820,717					820,717	2,796,646	-1,410,216	-23,340	-470,000
2085	449,680		10,208		833,344					833,344	2,858,440	-1,440,216	-24,020	-480

Evaluación Financiera. La evaluación financiera consiste en comparar el resultado neto de operación de la central, con los pagos financieros que deben realizarse por: i) el re pago (principal e intereses) del financiamiento de la central generadora, ii) el repago (principal e intereses) del financiamiento para la Red de transmisión asociada, y iii) la inversión presupuestaria para las indemnizaciones y la supervisión de la construcción de las obras. El resultado neto de operación se cuantificó con la facturación de la energía generada en el Cajón, basada en los cargos de la tarifa H-TL para el mes de julio de 2001, considerando la inflación, menos los costos de explotación de la Central y de su Red de transmisión Asociada.

Como resultado de los flujos anuales financieros y el neto de operación del proyecto integral (central y red); se obtuvo, empleando una tasa real del 10% anual, una relación Beneficio Costo (B/C) de 1.33, un Valor Presente Neto (VPN) de 126.00 millones de dólares de 2001 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 20%.

Igualmente este resultado neto de operación es mayor que los pagos financieros, excepto en los años 2010 y 2011, en donde se obtendrían déficits del 10.51% y 1.60%, respectivamente; sin embargo, se contempla que la CFE producirá ingresos a través de otros proyectos para afrontar dicho déficit.

Los principales supuestos y resultados de la evaluación financiera del proyecto:

CONCEPTO	VALOR
Tasa de descuento real	10.00%
Horizonte de planeación	50 años
VP de los beneficios	513.03 MUSD 2001
VP de los costos	387.03 MUSD 2001
VPN	126.00 MUSD 2001
TIR	20.00%
Relación B/C	1.33

Tabla 3.11. P.H. El Cajón – Supuestos de la Evaluación Financiera.

Análisis de Sensibilidad. El análisis de sensibilidad aplicado a la evaluación económica, se dirigió en determinar el impacto que tienen los siguientes parámetros:

4. Incremento en las inversiones que permitan cumplir los lineamientos dictados por la Secretaria de Hacienda y crédito público, esto es, i) que la relación Beneficio/Costo (B/C) en la evaluación financiera sea mayor o igual a 1.0 y ii) que el resultado neto de operación sea mayor que los pagos financieros de las Obra Pública Financiada (OPF's) que incluye la Central Hidroeléctrica El Cajón y su Red de Transmisión – excepto tres años con déficit-.
5. Con relación a la Tasa Interna de Retorno (TIR)
6. A la duración en el periodo de ejecución del proyecto, para determinar –conforme a diferentes incrementos de duración-, el aumento en el precio del proyecto originado por la capitalización del costo financiero durante dichos periodos.

En el primer caso el incremento resulto en 9.8% y una relación Beneficio/Costo (B/C) de 1.22. En el segundo caso el análisis de sensibilidad arrojó que con una tasa del 13% real la relación Beneficio/Costo (B/C) resultó 1.16 y un Valor Presente Neto de 44.28 millones de dólares de 2001. En el tercer y último caso analizado, para un incremento de 12 meses de plazo en la construcción, la Relación Beneficio/Costo con una tasa real del 19% se alcanza un resultado mayor a 1.

Para mayores detalles sobre los supuestos de Generación, Oferta, Demanda, Montos de Inversión se puede consultar el documento de la CFE “**Análisis Costo – Beneficio del Proyecto de generación: CH El Cajón y Red de Transmisión Asociada**” de enero de 2002.

3.5.10. Contingencias Geológicas.

Existieron un sinnúmero de contingencias geológicas de diverso grado de importancia y complejidad para el proyecto, a continuación se describirán brevemente las dos que captaron más la atención por su repercusión en la función y programación durante la construcción del proyecto, como lo son los portales de entrada de los túneles de desvío por su relación directa con uno de los principales hitos del proyecto que es la desviación del río.

Portales de entrada de los Túneles de desvío. Durante los trabajos de excavación del portal de entrada del túnel de desvío No.1, se ubicó la presencia de una serie de fallas

geológicas que presentaron la inestabilidad del portal y con ello comprometía la construcción del mismo acorde al programa para el desvío del río.



Figura 3.34. P.H. El Cajón – Trabajos de excavación de los portales de entrada de los túneles de desvío, junio del 2003.

Muro alabeado. Durante los trabajos de excavaciones a cielo abierto, en la zona del canal de llamada de la obra de excedencias, en el talud izquierdo del muro alabeado de la Obra de Excedencias, se registraron movimientos horizontales importantes, dichos desplazamientos se hicieron perceptibles incluso a simple vista con fisuras en el concreto lanzado y con grietas expuestas en la plataforma de la elevación 396 m.s.n.m.

3.5.11. Medidas implementadas y Cambios de Proyecto

Portales de entrada de los Túneles de desvío. Para la estabilización, después de verificar el modelo geológico se diseñó un nuevo arreglo de anclaje y concreto lanzado y la

estructura de concreto reforzado definitiva con el abocinamiento requerido durante su funcionamiento en la etapa de construcción.



Figura 3.35. P.H. El Cajón – Vista de los Portales de Entrada de los Tuneles de Desvío, abril del 2004.

Muro alabeado. Como primeras medidas implementadas se instrumentó la zona del muro alabeado con extensómetros en el talud e inclinómetros en la plataforma al hombro del talud. Los registros generados advirtieron un severo relajamiento de la roca, con lo que se corría el riesgo de un colapso súbito sobre la estructura del vertedor. Finalmente como

solución se determino la remoción de una parte del macizo, para posteriormente diseñar y construir una estructura de concreto reforzado para sustituir y brindar la función prevista por este muro.

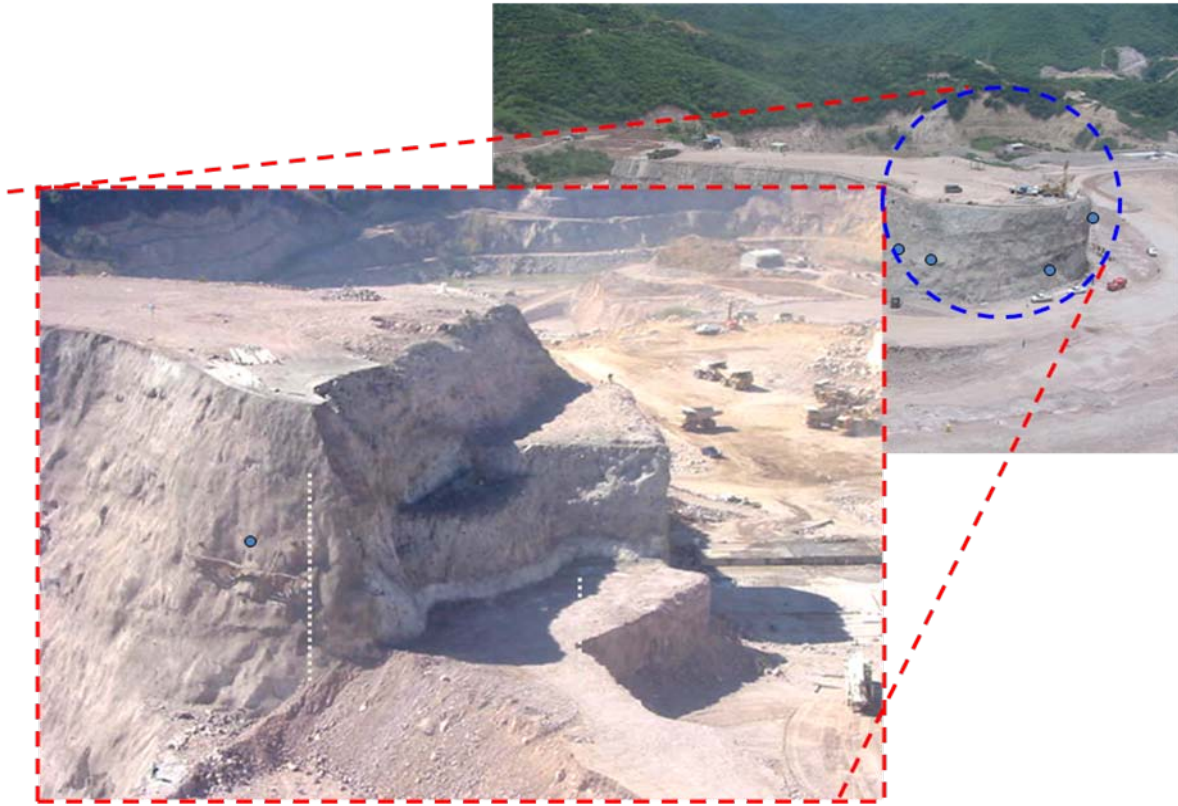


Figura 3.36. P.H. El Cajón – Vista original del muro alabeado y con la remoción del material inestable.

3.6. Proyecto Hidroeléctrico La Yesca

3.6.1. Información General

El proyecto hidroeléctrico La Yesca (actualmente en construcción con inicio de los trabajos en agosto del 2007) y cuyo inicio de operación se visualizó para enero del año 2012, como ya se ha mencionado, forma parte del Sistema Hidrológico Santiago, que comprende a 27 proyectos con un potencial hidroenergético de **4 300 MW**. La Yesca ocupa el segundo lugar en potencia y el tercero en generación dentro del sistema, después de la Central Aguamilpa-Solidaridad y El Cajón. La Yesca al igual que los proyectos Aguamilpa y El Cajón, fue concebida como una planta para suministrar energía pico con una potencia total instalada de 750 Mega Watts y una producción media anual de 1'227 GWh.



Figura 3.37. Ubicación del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

La boquilla del Proyecto La Yesca se localiza a 90 km., en línea recta, al noroeste de la ciudad de Guadalajara, a 4 km. aguas abajo de la confluencia de los ríos Bolaños y Santiago y sobre el cauce de este último. El proyecto se ubica en el límite entre los estados de Nayarit y Jalisco, constituido legalmente por el cauce del río Santiago.

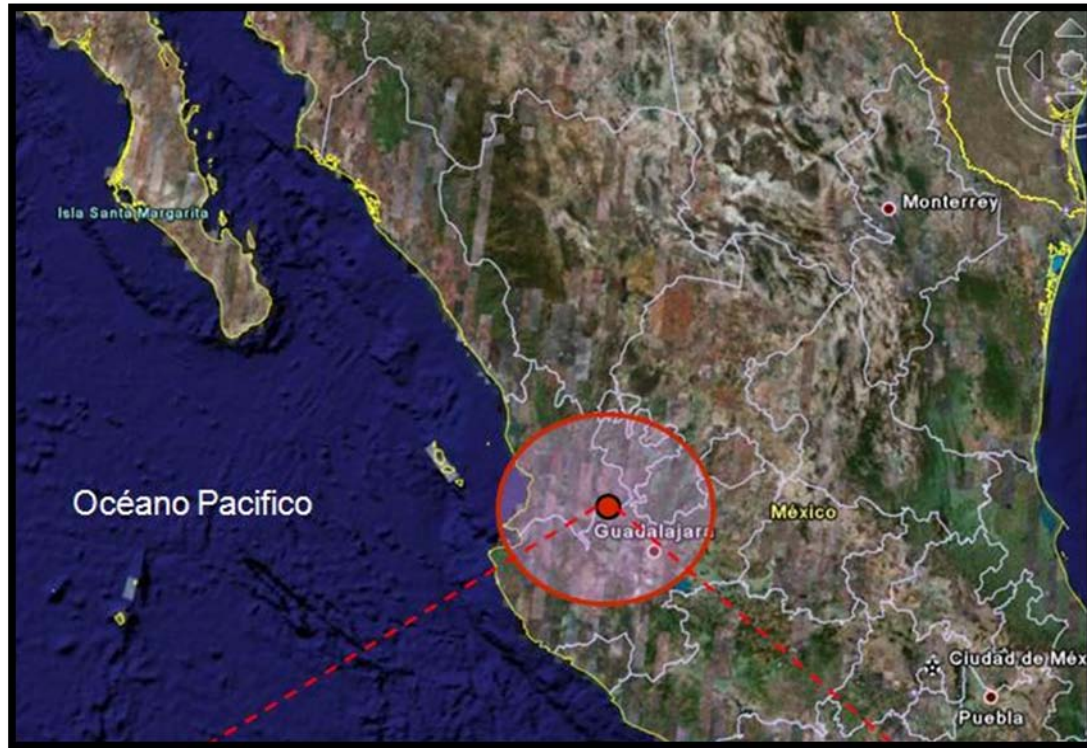


Figura 3.38. Localización del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca (Coordenadas Geográficas - Latitud Norte 21°11'49''; Longitud Oeste 104°06'21'').

El sitio del proyecto La Yesca se comenzó a estudiar en el año 1957 por la extinta Comisión Lerma-Chapala-Santiago, y posteriormente en 1965 por el Departamento de Planeación y Estudios de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) debe atender la demanda de energía eléctrica; entre los principales beneficios del Proyecto La Yesca está la Diversificación de las Fuentes primarias de energía al Sistema Eléctrico Nacional con la Generación Media anual de 1'2287 vGWh/año lo cual representa el ahorro de 2 millones de barriles de combustóleo al año, el aumento en la generación firme de las Centrales Hidroeléctricas Aguamilpa y El

Cajón, la mejora de vías terrestres. Optimizando la relación Beneficio/Costo para la economía Nacional, sin olvidar la creación de alrededor de 10'000 empleos directos e indirectos y una importante derrama económica en la región.

Se presenta el esquema original del Proyecto, así como el esquema actualmente en construcción, cuyos cambios se deben a las condiciones geológicas que se han descubierto durante la construcción y que se mas adelante se darán más detalles, los esquemas de obra del proyecto están constituidos por cinco frentes principales, **Figura 3.39:**

- Obras de Desvío;
- Obras de Contención;
- Obras de Generación;
- Obras de Excedencias;
- Obras Asociadas.

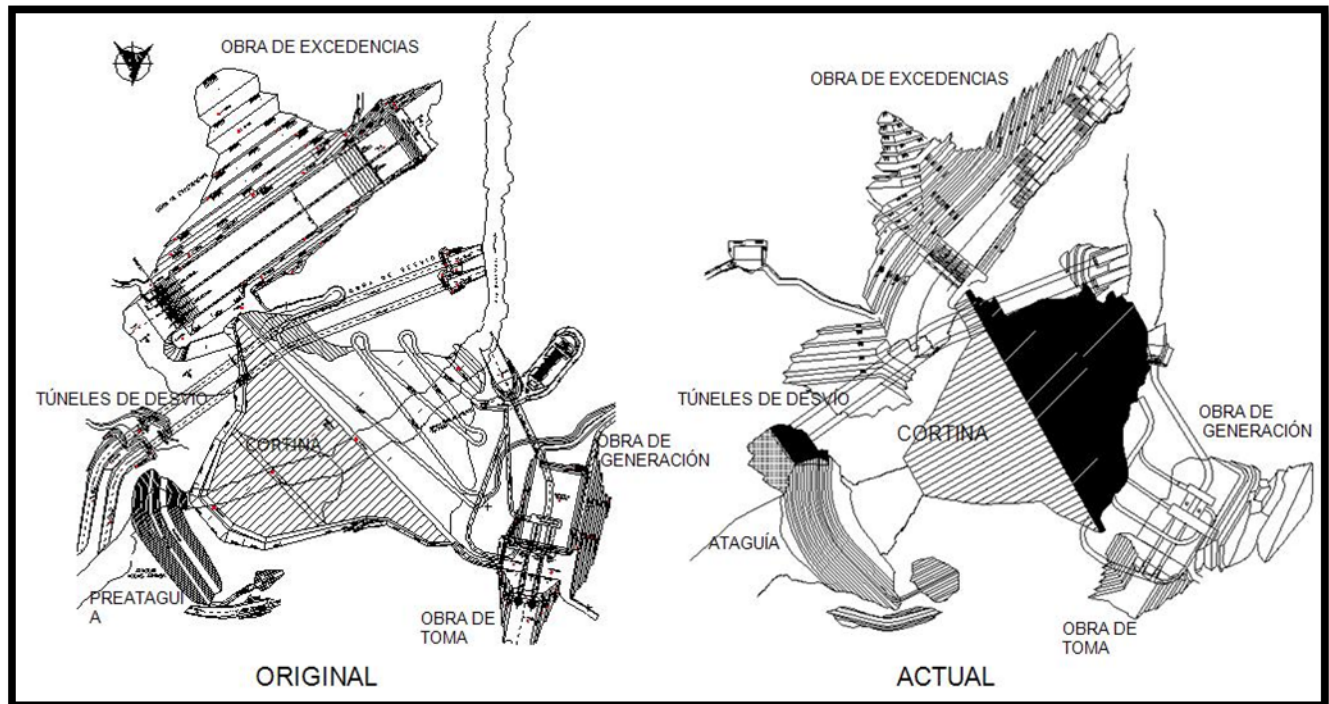


Figura 3.39. Arreglo General del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

3.6.2. Obras de Desvío

La obra de desvío consiste de dos túneles, una preatagüa, dos atagüas, un bordo y lumbreras de cierre provisional y una lumbrera de cierre final.

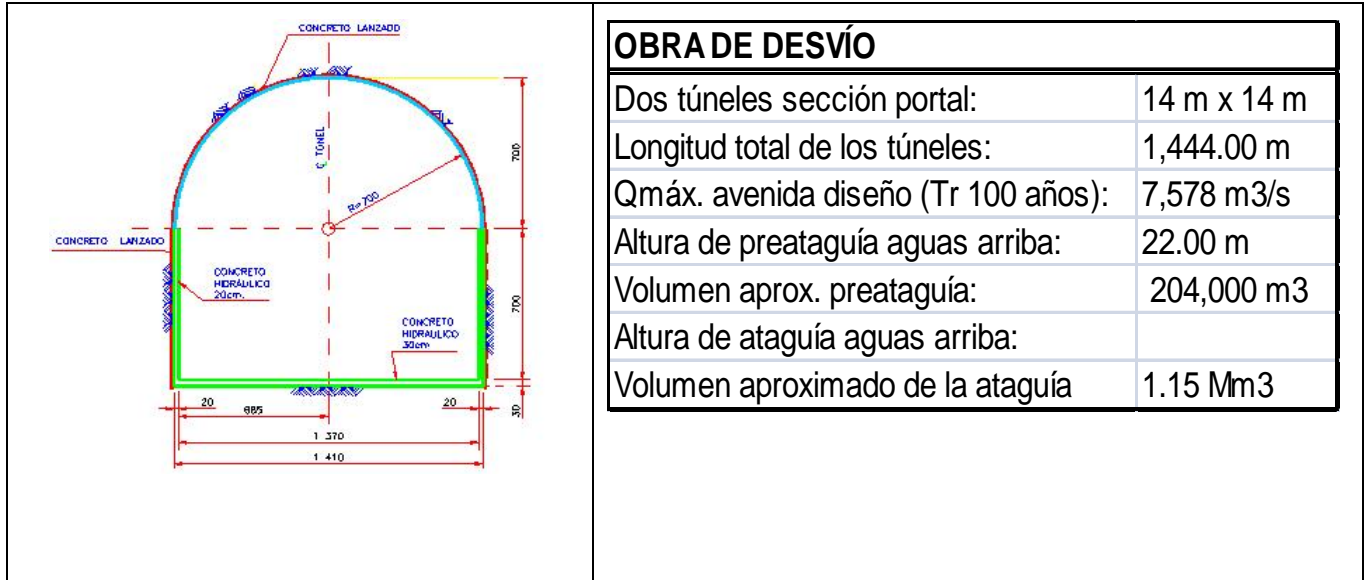


Figura 3.40. Sección portal de los túneles de desvío.

La obra de desvío consiste en 2 túneles de sección portal de 14,00 x 14,00m, localizados en la margen izquierda del río, excavados en roca, revestidos de concreto hidráulico en la plantilla y con concreto lanzado tanto en muros como en bóveda; diseñados para transitar la avenida de diseño con un gasto máximo de 7 578 m³/s. Los portales de entrada y salida fueron excavados en roca; los túneles cuentan con una estructura de concreto en la lumbrera para alojar y operar los obturadores de cierre provisional, los obturadores son accionados por mecanismos de izaje que permiten controlar el flujo de agua. La Comisión ha instalado en estos túneles equipo para medir el flujo durante la operación (gasto y tirantes).

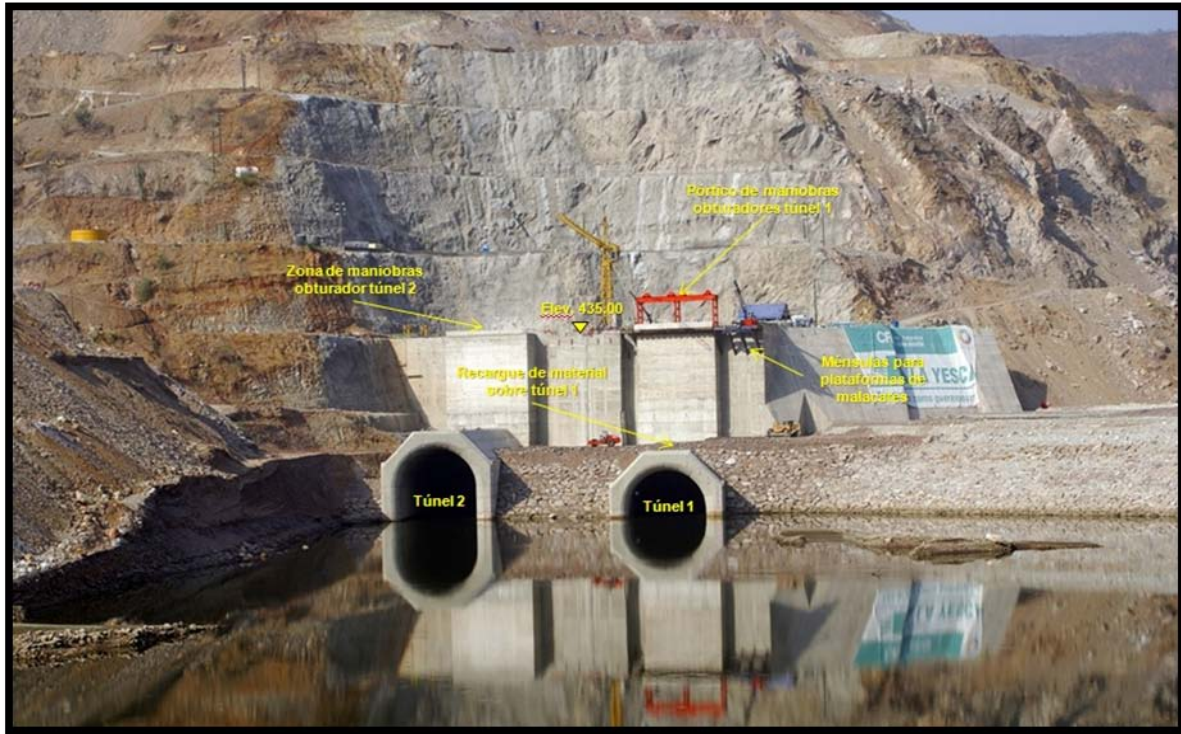


Figura 3.41. Vista hacia aguas debajo del portal de entrada de los túneles de desvío.

En lo que respecta a las obras de desvío, los túneles se modificaron al extenderlos con unos, túneles falsos, la construcción de un monolito y material de respaldo. Actualmente se realizan los preparativos para la colocación de los tapones de concreto al interior de cada túnel para el cierre definitivo de los túneles, la construcción de la lumbrera de cierre el control de la compuerta de cierre final, así como los trabajos para una estructura de desagüe de fondo, aprovechando uno de los túneles de desvío.

El complemento de esta obra se contempló originalmente con una preataguía, dos ataguías y el bordo sobre el arroyo El Carrizalillo, –como se puede observar en el arreglo general–, destacando la integración de la ataguía aguas arriba y el bordo al cuerpo de la cortina, sin embargo por las condiciones geológicas que se presentaron ya durante el proceso de construcción, se modificó el esquema debiendo diseñar y construir tanto la ataguía aguas arriba como el bordo Carrizalillo sin integrarse a la cortina.

Por la modificación al esquema de las obras de desvío se rediseñaron y construyeron las dos ataguías del tipo materiales graduados. El núcleo impermeable de ambas ataguías se

ligó a una pantalla impermeable construída a través del aluvión hasta la roca sana del fondo del cauce del río con el propósito de evitar filtraciones en la zona de construcción de la cortina.

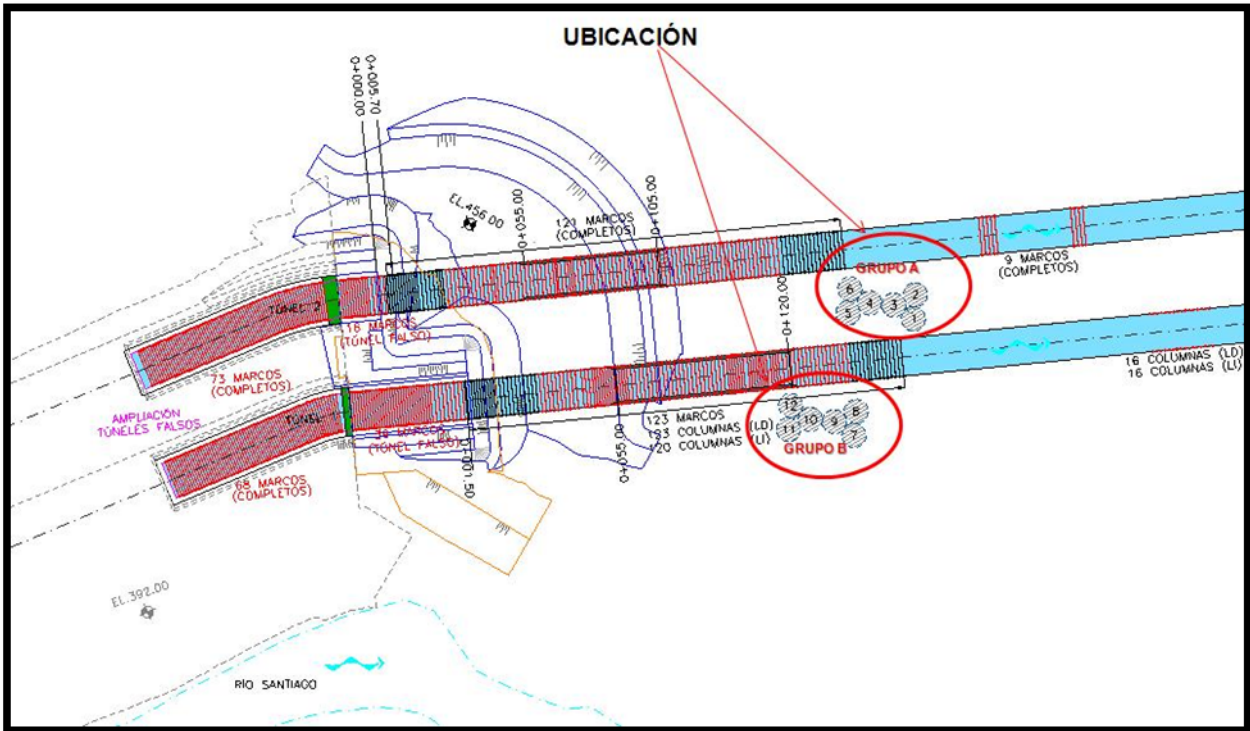


Figura 3.42. Ubicación de las lumbreras de Cortante en la zona de los túneles de desvío.

3.6.3. Obras de Contención

Las obras de contención estarán constituidas por la cortina de enrocamiento con cara de concreto y un sistema de galerías excavadas en ambas laderas adyacentes al empotramiento de la cortina, todas estas estructuras tienen como fin el formar el plano de estanqueidad.

La cortina una vez terminada será la segunda más alta en su tipo en el mundo, enrocamiento con cara de concreto (ECC), con una altura total de 205.5 metros cuya corona alcanzara la elevación 579.00 m.s.n.m., incluyendo el parapeto de 4.5 metros de altura, los taludes exteriores son de 1.4:1 tanto aguas arriba como aguas abajo.

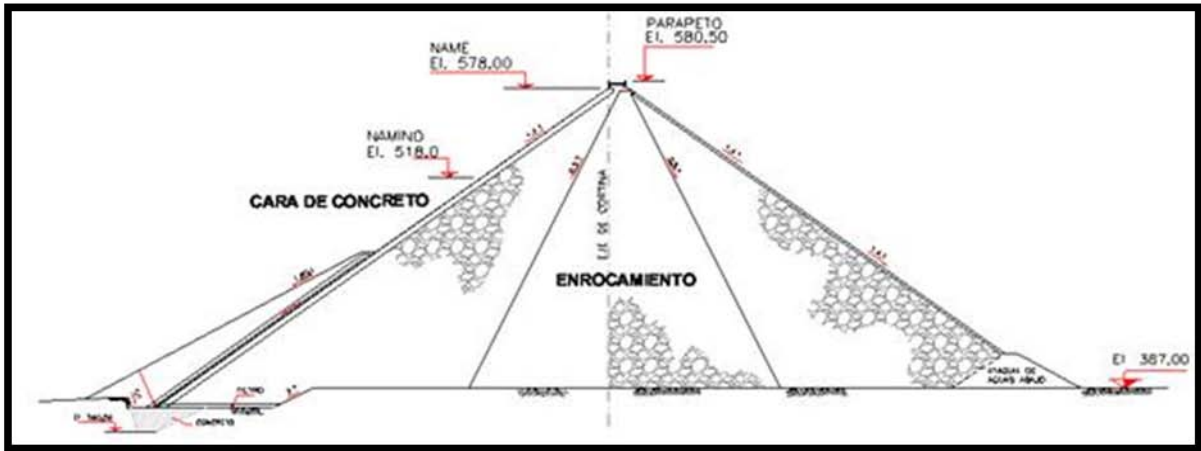


Figura 3.43. Sección transversal de la Cortina del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

La parte principal que está constituida por la cortina de enrocamiento con una cara de concreto reforzado que se apoya en el plinto que también sirve de plataforma para realizar las inyecciones de consolidación y la pantalla impermeable.

La cara de concreto formada en general por tableros de 15 metros de ancho y espesor variable y que remata en la parte superior con el parapeto, cuenta con un sistema de sellos de cobre colocados en todas las juntas de la cara y en la junta perimetral con el plinto, con el fin de abatir al mínimo las filtraciones.

Para medir las filtraciones se construyó una galería filtrante que se ubica en el pie de la cortina en la zona aguas abajo, así mismo en el talud de aguas abajo se ubican las casetas de instrumentación y los caminos de acceso.

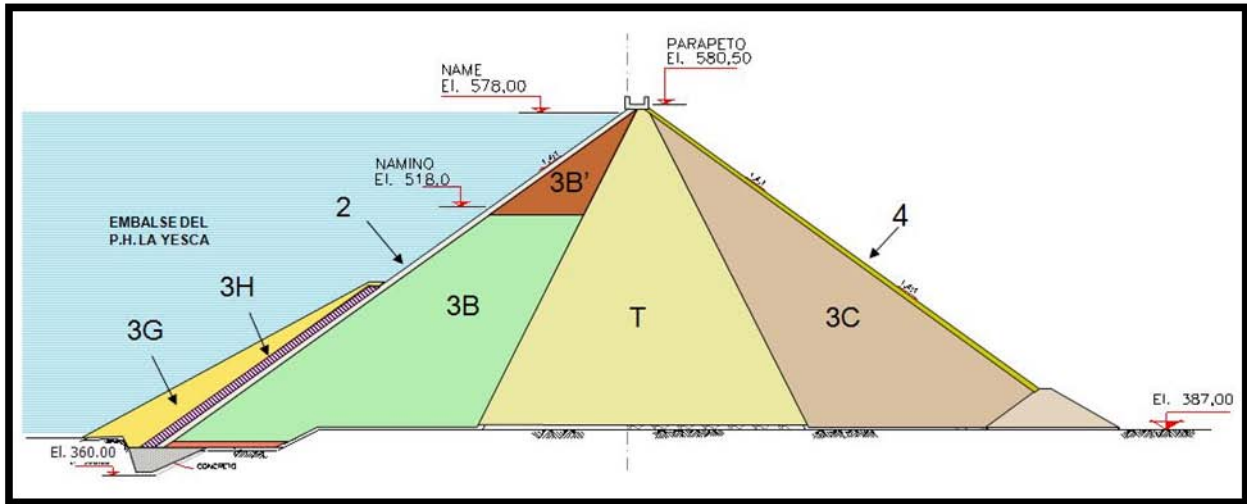


Figura 3.44. Sección transversal original de la Cortina del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

MATERIAL	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES	VOLUMEN (m3)
3B	Zona principal cuerpo de la cortina	Este cuerpo de la cortina será compuesto de aluvión en greña según granulometría especificada.	3.910.944,00
3B'	Zona principal cuerpo de la cortina	Enrocamiento con mayor compresibilidad	244.223,00
T	Transición de la cortina	Enrocamiento producto de bancos de roca y excavación de las obras principales y/o bancos de aluvión.	4.312.986,00
3C	Respaldo aguas abajo de la cortina	Enrocamiento sano compactado proveniente de bancos de roca y/o excavación de estructuras principales.	3.565.099,00
3G	Estabilidad material "f"	Rezaga libre de materiales arcillosos y de roca intemperizada, 80 cm de tamaño máximo.	75.004,00
4	Enrocamiento de protección	Fragmentos sanos de roca con tamaño mayor a 1.00 m, quedando empacados y acuñaos entre sí.	169.113,00
3H	Material sobre cara de concreto	Limo arenoso tendido en capas de 40 cm de espesor y bandeado con al menos 4 pasadas de tractor D8R.	360.316,00
2	Apoyo de la cara de concreto	Aluvión procesado con diámetro menor que 50.80 mm, según granulometría especificada	432.379,00
TOTAL			13.070.064,00

Tabla 3.12. Materiales de la Cortina del P.H. La Yesca.

3.6.4. Obras de Generación

Las obras de generación se localizan en la margen derecha del río, inician con la obra de toma de concreto reforzado, alojada en un canal a cielo abierto excavado en roca; consta de dos bocatmas diseñadas para permitir un gasto de diseño de 500 m³/s (250 m³/s, por

unidad), esta estructura es de concreto reforzado, obra de control, que cuenta también con rejillas metálicas que tienen como objetivo impedir el paso de cuerpos extraños que puedan dañar turbinas, cada toma aloja una guía la compuerta rodante accionadas con servomotores, así mismo una guía para la compuerta de servicio que contara con un sistema para permitir rodar por guías auxiliares, accionada por medio de una grúa pórtico que brindara asistencia a cualquiera de los conductos, esto permitirá efectuar el mantenimiento a las compuertas de servicio.

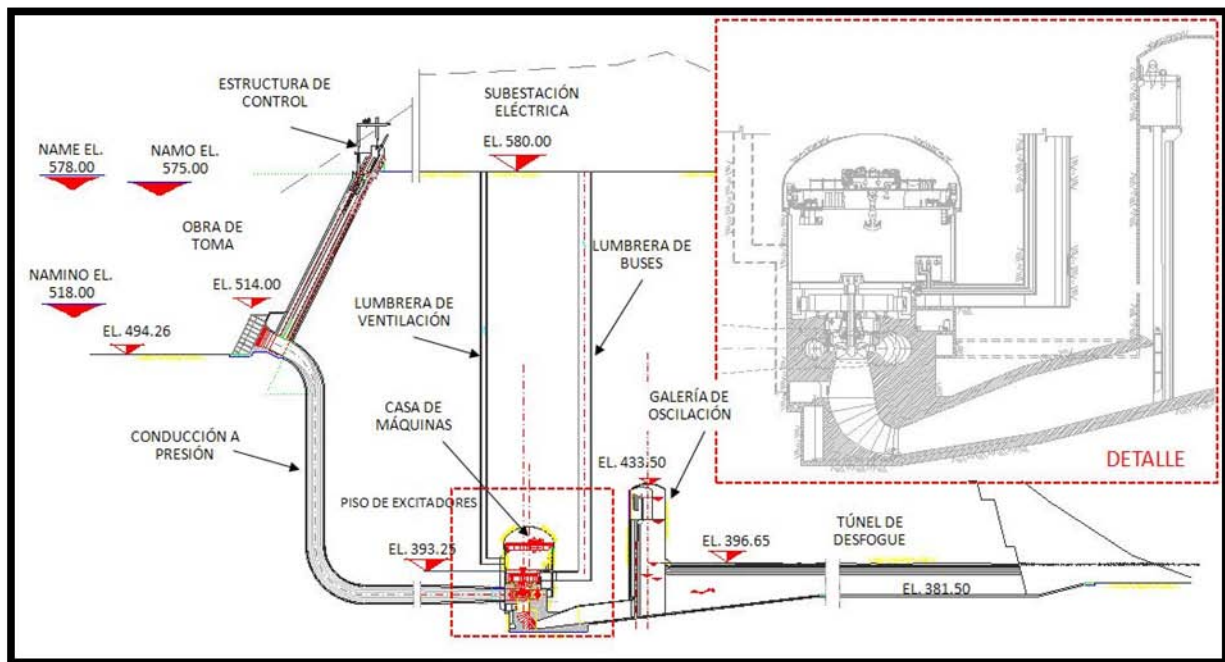


Figura 3.45. Sección Transversal de las Obras de Generación del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

Agua debajo de la obra de toma se encuentran los conductos a presión, que consisten de dos túneles de sección circular excavados en roca, de concreto reforzado a partir de las ranuras de las compuertas hasta el final de los codos inferiores y que, en la parte final, dan paso a un revestimiento con camisa metálica desde el final de los codos inferiores hasta la casa de máquinas; en esta zona final el blindaje de acero es tratado con inyecciones de concreto – roca y concreto – placa, así como con inyecciones de consolidación.

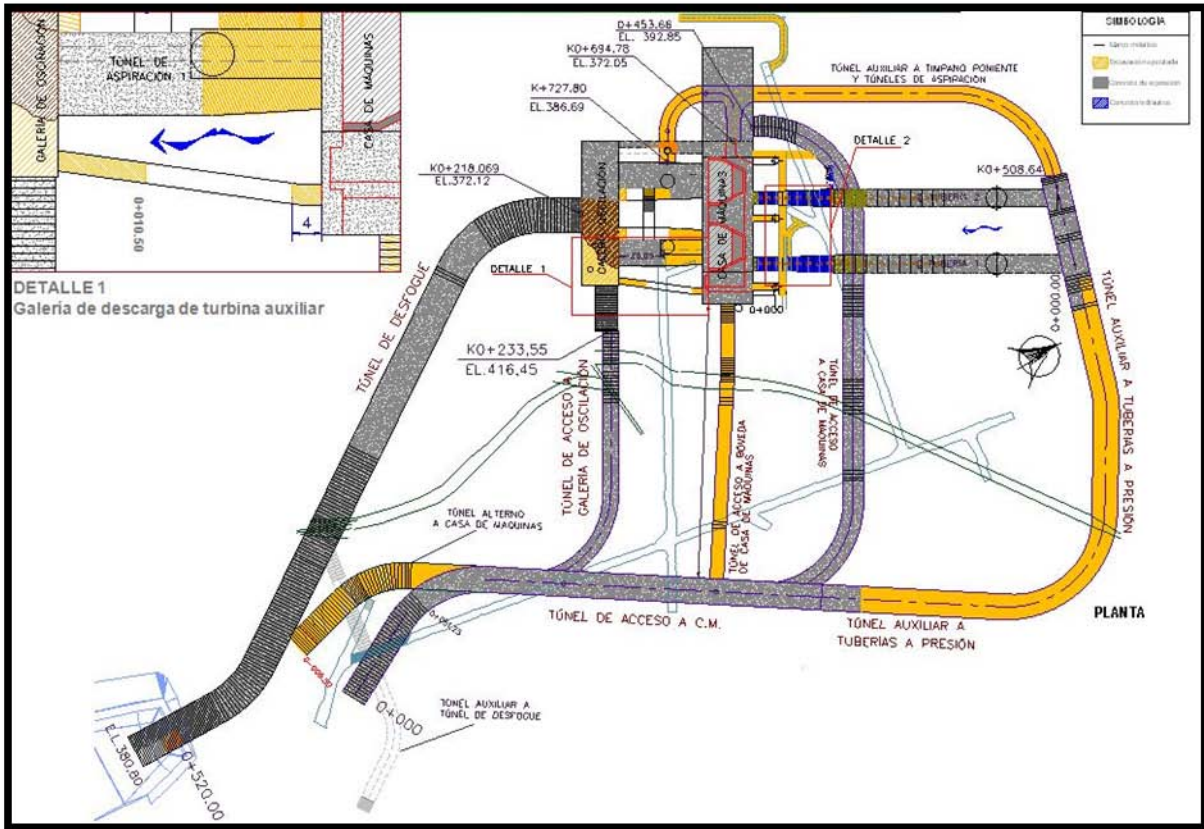


Figura 3.46. Planta de las Obras de Generación.

Las tuberías a presión embocan aguas abajo con la casa de maquinas, alojada en una caverna excavada en roca, constituida de losas y muros de concreto reforzado situados entre el piso de excitadores y el desplante de la casa de máquinas, donde se instalan las dos turbinas tipo Francis de eje vertical y una auxiliar para servicios propios de la planta, también de tipo Francis pero en este caso de eje horizontal, esta casa de maquinas es del tipo caverna la cual fue excavada en roca; actualmente está en proceso el montaje y equipamiento electromecánico y la culminación de la obra civil que está constituida principalmente al interior de la caverna por un conjunto de losas y muros de concreto reforzado y con una bóveda tratada con concreto lanzado; sin dejar de mencionar los concretos masivos realizados para confinar las carcasas de las turbinas.

Una vez que se concluyan todas estas obras, la casa de maquinas contendrá las turbinas (junto con las de la Central El Cajón) más grandes en operación en México. El factor de planta del proyecto se ha estimado de 0,19.



Figura 3.47. Vista de la Obra de Toma.

A la casa de maquinas se ingresa por medio de un túnel de acceso vehicular, cuyo dimensionamiento se diseño para poder ingresar las mayores partes de los equipos instalados.

Se han construido una serie de estructuras metálicas para soportar las traveses carril que soportan las grúas viajeras; al inicio de la construcción se contó con una grúa que auxilio en los trabajos de construcción y montaje, posteriormente se ubicaron las grúas definitivas necesarias para colocar el equipo de mayores dimensiones y peso.

La casa de maquinas también cuenta con las tres lumbreras verticales de ventilación cuyo objetivo es remover el calor y el aire, así como extraer los gases de la casa de maquinas y de los fosos de las turbinas.

Aguas abajo de la casa de maquinas se complementan estas obras con la galería de oscilación también excavada en roca y revestida de concreto reforzado y concreto lanzado en la bóveda. Esta galería de oscilación alojaran las compuertas deslizantes accionadas con una grúa viajera para aislar cualquiera de las dos unidades, para su mantenimiento.

La subestación se ubica en la margen derecha en una plataforma exterior con cunetas, trincheras para calves y buses, zona de transformadores, cimentaciones para equipos mayores y menores, el edificio tipo y será blindada tipo SF₆ es blindado, el edificio de control, tanque separador aceite-agua, casetas de ventilación y la protección de seguridad física.

Después de la galería de oscilación el agua se conduce al cauce del río por el túnel de desfogue revestido de concreto reforzado en plantilla y muros y concreto lanzado en bóveda que desembocará en un canal de sección trapecial con un ancho variable para su descarga en el río.

La subestación eléctrica se ubica en una plataforma también en la margen derecha, en esta plataforma se construye la obra civil que consiste en cunetas, ductos, trincheras para cables y buses, zona de transformadores, el edificio de la subestación eléctrica SF₆, las estructuras mayores y su cimentación, la cimentación de los equipos menores, equipos auxiliares y edificio de control, tanque separador aceite – agua, casetas de ventilación y la protección de seguridad física, donde también se ubicara el tanque de agua para el sistema contra incendio. El edificio de la subestación eléctrica SF₆.

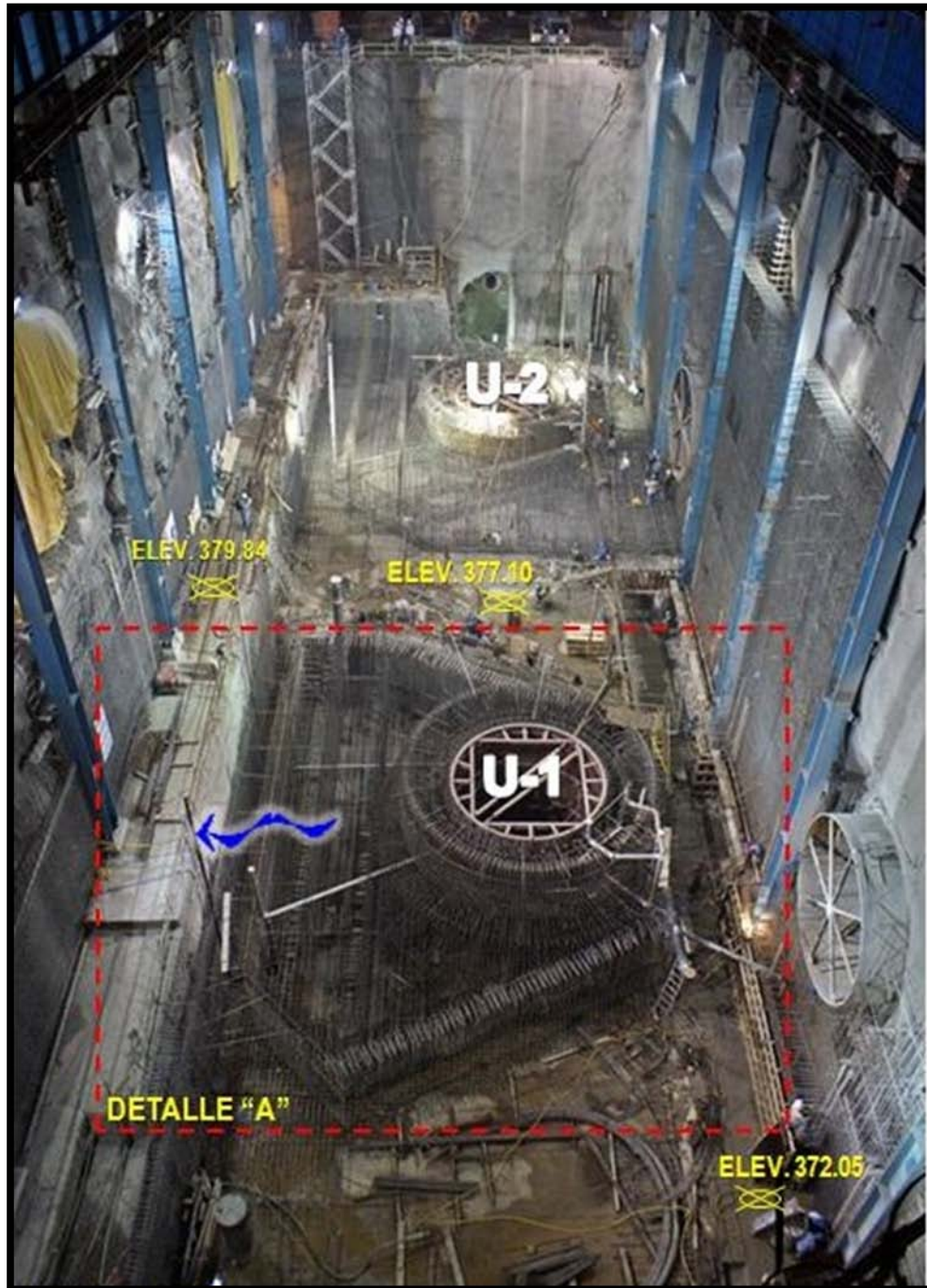


Figura 3.48. Avance en el montaje de las turbinas, septiembre de 2010.

6.5. Obras de Excedencias

Estas obras se localizan en la margen izquierda del río, es del tipo canal abierto con una zona de control. Consta de un canal de acceso que emboca a la zona de control, la cual cuenta con una estructura de control con un cimacio tipo Creager con una longitud total de **72** metros con seis vanos que contendrán las seis compuertas radiales accionadas con servomotores, para el control de la descarga. Aguas debajo de la zona de control se localiza el canal de descarga de ancho variable y un cambio de pendiente; a lo largo de éste también contara con una serie de aireadores, esta estructura termina con una cubeta deflectora.

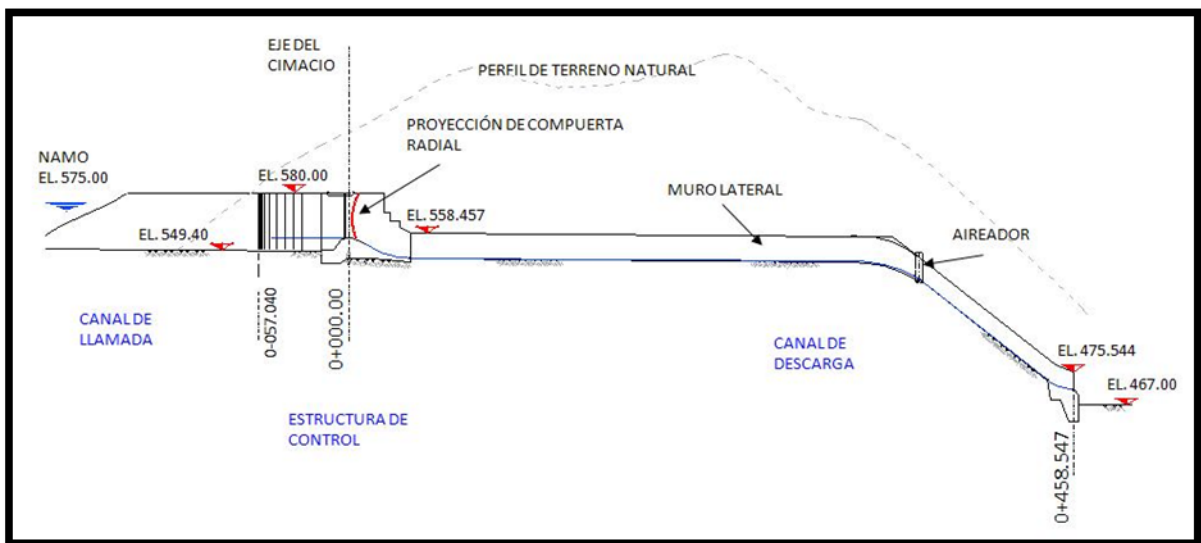


Figura 3.49. Perfil Transversal del Vertedor del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

Esta obra se diseñó para verter un gasto máximo de $15'100 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondiente a una avenida con un periodo de retorno de 10'000 años y un gasto máximo de la avenida de diseño de $15915 \text{ m}^3/\text{s}$. La velocidad máxima en la descarga es del orden de 40 m/s .

La zona de control contara con una planta generadora de energía eléctrica de combustión interna para casos de emergencia.

Como medida de protección en la zona de descarga, en la margen derecha del río Santiago se prevé una zona de protección formada con rocas mayores de 1 metro con concreto y mallas de varillas sobre una longitud de 400 metros con 25 de altura un espesor de 2 metros.



Figura 3.50. Modelo en Laboratorio del Vertedor del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

3.6.6. Obras Asociadas

Es la infraestructura de apoyo y permanente necesaria durante la construcción y operación de la Central; vialidades internas, los edificios auxiliares e instalaciones que se requieren para la operación y vigilancia del complejo.

Esta infraestructura la comprenden los edificios auxiliares, las oficinas técnicas de mantenimiento, el edificio de control en la subestación, la clínica IMSS, la línea de distribución de 13.8 kV, los canalizaciones en cortina, el puente para paso vehicular sobre el vertedor, las vialidades internas definitivas, los caminos de construcción, los accesos a campamentos, los comedores, las oficinas, las vialidades definitivas para dar servicio durante la operación de la Central, el sistema de auscultación y el Modelo Electrónico Tridimensional Inteligente (METI).

3.6.7. Programa de Construcción

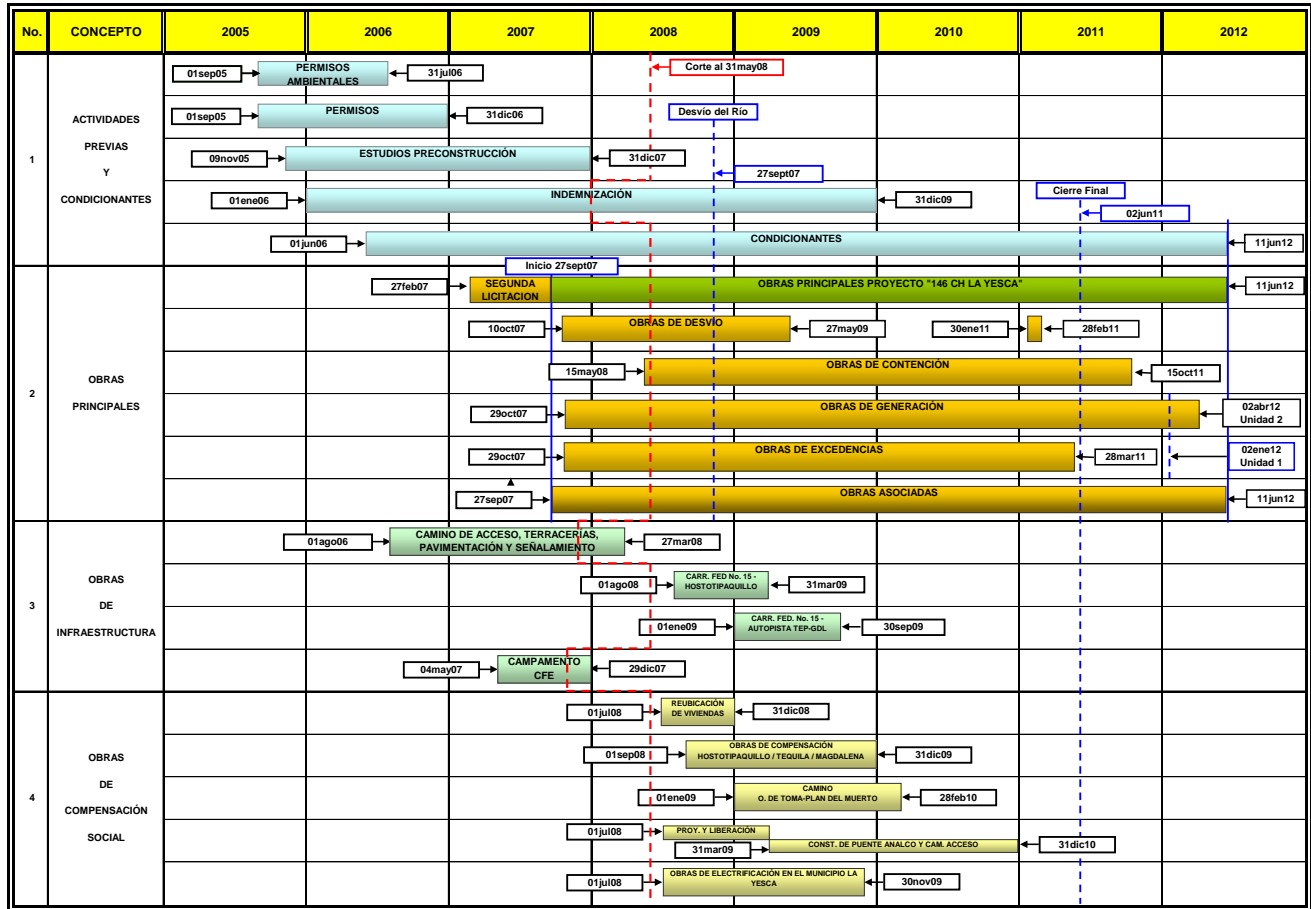


Figura 3.51. P.H. La Yesca – Programa General de Construcción.

3.6.8. Presupuesto

Con relación al Presupuesto original se contó con la oferta Económica del Contrato PIF-010/07, oferta ganadora para la Construcción del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, ya descrito con anterioridad. De esta oferta destaco los siguientes documentos:

- OE-5. CATALOGO DE CONCEPTOS DE OBRAS CIVILES (PARTE A PRECIO ALZADO).
- OE-5ª. CATALOGO DE CONCEPTOS DE OBRAS CIVILES (PARTE A PRECIOS UNITARIOS).
- OE-11. “PROGRAMA DE EROGACIONES MENSUALES PARA LA PARTE A PRECIO ALZADO.
- OE-11A. “PROGRAMA DE EROGACIONES MENSUALES PARA LA PARTE A PRECIO ALZADO.

No. SEGUN OT-2.		ACTIVIDAD O CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	IMPORTE TOTAL	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	ENERO	FEBRERO
I. EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS											
11	I1	TURBINAS HIDRÁULICAS TIPO FRANCIS DE EJE VERTICAL	2	Lote	95,349,353.00	-	65,202.30	-	-	-	2,078,985.98
12	I2	CHUMACERAS PARA EL GRUPO TURBINA HIDRÁULICA - GENERADOR DE EJE VERTICAL	2	Lote	1,946,402.67	-	5,457.03	-	-	-	-
13	I3	REGULADOR DE VELOCIDAD ELECTROHIDRÁULICO CON CONTROL DIGITAL PROGRAMABLE PARA TURBINAS	2	Lote	7,038,285.91	-	7,238.38	-	-	-	-
14	I4	COMPUERTAS, MECANISMOS DE OPERACIÓN Y GRUA PORTICADA DEL VERTEDOR	1	Lote	20,304,416.32	-	-	24,263.17	-	-	-
15	I5	COMPUERTAS Y EQUIPO ELECTROMECÁNICO PARA LA OBRA DE TOMA	1	Lote	9,953,884.43	-	28,342.26	-	-	-	-
16	I6	GRUA VÍA AEREA PARA CASA DE MÁQUINAS	2	Lote	6,551,761.20	-	8,477.57	-	-	-	82,670.48
17	I7	COMPUERTAS, MECANISMOS DE OPERACIÓN Y GRUA PARA DESVIO	1	Lote	3,209,600.77	-	10,004.30	-	-	-	-
18	I8	UNIDAD AUXILIAR CON TURBINA TIPO FRANCIS	1	Lote	4,339,544.51	-	-	-	-	-	20,116.97
19	I9	EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	2	Lote	1,659,320.14	-	-	-	-	-	6,325.89
20	I10	SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	1	Lote	4,423,798.95	-	-	-	-	-	5,956.50
21	I11	SISTEMA DE DESAGUE Y ACHIQUE	1	Lote	1,412,462.92	-	-	-	-	-	4,680.41
22	I12	SISTEMA DE VENTILACIÓN	1	Lote	1,211,788.80	-	-	-	-	-	3,570.79
23	I13	EQUIPO DE TALLER MECÁNICO (SE CANCELA ESTA ACTIVIDAD)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	I14	EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO	1	Lote	377,235.38	-	-	1,484.17	-	-	-
25	I15	SISTEMA DE MEDICIÓN DE LOS NIVELES DE EMBALSE Y DESVIO	1	Lote	446,960.41	-	-	3,013.94	-	-	-
26	I16	SISTEMA DE AIRE DE SERVICIO	1	Lote	531,200.69	-	-	2,523.62	-	-	-
27	I17	SISTEMA DE AGUA DE SERVICIO	1	Lote	669,257.88	-	-	3,008.46	-	-	-
28	I18	SISTEMA PARA QUE UNIDADES HIDROELÉCTRICAS OPEREN COMO CONDENSADOR SINCRONO	1	Lote	1,883,342.37	-	-	8,330.72	-	-	-
29		MONTAJE MENSUAL PROGRAMADO A EJECUTAR				\$ -	\$ 184,343.52	\$ 24,263.17	\$ -	\$ -	\$ 2,231,656.46
30		ACUMULADO				\$ -	\$ 184,343.52	\$ 208,606.69	\$ 208,606.69	\$ 208,606.69	\$ 2,440,263.15
31	I19	DETURADORES Y MECANISMOS DE OPERACIÓN PARA OBRA EN NEVÓN	1	Lote	1,091,076.00	-	-	-	84,890.29	84,890.29	84,890.29

Figura 3.52. P.H. La Yesca - Oferta Económica del P.H. La Yesca: Ventana donde se visualiza el archivo OE-11.

CONCEPTOS	COSTOS EN USD		
	PRECIO ALZADO	PRECIO UNITARIO	TOTAL
I. Y II. EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS Y ELECTRICOS	240,097,226.82		240,097,226.82
III.2 OBRA DE DESVIO	37,942,777.46	22,089,668.07	60,032,445.53
III.3 OBRA DE CONTENCIÓN	100,913,383.69	41,671,310.69	142,584,694.38
III.4 OBRA DE GENERACION	93,334,059.77	31,136,458.23	124,731,100.40
III.5 OBRAS DE EXCEDENCIAS	101,582,185.63	23,281,050.41	124,863,236.04
IV. OBRAS ASOCIADAS	71,114,772.60	3,538,637.04	74,653,409.64
OBRAS ASOCIADAS	704,887.19		704,887.19
Total general	645,689,293.16	121,717,124.44	767,667,000.00

Tabla 3.13. Presupuesto original de Construcción del P.H. La Yesca,

3.6.9. Evaluación Económica y Análisis de Sensibilidad

El Proyecto Hidroeléctrico La Yesca pertenece a un área de carácter estratégico, con base en el Programa de Desarrollo del Sector Eléctrico 2001 – 2006 y Prospectiva del Sector

Eléctrico 2005 – 2014; por lo que se contempló en el POISE dentro del programa optimo de expansión del sistema eléctrico de CFE.

La evaluación no se realizo comparando el proyecto individualmente con otros proyectos alternativos, sino solamente se verificaron que los parámetros de evaluación fueran atractivos, cumpliendo con las restricciones impuestas a los Proyectos de Infraestructura Productiva de Largo Plazo con Impacto Diferido en el Registro del Gasto (PIDIREGAS) por la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP) del Gobierno Federal Mexicano.

EL proyecto de La Yesca se contempló con una capacidad bruta de 750 MW \pm 15% con dos unidades de 375 MW cada una (373.13MW \pm 15% de capacidad neta). Esta central aportará 1.210 GWh al año de generación neta en el Área Occidental del país, de esta generación 575.36 GWh/año se prevé de energía de punta, 261.82 en periodo horario intermedio y 372.82 en la base. Los dos primeros tipos de energía tienen un valor económico mayor que el producido en el periodo de base; asimismo, la operación de La Yesca significará una disminución en el costo de producción de energía en horas punta dentro del sistema eléctrico del Área Occidental.

Para incorporar la energía producida por la Central La Yesca al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se contempla una Red de Transmisión Asociada a La Yesca. Esta red consiste en una línea de 400 kV de 260 kilómetros en doble circuito, 4 alimentadores de 400 kV y 116.6 MVAR de compensación reactiva.

La central y la red resultan proyectos complementarios, debido a que no generan beneficios de forma aislada.

La inversión física para la central redunda en 643.95 millones de dólares de 2006 (7,199.361 millones de pesos de 2006), incluidos el pago de la supervisión total, los reasentamiento y medio ambiente; otros 71.15 (795.457 millones de pesos de 2006) para la infraestructura de la residencia de construcción, indemnizaciones y el camino de acceso. Con relación a la red de transmisión asociada a la central, el monto de las obras e indemnizaciones es de 66.969 millones de dólares de 2006 (748.713 millones de pesos de 2006), como otros 0.344 millones de dólares de 2006 (3.846 millones de pesos de 2006).

En total, la suma de las amortizaciones de los respectivos créditos que CFE contempla al final del periodo constructivo, para la central asciende a un monto total de 833.71 millones de dólares (9320.92 millones de pesos) y para la red de transmisión un total de 71.71 millones de dólares (801.718 millones de pesos).

La evaluación financiera se realiza comparando el resultado neto de operación, se calculan los parámetros de evaluación (TIR y B/C) tomando en cuenta, el resultado neto de operación y los pagos financieros. El resultado neto de operación se cuantifica de con las tarifas determinadas conforme a la energía generada. El resultado de la evaluación del proyecto se observa en la **Tabla 3.14**.

CONCEPTO	VALOR
Tasa de descuento real	5.53%
Horizonte de planeación	50 años
VP de los beneficios ^{1/}	2,968.449 Millones USD en 2006
VP de los costos ^{2/}	603.913 Millones USD en 2006
VPN	2,364.536 Millones USD en 2006
TIR	54.66%
Relación B/C	4.915

Tabla 3.14. P.H. La Yesca – Principales supuestos de la Evaluación Financiera del proyecto.

Para mayores detalles sobre los supuestos de Generación, Oferta, Demanda, Montos de Inversión se puede consultar el documento de la CFE “Reevaluación del Proyecto CH La Yesca y LT Red de Transmisión Asociada a la CH La Yesca” de noviembre de 2006.

Igualmente se realizó un análisis de sensibilidad al costo de la inversión, esto es, determinar el incremento máximo de las inversiones del proyecto integral central – red que permitiera seguir cumpliendo los lineamientos dictados por la SHCP:

- i) que la relación B/C en la evaluación financiera sea mayor o igual a 1
- ii) que el resultado neto de operación sea mayor que los pagos financieros.

El incremento máximo resulto de 118% con una relación Beneficio/Costo (B/C) de 2.255. Con respecto a la disminución de las tarifas, sin dejar de ser rentable, resulto en 52% con una relación B/C de 2.286.

Para un incremento en la duración del periodo de construcción se obtuvieron los siguientes resultados:

MESES DE RETRASO	% ADICIONAL AL PRESUPUESTO
2	1.93
4	3.91
6	5.92
8	7.96
10	10.05
12	12.18

Tabla 3.15. P.H. La Yesca – Sensibilidad al retraso del periodo de construcción.

3.6.10. Contingencia Geológica

Para el desarrollo de la ingeniería básica del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca se realizó una extensa campaña de estudios y a pesar de la aplicación de buenas prácticas de ingeniería con equipo idóneo y el personal capacitado y experticia. Dicha ingeniería se discutió y analizo por los grupos especialistas en las distintas disciplinas de Geología, Hidráulica, Estructuras, Geotecnia; sin embargo, una vez iniciado el proceso de construcción, en octubre del 2007, se presentaron problemas que evidenciaron una mayor complejidad geológica que la prevista.

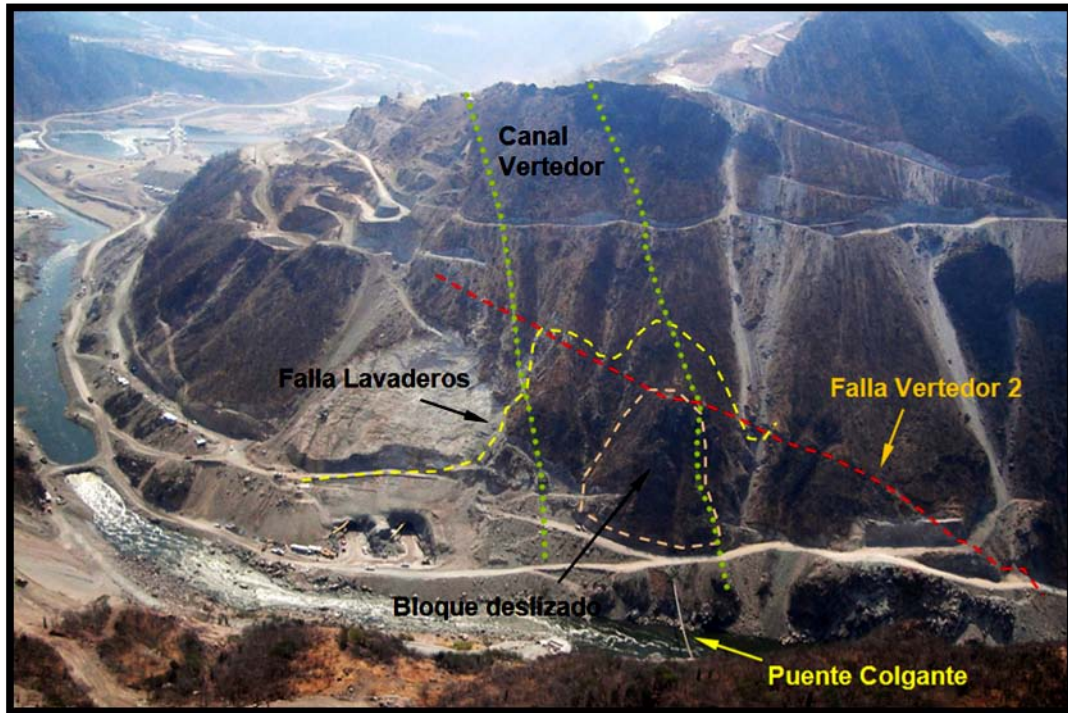


Figura 3.53. Zona de la salida de los desvíos y descarga del vertedor, condiciones anteriores al deslizamiento, margen izquierda (Marengo, 2008).

En la margen izquierda se iniciaron las excavaciones a cielo abierto; en la margen izquierda en la zona de los portales de entrada y salida de los túneles de desvío se manifestaron desplazamientos de una gran masa de roca **(Marengo, 2008)**.



Figura 3.54. Principales Fallas Geológicas de la masa inestable de la Margen Izquierda (Marengo, 2008).

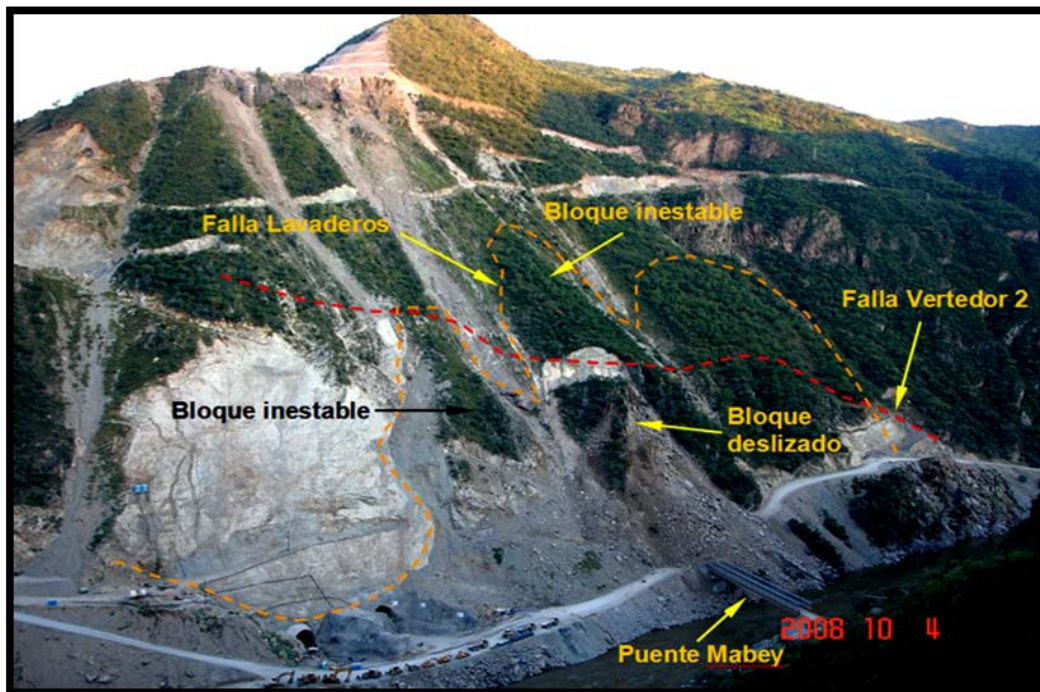


Figura 3.55. Vista del deslizamiento en la margen izquierda, bloques inestables sobre la falla Lavaderos (Marengo, 2008).

Fue necesario una campaña de instrumentación y el monitorio de los desplazamientos, así como un nuevo análisis geotécnico y geológico, que permitió dar seguimiento a la evolución de los desplazamientos de la masa de roca inestable y con ello apoyar las decisiones a tomar. **Figura 3.56.**



Figura 3.56. P.H. La Yesca – Instrumentación adicional en la Margen Izquierda (Marengo, 2008).

También se presentaron problemas de índole geológico en la margen izquierda que causaron impacto diversos que se reflejaron en el programa de construcción, obras extraordinarias e incrementos en las cantidades de obra.

Para los detalles sobre los aspectos de la contingencia geológica durante la construcción de La Yesca, como lo se puede consultar el Informe Técnico “Contingencia Geológica” elaborado por la CFE en abril de 2009, donde se exponen a detalle los sistemas de falla colapso e igualmente se concluye que la contingencia geológica de la margen izquierda no era previsible de detectar en los estudios de factibilidad y de ingeniería básica.

3.6.11. Medidas implementadas y Cambios de Proyecto

Como ya se comentó, como consecuencia de las contingencias geológicas se debieron implementar acciones que tuvieron como consecuencia incrementos de cantidad de obra, adecuaciones de proyecto y obras extraordinarias.

Para atender la contingencia geológica en la margen izquierda, se implementaron medidas, las cuales se enlistan de forma breve a continuación:

- Túnel crucero en las obras de desvío
- Masa inestable de la margen izquierda
- Suspensión de los trabajos de excavación de los túneles de entrada 1 y 2
- Excavación de la parte superior de la masa inestable (descopete)
- Monolito de concreto simple
- Túneles falsos
- Galerías de fricción, llaves de cortante
- Extensión de la pantalla de impermeabilización y drenaje de la falla Colapso
- Casquillos y relleno con concreto reforzado
- Muro – lumbrera de cortante
- Suspensión definitiva de los trabajos de excavación de las lumbreras para cierre provisional
- Suspensión de los trabajos de excavación de la lumbrera de cierre final
- Giro del eje de la cortina 14 grados
- Suspensión de la excavación de la galería GI-4
- Estructura de descarga de fondo
- Modificación del eje del cimacio de la estructura de compuertas del canal de descarga del vertedor

En lo que respecta a la margen derecha también se atendieron contingencias en las estructuras de obra de toma, la subestación, el túnel auxiliar al desfoque y principalmente la casa de maquinas.

Las medidas implementadas también se pueden consultar en el mismo Informe Técnico “Contingencia Geológica” emitido por la CFE en abril de 2009.

CAPITULO 4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

CAPITULO 4. MÉTODOS DE ANÁLISIS.

4.1. Investigación.

Como ya se planteó en el Segundo Capítulo de este trabajo, la gran importancia que tienen los Análisis de Riesgos y la diversidad de aplicaciones para la actividad que representa la Administración de Proyectos; se tomarán en cuenta dos puntos de suma importancia, que por sí solos justifican el desarrollo y aplicación de un Análisis de Riesgo: en primer término la mejora en la Estimación de Presupuestos y en segundo término el conjunto de información útil para la mejor toma de decisiones.

Una vez que se ha visualizado la utilidad de los Análisis de Riesgos, se presenta el siguiente aspecto que radica en la búsqueda de los métodos a aplicarse a problemas en específico. En esta búsqueda se debe determinar las características de los métodos a ser aplicados.

Se considera que una buena evaluación de riesgo, para empezar, debe ser un proceso racional centrado –en la medida de lo posible- en aspectos científicos, discerniendo entre la información conocida de la desconocida y dándole un tratamiento adecuado, ahora bien, debido a la diversidad de herramientas aplicadas al análisis de riesgo se debe dar un enfoque acorde a objetivos establecidos, como puede ser por ejemplo a la Estimación de Presupuestos.

En el presente capítulo se presentan tres métodos o herramientas para la Evaluación de Riesgos; cabe mencionar que cada uno de estos métodos requiere una estrategia específica para su aplicación, aunque pueden compartir aspectos básicos para perseguir un mismo objetivo.

En primer lugar se expone el Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Económica, la cual es una herramienta ampliamente utilizada y que la Comisión Federal de Electricidad ya implementa en sus procesos de evaluación y seguimiento a sus proyectos de inversión. En segundo lugar se presenta la Simulación con el Método Monte Carlo que es también una herramienta de análisis que a menudo es utilizada específicamente a los análisis de riesgo,

resulta una herramienta poderosa, como se podrá visualizar en capítulos posteriores. En último lugar, después de una búsqueda por métodos innovadores, se escogió para su aplicación el Modelo Administrativo y de Análisis de Riesgo de Programación Avanzada, APRAM por sus siglas en ingles (Advanced Programmatic Risk Analysis and Managment) que es un método desarrollado originalmente para su aplicación en misiones de la NASA, siglas en ingles de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (National Aeronautics and Space Administration).

En el caso del método APRAM, por ser una herramienta innovadora desarrollada por la industria aeroespacial, particularmente la NASA y cuyo eslogan es “Faster, Better-Cheaper”, que en castellano seria “Mas Rápido, Mejor y Económico”, cuyas misiones son caracterizadas por intentar una producción con sistemas de calidad y en la reducción de los costos en relación a enfoques tradicionales. En este sentido **Guikema (2007)** ha propuesto este método para el análisis de riesgo para la administración de proyectos de obra civil, dando un tratamiento particular por las condiciones de incertidumbre implícitas en la industria de la construcción, proyectos que implican frecuente cambios no contemplados y que finalizan frecuentemente en un incremento del costo final total del proyecto, de ahí también su importancia particularmente en la estimación de presupuestos.

También se debe estar consciente de las propias limitaciones, aunque la experiencia es importante, se debe evitar estimar los costos y presupuestos sin criterios que den rigor al juicio que se adopte y estar abiertos a incertidumbres que puedan surgir de zonas insospechadas.

Ya con la identificación de la incertidumbre, el paso siguiente es la reducción de las mismas. Para reducir las incertidumbres significativas se puede optar por la recopilación de datos adicionales, cuando una incertidumbre se identifica como significativa sin poderse reducir debe tenerse en cuenta en forma explícita, sin embargo, debe echarse mano de las herramientas para hacerles frente a dichas incertidumbres para la evaluación del riesgo y abatir las mismas dentro de las limitaciones de recursos disponibles (tiempo, dinero, personal, etc.).

Todo lo anterior deriva en un enfoque básico, pues cada disciplina aborda los problemas de una manera determinada, ya que los ingenieros piensan de una manera, mientras los economistas de otra, lo mismo se puede decir con relación a los biólogos y otros profesionales de otras disciplinas, sin embargo como puede verse la evaluación de los presupuestos a través de análisis de riesgos deriva de un concepto.

A continuación presento los métodos de análisis de riesgo, elegidos para aplicarse en capítulos posteriores al caso de los Proyectos Hidroeléctricos El Cajón y La Yesca, para realizar una discusión de los mismos al final del presente capítulo.

4.2. Análisis de Sensibilidad.

El análisis de sensibilidad o también llamado análisis de escenarios es un método muy práctico, en él se busca el resultado de la estimación sensible a varias consideraciones bajo condiciones de incertidumbre. Para ello se realiza la variación sistemática de los principales atributos (parámetros, variables, costos, cantidades, tiempo, niveles de producción, etc.) y de esta manera aprender los cambios potenciales y la respuesta a cada atributo. Un análisis de sensibilizar puede implicar el cambio de uno o la combinación de varios atributos a la vez.

En el caso de los proyectos de inversión un análisis de sensibilidad tiene la finalidad de mostrar las consecuencias y el impacto en la relación Costo - Beneficio (B/C) así como la Tasa Interna de Retorno (TIR) al modificar las variables que inciden en los costos o ingresos que inciden en el proyecto, como por ejemplo las tasa de interés, la tasa de descuento, la tasa de impuestos, los costos de la mano de obra, las materias primas, los tiempo de ejecución, etc., y la holgura con que se puede contar para la realización del proyecto ante eventuales cambios de las variables.

Un proyecto de inversión puede ser aceptable bajo condiciones previstas, sin embargo, podría no serlo en caso de cambios en las condiciones de mercado, una variación significativamente o bien por los ingreso. Este análisis se puede resumir en los valores de la TIR, las tasas de descuento, los incrementos de inversión, las duraciones adicionales de las actividades, que finalmente bajo ciertos criterios redundan en su aceptación o rechazo, incluso su reevaluación una vez que se han puesto en marcha para definir fronteras que implican decisiones sobre su culminación o bien suspensión.

Se pueden realizar variaciones individuales de cada una de las variables, o el caso incluso de variaciones simultaneas de dos o más variables (análisis polidimensional). Para dicha variación resultan valiosas las herramientas graficas para visualizar el comportamiento de los parámetros o variables de interés.

Como ejemplo, en la **Figura 4.1**, se puede observar la alta sensibilidad en la variación de la variable marcada en rojo, que puede representar el incremento en el presupuesto total y por otro lado también se puede observarse la poca sensibilidad a la variable en verde, que bien puede representar la variación de las tasa de interés.

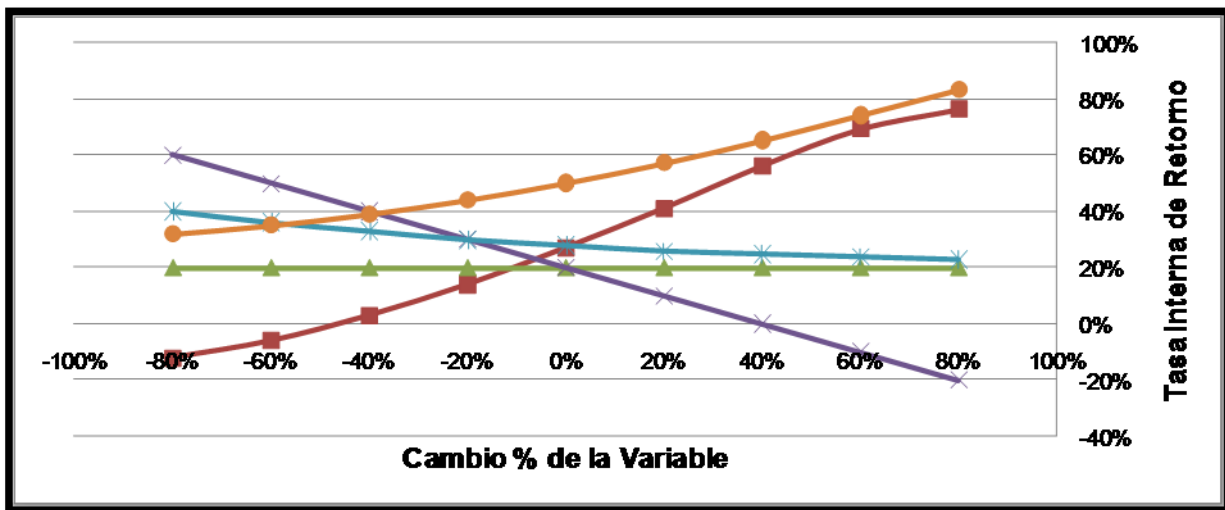


Figura 4.1. Grafica con un ejemplo de un análisis de sensibilidad.

Un modelo bidimensional corresponde al estudio de dos magnitudes que varían simultáneamente igual o en diferente proporción. Por ejemplo cual sería la relación Beneficio/Costo si aumentan o disminuyen las variables de Tasa Interna de Retorno, incremento de inversión y de duración adicional de actividades. Lo anterior se puede expresar en porcentaje, costos, tasas, relaciones, etc.

Los objetivos que se persiguen es determinar la conveniencia económica y financiera, una vez que se han hecho variar los parámetros de interés para obtener las nuevas Tasas Internas de Retorno, relaciones Beneficio/Costo o bien el comportamiento de los flujos netos de inversión, entre otros.

En los casos que conciernen al presente trabajo se hará énfasis en la variación de parámetros financieros, económicos, y periodo de construcción, con relación al incremento en el costo total del proyecto. Como punto de referencia se tiene la relación Beneficio/Costo la cual debe ser superior a la unidad para considerarse un proyecto factible económicamente. Para ello se establecen escenarios, que si bien pueden ser numerosos, en la práctica común se plantean escenarios optimistas, pesimistas y los más probables. Lo que si hay que tener presente es que este tipo de análisis no tiene que ser complejo y que los escenarios deber ser razonables de producir, los cuales también quedan abiertos a los escenarios de interés a criterio de los evaluadores para analizar comportamientos de utilidad.

Este tipo de análisis representa un estimador con el cual se puede evaluar con solidez e identificar componentes importantes para la determinación de los costos de un proyecto, en el cual se puede tener una gran confianza, así mismo determina atributos clave en la estimación de los costos, al evaluar ciertos escenario de interés, siendo tal vez de mas interés aquellos que presentan más incertidumbre. Como se puede ver el análisis de sensibilidad es un proceso deliberado y controlado.

En los casos que implican costos, cuando estos cambian sustancialmente -en función del escenario de interés- se puede necesitar hacer análisis adicionales para reducir la incertidumbre y así determinar los atributos clave de una estimación de costos, pues una menor variabilidad en la estimación de los costos brinda una sólida confianza.

Con relación a las ventajas y desventajas del análisis de sensibilidad, entre las principales ventajas está la posibilidad de analizar un sin número de escenarios de interés, aunque por otro lado la principal desventaja radica en que por lo general no se pueden obtener las probabilidades de cada caso analizado.

Incremento en el periodo constructivo (meses)	2	6	12
Incremento en el costo (%)	1.70%	5.10%	10.50%
VPN con una tasa real del 10% (miles de dólares de 2001)	121,041	111,114	91.261
B/C con una tasa real del 10%	1.31	1.28	1.22

Tabla 4.1. Ejemplo de tabla de sensibilidad al incremento en el periodo constructivo.

En primera instancia el análisis de sensibilidad puede ayudar a identificar los parámetros clave, variables y factores. Este tipo de análisis orientado prioritariamente a los costos a la estimación del presupuesto total de un proyecto; en un principio ayuda a identificar los parámetros clave de las variables; se puede identificar una importante fuente de incertidumbre o bien parámetros clave, si se identifica que una de las variables resulta significativa.

En primera instancia, al realizar este análisis, se intenta reducir la incertidumbre en los componentes identificados, y como ya se comentó, en caso de no poder eliminar se puede evaluar el impacto y considerar estas condiciones. Igualmente se puede evaluar el impacto

En general este método es una herramienta que permite identificar las variables importantes en la investigación y el efecto que produce en los presupuestos y en los programas de obra civil.

4.3. Simulación Monte Carlo

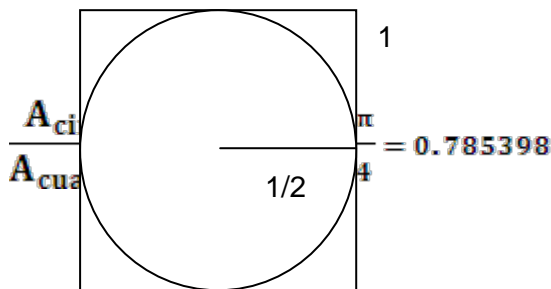
El origen de este Método es conocido extensamente, por un lado se llamo así en referencia al Casino de Monte Carlo, la capital del juego de azar, debido a la ruleta que es un generador simple de números aleatorios, el desarrollo sistemático del método data de 1944 y se ha desarrollado notablemente con el uso de las computadoras. La invención del método se asigna a Stanislaw Ulam y a John Neumann, destacando su desarrollo y uso como herramienta de investigación que proviene del trabajo realizado en el desarrollo de la bomba atómica, Proyecto Manhattan, durante la segunda guerra mundial en el Laboratorio Nacional de Los Álamos en Estados Unidos, donde se llevó a cabo la simulación de problemas

probabilísticos de hidrodinámica concernientes a la difusión de neutrones en el material de fisión, donde dicha fusión posee un comportamiento eminentemente aleatorio.

El método Monte Carlo fue fundamental para las simulaciones necesarias en el Proyecto Manhattan, aunque en su tiempo su aplicación estaba limitada por las herramientas de cómputo del momento. Cabe destacar que la técnica de simulación conocida como proceso Monte Carlo es una de las primeras referencias sobre simulación, aunque ya en la actualidad ambas se diferencian, siendo los procesos Monte Carlo un tipo específico de simulación.

Actualmente la simulación es una poderosa técnica para dar solución a problemas complejos de índole probabilístico, cuyo origen tiene la teoría de muestreo estadístico, para brindar mayor claridad, se presenta a continuación un ejemplo sencillo de los procesos estadísticos, y claro su interrelación, con los procesos de simulación:

Si se tiene un cuadrado con una unidad de longitud por lado y con una circunferencia inscrita:



Por medio de un ordenador se pueden obtener una serie de puntos al azar, generando aleatoriamente las diferentes coordenadas, en este caso las condiciones de todos los puntos son:

$$|x| \leq 1/2 : |y| \leq 1/2$$

Al generar 1'000'000 puntos, si se obtienen dentro del círculo aproximadamente 784'400 y 786'200, esta relación de puntos que caen dentro del círculo entre los puntos totales debe ser igual a la relación entre áreas.

$$0.78460 \leq \frac{A_{\text{circulo}}}{A_{\text{cuadrado}}} \leq 0.78620 \quad (\approx 0.1\% \text{ error})$$

Lo anterior demuestra que la generación de puntos al azar permite el cálculo de esta relación de áreas. Este ejemplo es sencillo, aunque sin aplicación práctica: permite demostrar la aplicación de métodos estadísticos a algunas propiedades de sistemas.

En el ejemplo se pueden lograr un modelo matemático simple para obtener la información exacta de interés, la cual es llamada solución analítica, sin embargo, la mayoría de los sistemas en el mundo real son mucho más complejos y frecuentemente no pueden ser evaluados analíticamente, estos sistemas se pueden estudiar mediante simulación, de forma que los resultados obtenidos representan una estimación de las características del sistema en estudio.

Para estudiar el comportamiento de un sistema, si el modelo es simple, es posible trabajar con cantidades, relaciones y obtener una solución analítica exacta. Ahora bien, otras veces obtener una solución analítica resulta complejo, en estos casos el modelo puede ser estudiado por medio de simulación, se dice que se ejerce el modelo numéricamente por medio de entradas para observar como son afectadas las medidas de salida.

4.3.1 Simulación.

Una simulación es una colección de iteraciones, ahora bien, para el caso que aquí conviene existe una diversidad de métodos de simulación que emplean el proceso Monte Carlo. Así mismo, se ha desarrollado software comercial y aplicaciones especiales para agregar capacidad al método para una diversidad de aplicaciones.

A continuación se presentan algunas definiciones de simulación:

“es la técnica de resolución de problemas siguiendo en el tiempo los cambios de un modelo de un sistema” **(Gordon, 1969)**

“el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con dicho modelo con el propósito de comprender el funcionamiento del sistema o de evaluar diferentes estrategias dentro de los límites impuestos por un conjunto de criterios para la operación del sistema” **(Shannon, 1975)**.

“el proceso de diseñar un modelo matemático o lógico de un sistema real y realizar una serie de experimentos con el ordenador sobre él para describir, explicar y predecir el comportamiento del sistema real” **(Naylor)**.

Actualmente la simulación es una poderosa técnica para la resolución de problemas, su origen se basa en la teoría del muestreo y análisis de sistemas físicos probabilísticos complejos, cuyo aspecto común entre ambos es el uso de números y muestras aleatorias para aproximar soluciones.

El modelo se entiende como la representación de un sistema, desarrollado con el propósito de estudiar dicho sistema. Dicho modelo debe contener los aspectos esenciales del sistema que representa. Las características que los modelos deben contener son las siguientes:

- Fáciles de entender.
- Deben ser simples, mas no sencillos.
- Ser una buena aproximación del sistema real, considerando el mayor número posible de aspectos que contribuyan de forma significativa al sistema.

Ahora bien cabe aclarara la diferencia entre un modelo determístico y los probabilísticos. En un modelo determinístico la salida es fijada una vez que se especifican las relaciones, cantidades y entradas, por ejemplo, un sistema de ecuaciones que describe un problema de física. Sin embargo, muchos sistemas contienen componentes aleatorios de entrada por lo que es necesario representarlos mediante modelos probabilísticos, cuya salida también es aleatoria, por estas circunstancias se les debe dar un tratamiento de carácter aleatorio para estimar las características del sistema.

Sin hondar en el aspecto de modelización y programación, destaco el aspecto llamado heurístico que es un rasgo característico de los humanos, como un arte y ciencia del

descubrimiento y la invención para resolver problemas mediante la creatividad y el pensamiento lateral o pensamiento divergente, aspecto que en ocasiones resulta definitivo a la hora de brindar soluciones a un problema.

Con relación a las ventajas y desventajas de una solución analítica, si bien las aplicaciones de la simulación son infinitas, para una diversidad de aéreas, representando una poderosa herramienta de análisis cuya aplicación va desde análisis de medios ambientales hasta análisis financieros y económicos. Ahora bien los modelos de simulación probabilísticos producen salidas que son aleatorias y por lo tanto deben ser tratadas como tales, pues son una estimación de las verdaderas características del modelo, lo cual representa una de las desventajas de la simulación

Shannon (1975), enumera las condiciones bajo las cuales se puede optar por la aplicación de simulación:

- No existe una formulación matemática del problema.
- Existe un modelo matemático, pero no métodos analíticos para dar solución al mismo.
- Existen el modelo y los métodos de solución, pero los procedimientos son tediosos, por lo que resulta más sencilla y menos costosa la simulación.
- Se desea observar en el tiempo una historia simulada del sistema.
- Se desea experimentar con un modelo antes de construir el sistema.
- Es imposible experimentar sobre el sistema real.
- Puede experimentarse sobre el sistema, pero motivos éticos lo impiden.
- Se quiere observar un sistema de evolución muy lenta, reduciendo la escala del tiempo.

El uso de modelos de simulación presenta ventajas, como ya se comentó, para describir sistemas complejos, para experimentar con sistemas que no existen o para experimentar con sistemas existentes sin alterarlos. Ahora bien: hay ocasiones que estos modelos resultan con una dificultad y una inversión importante de tiempo para su ejecución que pueden resultar grandes inconvenientes, dependiendo de cada caso, igualmente determinar la validez del modelo puede representar una gran dificultad.

En la actualidad, gracias al desarrollo de paquetes de software, se ha facilitado el estudio de sistemas de gran escala de tiempo, con el consecuente e importante abatimiento de los costos.

El método de Monte Carlo es especialmente útil para la simulación de sistemas con varios grados de libertad, aplicables a problemas como mecánica de fluidos, estructuras celulares, aplicaciones a ingeniería, etc. Se aplica en fenómenos cuyos modelos implican significativas incertidumbres, como los cálculos de riesgo en negocios. Tiene una importante aplicación en matemáticas para evaluar ecuaciones multidimensionales con integrales definidas en condiciones de frontera complicadas. Las simulaciones Monte Carlo se han aplicado con éxito en la exploración espacial y la exploración petrolera, para realizar predicciones sobre los sobrecostos, probabilidad de fracaso.

El método Monte Carlo es un método estadístico numérico, usado para aproximar expresiones matemáticas complejas y difíciles de evaluar con exactitud. Este método proporciona soluciones aproximadas a una gran variedad de problemas matemáticos, posibilitando la realización de experimentos con muestreo de números pseudoaleatorios, aplicables a una infinita cantidad de problemas, estadísticos o determinísticos. Esencialmente en un proceso de muestreo con el cual se generan valores aleatorios de una variable aleatoria, que describe una o más distribuciones de probabilidad, de esta forma se generan números de cualquier distribución dada con una frecuencia, la cual representa la probabilidad de ocurrencia en la población de donde deriva. Este proceso consta básicamente de dos etapas, en la primera se genera un valor aleatorio dentro del intervalo $[0,1]$ para posteriormente transformar dicho valor en un útil para el problema en cuestión.

El método Monte Carlo tiene la ventaja de evaluar el riesgo, no sólo brindar el valor más probable de las variables dependientes, sino también de sus distribuciones de probabilidad. Es posible incluir un número considerable de variables, todas las combinaciones proveyendo un método de análisis riguroso. Ahora bien, en virtud del teorema del límite central, se determina que el Método de Monte Carlo tiene un error absoluto de la estimación que decrece como $1/\sqrt{N}$, donde N representa el número de iteraciones del modelo.

Son diversas las ventajas de la Simulación Monte Carlo sobre análisis determinísticos, como ya se comentó, están los resultados probabilísticos que muestran lo que puede suceder, así como su probabilidad de ocurrencia; los gráficos que se pueden generar, cuya importancia radica en brindar una importante herramienta de comunicación; determinar las variables que tienen mayor influencia en los resultados; la correlación de las variables. En este método es importante tener en cuenta que las distribuciones de probabilidad de posibles resultados de las variables aleatorias, por lo general, es importante para la toma de decisiones, pues provee más información que un sólo valor esperado de las variables, por lo que no únicamente indica lo que puede suceder, sino la probabilidad de que suceda.

Como ya se comentó: los métodos Monte Carlo son útiles para la simulación de fenómenos que implican una incertidumbre y sistemas con grandes grados de libertad. En el ámbito de ingeniería este es ampliamente utilizado para análisis de sensibilidad y cuantitativa probabilística en el análisis de procesos, lo cual surge de la no linealidad de la conducta interactiva de las simulaciones de procesos.

4.3.2 Pasos para la simulación

A continuación se presenta una breve metodología, que servirá de guía para el proceso de simulación. La simulación es un proceso iterativo, con la secuencia de pasos para la formulación de un problema. **Figura 4.2.**

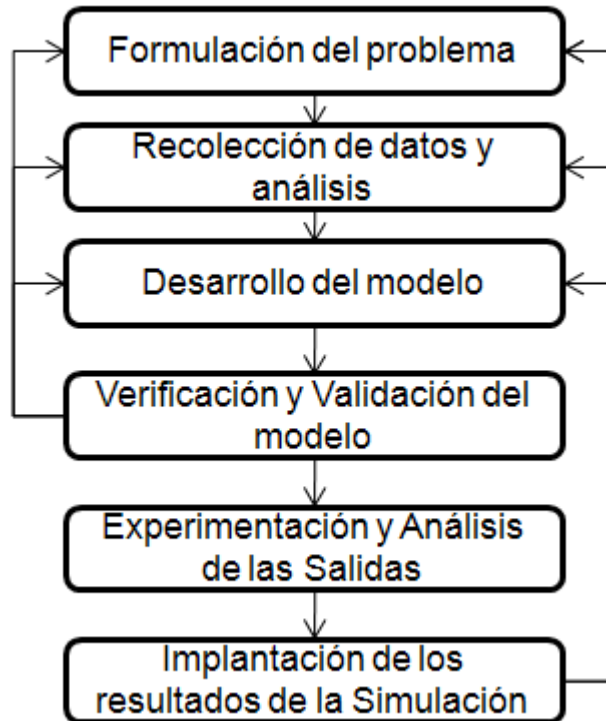


Figura 4.2. Pasos en la Simulación.

1. Formulación del problema

En este paso se define las variables implicadas, las medidas a seguir y en general se orienta a dar respuesta.

1.1 Identificación del Problema.

Es la abstracción del tipo de problema a tratar. La identificación de los recursos, se establecen las relaciones y requisitos que son exigidos.

1.2 Reconocimiento de las variables del sistema.

Se trata de identificar las variables que intervienen en el sistema, de interés para modelar.

Las variables pueden ser exógenas, estas se consideran las variables de entrada, son variables externas al modelo y son independientes a él.

Las variables endógenas, son variables internas y de salida, son función de las variables exógenas.

1.3 Restricción de las variables.

Se debe cuidar las restricciones de las variables de decisión, donde se define el espacio donde se buscara una buena solución y de ser posible la optima.

1.4 Estructura preliminar del modelo, interrelación de las variables del sistema y las medidas de ejecución.

La funciones objetivo representas las medidas que se pretenden optimizar, el punto consiste en identificar las medidas de comportamiento, considerando las restricciones.

Determinar las funciones objetivo dominantes, las cuales a menudo no se pueden optimizar simultáneamente

En este punto se persigue realizar una aproximación subjetiva para comenzar a establecer relaciones entre las variables en conflicto, igualmente restricciones y los rangos de valores aceptables con vías a la búsqueda de las mejores soluciones.

1.5 Desarrollo del modelo

Como ya se comentó, los modelos son abstracciones de sistemas. El interés radica en determinar las partes esenciales del sistema, si las variables especificadas con suficientes para describir el sistema, o bien si se han definido mas de las necesarias.

En este paso se pretende determinar el nivel de detalle del modelo deseado, el cual depende de los propósitos que se pretenden alcanzar y la profundidad del mismo o nivel de detalle.

2. Colección de datos y Análisis.

En este punto es importante establecer la facilidad de obtención y/o conversión de datos para su uso, los métodos a adoptarse, el número de muestras, establecer una relación costo/exactitud. Con el propósito de usar los datos en los modelos.

Los datos para definir los modelos pueden ser determinísticos o probabilísticos, estos últimos pueden ser usados en los modelos al ser representados por distribuciones de probabilidad que se comportan como las muestras.

3. Desarrollo del modelo.

Consiste en la depuración y construcción final del modelo que pretende representar el sistema real.

3.1 Comprensión del sistema.

Es una de las tareas más difíciles, pues se debe adquirir suficiente conocimiento del sistema para desarrollar un modelo apropiado y con ello conocer el comportamiento del sistema.

3.2 Construcción del Modelo.

Este paso está compuesto por tres tareas principales:

Elección del tiempo de simulación, la elección del lenguaje de programación y la generación de números y variables aleatorias.

4. Verificación y Validación del modelo.

Esta tarea consiste en ver cuál es la consistencia interna del modelo. Esta validación consiste en determinar la correspondencia entre el sistema real y el modelo.

Un modelo se considera válido si sus medidas de salida tienen correspondencia con las medidas del sistema real y como última prueba se evalúa si el modelo predice el comportamiento del sistema ante determinadas entradas.

5. Experimentación y Análisis de las salidas.

5.1 Experimentación con el modelo.

Sin olvidar que el propósito último de un modelo es obtener información acerca del comportamiento del sistema como ayuda en la toma de decisiones. Por lo que este paso consiste en explorar diferentes formas con vistas a encontrar mejores soluciones y optimizar.

En este paso se aplican técnicas estadísticas denominadas de análisis de varianza (ANOVA), para decidir cuáles factores tienen algún impacto en la salida, o bien si las suposiciones estadísticas satisfacen de forma razonable tal que puedan ser aplicadas en la experimentación del modelo. Diseño de experimentos.

5.2 Análisis de las salidas.

Consiste en la interpretación de las salidas del modelos, a diferencia de los modelos analíticos que proporcionan medidas de ejecución definidas, lo modelos de simulación producen estimaciones de estas medidas las cuales están sujetas a error.

Las salidas que arroja el modelo de simulación se consideran muestras. Esta muestra debe ser representativa del comportamiento del sistema y el tamaño de la muestra debe ser lo suficientemente grande para que las estimaciones logran el nivel de precisión. El tamaño de la muestra se define, pero la representatividad del comportamiento depende de la naturaleza de las cuestiones que tienen que ser contestadas por el modelo.

6. Implantación de los resultados de la Simulación.

Ya que se consideran resultados aceptables, aunque parece obvio, este paso es importante pues se debe realizar una implementación apropiada para lograr los beneficios a largo plazo, para ello es necesario una sólida comunicación y entendimiento por parte de los involucrados.

En este paso los esfuerzos deben vencer las resistencias al cambio, la consistencia entre el personal disponible y los objetivos marcados.

La idea básica del método consiste en escribir la integral requerida como el valor esperado de alguna función con respecto a una distribución de probabilidad, lo cual sugiere una solución estadística.

4.4. Modelo Administrativo y de Análisis de Riesgo de Programación Avanzada (APRAM).

El método APRAM fue seleccionado después de una investigación bibliográfica que se enfoco en localizar metodologías innovadoras para el Análisis de Riesgo con aplicación a la

Administración de Proyectos, con un enfoque a los proyectos de construcción de obras civiles que se caracterizan por su gran incertidumbre debido a los cambios de proyectos que sufren ya durante su etapa de construcción lo cual se plasma finalmente en el presupuesto. Recordando que el aspecto de la presupuestación e incremento del mismo, implica una gran complejidad, mas tratándose de hidroeléctricas de gran magnitud, como El Cajón y La Yesca, descritas en el capítulo anterior.

Guikema e Imbeah (2009) realizaron una investigación y análisis de diversas técnicas con aplicación a análisis de riesgo con una orientación a la Administración de Proyectos, tomando como criterios para su evaluación y comparación tres factores de riesgo: Riesgo en la Programación, Riesgo en la Presupuestario y Riesgo por Falla Técnica (calidad), en un marco coherente probabilístico para proveer información necesaria para dar soporte en escenarios de escasos recursos. Parte de su trabajo lo condensaron en una tabla donde se observan los aspectos que cubren cada una de estas técnicas:

Técnica de Análisis de Riesgo	Riesgo en la Programación	Riesgo en el Presupuesto	Riesgo en la Calidad
CASPAR (Wilmer 1991) – Computer Aided Simulation for Project Appraisal and Review	Sí	Sí	No
SRS (Mulholland y Christian 1999) Schedule Risk System	Sí	No	No
JRAP (Oztas y Okmen 2005) Judgmental Risk Analysis Process	Sí	No	No
(Dawood 1998) Estimatin Project and Activity Duration Using Network Analysis	Sí	No	No
(Minato y Ashley, 1998)-Data-Driven Analysis of Corporate Risk Using Historical Cost-Control Data	No	Sí	No
ERA (Mak y Picken, 2000) Estimating Using Risk Analysis	No	Sí	No
FMEA (Bouti y Kadi, 1994) Failure Modes and Effects Analysis	Sí	Sí	Sí
Georgy et al. 2005) Utility Funtions in Engineering Performance Assessment	No	No	Sí
PERT (Malcom et al. 1959; Kezner 2003) Program Evaluation and Review Technique	Sí	No	No

Tabla 4.2. Algunas Técnicas de Análisis de Riesgo y Riesgo por Programación (Imbeah y Guikema, 2009).

El Modelo Administrativo y de Análisis de Riesgo de Programación Avanzada por sus siglas en ingles APRAM (Advanced Programmatic Risk Analysis and Management), fue desarrollado por la industria aeroespacial, particularmente la NASA cuyo eslogan es “Faster, Better-Cheaper”, esto en castellano seria “Mas Rápido, Mejor y Económico”, cuyas misiones son caracterizadas por intentar una producción con sistemas de calidad y en reducir los costos en contraposición con los enfoques tradicionales.

Para la implementación del método APRAM en el presente trabajo se adopta la definición de **Guikema y Paté-Cornell (2001)**: *“riesgo/costo para el modelado de sistemas en los cuales la probabilidades de falla de un sistema decrece exponencialmente como lo hace la inversión del dinero para hacer el sistema más robusto y mejorara el desempeño”*, igualmente se realiza un modelo lineal de las probabilidades para compararlo con el modelo exponencial y observar el comportamiento de los sistemas.

El método está basado en sistemas de análisis y probabilidad para cuantificar las compensaciones de los riesgos técnicos y de gestión y con ello ayudar a los administradores a minimizar la probabilidad de falla del proyecto (**Dillon & Paté-Cornell, 2001**).

En el desarrollo de la metodología del APRAM, se considera que el riesgo en un sistema decrece conforme se incrementa la inversión, para hacer un sistema más robusto y mejorando el desempeño, sin embargo existen puntos de inflexión a partir de los cuales un incremento en el presupuesto no implica directamente un incremento considerable en la seguridad del proyecto, todo lo anterior conforme al criterio de los ingenieros encargados de la planeación y de proyecto, se pueden optimizar presupuestos, por lo que se puede mejorara el estado del arte con base en la experiencia de los proyectos ya culminados y aquellos actualmente en construcción.

El proceso del APRAM se divide en 7 fases que se explican brevemente a continuación y se exponen en la siguiente figura:

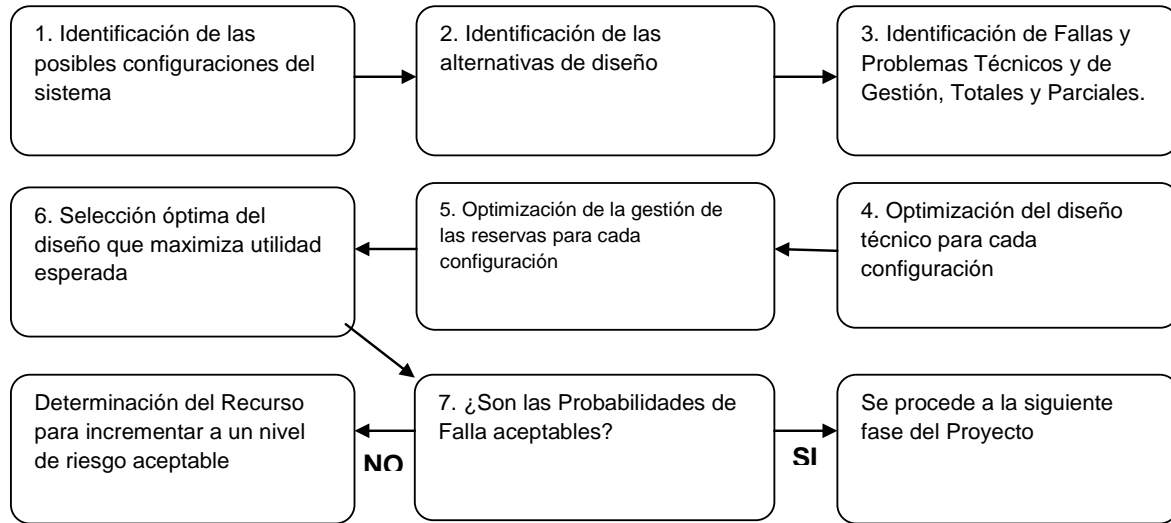


Figura 4.3. Metodología APRAM.

Fases de la metodología del APRAM:

1. Identificación de las posibles configuraciones del sistema.
2. Identificación de las alternativas de diseño.
3. Identificación de Fallas y Problemas Técnicos y de Gestión, Totales y Parciales.
4. Optimización del diseño técnico para cada configuración.
5. Optimización de la gestión de las reservas para cada configuración.
6. Selección óptima del diseño que maximiza utilidad esperada.

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los pasos anteriores de la metodología, cabe resaltar que la explicación está orientada al ámbito de la construcción de obra civil, que representa el ámbito de nuestro interés.

Identificación de las posibles configuraciones del sistema.

En este primer paso el APRAM identifica las posibles alternativas para el diseño del sistema. Para ejemplificar, lo anterior puede consistir en determinar el tipo de estructura como de acero, de concreto, madera, estructuras prefabricadas, etc.

Identificación de las alternativas de diseño.

En este paso se especifican componentes más a detalle, mayores proporciones. Este paso involucra una estimación preliminar de los costos para cada componente para cada

uno de los subsistemas de la construcción. Lo anterior puede consistir en especificar el tipo de cimentación, los acabados, techos, pisos, etc.

Identificación de Fallas y Problemas Técnicos y de Gestión, Totales y Parciales.

En este tercer paso consiste en identificar los mínimos costos de cada alternativa de diseño, la diferencia entre el mínimo costo por tipo de diseño, y el presupuesto total.

Optimización del diseño técnico para cada configuración.

A partir de este paso se involucra optimización de cada sistema, iniciando por el diseño técnico en general.

El presupuesto residual se refiere a la cantidad de dinero disponible para mejorar los elementos técnicos de las estructuras y para las reservas en la administración.

Para determinar el presupuesto residual (r) con la diferencia entre el presupuesto del proyecto (T_B) y el costo total de desarrollo de la construcción (Dev_{cost}).

Una porción del presupuesto residual puede ser usado para reforzar o mejorar capacidades técnicas de las estructuras que conforman el proyecto a construir y es llamado presupuesto técnico de refuerzo ($Tech_{rein}$) y puede ser expresado como:

$$Tech_{rein} = \alpha r$$

Donde α representa la fracción del presupuesto residual que puede usado para reducir los riesgos concebidos por falla técnica, cuyo rango puede variar desde cero hasta el presupuesto residual entero ($0 \leq \alpha \leq 1$).

En este paso involucra una optimización no lineal para determinar la fracción del presupuesto residual que minimiza la utilidad. En este caso la utilidad se refiere a la decisión o preferencia, en cuyo caso se asume que son reducidas los costo esperados por falla (E), o bien, otro criterio más general está basado el valor presente neto o utilidad esperada. El costo esperado por falla debido a fallas para el refuerzo técnico del presupuesto ($Tech_{rein}$) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$E = \sum_I (p(TTF_i | Tech_{rein}) C(TTF)) + \sum_J (p(PTF_j | Tech_{rein}) C(PTF))$$

Donde

$p(\text{TTF}_i/\text{Tech}_{\text{rein}})$ es la probabilidad de falla técnica total,

$p(\text{PTF}_i/\text{Tech}_{\text{rein}})$ es la probabilidad de falla parcial.

Se considera que la falla técnica parcial ocurre si se observan daños o defectos en ciertos aspectos de las estructuras construidas. Diferentes optimizaciones se realizan para diferentes valores de α para cada configuración con el fin de determinar la asignación óptima para el presupuesto de refuerzo técnico.

Optimización de la gestión de las reservas para cada configuración

Una vez que se han optimizado los diseños técnicos, se procede a calcular el presupuesto de contingencia de cada configuración y con base en ello optimizar cada configuración. En este paso se involucra los aspectos de presupuesto y programación.

Ya asignado el sistema técnico, la porción del presupuesto residual sería $(1-\alpha)r$ que se refiere a las reservas para la administración. Se puede hacer uso de análisis de decisiones para determinar el nivel óptimo de reservas para administración a través de árboles de decisiones, estas acciones están encaminadas para mitigar problemas. En el caso de la industria aeroespacial frecuentemente se usa un proceso de espiral, para una sucesiva detección y corrección de problemas, en contraste los proyectos de construcción de obra civil tiende a ser lineales sin contar con prototipos por lo tanto el descubrimiento y corrección de problemas ocurren durante la construcción y debe ser en forma lineal, con una consecuente compresión de asignación de tiempo en las actividades. Lo anterior tiene como consecuencia que el análisis por medio de árbol de decisiones resulta menos relevante en la actividad de construcción lo cual modifica este aspecto original en el modelo del APRAM para resolver y optimizar; y se abre la oportunidad para realizar esta parte del análisis atendiendo otras metodologías con el fin de resolver el problema no lineal.

Aún cuando fuera posible, la asignación de una fracción de las reservas para la administración para cada problema administrativo. Por lo tanto el costo esperado de falla para cada asignación de reservas para administración se obtiene como:

$$E = \sum_i (p(TMF_i | Mgmt_{res}) C(TMF)) + \sum_j (p(PMF_j | Mgmt_{res}) C(PMF))$$

Donde:

$p(TMF_i | Mgmt_{res})$ es la probabilidad de falla administrativa total,
 $p(PMF_j | Mgmt_{res})$ es la probabilidad de falla administrativa parcial,

Una falla por administración total ocurre si el proyecto es cancelado debido a un presupuesto substancial o un rebasamiento de la programación; se considera que ocurre una falla administrativa parcial si el proyecto ha sido rebasado pero no al grado para cancelarse el proyecto

$C(TMF)$ = costo de una falla administrativa total;
 $C(PMF)$ = costo de una falla administrativa parcial;

Las optimizaciones se realizan para cada valor de α para cada configuración. Como ejemplo se muestra los resultados de optimización de los presupuestos de reserva refuerzo técnico y administrativo en una aplicación a construcción de obras civiles, diversas configuraciones.

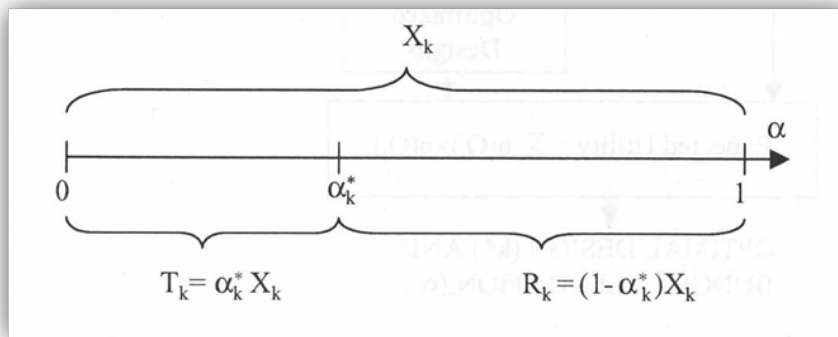


Figura 4.4. Asignación óptima del presupuesto residual para un proyecto y configuración, que maximiza la utilidad esperada.

Finalmente se trata el problema de la optimización de un problema no lineal, que retroalimenta los pasos anteriores, se trata de un proceso iterativo. Por ejemplo el cambio de material o diseño de una cimentación sugiere el incremento en su durabilidad y consecuentemente abatiendo el nivel de riesgo redefine el nivel de costo total de la configuración, se puede observar que es un proceso iterativo. En este paso final de las

opciones de diseño y presupuestos respectivos, se determina el nivel de riesgo de cada alternativa y que tanto se necesita incrementar el presupuesto para reducir el riesgo a un nivel aceptable.

Este paso final involucra la integración de las dos optimizaciones, técnica y administrativa, con el propósito de identificar y optimizar el presupuesto residual, esto es, se determina la fracción de α del presupuesto residual que maximiza la utilidad. Este paso permite seleccionar la mejor alternativa para minimizar el costo esperado de falla.

Es necesario especificar el orden en los cuales la ocurren la falla técnica y la administrativa en este punto: como se puede visualizar, una falla técnica puede ocurrir sólo después que las estructuras han sido construidas, por ello una falla administrativa – parcial o total- ocurre primero.

En este sentido un árbol de decisiones sirve para identificar el orden en el cual la falla puede presentarse para cada alternativa.

Niveles aceptables de falla, incremento total del presupuesto del proyecto.

En este sentido, la decisión consiste en determinar qué tanto del presupuesto total tiene que ser incrementado para lograr los niveles esperados de riesgo, así mismo, un análisis puede realizarse para determinarse como es sensible el costo de falla esperado a los cambios. Los diferentes valores de α son optimizados, del refuerzo técnico y administrativo al presupuesto, para reducir el costo esperado de falla.

Se muestra a continuación un ejemplo, donde se observa la utilidad de las graficas, para inferir las probabilidades de fallas parcial o total técnica para cada presupuesto y contraponerlos con los niveles aceptables.

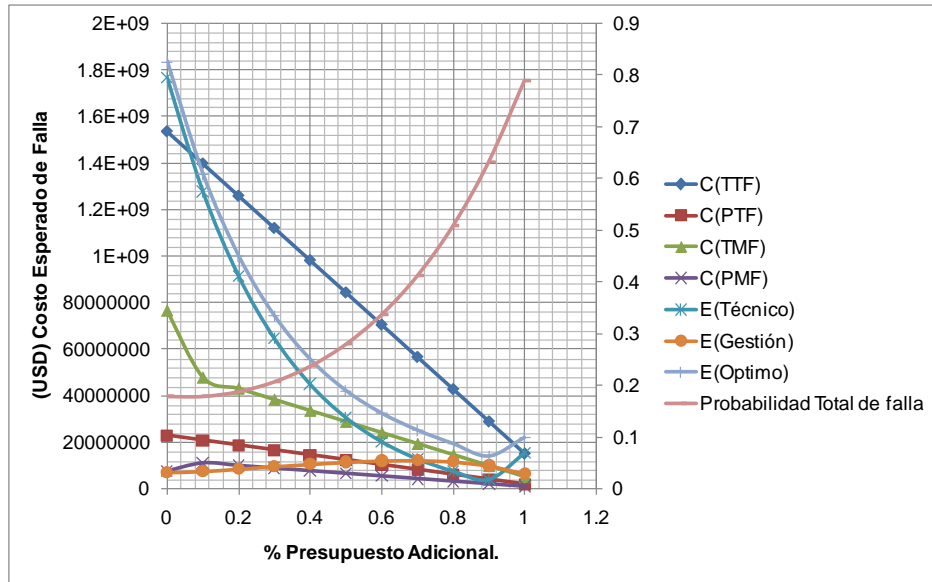


Figura 4.5. Grafica de ejemplo, costos esperados de falla vs. presupuesto total del proyecto.

También se pueden construir tablas concentrando los costos totales de falla asociado a las sus probabilidades de ocurrencia, como ejemplo se presenta la **Tabla 4.3**.

CONFIGURACION	COSTO DE FALLA	PROBABILIDAD DE FALLA PARCIAL POR GESTION (PMF)	PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL POR GESTION (TMF)	PROBABILIDAD DE FALLA PARCIAL TECNICA (PTF)	PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL TECNICA (TTF)
Construcción Convencional	\$550'000	0.008	0.015	0.390	0.385
Construcción de Estructura Ligera	\$470'500	0.010	0.005	0.555	0.170
Construcción con Estructuras de Acero	\$630'000	0.014	0.010	0.235	0.120

Tabla 4.3. Ejemplo de Costos estimados de falla para diversas configuraciones.

Cabe aclarar que la descripción del método APRAM, tiene un fundamento matemático riguroso que no se presenta a detalle en el presente trabajo, para los interesados se sugiere consultar la bibliografía para una mayor comprensión (**Dillon & Paté Cornell & Guikema**,

2003) (Guikema & Paté Cornell, 2002). Donde se discuten diversos métodos de optimización no lineal para satisfacer las condiciones Karush-Kuhn-Tucker para optimizar Lagrangianos. Sin embargo, el criterio simple que se usa aquí sirve para demostrar el enfoque y en es razonable en muchas situaciones **(Imbeah & Guikema, 2009).**

El método APRAM, como ya se mencionó, se desarrolló originalmente para la industria aeroespacial donde es posible un proceso de detección y corrección sucesiva de errores, generando con nuevas versiones del prototipo o sistema en desarrollo, sin embargo, la industria de la construcción se caracteriza por realizar la corrección de los problemas durante la construcción en un proceso lineal. Por ello se han adoptado las modificaciones al método APRAM original, propuestas por **Imbeah & Guikema (2009)**, que básicamente consisten en adaptar el árbol de decisiones para lograr un sistema de optimización más estático para la asignación de reservas de gestión, con el fin de obtener una herramienta práctica de decisión para los encargados de dirigir la construcción de los proyectos y con ello puedan usar para asignar los recursos para mejorar las posibilidades de éxito.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Ahora bien, antes de la implementación del APRAM se debe seguir una metodología de investigación enfocada a recabar la información necesaria y más relevante del Método. Estos pasos consisten básicamente de la siguiente:

Para la efectividad en la dirección y desarrollo de un proyecto, es importante dividir el proyecto en partes identificables sin ambigüedades para definir los trabajos para lograr un control que mejore el rendimiento para lograr los objetivos previamente definidos objeto del proyecto. Es esencial para cada parte identificable ser lo suficientemente definido para lograr que el trabajo sea medible, presupuestable, programable y administrado.

4.5. Discusión de los Métodos.

Como ya se comentó la evaluación de riesgos no es una ciencia, sin embargo, en la medida de lo posible se debe enfocar en esta de una forma racional y haciéndola intervenir dentro de sus procesos. Ahora bien, el encargado de evaluar los riesgos necesita pensar con el objetivo de brindar un enfoque con un consenso general de cómo proceder.

Desde métodos sencillos como el árbol de decisiones hasta métodos más complejos como el método Monte Carlo, deben presentar un enfoque estructurado para evaluar el riesgo.

En este apartado se realizara una breve discusión de los tres métodos expuestos en este capítulo, sintetizando la utilidad de cada uno de ellos y exponiendo sus pros y contras.

En este capítulo se han expuesto tres métodos para la evaluación del riesgo. El Análisis de Sensibilidad, el Método Monte Carlo y el APRAM., para su posterior aplicación a casos reales.

En el caso del Análisis de Sensibilidad, es una herramienta extensamente usada para la estimación de costos. La simulación Monte Carlo es una herramienta frecuentemente usada con una infinita aplicación. Por último, el APRAM representa un esfuerzo para el desarrollo de herramientas y métodos con una orientación hacia la Evaluación del Riesgo como eje para la Administración de Proyectos.

Con el fin de no redundar en la descripción de los métodos descritos en el presente capitulo, a continuación se presenta un resumen con las ventajas y desventajas de los métodos propuestos. **Tabla 4.4.**

METODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ANALISIS DE SENSIBILIDAD	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se pueden analizar un sin número de escenario de interés. 2. Se puede identificar una importante fuente de incertidumbre o parámetro clave si uno de las variables resulta en un resultado significante. 3. Permite identificar los parámetros clave de las variables. 4. Se puede intentar reducir la incertidumbre en los componentes identificados. 5. Evaluar el impacto de efectos acumulados de varios factores. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Por lo general no se tienen las probabilidades de cada caso o escenario. 2. Para la selección de escenarios, la intuición provee una pobre base para la administración de riesgo, en el caso de proyectos complejos, especialmente si se consideran el aspecto de compensaciones. 3. Con sólo unos pocos resultados, en los análisis es más difícil ver las variables que más afectan el resultado. 4. Resulta muy difícil modelar diferentes combinaciones de valores de diferentes valores de entrada, con el fin de ver los efectos de situaciones verdaderamente diferentes, en el análisis de cada escenario.
SIMULACION MONTE CARLO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es un método directo y flexible. 2. Permite obtener una aproximación cuando el modelo matemático es demasiado complicado o bien no tienen solución analítica. 3. Permite experimentar sin interferir con el mundo real. 4. Permite estudiar la interacción entre las variables del problema. 5. Se puede obtener las probabilidades de ocurrencia de cada escenario. 6. Todos los resultados posibles pueden ser analizados 7. Se pueden obtener las distribuciones o histogramas de los fenómenos estudiados 8. Es posible incluir un gran número de variables, las variables independientes pueden ser consideradas 9. Permite modelar relaciones interdependientes entre diferentes variables de entrada, esto es la correlación de las variables de entrada. 10. Permite ver más fácil ver qué variables introducidas tienen mayor influencia sobre los resultados finales, sensibilidad de las variables. 11. El analista pueden ver exactamente los valores que tienen cada variable y cuando se producen ciertos resultados. Lo cual auxiliar en caso de profundizar en el análisis. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La dificultad para obtener las distribuciones de probabilidad de las variables aleatorias y la generación de estimadores insesgados. 2. La lentitud de convergencia puede ser lenta, depende de la relación σ/\sqrt{N}, esto es, para acelerar la convergencia o se disminuye el valor σ o se incrementa el número de trayectorias. 3. y tiempos de computo muy grandes. 4. El método se basa en conceptos estadísticos, por ello el resultado no es único, sino una estimación con un intervalo de confianza, por ello una desventaja es la magnitud del error obtenido asociado con el resultado. 5. No genera soluciones óptimas globales. 6. Resuelve el problema mediante aproximación para unas condiciones iniciales.
APRAM (MODELO ADMINISTRATIVO Y DE ANALISIS DE RIESGO DE PROGRAMACION AVANZADA).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Puede ser usado para la Administración de Riesgos en Proyectos considerando costo, tiempo y calidad simultáneamente. 2. Puede usarse para determinar el costo esperado de falla y reducir los costos esperados para optimizar la asignación del presupuesto residual. 3. Puede aplicarse desde etapas tempranas del desarrollo de un proyecto, para el análisis de las distintas configuraciones del mismo o dicho de otro modo maximizar la función objetivo. 4. Permite simultáneamente evaluar el riesgo considerando las variables presupuesto, programación y calidad. 5. La metodología tiene un fundamento matemático, específicamente para la optimización en la programación lineal. 6. Es una herramienta útil para analizar riesgos en construcción de proyectos. 7. Este esquema provee una enfoque proactivo al realizar las compensaciones en escenarios de escasos recursos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Trabaja mejor cuando están integrados los aspectos de diseño construcción, desde etapas tempranas en el desarrollo de un proyecto. 2. Se requiere proveer de información al modelo desde la fase de ingeniería conceptual para aprovechar los beneficios del método. 3. Al igual que otras herramientas de administración de proyectos, se dificulta su aplicación en la medida que crece el tamaño del mismo. 4. No considera el factor de accidentes -seguridad- durante la construcción, que pueden provocar retrasos o hasta la suspensión o del proyecto. 5. En la práctica no siempre se pueden manejar todos los tipos de falla técnica o por administración con el uso de dinero. 6. Asume que el equipo es competente y no aborda las cuestiones de falta de juicio o de formación por parte de los evaluadores. 7. En el caso de la industria de la construcción, no puede aprovechar la bondad del método original del proceso iterativo de detección y corrección de errores de prototipos o sistema en desarrollo.

Tabla 4.4. Ventajas y Desventajas de los Métodos de Análisis de Riesgo (Análisis de Sensibilidad, Monte Carlo y APRAM).

CAPITULO 5. APLICACIÓN A CASOS PRÁCTICOS

CAPITULO 5. APLICACIÓN A CASOS PRÁCTICOS

El objetivo de este capítulo es aplicar los métodos de Análisis de Riesgo expuestos en el capítulo pasado, a los casos reales de El Cajón y La Yesca, últimos Magnos Proyectos Hidroeléctricos construidos en México, que representan la reactivación en la construcción de este tipo de obras en nuestro país.

En este capítulo se presenta el corazón del trabajo de tesis, el cual pretende aprovechar la oportunidad de analizar dos Magnos Proyectos que comparten diversas características, como se pudo apreciar en el capítulo tercero, por una parte la Central Hidroeléctrica El Cajón recientemente puesta en operación en el año 2007 y por otro lado el Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, actualmente en construcción, para determinar el comportamiento de dichos proyectos y establecer los puntos críticos a cuidar durante todas las fases de desarrollo de los mismos, pues el impacto de las decisiones en las distintas fases del proyecto en relación al costo de las correcciones necesarias varían en general como se observa en la **Figura 5.1**.

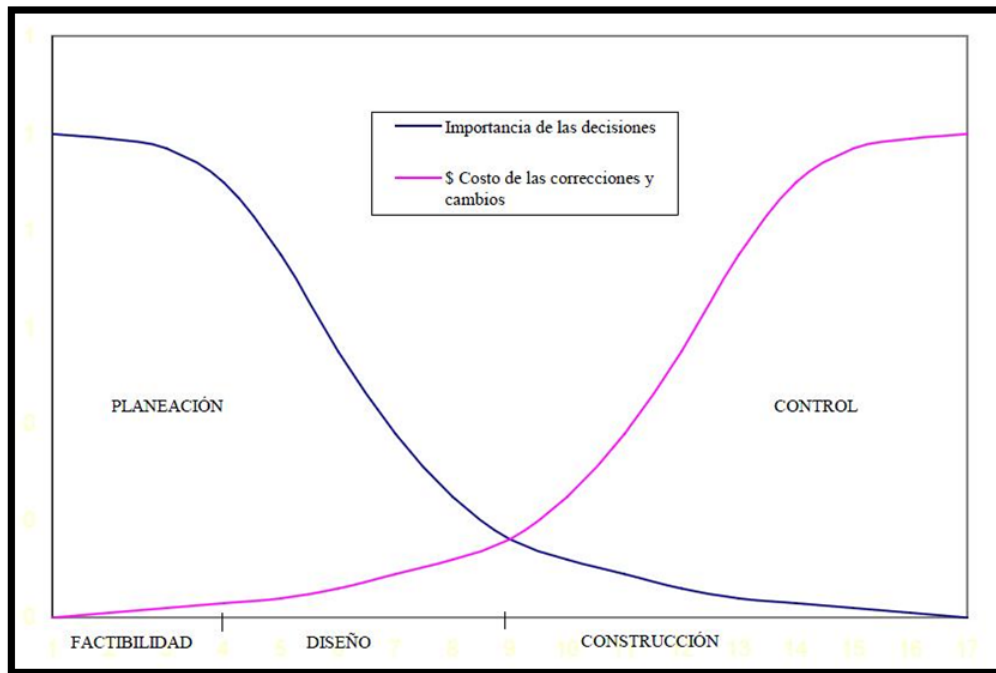


Figura 5.1. Importancia de las decisiones y el costo de las correcciones en las distintas fases de un proyecto (PMBOK® Guide, 2000 Edition – Project Management Institute).

Para realizar el Análisis, en principio se tiene la idea clara de lograr una serie de modelos sencillos -más no simples-, para determinar el comportamiento de los proyectos y establecer los puntos críticos a cuidar durante todas las fases de desarrollo de los mismos. Lo anterior representa un reto importante, pues citando el libro “El fracaso de la Gestión de Riesgos” de Douglas W. Hubbard *“tu mayor riesgo es que tus métodos de gestión de riesgos probablemente no funcionen”*. De lo anterior la importancia en la crear modelos que reflejen adecuadamente la realidad.

La prioridad de cada criterio a utilizar depende de la industria que se trate, así como del proyecto en particular, pues existen proyectos donde la seguridad resulta primordial; como lo pueden ser los proyectos de ferrocarriles, puertos, presas, aeronáutica civil.

Como ya se pudo ver en el diagrama del paradigma de desempeño, presentado en el capítulo segundo, en los proyectos el aspecto costo en conjunto con el aspecto tiempo, regularmente resultan los de mayor prioridad en el ámbito de la gestión de un proyecto, dejando la cuestión de calidad subordinada a las dos anteriores, sin olvidar el aspecto de seguridad íntimamente inmerso en todo proyecto, cuestión más que obvia en el caso de la construcción de presas que implican desde riesgos financieros, hasta la integridad de la población civil que en primer término son los beneficiarios de estos proyectos

5.1 Proyecto Hidroeléctrico El Cajón

5.1.1 Estructura Desglosada de Trabajo (WBS)

Para la efectividad en la dirección del desarrollo de un proyecto, es importante dividir el proyecto en partes identificables para definir los trabajos y con ello obtener un control que mejore el rendimiento para lograr los objetivos previamente definidos del proyecto. Es esencial para cada parte identificable ser lo suficientemente definido para lograr que el trabajo sea medible, presupuestable, programable y administrado.

De forma cotidiana se hace uso de las siglas en WBS, para identificar la Estructura Desglosada de Trabajo, por lo que en este trabajo se continuara con esta práctica común.

Para el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón (P.H. El Cajón) se estableció el siguiente WBS:

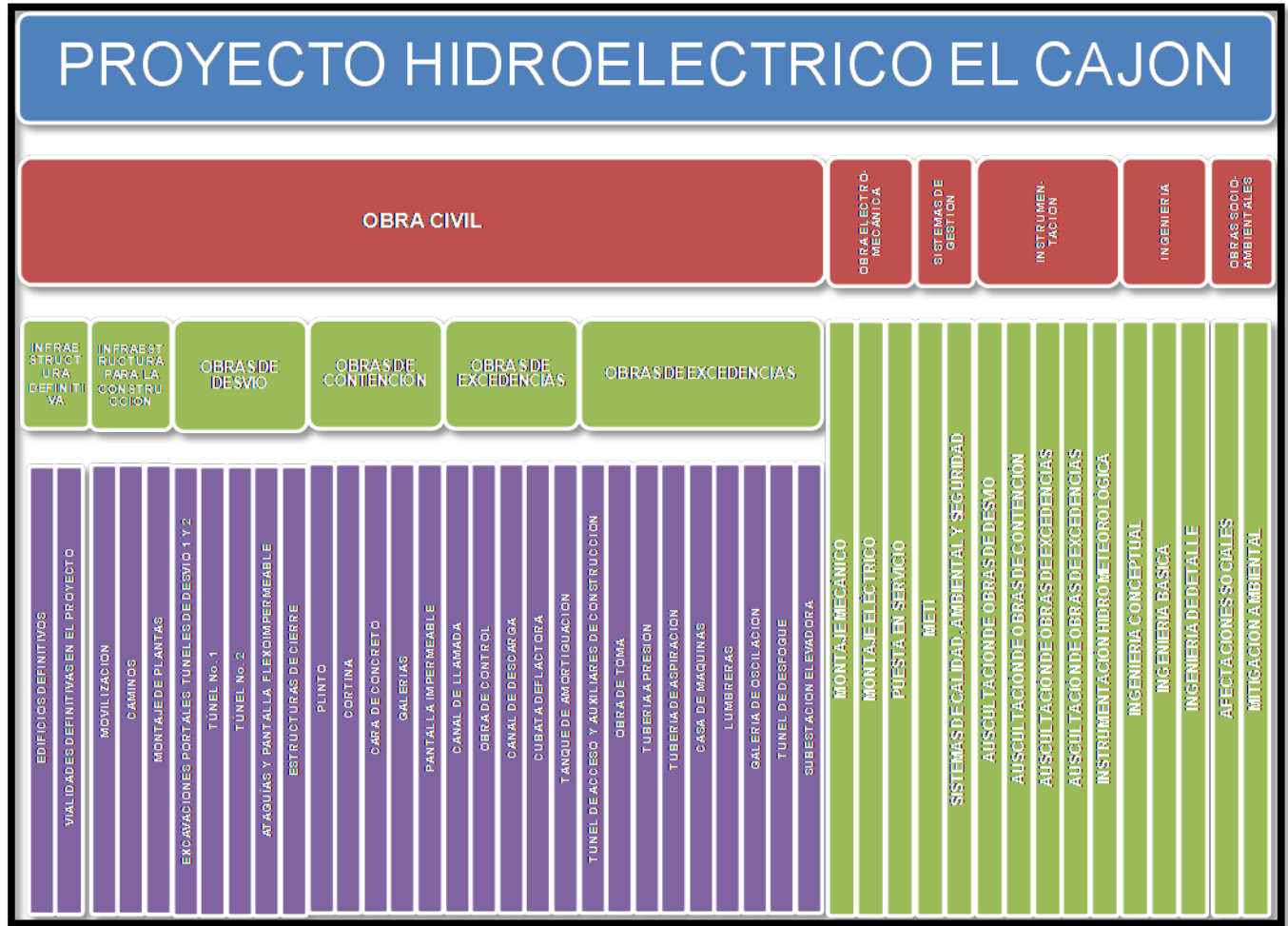


Figura 5.2. P.H. El Cajón – WBS.

Siguiendo una recomendación en la práctica común para la elaboración de un WBS, esta estructura jerárquica se acota hasta un tercer nivel. En el WBS del Cajón una de las principales partidas corresponde a la Obra Civil en un primer nivel constituida en un segundo nivel por las Obras de Desvío, Contención, Generación Excedencias y Asociadas que finalmente se subdividen en las Estructuras Particulares como lo pueden ser las Ataguías, Túneles de Desvío y Estructuras de Cierre, entre otras; estas últimas estructuras es sobre las cuales se quiere lograr un control del sistema, como ya se acotó.

5.1.2 Presupuesto

Como ya se expuso en el tercer capítulo, se contó con la oferta Económica del Contrato PIF-005/03, oferta ganadora para la Construcción del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón. A

continuación se presenta el presupuesto de forma ordenada y desglosado por las principales partidas de siguiendo la estructura establecida en el WBS del Proyecto.

CONCEPTOS	COSTOS EN USD		
	PRECIO ALZADO	PRECIO UNITARIO	TOTAL
I. Y II. CONCEPTOS MECÁNICOS Y ELECTRICOS	159,303,893.94		159,303,893.94
I. CONCEPTOS MECÁNICOS	74,694,054.39		74,694,054.39
II. CONCEPTOS ELÉCTRICOS	84,609,839.55		84,609,839.55
III.1 OBRA DE DESVIO	44,255,629.31	24,988,514.62	69,244,143.93
III.1.1 ATAGUÍAS	11,384,072.19	3,082,378.01	14,466,450.20
III.1.2 PORTALES (SECCIÓN INFERIOR)	1,736,238.15	111,751.84	1,847,989.99
III.1.3 TÚNELES DE DESVIO	25,982,022.72	19,904,236.83	45,886,259.55
III.1.4 ESTRUCTURAS DE CIERRE FINAL Y PROVISIONAL	5,153,296.25	1,890,147.94	7,043,444.19
III.2 OBRA DE CONTENCIÓN	184,414,909.76	22,605,357.76	207,020,267.53
III.2.1 CORTINA	152,458,846.99	16,153,228.66	168,612,075.65
III.2.2 GALERÍAS	7,081,340.72	1,112,691.71	8,194,032.42
III.2.3 TRATAMIENTOS DESDE LAS GALERÍAS	198,075.00	329,757.72	527,832.72
III.2.4 PANTALLA IMPERMEABLE	2,712,793.48	5,009,679.67	7,722,473.15
III.2.5 INSTRUMENTACIÓN DE LA CORTINA	16,313,383.44		16,313,383.44
III.2.6 INSTRUMENTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DE LA CUENCA	5,650,470.14		5,650,470.14
III.3 PLANTA HIDROELÉCTRICA	92,607,435.12	15,906,922.18	108,514,357.29
III.3.1 CANAL DE LLAMADA DE LA OBRA DE TOMA	7,720,646.88	606,454.55	8,327,101.43
III.3.2 ESTRUCTURA DE CONTROL	5,861,994.94	11,197.20	5,873,192.14
III.3.3 CONDUCCIONES A PRESIÓN	34,875,885.51	3,297,331.12	38,173,216.63
III.3.4 CASA DE MÁQUINAS	22,383,471.43	2,362,093.32	24,745,564.75
III.3.5 TÚNEL DE ASPIRACIÓN	3,911,488.65	1,234,266.39	5,145,755.04
III.3.6 GALERÍA DE OSCILACIÓN	5,101,617.04	1,850,374.52	6,951,991.57
III.3.7 DESFOGUE	6,063,596.35	6,545,205.07	12,608,801.42
III.3.8 TÚNELES DE ACCESO A CASA DE MAQUINAS Y GALERÍA DE OSCILACIÓN	6,688,734.32		6,688,734.32
III.4 OBRAS DE EXCEDENCIAS	106,058,690.78	2,272,278.03	108,330,968.82
III.4.1 CANAL DE LLAMADA	30,496,918.58	819,948.63	31,316,867.21
III.4.2 ESTRUCTURA DE CONTROL	23,572,774.37	690,902.24	24,263,676.61
III.4.3 CANALES DE DESCARGA	51,988,997.84	761,427.16	52,750,425.00
III.5 SUBESTACIÓN ELEVADORA	5,350,395.66		5,350,395.66
III.5.1 SUBESTACIÓN ELEVADORA (OBRA CIVIL)	4,547,416.03		4,547,416.03
III.5.2 EDIFICIO DE CONTROL (OBRA CIVIL)	802,979.63		802,979.63
IV. OBRAS ASOCIADAS	91,785,460.76		91,785,460.76
IV.1 EDIFICIOS PARA OPERACIÓN	4,587,235.86		4,587,235.86
IV.2 OBRAS AMBIENTALES	16,585,737.71		16,585,737.71
IV.3 VIALIDADES DEFINITIVAS	26,376,731.88		26,376,731.88
IV.4 CAMINOS Y PUENTES	26,302,930.07		26,302,930.07
IV.6 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	5,003,707.62		5,003,707.62
IV.7 SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	7,109,190.11		7,109,190.11
IV.8 MODELO ELECTRONICO TRIDIMENSIONAL INTELIGENTE	5,819,927.51		5,819,927.51
TOTAL GENERAL	683,776,415.34	65,773,072.59	749,549,487.93

Tabla 5.1. P.H. El Cajón – Presupuesto del Proyecto, Precio Alzado y Precios Unitarios, ordenado por partidas principales.

Los presupuestos de estos proyectos, como ya se expuso, al tratarse de Contratos Mixtos constan de una parte de la oferta a precio alzado y otra de la misma contemplada a Precios Unitarios, que en conjunto acumulan más de 500 precios por Proyecto.

Con base en el Principio de Pareto se procedió a realizar el análisis de los presupuestos tanto del Cajón como de la Yesca, para determinar la validez de dicho principio se procedió a clasificar los conceptos en los siguientes rubros:



Figura 5.3. Conceptos propuestos para corroborar el Principio de Pareto.

Después de un trabajo arduo para obtener las bases de datos de los precios de cada uno de los proyectos en cuestión, de la oferta original así como de la real, se pudo comprobar la validez del Principio de Pareto, cabe aclarar que en estos análisis no se incluyó el incremento en el costo del acero, el cobre y el aluminio (en el caso del Cajón ascendió a \$ 42,153,613.55 USD para el acero y \$ 1,632,900.16 USD para el cobre y aluminio), pues se considera que este incremento es de índole económico y se puede analizar con métodos de otra índole, lo cual no se pretende dar alcance en el actual trabajo, pero al no ser ajeno a este tipo de factores el incremento de un presupuesto se puede considerar para enriquecer el trabajo a futuro.

El análisis para determinar la validez del Principio de Pareto al caso del P.H. La Yesca se presenta más adelante en su subcapítulo correspondiente, el análisis del P.H. Cajón se muestra a continuación en las **Tabla 5.2** y las **Figura 5.4** y **Figura 5.5**.

P.H. EL CAJÓN (Dolares)					
TIPO DE CONCEPTO	ORIGINAL			REAL	
(PARETO)	MONTO	%	% Acumulado	MONTO	%
CONCRETOS	160,723,749.83	21.44%	21.44%	189,763,532.23	22.80%
ENROCAMIENTO	125,156,631.19	16.70%	38.14%	129,172,699.91	15.52%
ELECTRICO	84,609,839.55	11.29%	49.43%	81,731,412.81	9.82%
MECANICO	74,694,054.39	9.97%	59.39%	72,740,388.48	8.74%
EXC.CIELO ABIERTO	61,472,857.52	8.20%	67.59%	73,032,602.81	8.77%
EXC.SUBTERRANEA	37,624,118.37	5.02%	72.61%	40,180,670.40	4.83%
INFRAEST.DEFINITIVA	30,280,805.74	4.04%	76.65%	30,274,078.65	3.64%
CAMINOS Y PUENTES	26,302,930.07	3.51%	80.16%	30,586,266.66	3.67%
BLINDAJE TUBERIA	26,301,480.07	3.51%	83.67%	26,301,480.07	3.16%
INSTRUMENTACION	21,963,853.58	2.93%	86.60%	22,938,161.86	2.76%
CALIDAD	17,932,825.25	2.39%	89.00%	19,991,695.52	2.40%
INFRAEST.CONSTRUC.	17,300,290.05	2.31%	91.30%	18,041,930.02	2.17%
TRATAMIENTOS	17,214,568.05	2.30%	93.60%	19,136,491.60	2.30%
ESTRUC.METALICA	13,277,170.49	1.77%	95.37%	14,554,029.39	1.75%
FILTROS	11,259,454.28	1.50%	96.87%	12,472,415.14	1.50%
BARRENACION	6,783,067.01	0.90%	97.78%	9,433,661.08	1.13%
INYECCIONES	6,692,607.29	0.89%	98.67%	9,347,344.33	1.12%
OTROS	3,106,066.15	0.41%	99.09%	12,439,247.27	1.49%
PANTALLA PLAST.	2,468,472.89	0.33%	99.42%	2,035,761.01	0.24%
JUNTA PERIMET.C.C.	1,722,278.48	0.23%	99.64%	1,788,645.36	0.21%
MATERIAL N	1,548,601.89	0.21%	99.85%	1,493,301.63	0.18%
PRUEBAS PERMEA.	1,113,765.80	0.15%	100.00%	286,167.68	0.03%
INGENIERIA	0.00	0.00%	100.00%	659,578.27	0.08%
ACARREOS ADICION.				13,980,302.23	1.68%
TOTAL GENERAL	749,549,487.93	100%		832,381,864.42	100%

Tabla 5.2. P.H. El Cajón – Presupuesto Original y Real de acuerdo al Criterio de Pareto.

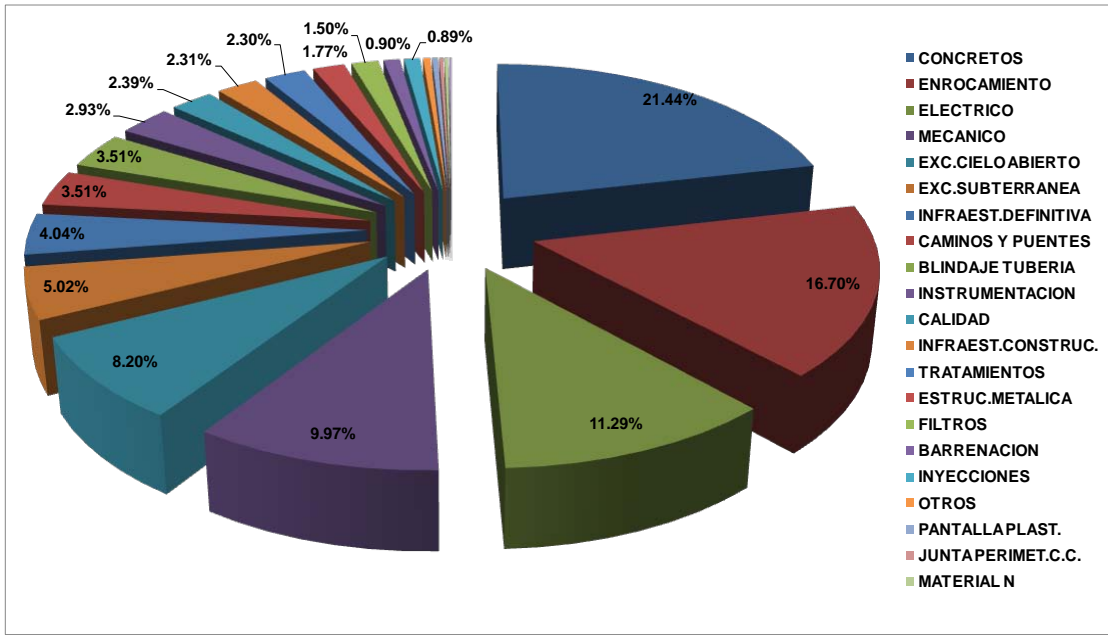


Figura 5.4. P.H. El Cajón – Porcentaje Original de la participación de los Conceptos.

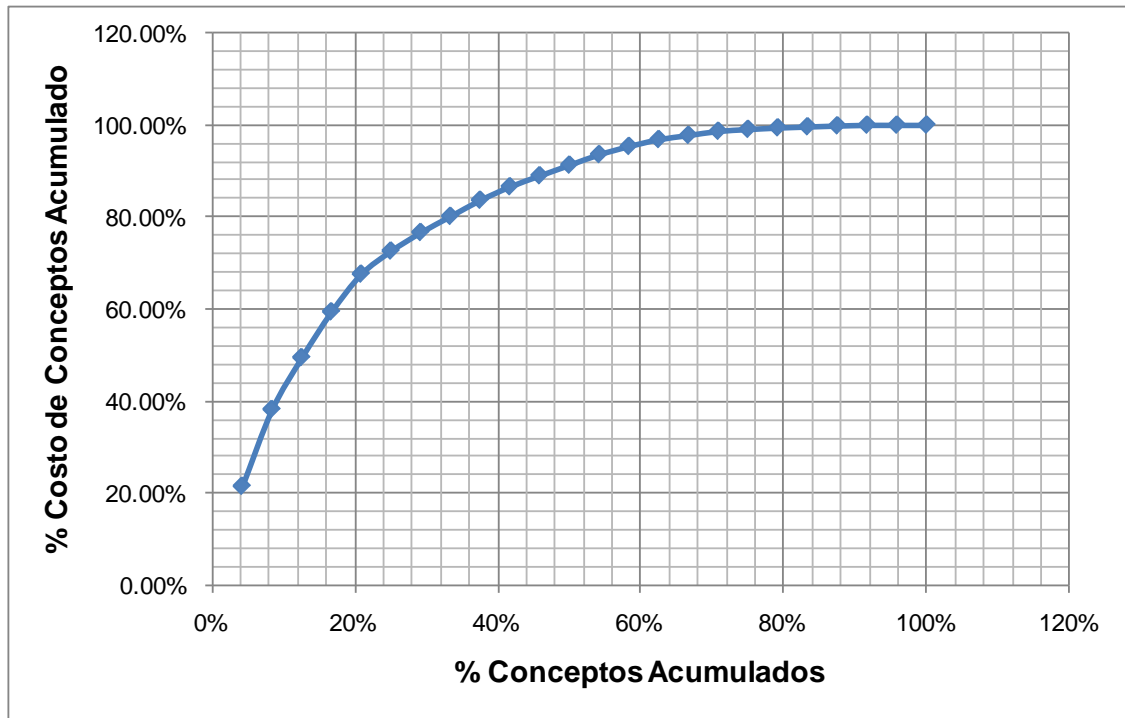


Figura 5.5. P.H. El Cajón – %Conceptos Acumulados VS %Costos de Conceptos Acumulados.

P.H. EL CAJÓN (COSTOS EN USD)		
FRENTE - ESTRUCTURA	ORIGINAL	REAL
I. Y II. CONCEPTOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS	159,303,893.94	153,884,375.47
I. CONCEPTOS MECÁNICOS	74,694,054.39	72,152,962.66
II. CONCEPTOS ELÉCTRICOS	84,609,839.55	81,731,412.81
III.1 OBRA DE DESVÍO	69,244,143.93	80,473,859.33
III.1.1 ATAGUÍAS	14,466,450.20	14,387,694.23
III.1.2 PORTALES (SECCIÓN INFERIOR)	1,847,989.99	5,759,108.67
III.1.3 TÚNELES DE DESVÍO	45,886,259.55	52,204,604.85
III.1.4 ESTRUCTURAS DE CIERRE FINAL Y PROVISIONAL	7,043,444.19	6,678,864.10
PREDESIVIO POR MARGEN DERECHA		1,443,587.48
III.2 OBRA DE CONTENCIÓN	207,020,267.53	238,283,776.22
III.2.1 CORTINA	168,612,075.65	195,350,687.48
III.2.2 GALERÍAS	8,194,032.42	9,444,156.75
III.2.3 TRATAMIENTOS DESDE LAS GALERÍAS	527,832.72	198,075.00
III.2.4 PANTALLA IMPERMEABLE	7,722,473.15	10,352,695.12
III.2.5 INSTRUMENTACIÓN DE LA CORTINA	16,313,383.44	17,287,691.70
III.2.6 INSTRUMENTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DE LA CU	5,650,470.14	5,650,470.16
III.3 PLANTA HIDROELÉCTRICA	108,514,357.29	112,045,223.38
III.3.1 CANAL DE LLAMADA DE LA OBRA DE TOMA	8,327,101.43	8,393,120.16
III.3.2 ESTRUCTURA DE CONTROL	5,873,192.14	6,416,093.89
III.3.3 CONDUCCIONES A PRESIÓN	38,173,216.63	36,622,741.95
III.3.4 CASA DE MÁQUINAS	24,745,564.75	29,478,372.15
III.3.5 TÚNEL DE ASPIRACIÓN	5,145,755.04	4,438,848.21
III.3.6 GALERÍA DE OSCILACIÓN	6,951,991.57	6,363,576.84
III.3.7 DESFOGUE	12,608,801.42	12,042,950.26
III.3.8 TÚNELES DE ACCESO A CASA DE MÁQUINAS Y GALERÍA	6,688,734.32	8,289,519.91
III.5 SUBESTACIÓN ELEVADORA	5,350,395.66	5,674,683.27
III.5.1 SUBESTACIÓN ELEVADORA (OBRA CIVIL)	4,547,416.03	4,871,703.64
III.5.2 EDIFICIO DE CONTROL (OBRA CIVIL)	802,979.63	802,979.63
III.4 OBRAS DE EXCEDENCIAS	108,330,968.82	142,100,414.69
III.4.1 CANAL DE LLAMADA	31,316,867.21	48,169,946.29
III.4.2 ESTRUCTURA DE CONTROL	24,263,676.61	34,349,965.37
III.4.3 CANALES DE DESCARGA	52,750,425.00	59,580,503.03
IV. OBRAS ASOCIADAS	91,785,460.76	99,919,532.06
IV.1 EDIFICIOS PARA OPERACIÓN	4,587,235.86	4,735,435.91
IV.2 OBRAS AMBIENTALES	16,585,737.71	16,963,837.82
IV.6 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	5,003,707.62	7,722,155.67
IV.7 SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	7,109,190.11	7,109,190.61
IV.8 MODELO ELECTRÓNICO TRIDIMENSIONAL INTELIGENTE	5,819,927.51	5,819,927.51
IV.3 VIALIDADES DEFINITIVAS	26,376,731.88	27,719,321.19
IV.4 CAMINOS Y PUENTES	26,302,930.07	29,849,663.35
TOTAL GENERAL	749,549,487.93	832,381,864.42

Tabla 5.3. P.H. El Cajón – Presupuesto Clasificado por Frente y Estructura.

P.H. EL CAJÓN (COSTOS EN USD)		
FRENTE - PARETO	ORIGINAL	REAL
I. Y II. CONCEPTOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS	159,303,893.94	153,884,375.47
ELÉCTRICO	84,609,839.55	81,731,412.81
MECÁNICO	74,694,054.39	72,152,962.66
III.1 OBRA DE DESVIO	69,244,143.93	80,473,859.33
ACARREOS ADICIONALES		173,907.20
BARRENACION	1,597,979.76	2,528,262.88
CONCRETOS	28,914,153.93	30,948,917.60
ENROCAMIENTO	6,750,192.99	6,619,345.40
ESTRUCTURA METALICA	7,394,088.18	7,586,428.94
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	3,532,743.82	6,774,455.09
EXCAVACIÓN SUBTERRANEA	10,468,408.93	12,959,742.80
FILTROS	3,241,686.91	3,161,110.42
INYECCIONES	370,356.64	964,340.00
MATERIAL N	1,548,601.89	1,493,301.63
OTROS		1,105,995.57
PANTALLA PLÁSTICA	2,468,472.89	2,035,761.01
PRUEBAS PERMEABILIDAD	14,757.76	14,757.76
TRATAMIENTOS	2,942,700.24	4,107,533.02
III.2 OBRA DE CONTENCION	207,020,267.53	238,283,776.22
ACARREOS ADICIONALES		13,230,856.66
BARRENACION	4,268,082.33	6,453,499.83
CONCRETOS	30,530,346.27	32,172,760.68
ENROCAMIENTO	118,406,438.20	121,786,836.06
ESTRUCTURA METALICA		14,715.30
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	8,059,682.11	10,093,343.14
EXCAVACIÓN SUBTERRANEA	4,570,580.68	4,443,671.10
FILTROS	8,017,767.38	9,121,868.13
INSTRUMENTACIÓN	21,963,853.58	22,938,161.86
INYECCIONES	4,834,557.25	7,962,570.31
JUNTA PERIMET.C.C.	1,722,278.48	1,788,645.36
OTROS	2,444,187.23	6,718,095.29
PRUEBAS PERMEABILIDAD	1,099,008.04	271,409.92
TRATAMIENTOS	1,103,485.97	1,287,342.57
III.3 PLANTA HIDROELÉCTRICA	108,514,357.29	112,045,223.38
ACARREOS ADICIONALES		6,935.92
BARRENACION	897,260.67	435,952.63
BLINDAJE TUBERIA	26,301,480.07	26,301,480.07
CONCRETOS	41,659,358.09	44,036,455.23
ESTRUCTURA METALICA	5,602,819.65	6,630,990.96
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	4,670,244.75	4,664,520.75
EXCAVACIÓN SUBTERRANEA	22,585,128.76	22,777,256.50
INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA	31,390.34	31,390.34
INYECCIONES	1,200,287.85	299,553.37
MECANICO		587,425.82
OTROS		983,199.91
TRATAMIENTOS	5,566,387.11	5,290,061.88
III.5 SUBESTACIÓN ELEVADORA	5,350,395.66	5,674,683.27
CONCRETOS	2,157,370.79	2,377,710.92
ESTRUCTURA METALICA	280,262.66	280,262.66
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	1,735,237.56	1,997,636.72
OTROS	661,878.92	695,330.69
TRATAMIENTOS	515,645.73	323,742.27
III.4 OBRAS DE EXCEDENCIAS	108,330,968.82	142,100,414.69
ACARREOS ADICIONALES		429,676.36
BARRENACION	19,744.25	15,945.75
CONCRETOS	57,462,520.74	80,227,687.79
ENROCAMIENTO		766,518.45
ESTRUCTURA METALICA		41,631.53
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	43,474,949.28	49,244,199.91
FILTROS		189,436.59
INYECCIONES	287,405.55	120,880.65
OTROS		2,936,625.81
TRATAMIENTOS	7,086,349.00	8,127,811.86
IV. OBRAS ASOCIADAS	91,785,460.76	99,919,532.06
ACARREOS ADICIONALES		138,926.10
CALIDAD	17,932,825.25	19,991,695.52
CAMINOS Y PUENTES	26,302,930.07	30,586,266.66
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO		258,447.19
INFRAESTRUCTURA CONSTRUCCION	17,300,290.05	18,041,930.02
INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA	30,249,415.40	30,242,688.31
INGENIERIA		659,578.27
TOTAL GENERAL	749,549,487.93	832,381,864.42

Tabla 5.4. P.H. El Cajón – Presupuesto Clasificado por Frente y Tipo de Concepto.

La base de datos con la cual se obtuvieron las tablas anteriores, también contó con una clasificación para cada uno de los conceptos conforme a los criterios que se exponen a continuación:

Por Tipo de Precio:

- **PRECIO ALZADO**
- **PRECIO UNITARIO**
- **PRECIO ADICIONAL^{1_/}**
- **PRECIO EXTRAORDINARIO^{2_/}**
- **PRECIOS PROVISIONALES^{2_/,3_/}**

1_/ Precio Unitario que corresponden a volúmenes adicionales, sobre la misma base del catalogo a precios unitarios.

2_/ Precio Unitario de conceptos no previstos en el catalogo original, considerado necesario y ejecutado para el correcto funcionamiento del proyectos.

3_/ Precio que posteriormente será reclasifica como alzado, unitario o extraordinario.

Por Frente:

- ❖ **I Y II. EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS Y ELECTRICOS**
- ❖ **III.2 OBRA DE DESVIO**
- ❖ **III.3 OBRA DE CONTENCIÓN**
- ❖ **III.4 OBRA DE GENERACION**
- ❖ **III.5 OBRAS DE EXCEDENCIAS**
- ❖ **IV. OBRAS ASOCIADAS**

Por tipo de Estructura, corresponde a la clasificación más detallada de los diversos frentes acorde al WBS propuesto:

- **EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS**
- **EQUIPOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS**
- **III.2.1 PREATAGUÍA, ATAGUÍA AGUAS ABAJO Y BORDOS**
- **III.2.2.1 PORTALES DE TÚNELES**
- **III.2.2.2 PLATAFORMAS PARA LUMBRERAS DE CIERRE PROVISIONAL**
- **III.2.2.3 PLATAFORMAS PARA LUMBRERAS DE CIERRE FINAL**
- **III.2.3 TÚNELES Y LUMBRERAS**
- **III.3.1 CORTINA**
- **III.3.2 GALERÍAS**
- **III.3.5 TRATAMIENTOS DE FALLAS DESDE GALERÍAS**
- **III.3.6.1 TRATAMIENTOS DE INYECCIÓN PARA PANTALLA DE IMPERMEABILIZACIÓN DESDE LAS GALERÍAS**

- **III.3.6.2 TRATAMIENTOS DE INYECCIÓN DE CONSOLIDACIÓN Y DE CONEXIÓN DE PANTALLA**
- **III.3.6.3 PANTALLA DE DRENAJE DESDE GALERÍAS**
- **III.4.1 OBRA DE TOMA**
- **III.4.2 CONDUCCIONES A PRESIÓN**
- **III.4.3 CASA DE MÁQUINAS**
- **III.4.4 LUMBRERAS: BUSES, VENTILACION, CABLES Y ELEVADOR**
- **III.4.5 TÚNELES DE ASPIRACIÓN**
- **III.4.6 GALERÍA DE OSCILACIÓN**
- **III.4.7 DESFOGUE**
- **III.4.8 TÚNELES DE ACCESO A CASA DE MÁQUINAS Y GALERÍA DE OSCILACIÓN**
- **III.4.9 SUBESTACIÓN ELEVADORA**
- **III.5.1 CANAL DE LLAMADA**
- **III.5.2 ESTRUCTURA DE CONTROL**
- **III.5.3 CANALES DE DESCARGA**
- **Ingeniería**
- **IV.1 EDIFICIOS AUXILIARES**
- **IV.2 SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO Y PROTECCIÓN AMBIENTAL**
- **IV.3 CARRETERAS**
- **IV.4 PUENTES**
- **IV.5 MODELO ELECTRÓNICO TRIDIMENSIONAL**
- **IV.5 MODELO ELECTRÓNICO TRIDIMENSIONAL**
- **IV.6 INSTRUMENTACIÓN**
- **IV.7 DISEÑO COMPLEMENTARIO VIALIDADES DEFINITIVAS**

Por esta razón, en lo que respecta a los costos de cada uno de los Proyectos El Cajón y La Yesca, la tarea ardua para la clasificación de cada uno de los conceptos resulta muy practica y valiosa para lograr una sensibilidad sobre los tipos de conceptos que representan más cuidado e importancia del proyecto, a continuación se presentan algunas tablas con datos interesantes de los proyectos que se discutirán posteriormente.

TIPO DE CONCEPTO (PARETO)	ORIGINAL			P.H. EL CAJÓN (Dolares)					
	PRECIO ALZADO	PRECIO UNITARIO	TOTAL	REAL					
				P.U. VOL. ADICIONAL	PERITAJES	PRECIO ALZADO	P.EXTRAORDIN ARIO	PRECIO UNITARIO	TOTAL
ACARREOS ADICION.					8,787,823.52		5,192,478.71		13,980,302.23
BARRENACION	4,483,063.91	2,300,003.10	6,783,067.01	3,073,128.14		4,480,104.66	321,472.79	1,558,955.49	9,433,661.08
BLINDAJE TUBERIA	26,301,480.07		26,301,480.07			26,301,480.07			26,301,480.07
CALIDAD	17,932,825.25		17,932,825.25		2,058,869.83	17,932,825.69			19,991,695.52
CAMINOS Y PUENTES	26,302,930.07		26,302,930.07			26,302,933.53	4,283,333.13		30,586,266.66
CONCRETOS	136,775,411.12	23,948,338.71	160,723,749.83	8,293,963.35	7,568,451.62	136,775,411.07	23,804,919.15	13,320,787.03	189,763,532.23
ELECTRICO	84,609,839.55		84,609,839.55			81,731,412.81			81,731,412.81
ENROCAMIENTO	120,609,949.46	4,546,681.72	125,156,631.19	1,728,043.91	2,558,801.46	120,448,557.83	818,985.61	3,618,311.11	129,172,699.91
ESTRUC.METALICA	4,988,262.31	8,288,908.18	13,277,170.49	519,123.47	70,771.67	4,988,262.31	994,965.98	7,980,905.95	14,554,029.39
EXC.CIELO ABIERTO	57,622,412.48	3,850,445.03	61,472,857.52	3,038,188.99	258,447.19	57,616,402.44	8,342,592.09	3,776,972.09	73,032,602.81
EXC.SUBTERRANEA	36,242,158.97	1,381,959.40	37,624,118.37	101,173.94	2,451,843.29	36,242,158.97	422,871.75	962,622.46	40,180,670.40
FILTROS	9,040,684.97	2,218,769.32	11,259,454.28	875,032.73		9,040,684.97	464,984.25	2,091,713.20	12,472,415.14
INFRAEST.CONSTRUC.	17,300,290.05		17,300,290.05			17,300,289.56	741,640.46		18,041,930.02
INFRAEST.DEFINITIVA	30,280,805.74		30,280,805.74			29,286,556.81	987,521.84		30,274,078.65
INGENIERIA							659,578.27		659,578.27
INSTRUMENTACION	21,963,853.58		21,963,853.58			21,963,853.60			21,963,853.60
INTRUMENTACION							974,308.26		974,308.26
INYECCIONES		6,692,607.29	6,692,607.29	19,199.45			7,795,910.93	1,532,233.95	9,347,344.33
JUNTA PERIMET.C.C.	269,030.40	1,453,248.08	1,722,278.48	65,162.84		269,030.40	4,924.24	1,449,527.88	1,788,645.36
MATERIAL N	1,471,173.10	77,428.79	1,548,601.89			1,471,173.10		22,128.54	1,493,301.63
MECANICO	74,694,054.39		74,694,054.39			72,152,962.66	587,425.82		72,740,388.48
OTROS	3,106,066.15		3,106,066.15		8,815,474.84	3,106,066.15	517,706.28		12,439,247.27
PANTALLA PLAST.		2,468,472.89	2,468,472.89	772,569.21				1,263,191.81	2,035,761.01
PRUEBAS PERMEA.		1,113,765.80	1,113,765.80					286,167.68	286,167.68
TRATAMIENTOS	9,782,123.77	7,432,444.28	17,214,568.05	1,587,463.64		9,079,095.62	4,999,361.19	3,470,571.14	19,136,491.60
Total general	683,776,415.34	65,773,072.59	749,549,487.93	20,073,049.67	32,570,483.42	676,489,262.23	61,914,980.77	41,334,088.32	832,381,864.42

Tabla 5.5. P.H. El Cajón – Presupuesto Original vs Real.

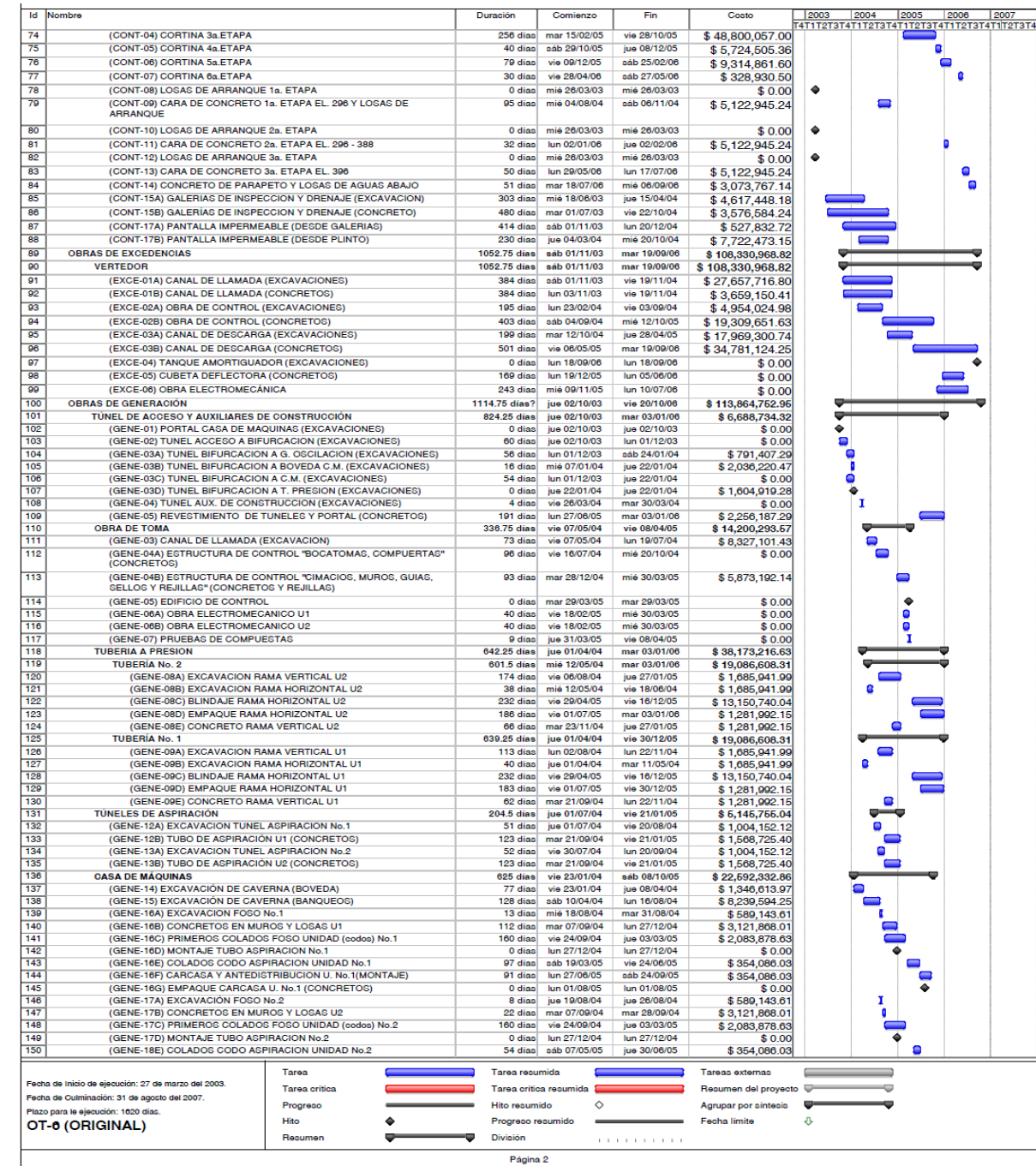
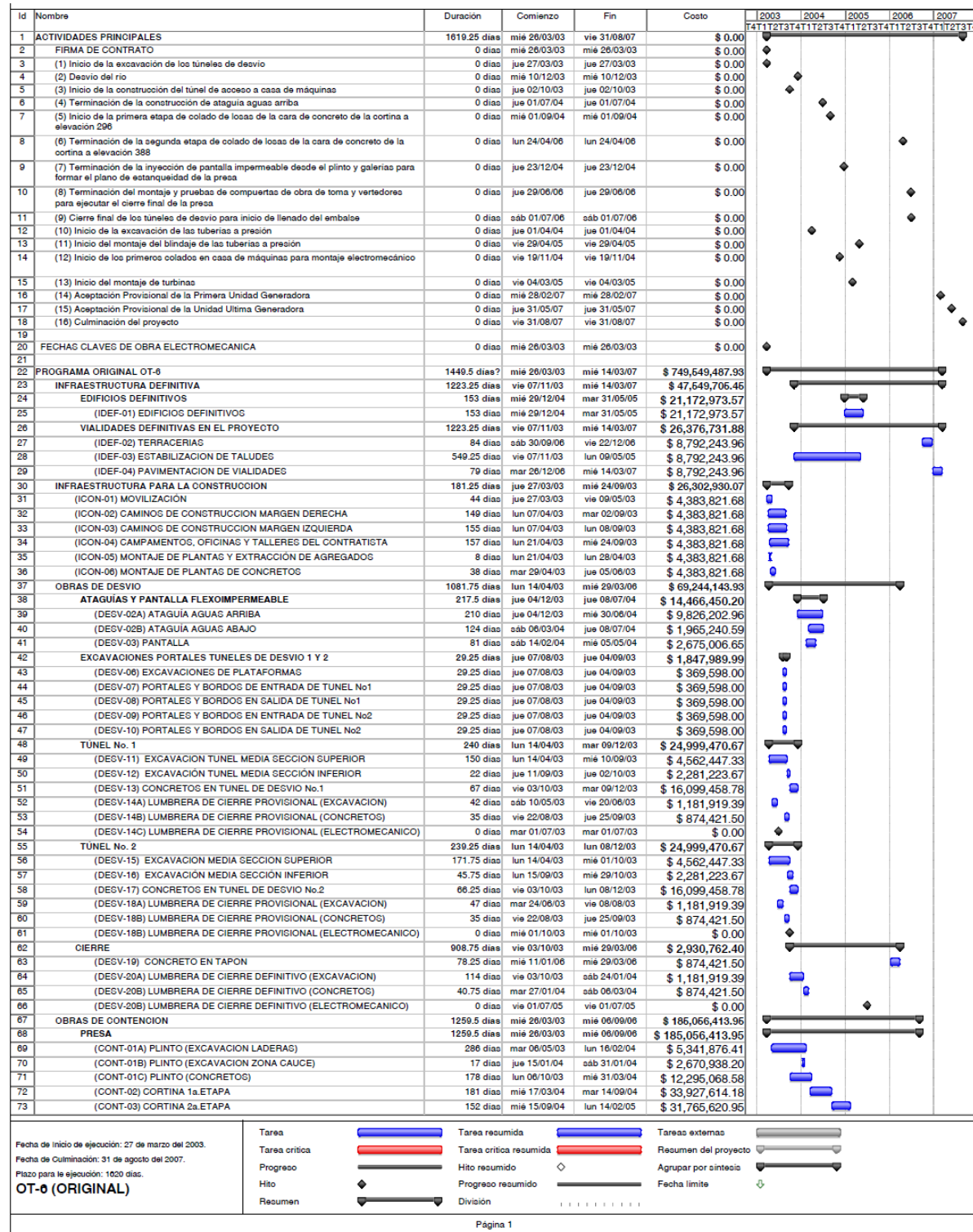
5.1.3 Programas

Este paso consiste en identificar todas las actividades necesarias para completar el proyecto. Las actividades tienen una secuencia, duración y costo; en el caso de construcción se auxilió del Diagrama de Barras o mejor conocido como Diagrama de Gantt para la programación de un proyecto.

Se contó con el programa propuesto en la Oferta Técnica del Constructor encargado (OT-6 “Eventos Críticos”) presentado en el tercer capítulo. Una vista de este programa del P.H. El Cajón se pudo observar en el capítulo tercero. Como uno de los objetivos principales de este trabajo es lograr conocimiento con vías a futuros proyectos de similares características y complejidad, en este sentido se construyó un Programa de Gantt basado en los lineamientos de jerarquía expuestos en el WBS del Proyecto.

A continuación se presentan los Programas de El Cajón, tanto el originalmente planteado como el real ejecutado, para lo cual se utilizó el software **Microsoft® Office Project 2007**. **Figura 5.6** a la **Figura 5.9**.

“ANÁLISIS DE RIESGO APLICADO A LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS”



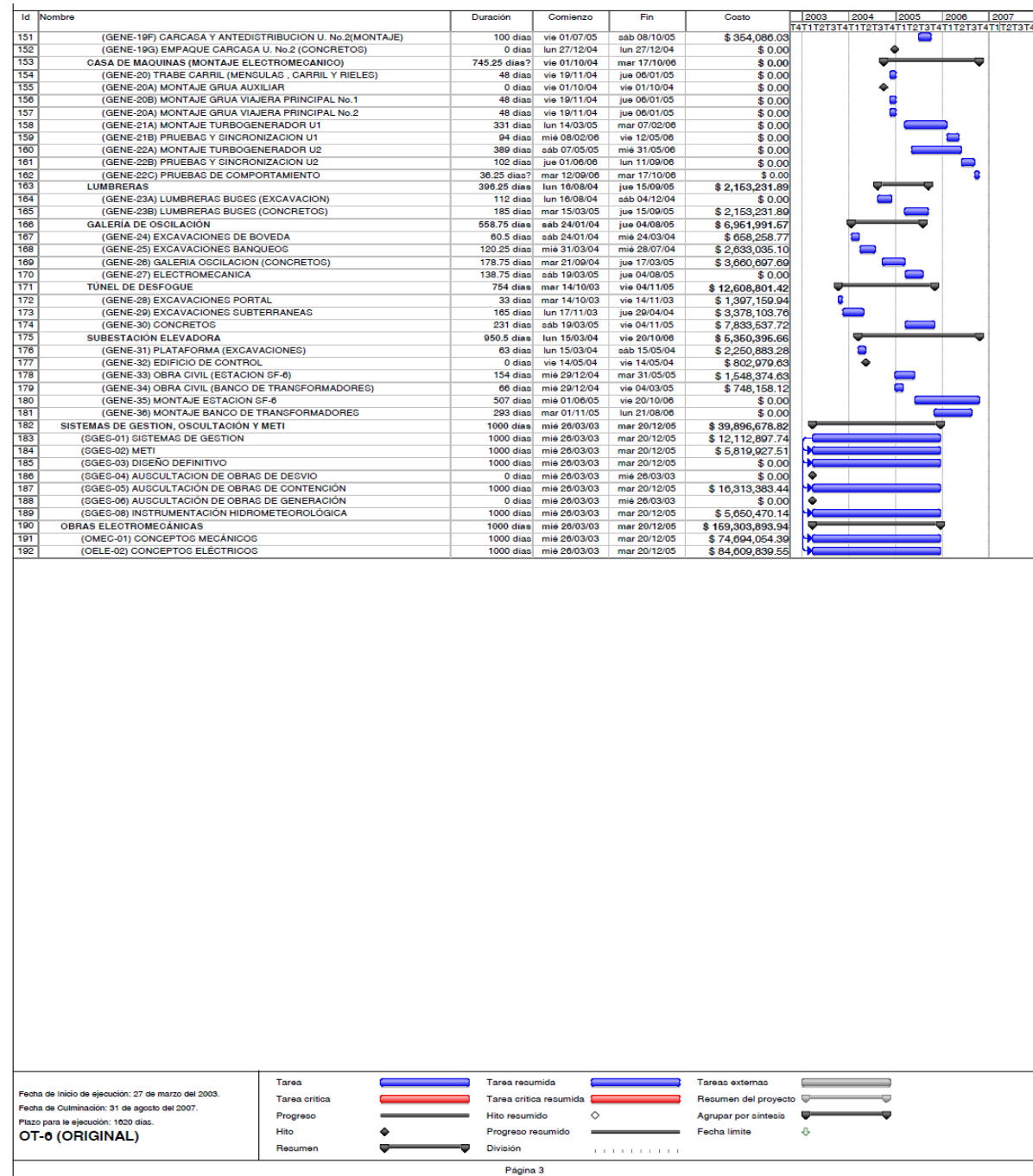


Figura 5.7. P.H. El Cajón – Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas (1 y 2 de 3). Microsoft® Office Project 2007.

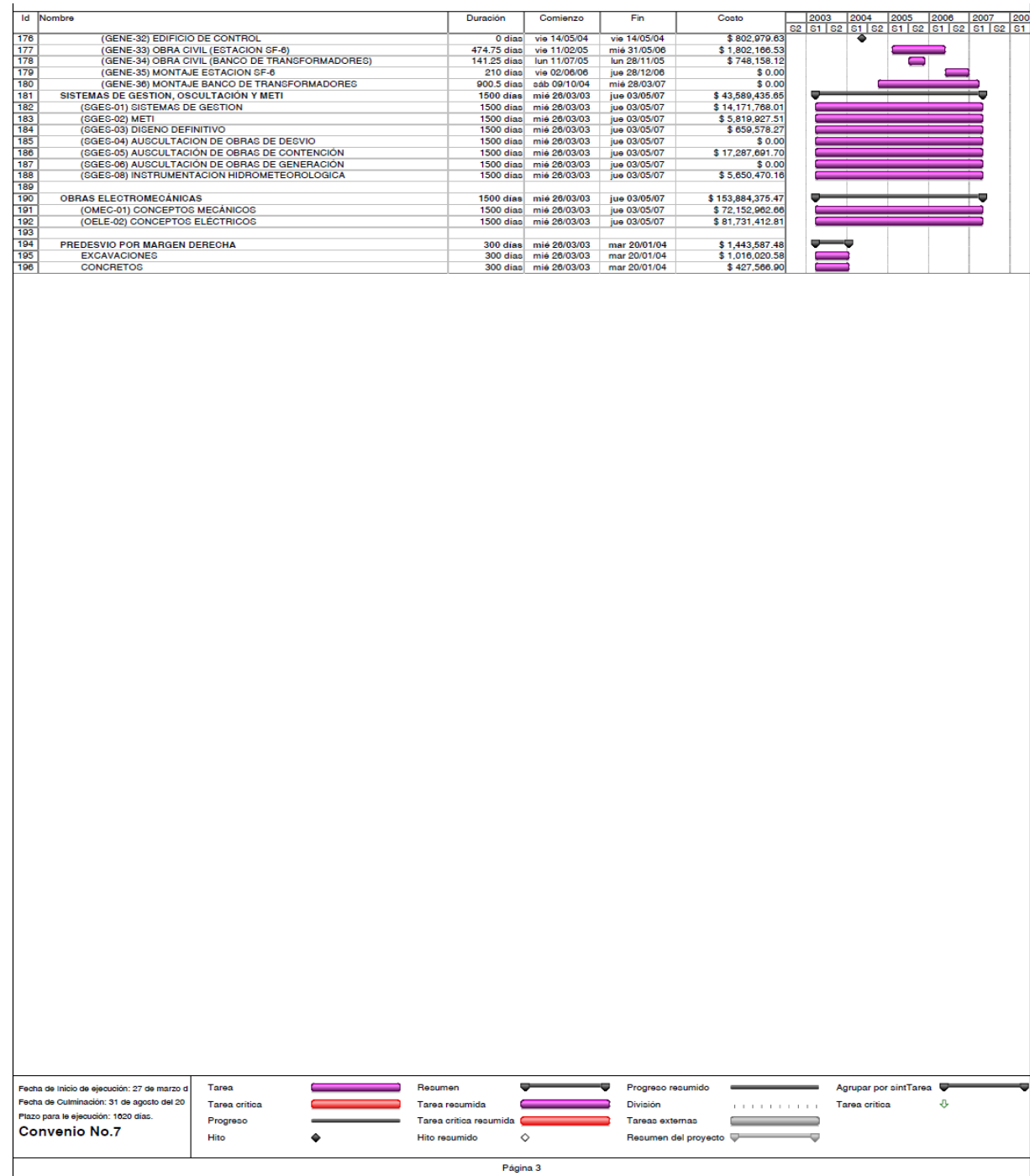


Figura 5.9. P.H. El Cajón – Programa de Construcción con fechas reales. (3 de 3).

También se realizó una comparativa entre el Programa Original y el Real, con el cual se puede visualizar de mejor forma el comportamiento que tuvo el proyecto durante su ejecución en la etapa de

construcción, esta comparativa se presenta a continuación en las **Figura 5.10** y **Figura 5.11**.

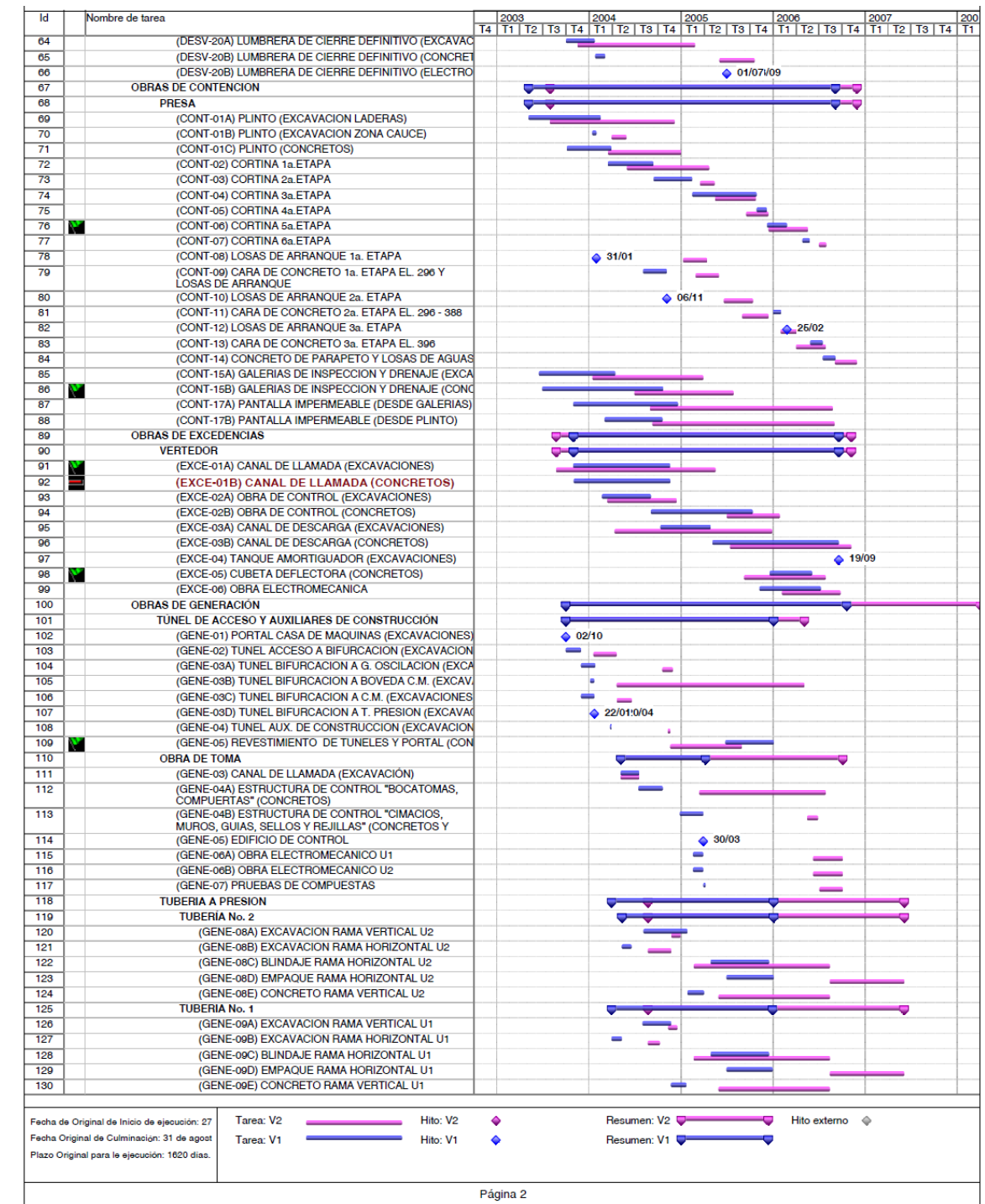
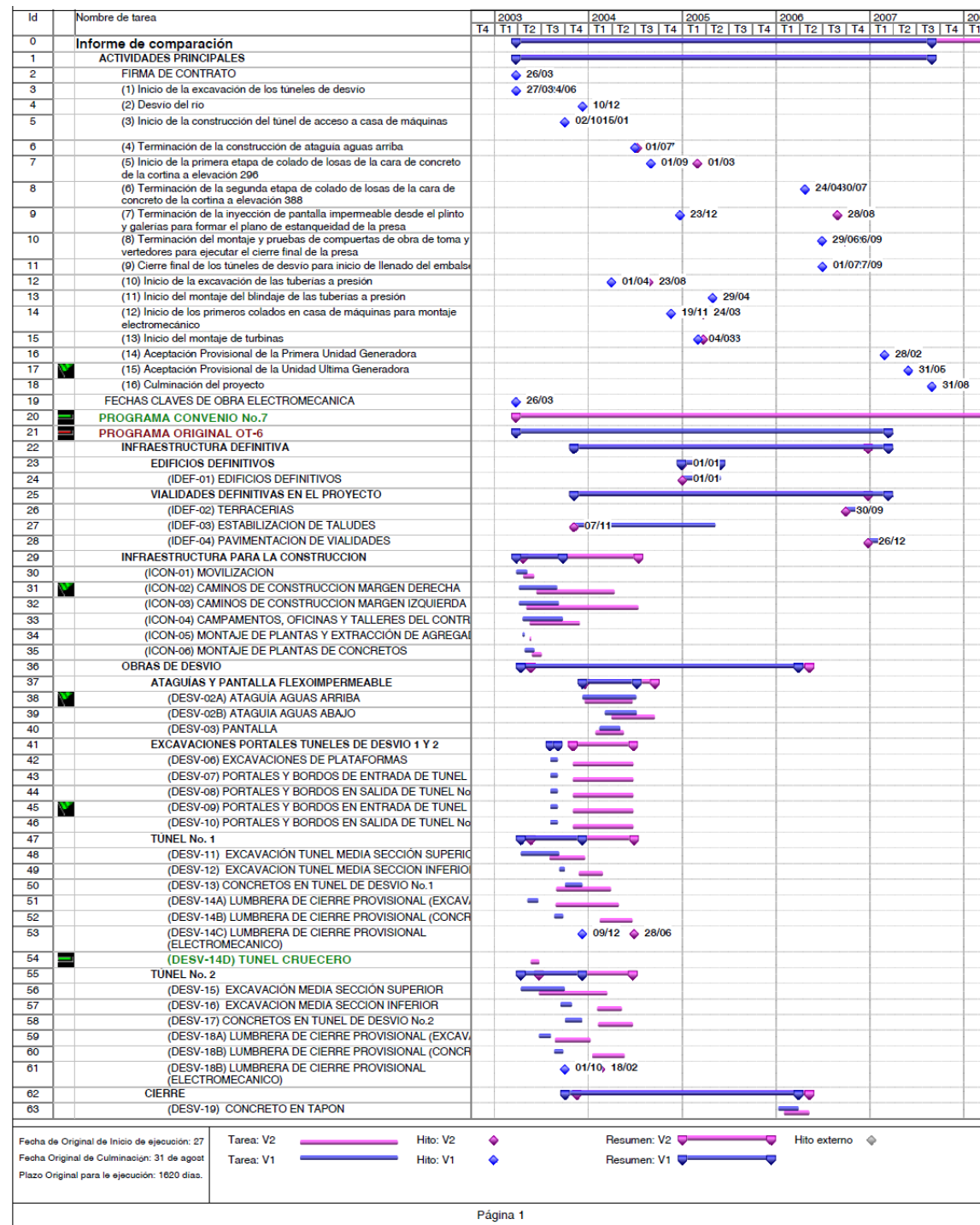


Figura 5.10. P.H. El Cajón – Comparativa de los Programa de Construcción Fechas Originales VS Fechas. Reales (1 y 2 de 3).

5.1.4 Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Financiera.

Como ya se explicó el Análisis de Sensibilidad es un método práctico que busca estimar la sensibilidad de las variables o parámetros que se consideran bajo condiciones de incertidumbre y obviamente los cuales estemos interesados de estudiar.

En el Capítulo Tercero en su Subcapítulo correspondiente al Proyecto El Cajón se expuso a detalle la Evaluación Económica del conjunto Central – Red de Transmisión, sus montos contemplados de inversión y las consideraciones que en su momento se tomaron en de Generación de Energía de Punta e intermedia, Tarifas, entre otros, que finalmente redundaron en la Evaluación Económica del Proyecto y los principales parámetros de interés que son la relación Beneficio/Costo (B/C) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). La Evaluación Contemplaba una Tasa de descuento real del 10% anual y un horizonte de planeación de 50 años entre los parámetros de mayor relevancia.

Posteriormente también se expuso el Análisis de Sensibilidad aplicado a la Evaluación Económica, el cual debía cumplir con los lineamientos dictados por la Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP), dichos lineamientos son:

- i) que la relación Beneficio/Costo (B/C) en la evaluación financiera sea mayor o igual a 1.0 y;
- ii) que el resultado neto de operación sea mayor que los pagos financieros de las Obra Publica Financiada (OPF's) que incluye la Central Hidroeléctrica El Cajón y su Red de Transmisión –excepto tres años con déficit-.

Lo anterior se transcribe nuevamente, pues se debe recalcar que estos lineamientos se siguieron acatando para el Análisis de Sensibilidad que se presenta a continuación, donde los parámetros considerados para su análisis son:

- **SENSIBILIDAD AL INCREMENTO DE LA INVERSIÓN**
- **SENSIBILIDAD AL INCREMENTO EN EL PERIODO CONSTRUCTIVO DE LA CENTRAL**
- **SENSIBILIDAD A LA TASA DE DESCUENTO REAL ANUAL**
- **SENSIBILIDAD A LA DISMINUCION DE LAS TARIFAS**

En primer término se expone en la **Tabla 5.6** la evaluación económica del Proyecto, para mayor detalles sobre se puede consultar el documento de Análisis Costo – Beneficio del proyecto de Generación; CH EL Cajón y Red de Transmisión Asociada elaborado por la CFE en enero del 2002.

El Análisis de cada uno de estos parámetros se presenta a continuación en las siguientes tablas y Figuras:

5.1.4.1. Sensibilidad al incremento de la inversión.

SENSIBILIDAD AL INCREMENTO DE LAS INVERSIONES
CH El Cajón - Red de Transmisión Asociada a la CH El Cajón

% INCREMENTO	% TARIFA	B/C	TIR	Total Central (Miles USD)	Central ECA (Miles USD)	Central BONO (Miles USD)	Red de transmisión OPF (Miles USD)	Total de pagos financieros (VP DE 2002*)	Inversion Presupuestal (VP de 2002*)	Flujo Neto del Proyecto (2009*)	Flujo Neto del Proyecto (2013*)
0%	1.00	1.33	19.63%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	12,551.96
1%	1.00	1.31	19.33%	916,707.31	133,957.31	782,750.00	103,777.50	337,991.59	52,985.04	24,440.65	11,270.54
2%	1.00	1.30	19.04%	925,783.62	135,283.62	790,500.00	104,805.00	341,334.84	53,509.64	24,301.86	9,989.12
3%	1.00	1.29	18.75%	934,859.93	136,609.93	798,250.00	105,832.50	344,678.10	54,034.25	24,163.07	8,707.69
4%	1.00	1.27	18.47%	943,936.24	137,936.24	806,000.00	106,860.00	348,021.36	54,558.85	24,024.27	7,426.27
5%	1.00	1.26	18.20%	953,012.55	139,262.55	813,750.00	107,887.50	351,364.61	55,083.46	23,885.48	6,144.85
6%	1.00	1.25	17.93%	962,088.86	140,588.86	821,500.00	108,915.00	354,707.87	55,608.06	23,746.69	4,863.42
7%	1.00	1.24	17.66%	971,165.17	141,915.17	829,250.00	109,942.50	358,051.12	56,132.67	23,607.90	3,582.00
8%	1.00	1.23	17.40%	980,241.48	143,241.48	837,000.00	110,970.00	361,394.38	56,657.27	23,469.11	2,300.57
9%	1.00	1.22	17.15%	989,317.79	144,567.79	844,750.00	111,997.50	364,737.63	57,181.88	23,330.31	1,019.15
9.80%	1.00	1.21	16.95%	996,578.84	145,628.84	850,950.00	112,819.50	367,412.24	57,601.56	23,219.93	0.00
10%	1.00	1.21	16.90%	998,394.10	145,894.10	852,500.00	113,025.00	368,080.89	57,706.48	23,191.52	-262.27
11%	1.00	1.19	16.65%	1,007,470.41	147,220.41	860,250.00	114,052.50	371,424.15	58,231.08	23,052.73	-1,543.70
12%	1.00	1.18	16.41%	1,016,546.72	148,546.72	868,000.00	115,080.00	374,767.40	58,755.69	22,913.94	-2,825.12

Tabla 5.7. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento de las Inversiones.

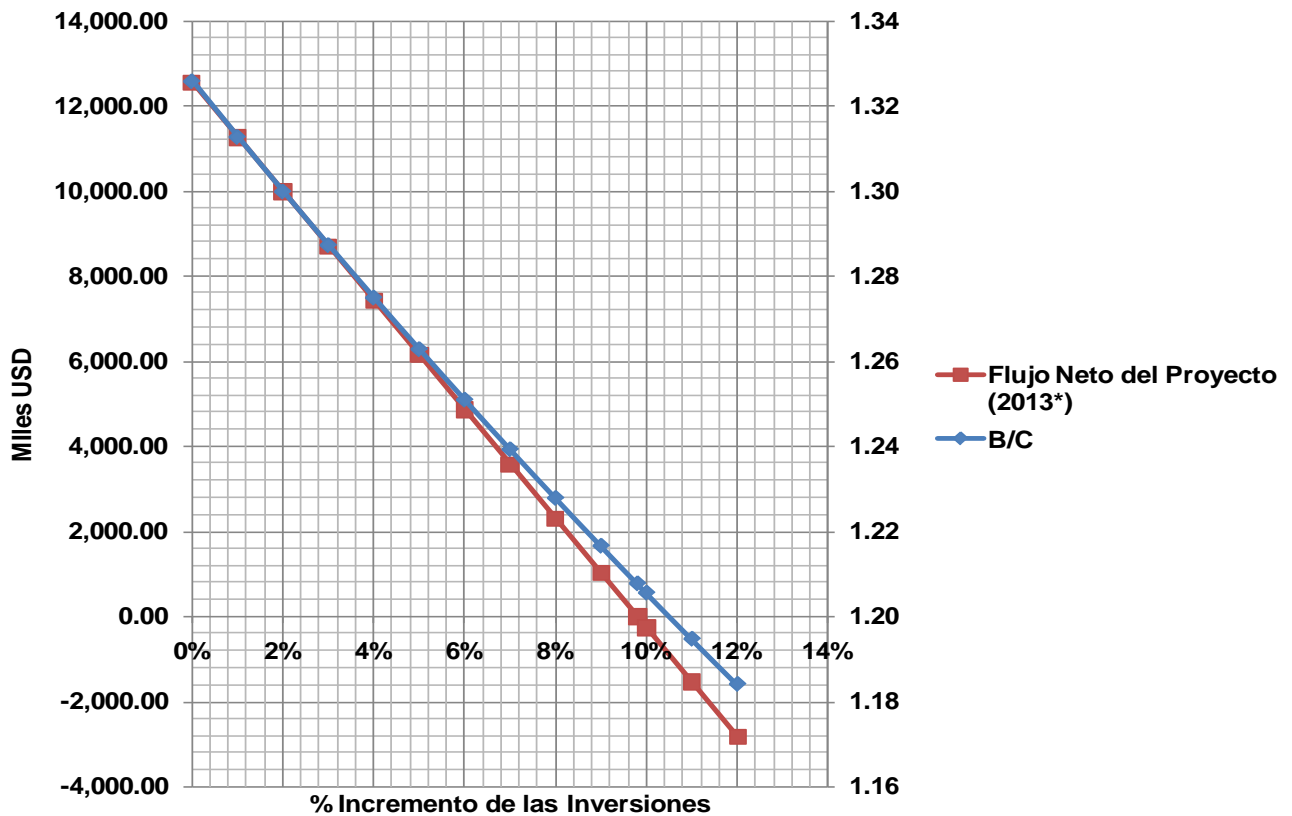


Figura 5.12. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento de las Inversiones.

5.1.4.2. Sensibilidad al incremento en el periodo constructivo de la central.

SENSIBILIDAD AL INCREMENTO EN PERIODO CONSTRUCTIVO DE LA CENTRAL
CH El Cajón - Red de Transmisión Asociada a la CH El Cajón

MESES DE RETRASO	% INCREMENTO	B/C	TIR	Total Central (Miles USD)	Central ECA (Miles USD)	Central BONO (Miles USD)	Red de transmisión OPF (Miles USD)	Total de pagos financieros (VP DE 2002*)	Inversion Presupuestal (VP de 2002*)	Flujo Neto del Proyecto (2009*)	Flujo Neto del Proyecto (2013*)
2	101.67%	1.30	19.13%	922,758.18	134,841.52	787,916.67	104,462.50	340,220.43	53,334.78	24,348.12	10,416.26
4	103.36%	1.28	18.65%	938,137.49	137,088.88	801,048.61	106,203.54	345,885.39	54,223.69	24,112.95	8,244.96
6	105.08%	1.26	18.17%	953,773.11	139,373.69	814,399.42	107,973.60	351,644.76	55,127.42	23,873.85	6,037.47
8	106.84%	1.24	17.70%	969,669.33	141,696.58	827,972.74	109,773.16	357,500.13	56,046.21	23,630.77	3,793.19
10	108.62%	1.22	17.24%	985,830.49	144,058.19	841,772.29	111,602.71	363,453.09	56,980.31	23,383.64	1,511.50
12	110.43%	1.20	16.79%	1,002,260.99	146,459.16	855,801.83	113,462.76	369,505.26	57,929.98	23,132.39	-808.21

Tabla 5.8. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo.

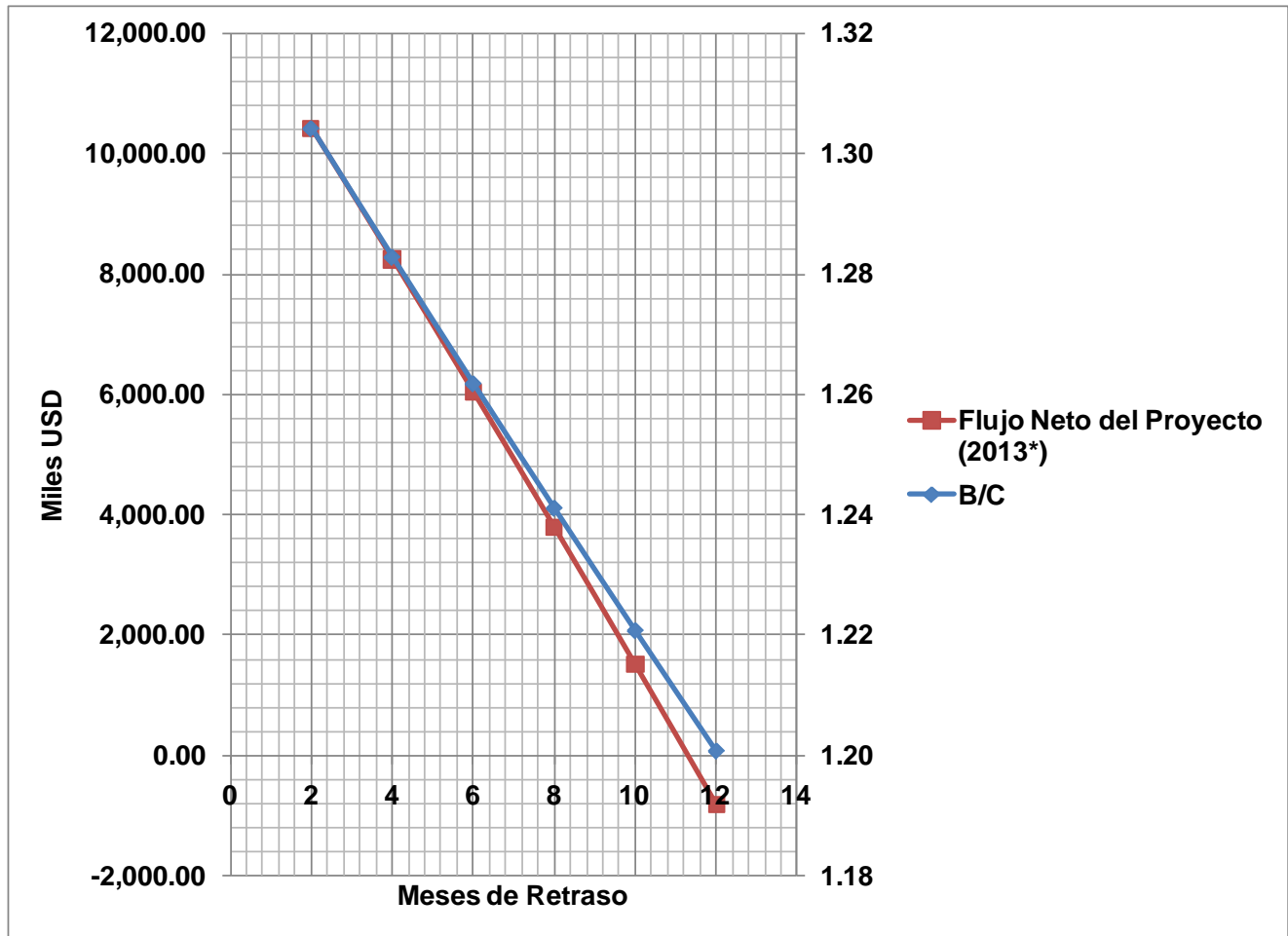


Figura 5.13. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo (1 de 2).

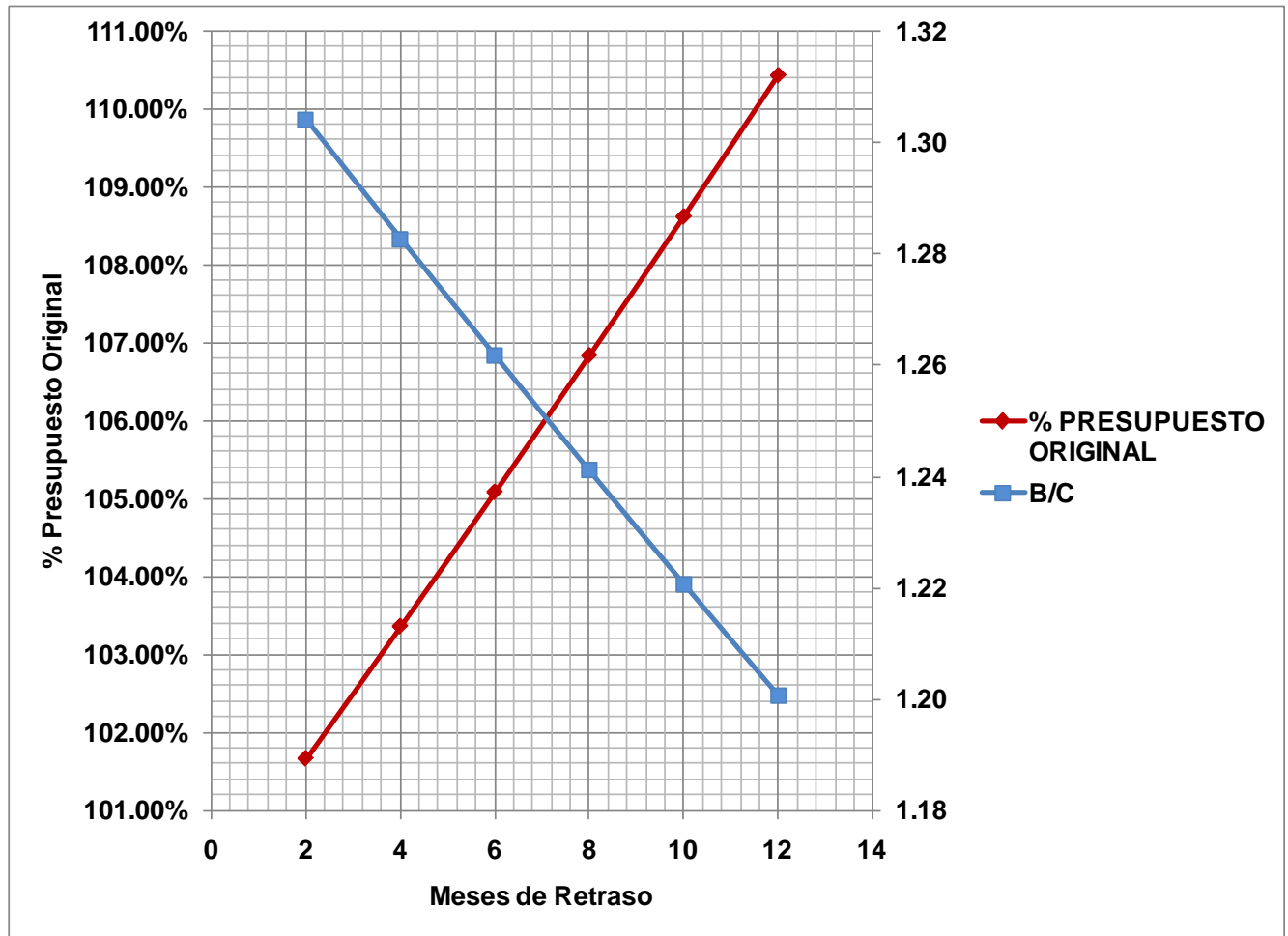


Figura 5.14. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo (2 de 2).

5.1.4.3. Sensibilidad a la Tasa de Descuento.

SENSIBILIDAD A LA TASA DE DESCUENTO REAL ANUAL
 CH El Cajón - Red de Transmisión Asociada a la CH El Cajón

TASA DE DESCUENTO	B/C	TIR	Total Central (Miles USD)	Central ECA (Miles USD)	Central BONO (Miles USD)	Red de transmisión OPF (Miles USD)	Total de pagos financieros (VP DE 2002*)	Inversion Presupuestal (VP de 2002*)	Flujo Neto del Proyecto (2009*)	Flujo Neto del Proyecto (2013*)
9.00%	1.40	19.63%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	383,879.25	54,135.85	24,579.44	12,551.96
10%	1.33	19.63%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	336,815.55	52,538.40	24,579.44	12,551.96
11%	1.27	19.63%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	296,451.65	51,012.44	24,579.44	12,551.96
12%	1.21	19.63%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	261,687.62	49,553.92	24,579.44	12,551.96
13%	1.16	19.63%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	231,628.61	48,159.01	24,579.44	12,551.96

Tabla 5.9. P.H. El Cajón – Sensibilidad a la Tasa de Descuento Real Anual.

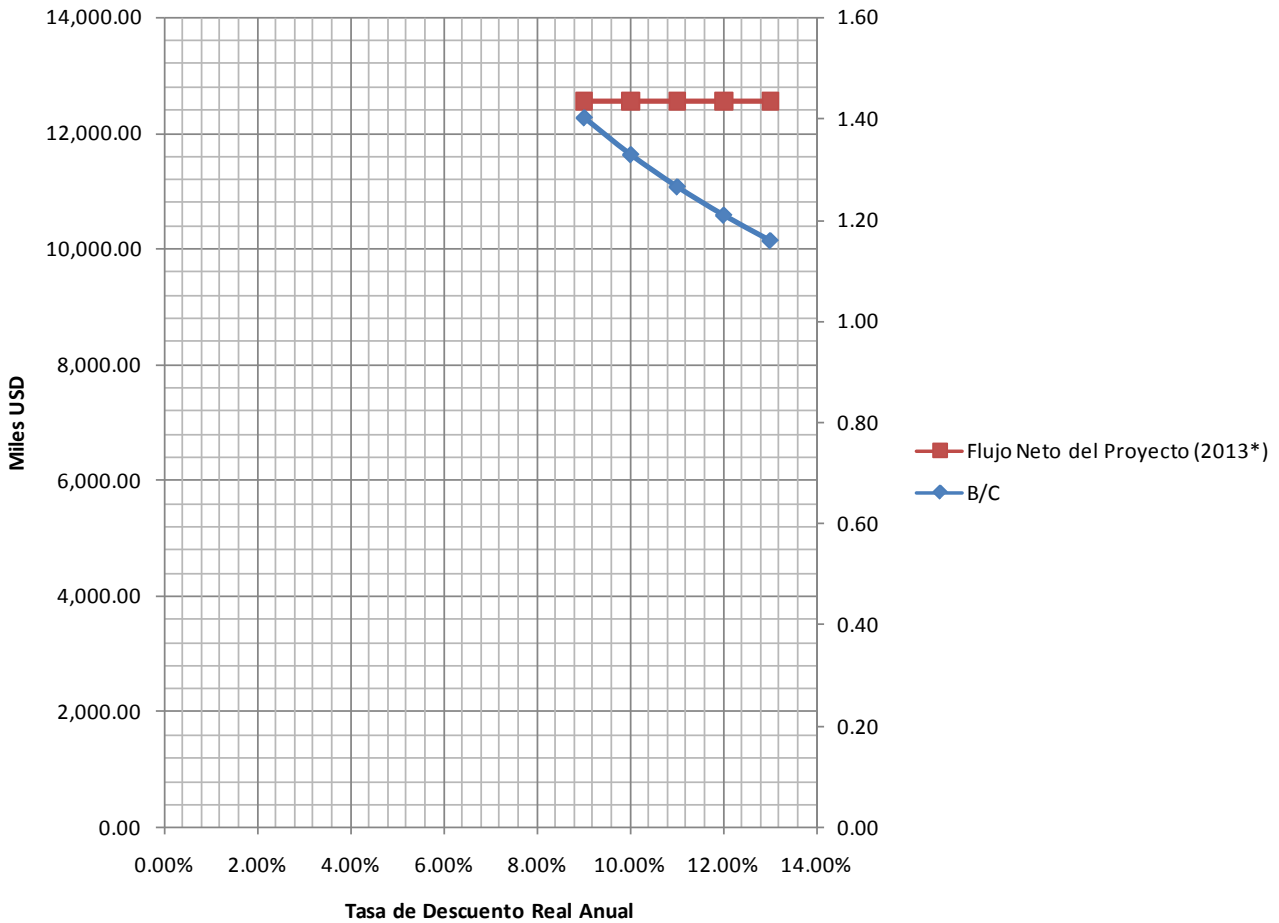


Figura 5.15. P.H. El Cajón – Sensibilidad a la Tasa de Descuento Real Anual.

5.1.4.4. Sensibilidad a la disminución de las tarifas.

SENSIBILIDAD A LA DISMINUCIÓN DE LAS TARIFAS
CH El Cajón - Red de Transmisión Asociada a la CH El Cajón

% INCREMENTO	% TARIFA	B/C	TIR	Total Central (Miles USD)	Central ECA (Miles USD)	Central BONO (Miles USD)	Red de transmisión OFF (Miles USD)	Total de pagos financieros (VP DE 2002*)	Inversion Presupuestal (VP de 2002*)	Flujo Neto del Proyecto (2009*)	Flujo Neto del Proyecto (2013*)
0.00%	1.00	132.59%	19.63%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	12,551.96
0.00%	0.99	131.31%	19.34%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	11,155.27
0.00%	0.98	130.03%	19.06%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	9,758.57
0.00%	0.97	128.76%	18.77%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	8,361.88
0.00%	0.96	127.48%	18.49%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	6,965.18
0.00%	0.95	126.20%	18.20%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	5,568.49
0.00%	0.94	124.92%	17.92%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	4,171.79
0.00%	0.93	123.65%	17.63%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	2,775.10
0.00%	0.92	122.37%	17.34%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	1,378.40
0.00%	0.91	121.11%	17.06%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	0.00
0.00%	0.91	121.09%	17.06%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	-18.29
0%	0.90	119.81%	16.77%	907,631.00	132,631.00	775,000.00	102,750.00	334,648.33	52,460.44	24,579.44	-1,414.99

Tabla 5.10. P.H. El Cajón – Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas.

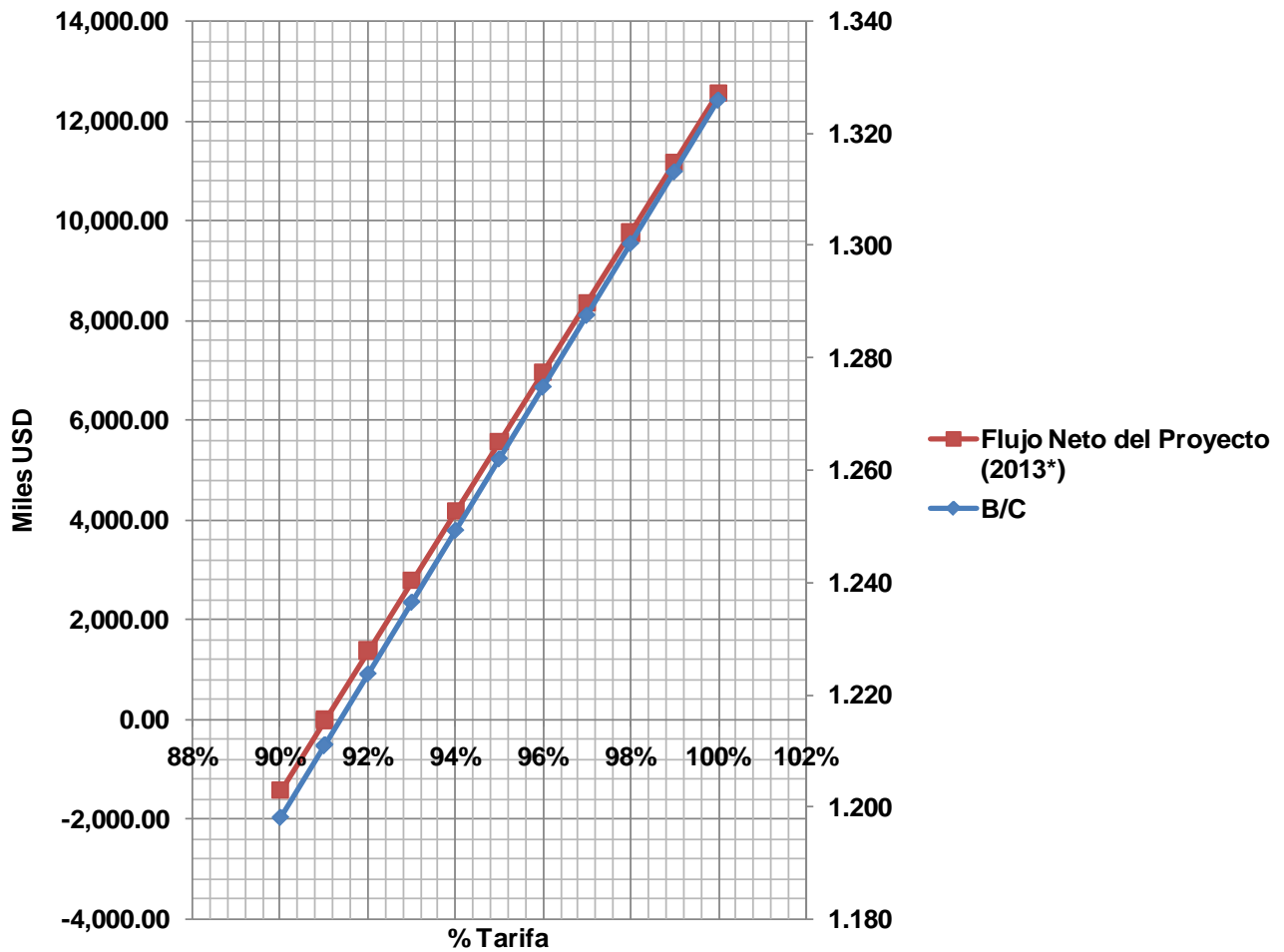


Figura 5.16. P.H. El Cajón – Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas.

5.1.4.5. Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros

Como ya se ha comentado para la implementación exitosa de los modelos para la administración de riesgos y su implementación una de las partes importantes es la generación de un conjunto gráfico como apoyo adecuado. Por ello las graficas presentadas previamente de sensibilidad a los parámetros de incremento en las inversiones, al incremento en el periodo de construcción, a la tasa de descuento y a la disminución de las tarifas, a continuación se presenta la grafica que sintetiza toda esta información, de forma sencilla –mas no simple-.

Flujo Neto (2013*)	BENEFICIO/ COSTO	TIR	% INVERSION	% TARIFA	MESES DE RETRASO	TASA DE DESCUENTO
12,551.96	1.326	19.63%	0%	100%	0.0000	12.46%
12,000.00	1.320	19.50%	100.43%	99.60%	0.5201	12.55%
11,000.00	1.310	19.27%	101.21%	98.89%	1.4566	12.71%
10,000.00	1.300	19.04%	101.99%	98.17%	2.3860	12.87%
9,000.00	1.290	18.82%	102.77%	97.46%	3.3083	13.03%
8,000.00	1.281	18.60%	103.55%	96.74%	4.2236	13.18%
7,000.00	1.271	18.38%	104.33%	96.02%	5.1320	13.35%
6,000.00	1.262	18.17%	105.11%	95.31%	6.0337	13.50%
5,000.00	1.252	17.95%	105.89%	94.59%	6.9287	13.68%
4,000.00	1.243	17.75%	106.67%	93.88%	7.8171	13.84%
3,000.00	1.234	17.54%	107.45%	93.16%	8.6990	14.01%
2,000.00	1.225	17.34%	108.23%	92.45%	9.5746	14.18%
1,000.00	1.216	17.14%	109.01%	91.73%	10.4439	14.35%
0.00	1.208	16.95%	109.80%	91.01%	11.3069	14.49%
-1,000.00	1.199	16.76%	110.58%	90.30%	12.1639	14.68%
-2,000.00	1.191	16.57%	111.36%	89.58%	13.0148	14.83%
-3,000.00	1.183	16.38%	112.14%	88.87%	13.8598	15.01%

Tabla 5.11. P.H. El Cajón – Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros; incremento en las inversiones, incremento en el periodo de construcción, tasa de descuento y disminución de las tarifas.

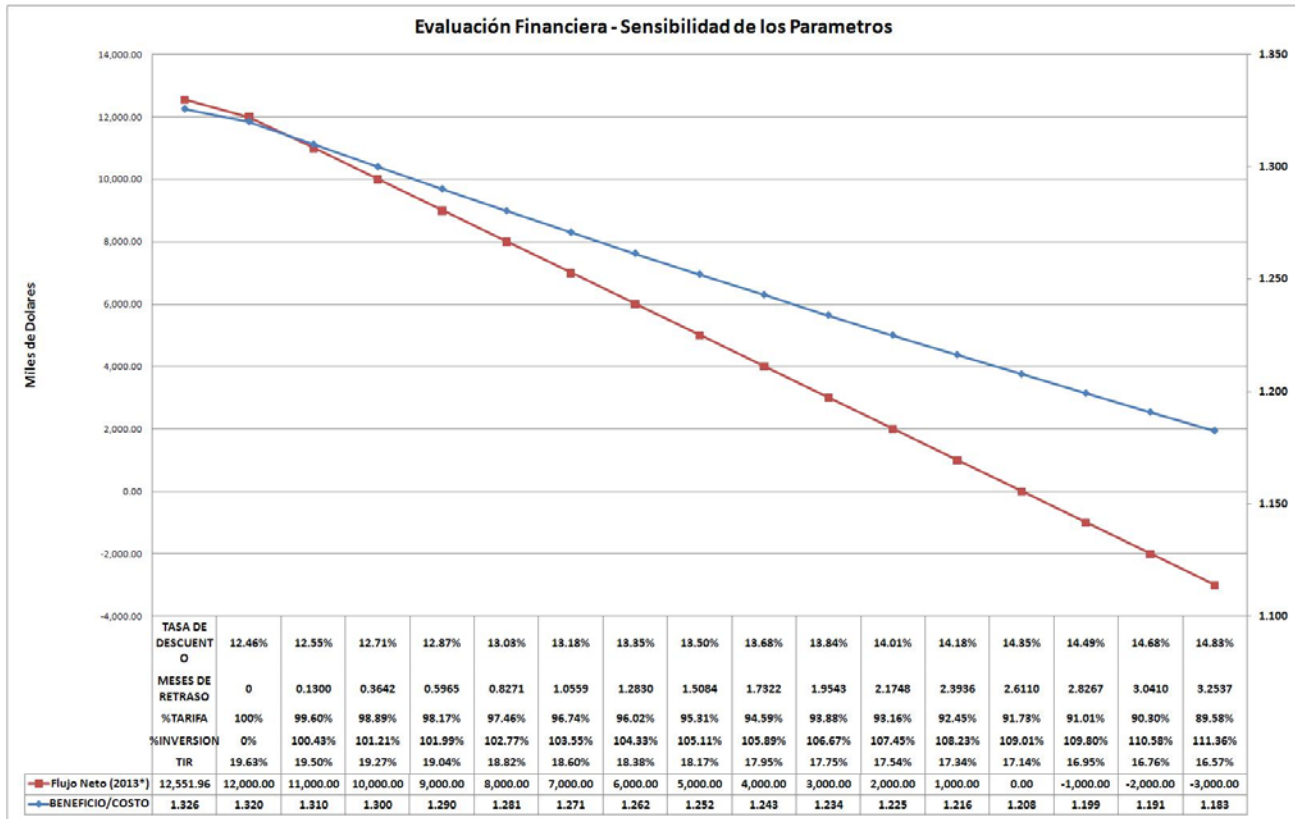


Figura 5.17. P.H. El Cajón – Grafica Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros; incremento en las inversiones, incremento en el periodo de construcción, tasa de descuento y disminución de las tarifas.

5.1.5 Simulación con el Método Monte Carlo.

Para la aplicación del Método de Monte Carlo se adaptará la metodología propuesta en el capítulo tercero, aunque cabe destacar la importancia para el desarrollo del modelo la característica del ser humano para innovar de forma positiva para descubrir e inventar para resolver problemas mediante la creatividad, heurística, para la construcción del modelo se debió hacer uso del ingenio para modelar con el mayor apego a la ciencia con el fin de lograr un modelo que represente la realidad con la visión a la aplicación de este modelo a proyectos subsiguientes, lo anterior se podrá observar concretamente en el próximo subcapítulo correspondiente al Proyecto de La Yesca.

5.1.5.1. Formulación del problema

El interés principal parte en dos sentidos, la determinación de las probabilidades de ocurrencia de eventos y en segundo término los costos estimados del proyecto; en este sentido se enfoca en realizar un modelo adoptando el diagrama de Gantt, asemejando a los métodos PERT y CPM mencionado en el Capítulo Segundo, para el interesado en dichos métodos se puede consultar a **Ted Klastorin (2004)** para una explicación más detallada.

Ahora bien, con relación a las variables implicadas, con la visión –como ya se menciona- a un uso posterior, siguiendo el WBS presentado al inicio de este subcapítulo se construyó un diagrama de Gantt con las principales actividades de construcción del proyecto hasta un tercer nivel en jerarquía; retomando el análisis que se realizó para la validación del Principio de Pareto se formuló una programación en la que las actividades en el tercer nivel en jerarquía se subdividieron en las actividades de mayor relevancia como lo son Excavaciones Exteriores, Excavaciones Subterráneas, Colocación de Concreto y Colocación del Enrocamiento en Ataguías y la Cortina.

Se retoma el programa de construcción donde persiguió como objetivo la estandarización de actividades para su adaptación a futuros proyectos hidroeléctricos de similar complejidad, a continuación se presenta dicho programa incluyendo las dependencias entre actividades y la Ruta Crítica, recordando que la ruta crítica (CPM) se implementa para determinar la duración total del proyecto utilizando la duración de cada actividad y las relaciones entre ellas.

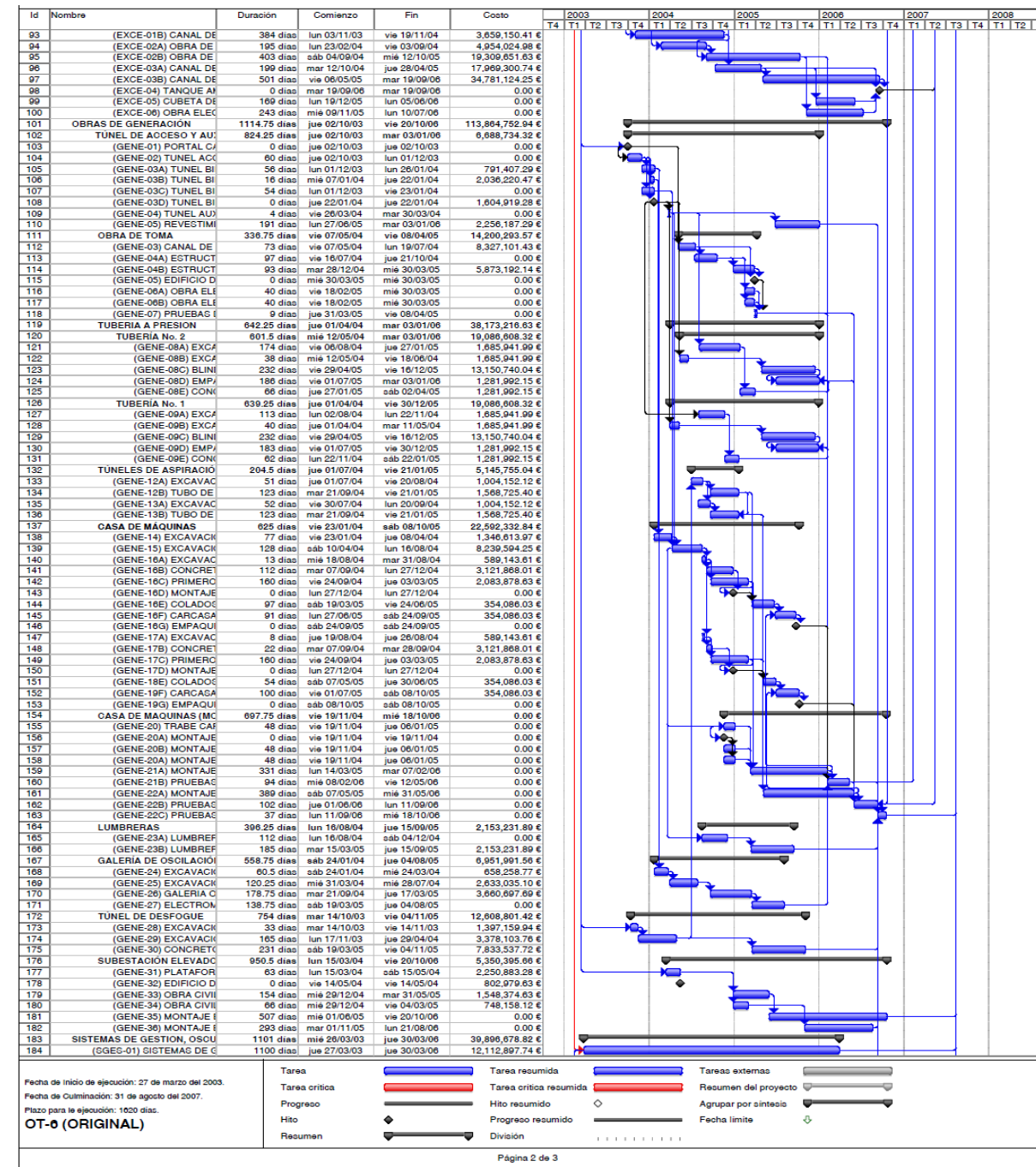
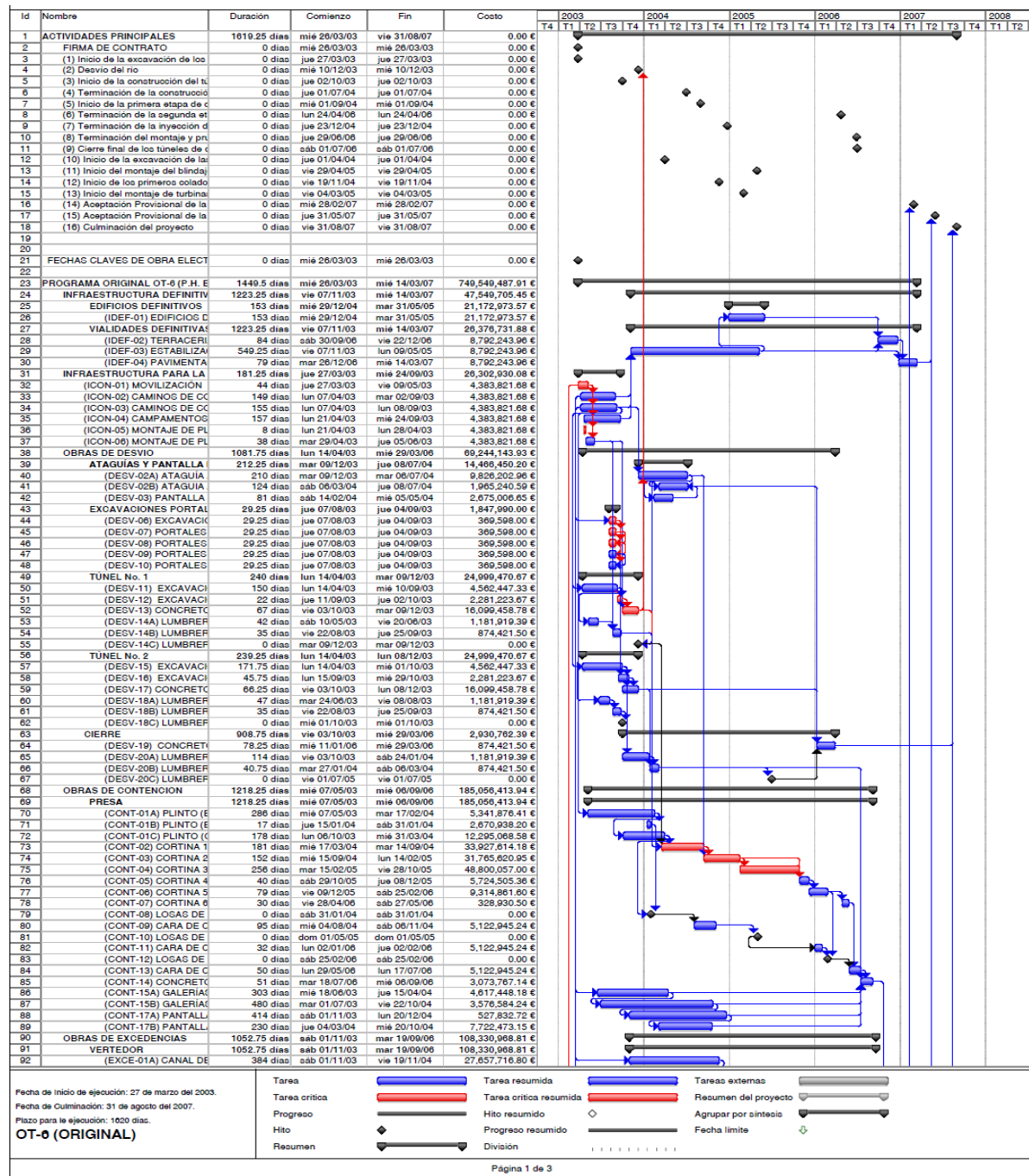


Figura 5.18. P.H. El Cajón. Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas, dependencia entre actividades y Ruta Crítica (1 y 2 de 3). Microsoft® Office Project 2007.

La dificultad en la elaboración del programa anterior radica -como se puede visualizar-, en las dependencias de las actividades, las cuales deben realizar ingenieros que estén familiarizados en la construcción de hidroeléctricas, las actividades que integran su construcción con vías a la programación de un proyecto con tal complejidad y dimensión.

Considerando el Paradigma de desempeño expuesto en el Primer Capítulo, los criterios de prioridad para el inicio del presente modelado se basan en el Costo y el Tiempo, dejando subordinada la Calidad –o alcances-, pues en los métodos expuestos la cuestión de seguridad se adopta de alguna forma en los criterios con que se formulan estos métodos sobre todo el caso de Monte Carlo y el APRAM. En este sentido las variables de interés son las actividades indicadas hasta un tercer nivel de jerarquía indicadas en el WBS del Proyecto, en dos sentidos su tiempo de ejecución y costo; cada frente de trabajo está integrado por un conjunto de actividades, por lo cual se puede obtener la información de acuerdo a la jerarquía de interés (Obra Civil, Obra Electromecánica, Frentes de Trabajo y Estructuras), todo lo anterior se visualiza más claramente al observar las Figuras anteriores con el Programa de Construcción.

Para el desarrollo del modelo, en cada una de las actividades particulares mencionadas en el párrafo anterior, la necesidad de conocer el comportamiento de los costos y duraciones de dichas actividades. En lo que respecta a las duraciones se asume la misma condición que se establece en el método PERT, esto es que el comportamiento de las duraciones de las tareas siguen el comportamiento descrito por la Función Beta (**Malcolm et al., 1959**); la distribución beta es una distribución de probabilidad continua con dos parámetros de forma α_1 y α_2 (también se usa la notación α y β respectivamente), cuya función de densidad para $a < X < b$:

Con los parámetros anteriores se define la media como:

$$\mu = a + (b - a) \left(\frac{\alpha}{\alpha + \beta} \right) \dots\dots\dots(5.1)$$

Y la varianza por:

$$\sigma^2 = (b - a)^2 \left\{ \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)} \right\} \dots\dots\dots(5.2)$$

No se pretende dar una explicación exhaustiva de la Distribución Beta, sin embargo, sí señalar las características particularmente por sus parámetros de forma, lo se puede visualizar en la siguiente figura con una Distribución definida de $0 < x < 1$ y solo haciendo los parámetros de forma α y β .

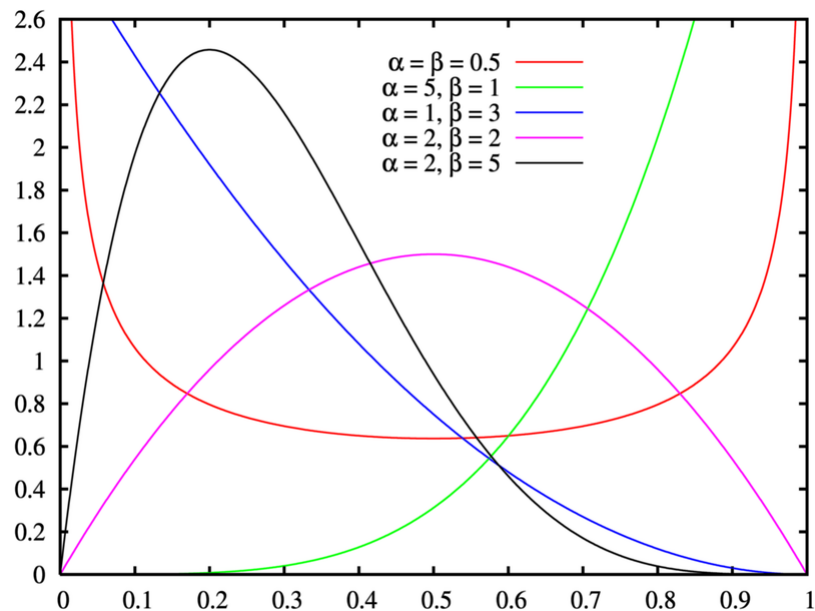


Figura 5.20. Forma de la Función de densidad de Probabilidad Beta de acuerdo a diferentes parámetros de forma α y β .

Para comprobar la sugerencia de Malcolm et al, sobre el ajuste a la distribución Beta para representar las duraciones de las actividades, se auxilio de las pruebas de bondad de ajuste Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirinov y de Anderson-Darling; para determinar las distribuciones de probabilidad que mejor se ajustan al comportamiento en la variación de las duraciones y costos de las actividades descritas en el Programa de construcción.

El estadístico Chi-Cuadrada es la prueba de bondad de ajuste más conocida, se puede utilizar con datos de muestras discretas y continuas, el estadístico está definido como:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(N_i - E_i)^2}{E_i}$$

donde

K = número de intervalos

N_i = número observado de ejemplos en el i -ésimo intervalo

E_i = número esperado de ejemplos en el i -ésimo intervalo

El estadístico de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov es:

$$D_n = \sup[|f_n(x) - F(x)|]$$

donde

n = el número total de datos

$F(x)$ = Función distribución acumulada

$f_n(x) = Nx/n$

Nx = el número de X_i menor que x .

Por último el estadístico de ajuste de la prueba Anderson-Darling que se utilizó se define como:

$$A_n^2 = n \int_{-\infty}^{+\infty} [f_n(x) - F(x)]^2 \Psi(x) g(x) dx$$

Donde:

n = número total de datos

$$\Psi^2 = \frac{1}{F(x)[1 - F(x)]}$$

$g(x)$ = función de densidad hipotética

$F(x)$ = función de densidad acumulada hipotética

$f_n = Nx/n$

Nx = el número de X_i menos que x .

Para el cálculo de bondad de ajuste se auxilió del programa Palisade® @Risk for Project 4.14, particularmente de la aplicación para la prueba de bondad de ajuste. Las distribuciones analizadas fueron la Uniforme, Triangular, Normal, Log-Normal, Gamma,

Exponencial y Beta. A continuación se muestra como ejemplo una ventana con el análisis de ajuste.

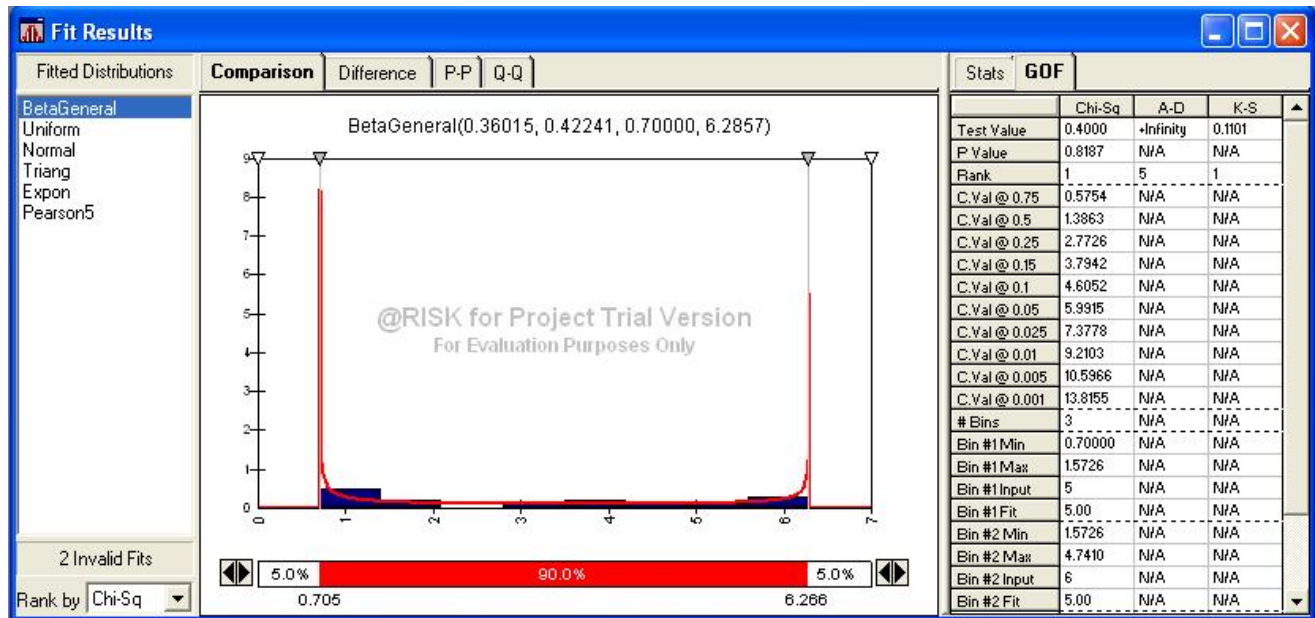


Figura 5.21. P.H. El Cajón – Ventana con la aplicación de prueba de bondad de ajuste (Duración – Concretos en las Obras de Desvío), Palisade® @Risk for Project 4.14

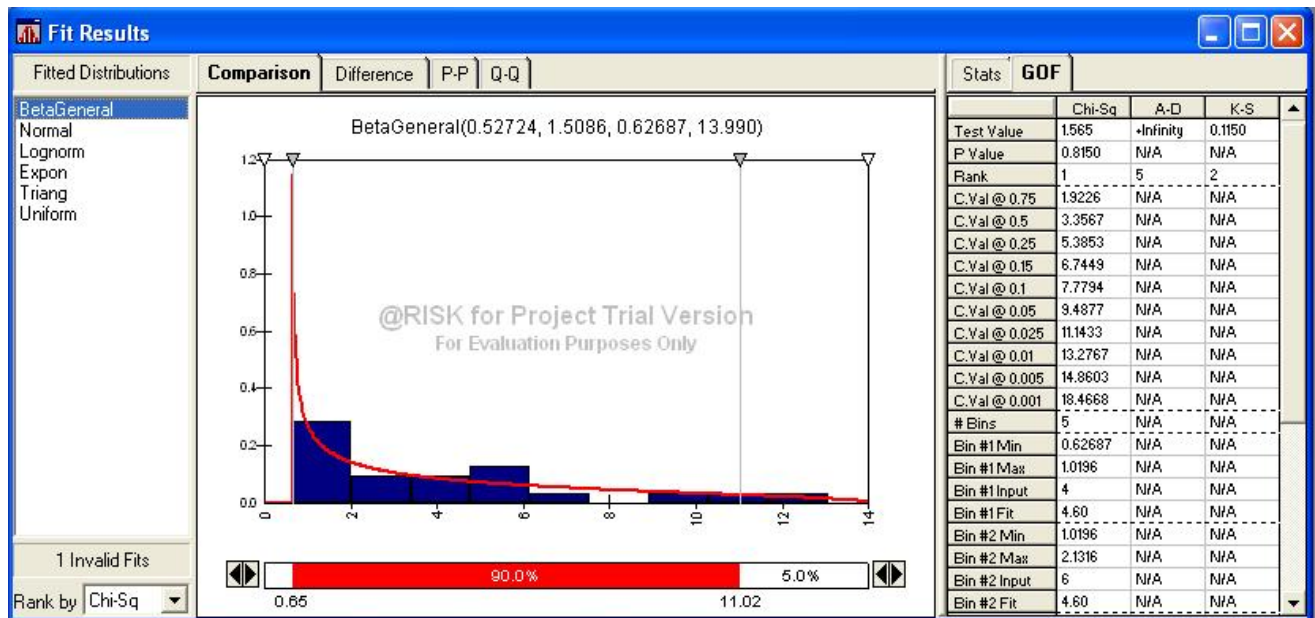


Figura 5.22. P.H. El Cajón – Ventana con la aplicación de prueba de bondad de ajuste (Costos – Excavación a Cielo Abierto), Palisade® @Risk for Project 4.14

Con relación a las duraciones, los resultados en de las pruebas de bondad de ajuste se muestran a continuación:

	PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE	VALOR DE PRUEBA*	p-VALOR	VALOR DE PRUEBA*	p-VALOR	VALOR DE PRUEBA*	p-VALOR	VALOR DE PRUEBA*	p-VALOR	VALOR DE PRUEBA*	p-VALOR
OBRAS DE DESVIO											
ENROCAMIENTO		Beta (1)		Exponencial (2)		Normal (3)		Triangular (4)		Uniforme (5)	
	Chi-Cuadrada	1.6	0.2059	1.6	0.2059	1.6	0.2059	1.6	0.2059	1.6	0.2059
	Anderson-Darling	(+)Infinito	N/A**	1.837	< 0.01	1.166	< 0.005	(+)Infinito	N/A**	1.825	N/A**
	Kolmogorov-Smirinov	0.3004	N/A**	0.4145	< 0.01	0.3145	< 0.01	0.3981	N/A	0.4027	N/A**
CONCRETOS		Beta (1)		Uniforme (2)		Normal (3)		Triangular (4)		Exponencial (5)	
	Chi-Cuadrada	0.4	0.8187	1.2	0.5488	2.8	0.2466	2.8	0.2466	3.6	0.1653
	Anderson-Darling	(+)Infinito	N/A**	0.7725	N/A**	0.6654	0.05sp≤0.1	(+)Infinito	N/A**	0.6504	0.05sp≤.1
	Kolmogorov-Smirinov	0.1101	N/A**	0.2417	N/A	0.2151	0.05sp≤ 0.1	0.2083	N/A**	0.2046	0.15sp≤0.25
EXCAVACION SUBTERRANEA		Exponencial (1)		Beta (2)		Log-Normal (3)		Normal (4)		Triangular (5)	
	Chi-Cuadrada	0.125	0.9394	0.5	0.7788	4.625	0.099	4.625	0.099	4.625	0.099
	Anderson-Darling	0.5818	0.1sp≤0.15	(+)Infinito	N/A	1.446	N/A	1.381	< 0.005	(+)Infinito	N/A
	Kolmogorov-Smirinov	0.1798	> 0.25	0.2074	N/A	0.2807	N/A	0.2742	< 0.01	0.3402	N/A
OBRAS DE CONTENCIÓN											
ENROCAMIENTO		Uniforme (1)		Triangular (2)		Log-Normal (3)		Normal (4)		Beta (5)	
	Chi-Cuadrada	5.394	0.4944	7.939	0.2426	10.48	0.1057	10.48	0.1057	16	0.0138
	Anderson-Darling	2.649	N/A	(+)Infinito	N/A	0.9378	N/A	0.8993	0.01sp≤0.025	(+)Infinito	N/A
	Kolmogorov-Smirinov	0.2285	N/A	0.1638	N/A	0.149	N/A	0.1479	0.05sp≤0.1	0.2209	N/A
CONCRETOS		Exponencial (1)		Log-Normal (2)		Normal (3)		Triangular (4)		Uniforme (5)	
	Chi-Cuadrada	7.333	0.062	27.78	4.0438E-06	27.78	4.0438E-06	39.33	1.4752E-08	46.44	4.5624E-10
	Anderson-Darling	2.515	< 0.01	4.269	N/A	4.268	< 0.005	(+)Infinito	N/A	20.23	N/A
	Kolmogorov-Smirinov	0.3358	< 0.01	0.3576	N/A	0.3554	< 0.01	0.6849	N/A	0.7499	N/A
EXCAVACION A CIELO ABIERTO		Log-Normal (1)		Beta (2)		Exponencial (3)		Triangular (4)		Gamma	
	Chi-Cuadrada	8.29	0.1409	14.48	0.0128	17.19	0.0041	17.97	0.003	18.35	0.0025
	Anderson-Darling	0.961	N/A	(+)Infinito	N/A	1.635	< 0.01	(+)Infinito	N/A	1.131	N/A
	Kolmogorov-Smirinov	0.1689	N/A	0.1952	N/A	0.2288	< 0.01	0.3531	N/A	0.1812	N/A
EXCAVACION SUBTERRANEA		Triangular (1)		Beta (2)		Exponencial (3)		Normal (4)		Uniforme (5)	
	Chi-Cuadrada	0	1	0.6667	0.4142	0.6667	0.4142	0.6667	0.4142	0.6667	0.4142
	Anderson-Darling	(+)Infinito	N/A	(+)Infinito	N/A	0.5033	0.025sp≤ 0.05	0.2677	> 0.25	0.5329	N/A
	Kolmogorov-Smirinov	0.1667	N/A	0.2935	N/A	0.3031	0.15sp≤0.25	0.1906	> 0.15	0.3152	N/A
OBRAS DE GENERACIÓN											
CONCRETOS		Beta (1)		Normal (2)		Log-Normal (3)		Exponencial (4)		Triangular (5)	
	Chi-Cuadrada	1.565	0.815	2	0.7358	2.435	0.6564	3.304	0.5082	7.217	0.1248
	Anderson-Darling	(+)Infinito	N/A	1.231	< 0.005	1.24	N/A	0.2088	> 0.25	(+)Infinito	N/A
	Kolmogorov-Smirinov	0.115	N/A	0.1651	0.05sp≤0.1	0.1597	N/A	0.09598	> 0.25	0.2283	N/A
EXCAVACION SUBTERRANEA		Log-Normal (1)		Exponencial (2)		Normal (3)		Triangular (4)		Uniforme (5)	
	Chi-Cuadrada	1.833	0.7664	3.083	0.544	24.33	6.8479E-05	28.08	1.1997E-05	40.17	3.9981E-08
	Anderson-Darling	0.1591	N/A	1.049	0.01sp≤0.025	2.759	< 0.005	(+)Infinito	N/A	16.41	N/A
	Kolmogorov-Smirinov	0.08639	N/A	0.1738	0.15sp≤0.25	0.2514	< 0.01	0.4548	N/A	0.5585	N/A
OBRAS DE EXCEDENCIAS											
CONCRETOS		Exponencial (1)		Log-Normal (2)		Normal (3)		Beta (4)		Triangular (5)	
	Chi-Cuadrada	0.8182	0.3657	0.8182	0.3657	0.8182	0.3657	2.273	0.1317	2.273	0.1317
	Anderson-Darling	0.2935	> 0.25	0.2585	N/A	0.8815	0.01sp≤0.025	(+)Infinito	N/A	(+)Infinito	N/A
	Kolmogorov-Smirinov	0.1776	> 0.25	0.187	N/A	0.2272	0.1sp≤0.15	0.323	N/A	0.328	N/A
EXCAVACION A CIELO ABIERTO		Beta (1)		Exponencial (2)		Normal (3)		Triangular (4)		Uniforme (5)	
	Chi-Cuadrada	1.6	0.2059	6.4	0.0114	6.4	0.0114	6.4	0.0114	6.4	0.0114
	Anderson-Darling	(+)Infinito	N/A	3.423	< 0.01	2.292	< 0.005	2.292	< 0.005	7.344	N/A
	Kolmogorov-Smirinov	0.3888	N/A	0.5749	< 0.01	0.4264	< 0.01	0.4264	< 0.01	0.7101	N/A

Nota: Se muestra de izquierda a derecha las distribuciones de probabilidad con mejor ajuste.
 *Valor del estadístico de prueba (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirinov, Anderson-Darling)
 N/A; No aplica la prueba

Tabla 5.12. P.H. El Cajón – Resultado de la Prueba de Bondad de Ajuste, Duración de las Actividades (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirinov, Anderson-Darling).

Para el caso de ajuste de la distribución de probabilidad de los costos se realizaron las mismas pruebas de bondad de ajuste, enseguida la ventana con un análisis de los costos.

Con relación a los costos, los resultados de las pruebas de bondad de ajuste se muestran a continuación:

	PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE	VALOR DE PRUEBA*	p-VALOR	VALOR DE PRUEBA*	p-VALOR	VALOR DE PRUEBA*	p-VALOR	VALOR DE PRUEBA*	p-VALOR	VALOR DE PRUEBA*	p-VALOR
GENERAL											
CONCRETOS		Log-Normal (1)		Exponencial (2)		Normal (3)		Triangular (4)		Uniforme (5)	
	Chi-Cuadrada	2	0.5724	6.444	0.0919	17.11	0.00067051	21.56	8.0704E-05	27.78	4.0438E-06
	Anderson-Darling	0.3906	N/A	0.7236	0.05≤p≤0.1	2.332	< 0.005	(+)Infinito	N/A	11.06	N/A
	Kolmogorov-Smirnov	0.1565	N/A	0.1792	> 0.25	0.3002	< 0.01	0.4907	N/A	0.5729	N/A
EXCAVACION A CIELO ABIERTO		Beta (1)		Exponencial (2)		Log-Normal (3)		Normal (4)		Triangular (5)	
	Chi-Cuadrada	2.273	0.1317	2.273	0.1317	2.273	0.1317	2.273	0.1317	2.273	0.1317
	Anderson-Darling	(+)Infinito	N/A	1.254	< 0.01	1.493	N/A	1.435	< 0.005	(+)Infinito	N/A
	Kolmogorov-Smirnov	0.2489	N/A	0.2569	0.1≤p≤0.15	0.3382	N/A	0.3332	< 0.01	0.4977	N/A
EXCAVACION SUBTERRANEA		Beta (1)		Exponencial (2)		Normal (3)		Triangular (4)		Uniforme (5)	
	Chi-Cuadrada	5.444	0.0196	5.444	0.0196	5.444	0.0196	5.444	0.0196	5.444	0.0196
	Anderson-Darling	(+)Infinity	N/A	2.867	< 0.01	1.702	< 0.005	(+)Infinity	N/A	2.795	N/A
	Kolmogorov-Smirnov	0.4344	N/A	0.5732	< 0.01	0.4314	< 0.01	0.479	N/A	0.5776	N/A

Nota: Se muestra de izquierda a derecha las distribuciones de probabilidad con mejor ajuste .

*Valor del estadístico de prueba (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling)

N/A; No aplica la prueba

Tabla 5.13. P.H. El Cajón – Resultado de la Prueba de Bondad de Ajuste, Costo de las Actividades (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling).

Con base en los resultados, en general se observa que la distribución Beta presenta un buen ajuste, tanto para las duraciones como para los costos. Para simplificar el desarrollo del modelo se optó por esta distribución para describir el comportamiento de las duraciones y los costos de las actividades.

5.1.5.2. Colección de datos y Análisis

Para realizar el ajuste de las distribuciones de probabilidad de las duraciones de las actividades, acordes con el programa representado por el diagrama de Gantt incluyendo su ruta crítica, a partir del programa original de construcción OT-6 y el seguimiento de dicho programa se actualizó con el programa final formalizado del Convenio Modificatorio No.7. Se pudo realizar un análisis estadístico para determinar la variación de las duraciones reales con relación a las programadas originalmente en los principales rubros de trabajo contemplados por cada frente de trabajo de la obra, recordando que el análisis de la obra civil es central, pues ya se ha mencionado en el presente trabajo que es la parte de las hidroeléctricas que está expuesta a una mayor incertidumbre.

Para el análisis de ajuste de los parámetros se utilizó el programa estadístico **NCSS Versión 07.1.21**©, en las siguientes figuras se visualizan una ventana de trabajo y de resultados de uno de estos análisis, en particular se observa el análisis de los conceptos que involucran las obras de concreto en las obras de desvío. **Figura 5.23** y **Figura 5.24**.

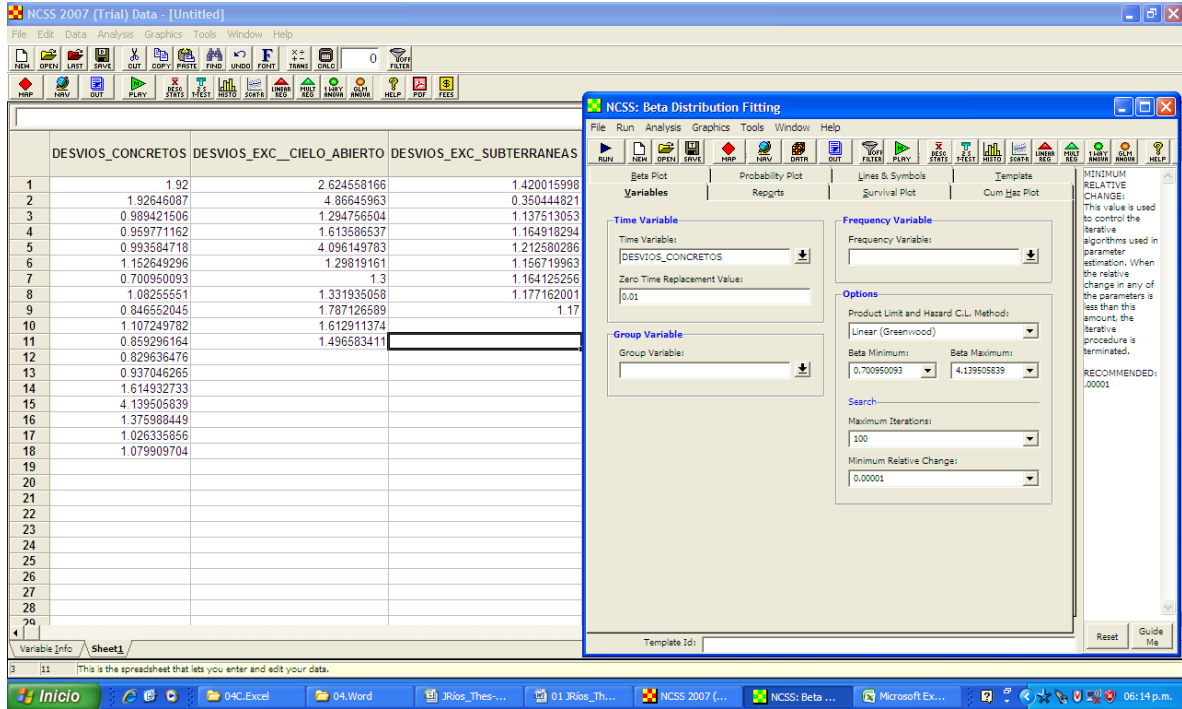


Figura 5.23. P.H. El Cajón – Ventana con la aplicación de ajuste a una distribución Beta. NCCS Versión 07.1.21 ©.

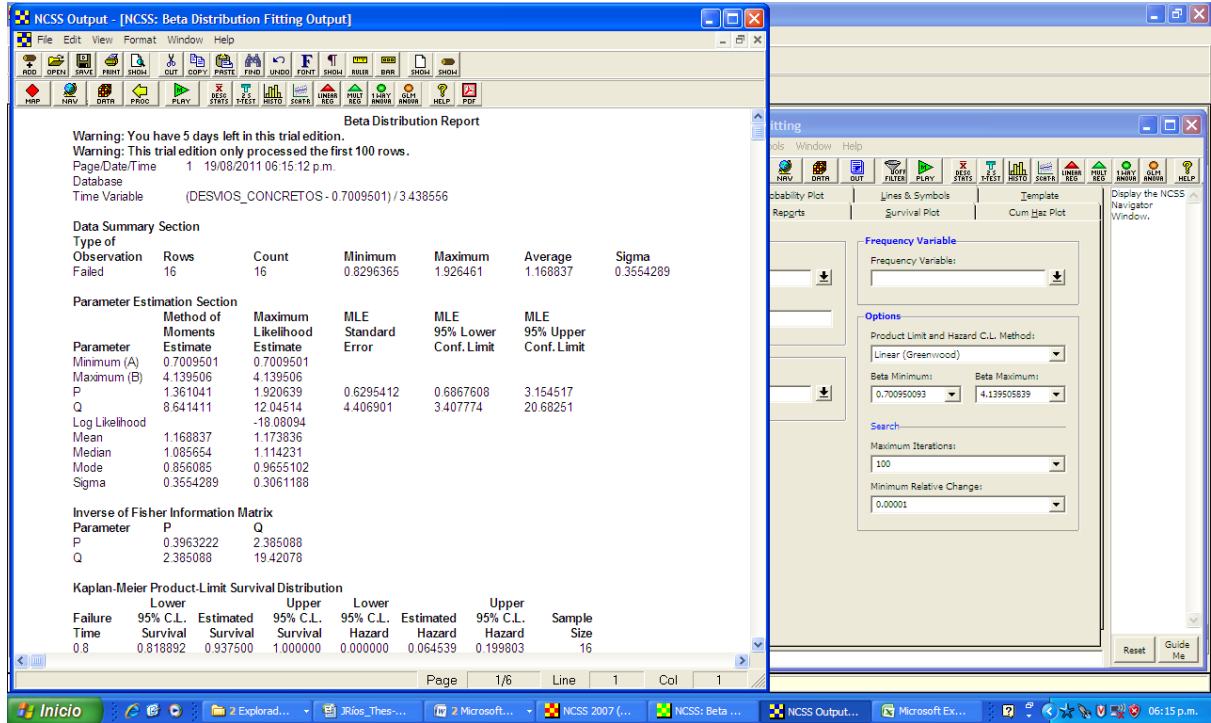


Figura 5.24. P.H. El Cajón – Ventana de resultados de la aplicación Ajuste a una distribución Beta. NCSS Versión 07.1.21 ©.

Los resultados obtenidos con el programa, calculado con el método de momentos, los ajustes a distribuciones Beta son los siguientes:

COSTO DE LAS ACTIVIDADES - AJUSTE A LA DISTRIBUCION BETA					
DESVÍOS					
MÉTODO	PARÁMETRO	ENROCAMIENTO	CONCRETOS	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	EXCAVACION SUBTERRANEA
Método de los Momentos	Mínimo(A)		0.7009501	1.294757	0.3504448
	Máximo (B)		4.139506	4.86646	1.420016
	α (P)		1.361041	0.1974752	298.8018
	β (Q)		8.641411	0.9549638	91.62849
	Media		1.168837	1.906783	1.169003
	Mediana		1.085654	1.408793	1.169488
	Moda		0.856085		1.170464
	Sigma		0.3554289	0.917364	0.0229111
CONTENCIÓN					
MÉTODO	PARÁMETRO	ENROCAMIENTO	CONCRETOS	EXCAV.CIELO ABIERTO	EXCAVACION SUBTERRANEA
Método de los Momentos	Mínimo(A)	1.053	0.7009501	0.7967733	0.3504448
	Máximo (B)	1.287	4.139506	2.994744	1.420016
	α (P)		1.361041	0.1974752	298.8018
	β (Q)		8.641411	0.9549638	91.62849
	Media	1.17	1.168837	1.173405	1.169003
	Mediana		1.085654	0.8669498	1.169488
	Moda		0.856085		1.170464
	Sigma		0.3554289	0.5645317	0.0229111
EXCEDENCIAS					
MÉTODO	PARÁMETRO	ENROCAMIENTO	CONCRETOS	EXCAV.CIELO ABIERTO	EXCAVACION SUBTERRANEA
Método de los Momentos	Mínimo(A)		0.7885689	0.8963699	
	Máximo (B)		4.656944	3.369087	
	α (P)		1.361041	0.1974752	
	β (Q)		8.641411	0.9549638	
	Media		1.314942	1.32008	
	Mediana		1.221361	0.9753186	
	Moda		0.9630957		
	Sigma		0.3998576	0.6350982	
GENERACION					
MÉTODO	PARÁMETRO	ENROCAMIENTO	CONCRETOS	EXCAV.CIELO ABIERTO	EXCAVACION SUBTERRANEA
Método de los Momentos	Mínimo(A)		0.6206329	0.7071363	0.3115065
	Máximo (B)		3.665187	2.657836	1.262236
	α (P)		1.361041	0.1974752	298.8018
	β (Q)		8.641411	0.9549638	91.62849
	Media		1.034908	1.041397	1.039114
	Mediana		0.9612561	0.7694179	1.039545
	Moda		0.757992		1.040412
	Sigma		0.3147027	0.5010219	0.02036542

Tabla 5.14. P.H. El Cajón – Parámetros de ajuste a distribuciones Beta de los Costos de las Actividades por Frente de Trabajo de obra Civil.

Para el caso de los costos se auxilio de la base de datos del presupuesto del P.H. El Cajón, la misma con la que se construyeron los cuadros del Presupuesto del presente subcapítulo, con esta se pudieron obtener los datos de la variación por tipo de concepto

de los Frentes de trabajo de la Obra Civil. A partir estos datos se calculó con el mismo paquete de computo **NCSS Versión 07.1.21**®, los resultados con los parámetros de ajuste se presenta a continuación en la **Tabla 5.15**.

DURACION DE LAS ACTIVIDADES - AJUSTE A LA DISTRIBUCION BETA					
DESVIOS					
MÉTODO	PARÁMETRO	ENROCAMIENTO	CONCRETOS	EXCAV.CIELO ABIERTO	EXCAVACION SUBTERRANEA
Método de los Momentos	Mínimo(A)	0.82	0.6	0.28	0.28
	Máximo (B)	0.99	6	13.41	6.2
	α (P)	0.5188869	0.3780964	0.3819657	0.3066503
	β (Q)	0.297781	0.5120501	2.018205	0.6438065
	Media	0.928013	2.893691	2.369522	2.189997
	Mediana	0.9498491	2.518342	1.237997	1.381637
	Moda				
	Sigma	0.06070864	1.941521	2.604756	1.981621
CONTENCION					
MÉTODO	PARÁMETRO	ENROCAMIENTO	CONCRETOS	EXCAV.CIELO ABIERTO	EXCAVACION SUBTERRANEA
Método de los Momentos	Mínimo(A)	0.38	0.76	0.2	0.51
	Máximo (B)	2.3	2.72	4.54	1.36
	α (P)	0.5970362	0.4241331	0.5443708	0.4362606
	β (Q)	0.983117	1.291834	1.582073	0.6522956
	Media	1.105442	1.24445	1.311043	0.8506544
	Mediana	0.9911516	1.046829	0.9620152	0.7887556
	Moda				
	Sigma	0.5795384	0.5130259	1.071202	0.2882307
EXCEDENCIAS					
MÉTODO	PARÁMETRO	ENROCAMIENTO	CONCRETOS	EXCAV.CIELO ABIERTO	EXCAVACION SUBTERRANEA
Método de los Momentos	Mínimo(A)		0.5510204	0.29	
	Máximo (B)		5.286885	1.04	
	α (P)		1.436128	0.2948249	
	β (Q)		4.868968	0.04840815	
	Media		1.62972	0.9342231	
	Mediana		1.488972	1.039993	
	Moda				
	Sigma			0.7348685	0.225236
GENERACION					
MÉTODO	PARÁMETRO	CONCRETOS (CASA DE MAQUINAS)	CONCRETOS (TUNELES)	EXCAV.SUBTERRANEAS	EXCAV. SUBTERRANEAS
Método de los Momentos	Mínimo(A)	1.176471	0.971831	0.6923077	0.4782609
	Máximo (B)	4.795455	6.296703	1.606061	5.428571
	α (P)	4.329705	0.2950011	0.6333843	0.7120502
	β (Q)	3.299792	0.6158314	1.455335	1.665087
	Media	3.230227	2.696454	0.9693946	1.961082
	Mediana	3.25262	1.944319	0.9066709	1.658498
	Moda	3.317008			
	Sigma	0.610338	1.802611	0.2389872	1.233894

Tabla 5.15. P.H. El Cajón; Parámetros de ajuste a distribuciones Beta de los Costos de las Actividades por Frente de Trabajo de obra Civil. NCSS Versión 07.1.21 ©.

5.1.5.3. Desarrollo del modelo

Para la construcción del modelo y aplicación del método Monte Carlo se utilizó en primer término, como ya se mencionó, el Software Microsoft ®Office Project, y en específico se auxilió del paquete de computo especializado llamado Palisade ® @Risk for Project 4.14, el cual le brinda al paquete de computo Microsoft ®Office Project opciones para la aplicaciones de distribuciones de probabilidad a las actividades del programa de construcción elaborado y con ello producir un modelo con características estocásticas para la generación de simulaciones Monte Carlo, centro del presente subcapítulo.

Las variables de entrada son los elementos básicos del Software Microsoft ®Office Project en el programa del proyecto, identificadas como de importancia para el análisis (costos y duraciones), estas variables se pueden representar por medio de distribuciones de probabilidad (Uniforme, Triangular, Normal, Poisson, Gamma, Exponencial etc.), **Figura 5.25.**

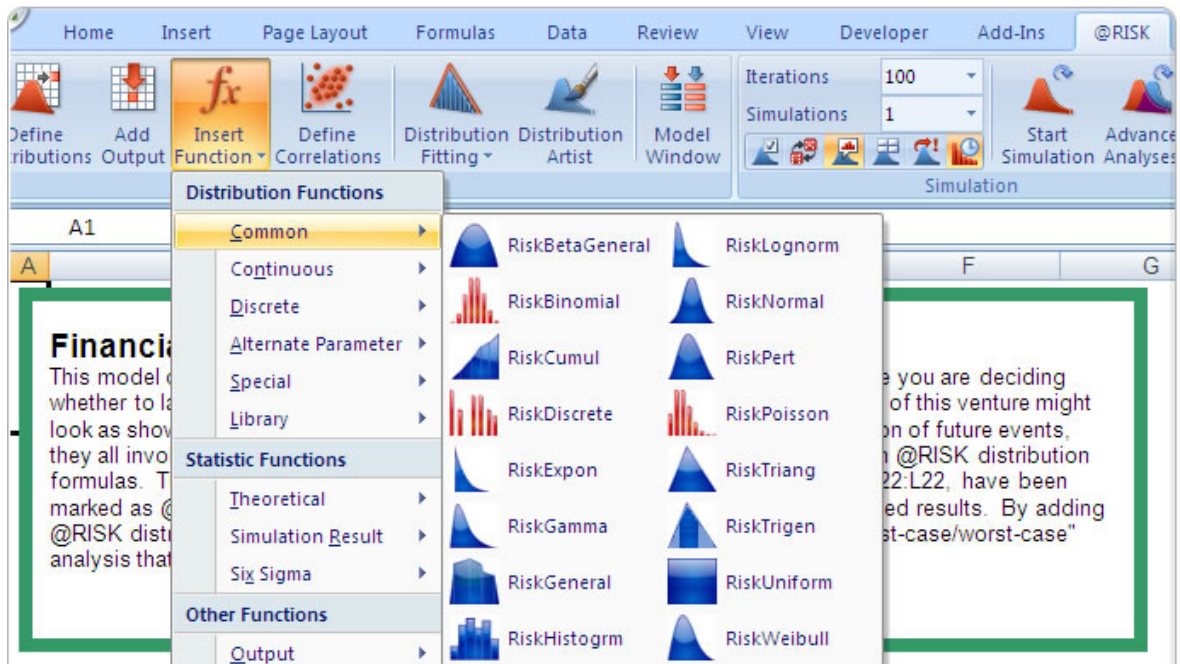


Figura 5.25. Vista de las distribuciones de probabilidad, disponibles para las variables de entrada en el software Palisade ®@Risk for Project 4.14.

Para visualizar la construcción a continuación se presenta una ventana con la asignación de la distribución de probabilidad ajustada a una actividad en específico.

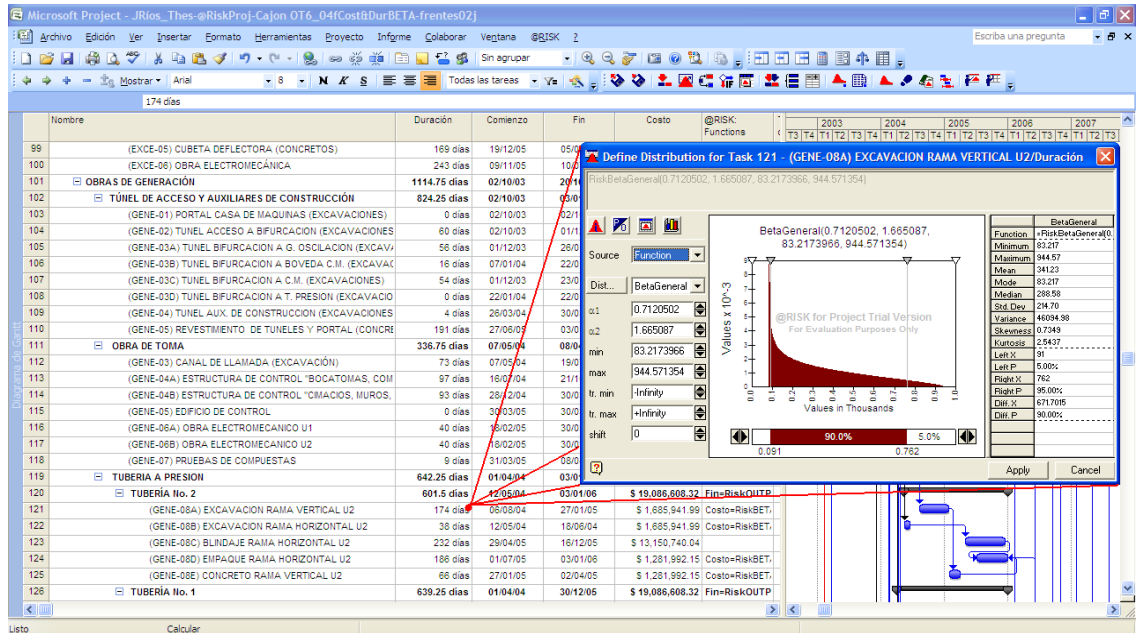


Figura 5.26. Ejemplo de definición de distribución de probabilidad a la duración de una actividad del programa de construcción. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

En esta etapa cabe destacar el siguiente aspecto, el parámetro más crítico es la media de la duración pues como se puede determinar en las tablas anteriores, después de realizar el análisis y obtención de los parámetros de ajuste a distribución Beta, por Frente y por tipo de trabajo (enrocamiento, concretos, excavaciones), con la información disponible. Por ejemplo se puede observar en la tabla anterior que el promedio de duración de las actividades de concretos en las obras de desvío casi se triplicó.

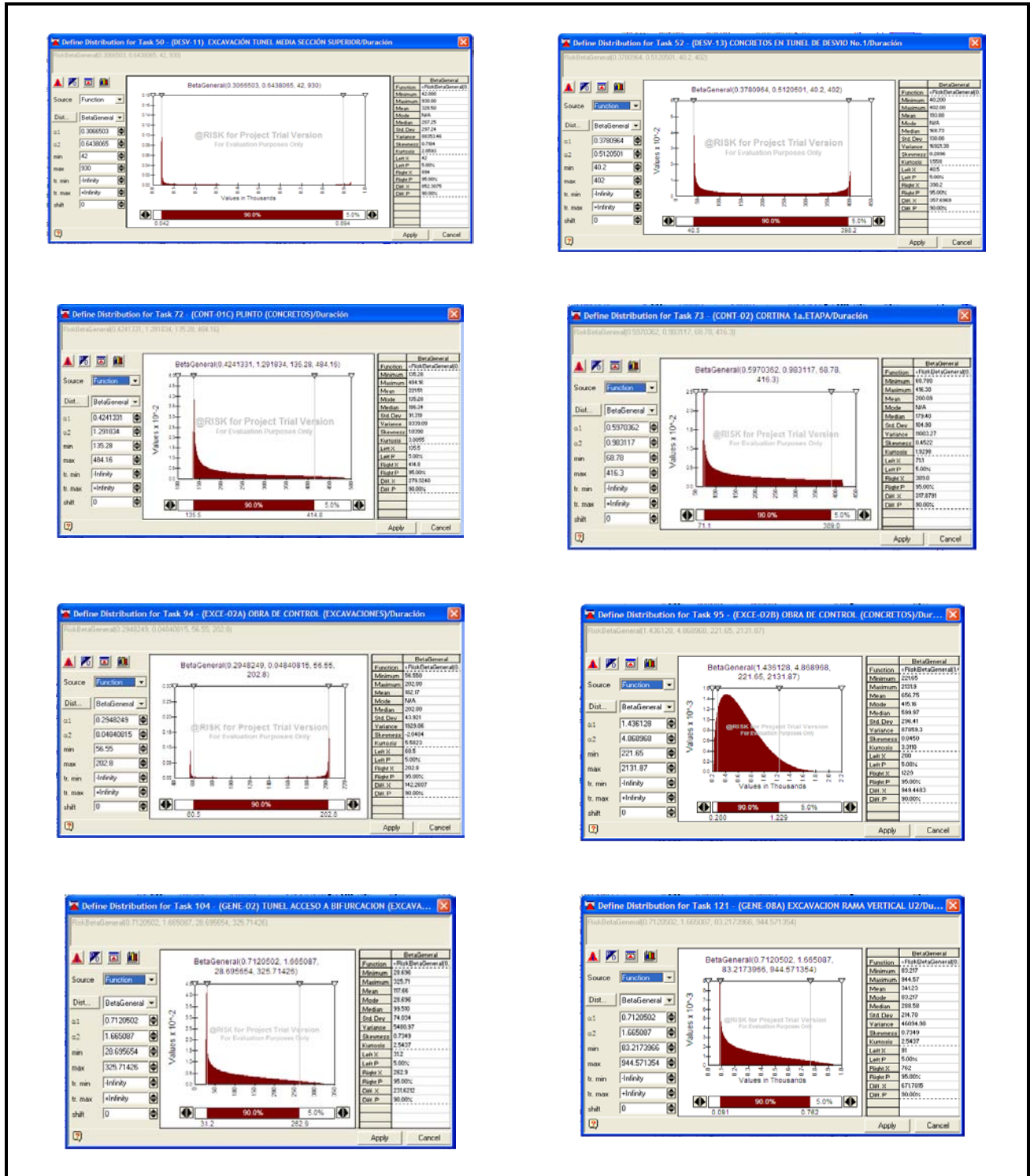


Figura 5.27. Ejemplo de algunas distribuciones asignadas a las actividades de construcción del proyecto el Cajón. Palisade @Risk for Project 4.14.

Como ya se mencionó, también se realizó el ajuste de las distribuciones al caso de los costos de las actividades del proyecto. La asignación de distribuciones de probabilidad para el caso de los costos es de forma similar y a continuación se presenta una ventaja mostrando un ejemplo:

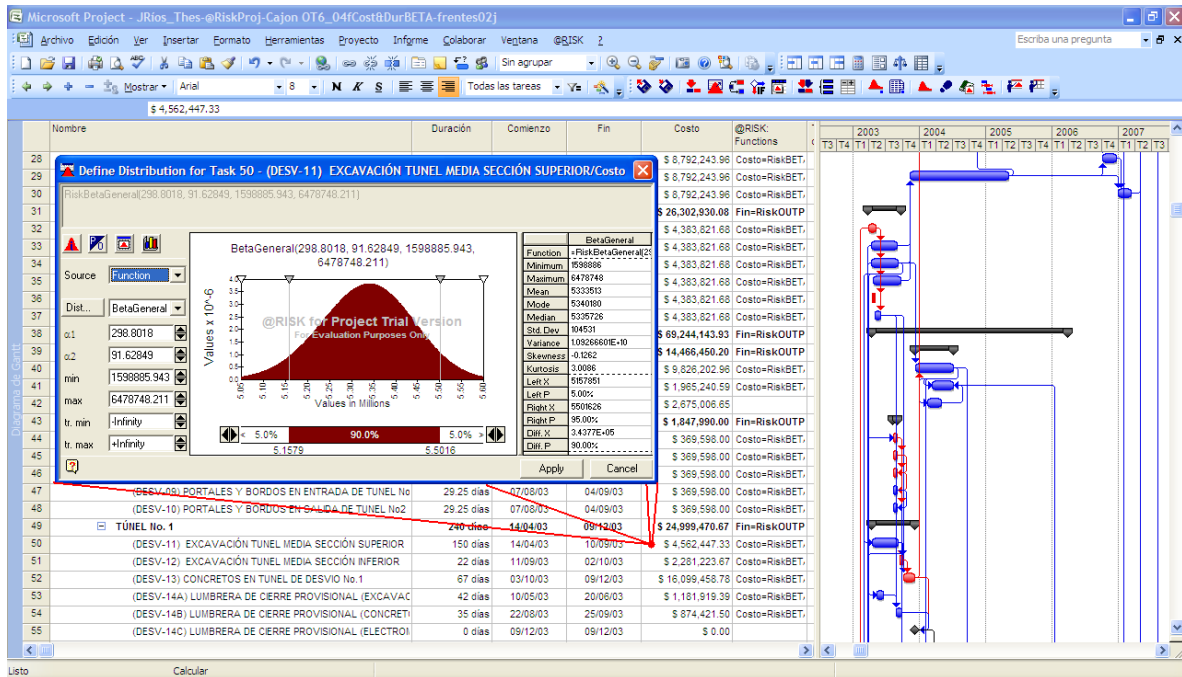


Figura 5.28. P.H. El Cajón – Ejemplo de definición de distribución de probabilidad a la duración de una actividad del programa de construcción. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

Igualmente al caso de las duraciones a continuación se presenta como ejemplo algunas distribuciones de probabilidad asignadas a diversas actividades de los frentes de trabajo de la Obra Civil.

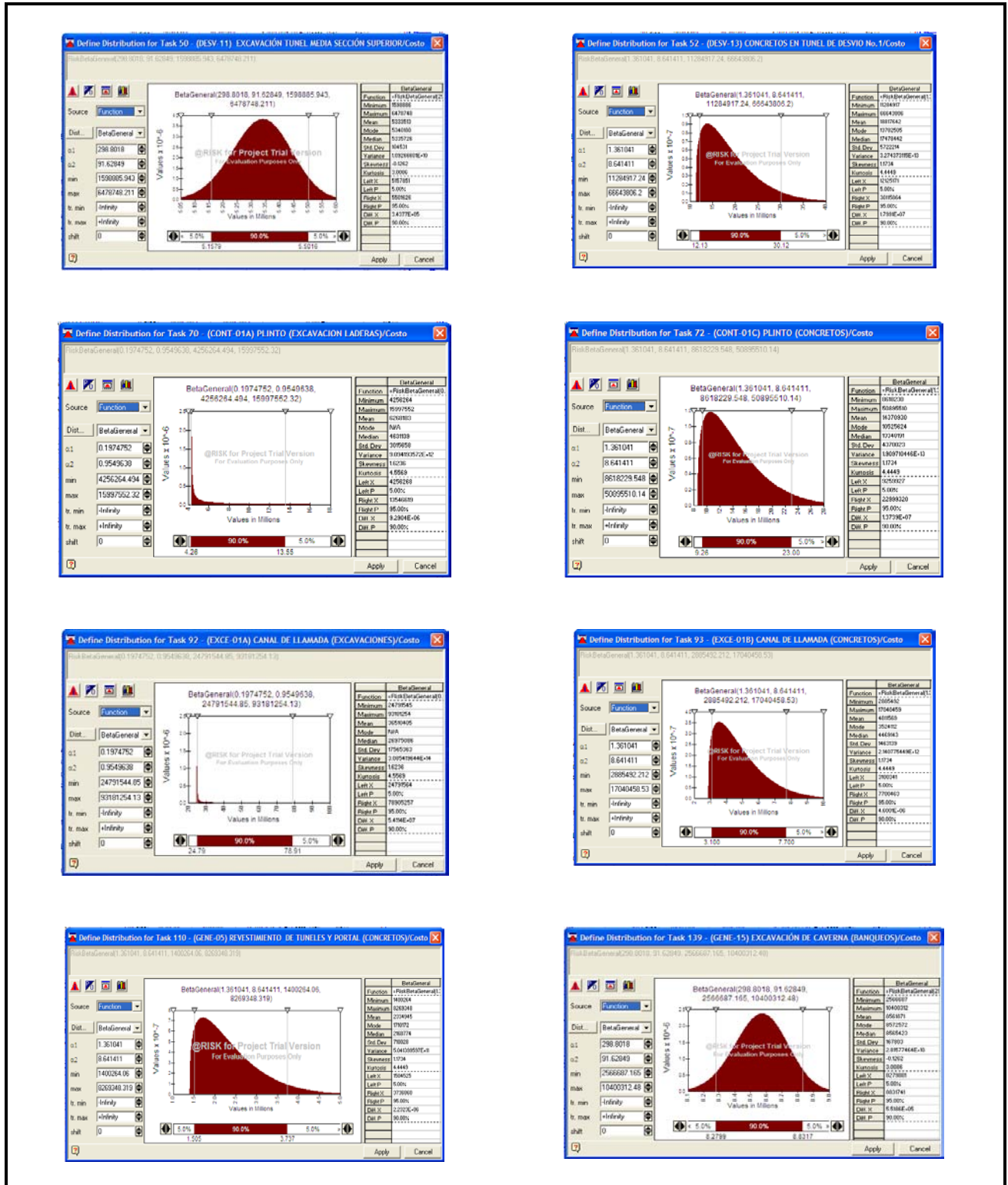


Figura 5.29. P.H. El Cajón – Ejemplo de algunas distribuciones asignadas a las actividades de construcción del proyecto el Cajón. Palisade®@Risk for Project 4.14.

Como último paso en la construcción del modelo, se determinan los datos de interés como salidas. Se designó a los costos y termino de los principales frentes de trabajo constituidos por las Obras de Desvío, Contención, Excedencias y de Generación; así como de cada una de las estructuras que constituyen estos frentes. También se designaron a ciertas actividades de interés como el término de primer túnel necesario para el desvío del río, o bien, la última etapa de colocación del enrocamiento de la cortina, entre otros. A continuación se presenta una imagen con la ventana de asignación de salida del modelo, en particular se designaron como variables de salida de interés el costo total del proyecto y la fecha de culminación del mismo, **Figura 5.30**.

En el Palisade ®@Risk for Project incluye herramientas para añadir o eliminar variables de salida de simulación de la programación del proyecto, las variables de salida pueden ser añadidas o eliminadas desde la ventana de dialogo.

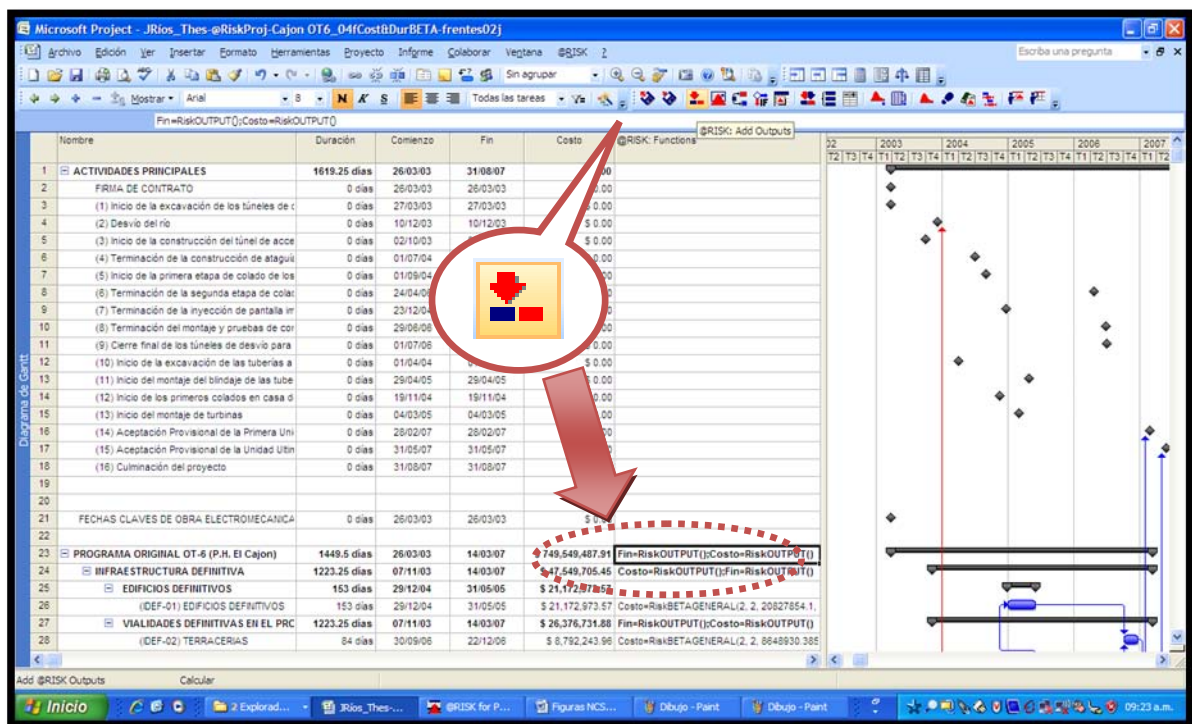


Figura 5.30. Ejemplo asignación de salidas (Add Outputs). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

Con el auxilio del Software Palisade ®@Risk for Project 4.14, se creó un modelo lógico y completo con características estocásticas del programa de construcción. Ahora bien, el software permite hacer realizar simulaciones Monte Carlo manteniendo las funciones típicas del Microsoft ®Office Project.

La simulación del *Palisade ® @Risk for Project 4.14* funciona llevando a cabo dos operaciones distintas, selecciona una serie de valores aleatorios para las funciones de distribución de las variables de entrada y/o formulas. Re calcula el programa del proyecto utilizando los nuevos valores, la selección de los valores de las distribuciones de probabilidad se denomina muestreo y cada nuevo cálculo del la programación del proyecto se denomina iteración. Palisade ®@Risk for Project genera distribuciones de salida consolidando los resultados singulares de todas las iteraciones realizadas. El análisis que realizó Palisade ® @Risk for Project cuantitativo lo realiza generando una distribución de probabilidad que describe los posibles resultados de una situación incierta, se basa en la capacidad de la computadora para generar un gran número de cálculos rápidamente, resolviendo el programa del proyecto repetidas veces utilizando un gran número de combinaciones de los posibles valores de las variables de entrada.

Se determinó en 10'000 el numero de iteraciones, finalmente se procede a la simulación, **Figura 5.32**.

Los gráficos de tornado de un análisis de sensibilidad despliegan las jerarquizaciones de las variables de entrada de distribución que impactan una variable de salida. En el Palisade ®@Risk for Project están disponibles métodos para desplegar los gráficos de tornado (coeficientes de regresión, coeficientes de correlación).

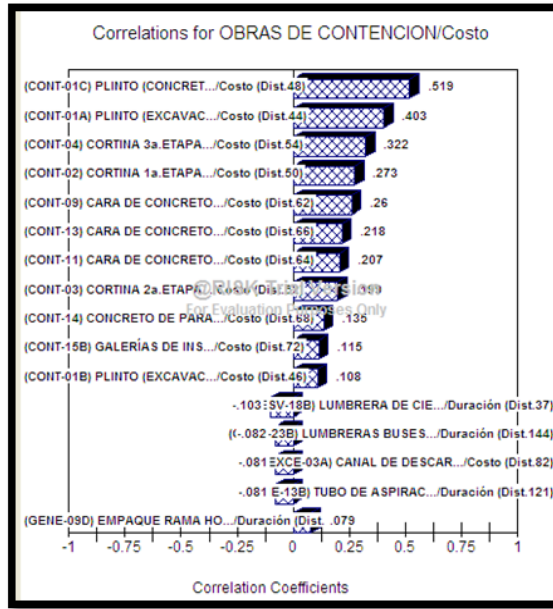


Figura 5.31. Gráfica de tornado de un análisis de sensibilidad, Palisade ®@Risk for Project 4.14

El Palisade ®@Risk for Project dispone de un motor de graficación específicamente diseñado para procesar los datos de una simulación.

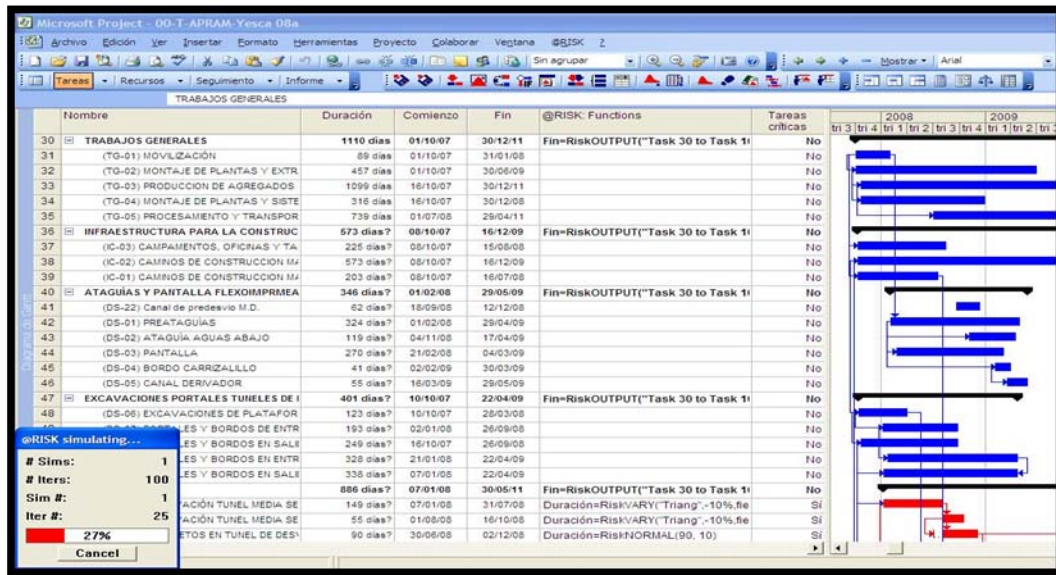


Figura 5.32. Ventaja donde se observa el proceso de simulación Monte Carlo. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

Al término de la Simulación el software arroja una ventana con los resultados de las variables previamente determinadas como salidas, **Figura 5.33**. De esta ventana se logran obtener diversa información, entre la cual destaca los histogramas de frecuencia de las variables de salida, en los cuales se puede observar el comportamiento de las mismas, **Figura 5.34**.

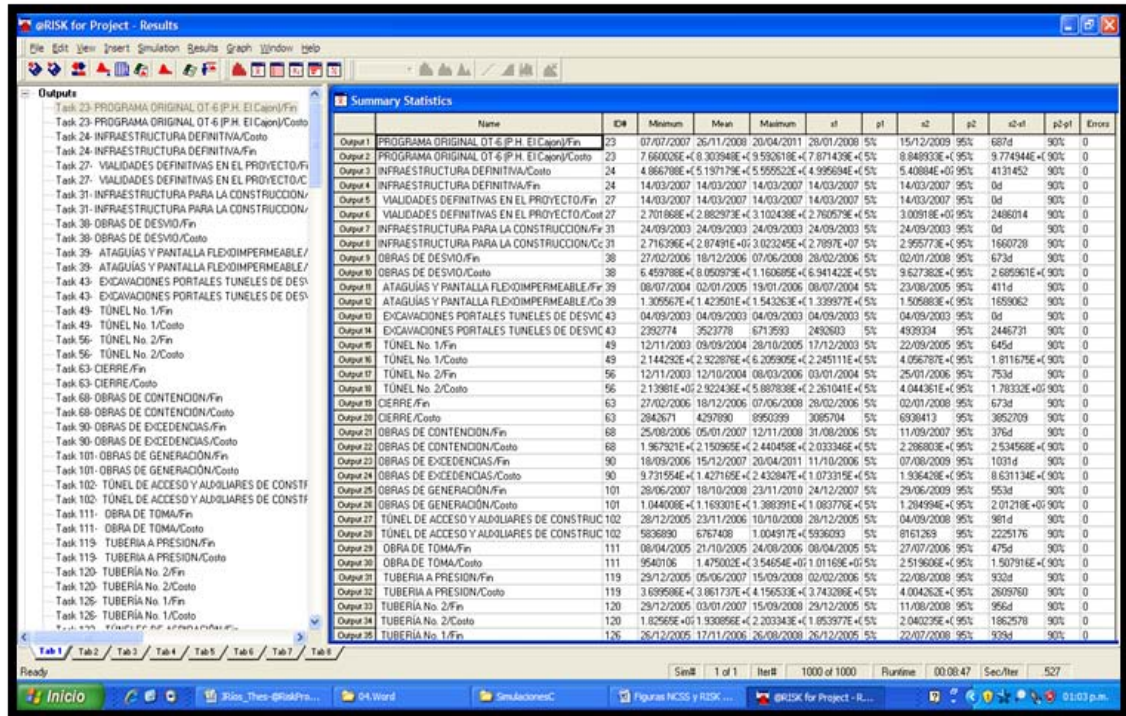


Figura 5.33. Ventaja donde se observa la ventana de resultados de la simulación. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

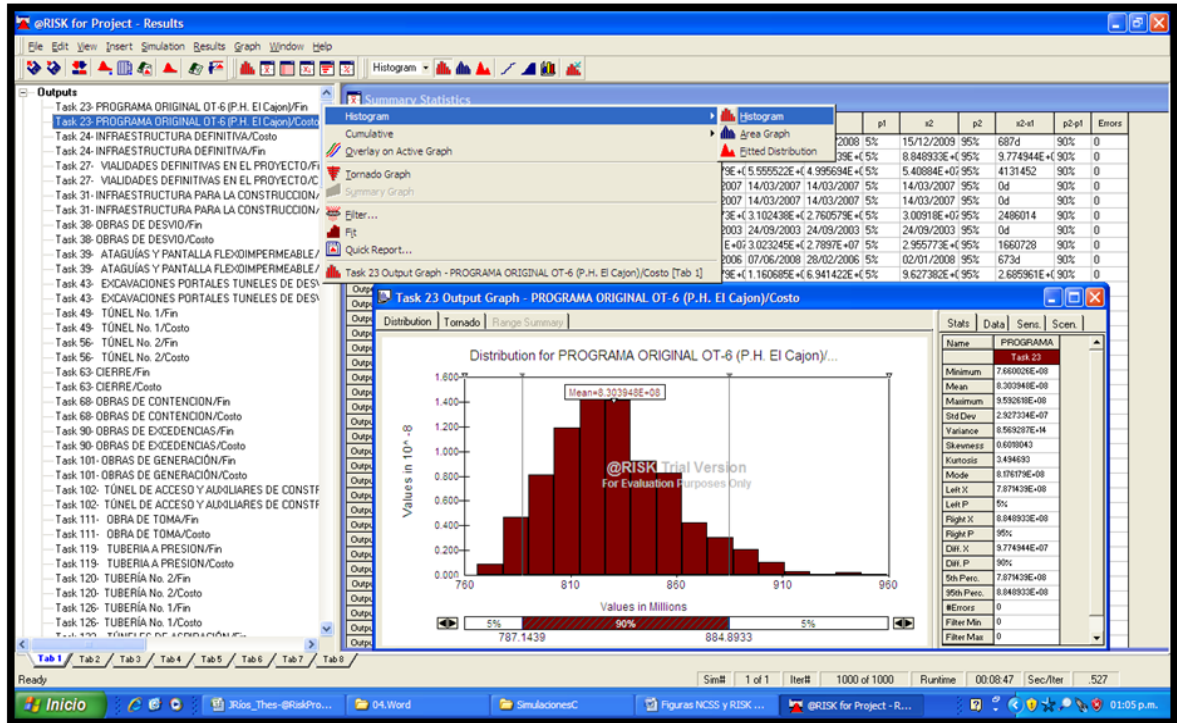


Figura 5.34. Ventaja de resultados donde se muestra un histograma de frecuencias. Palisade @Risk for Project 4.14.

Los histogramas de cada una de las variables de salida designadas, que corresponden en primer término al fin de las actividades de cada frente y estructura, entre otras de interés, se pueden observar de la Figura 5.35 a la Figura 5.42.

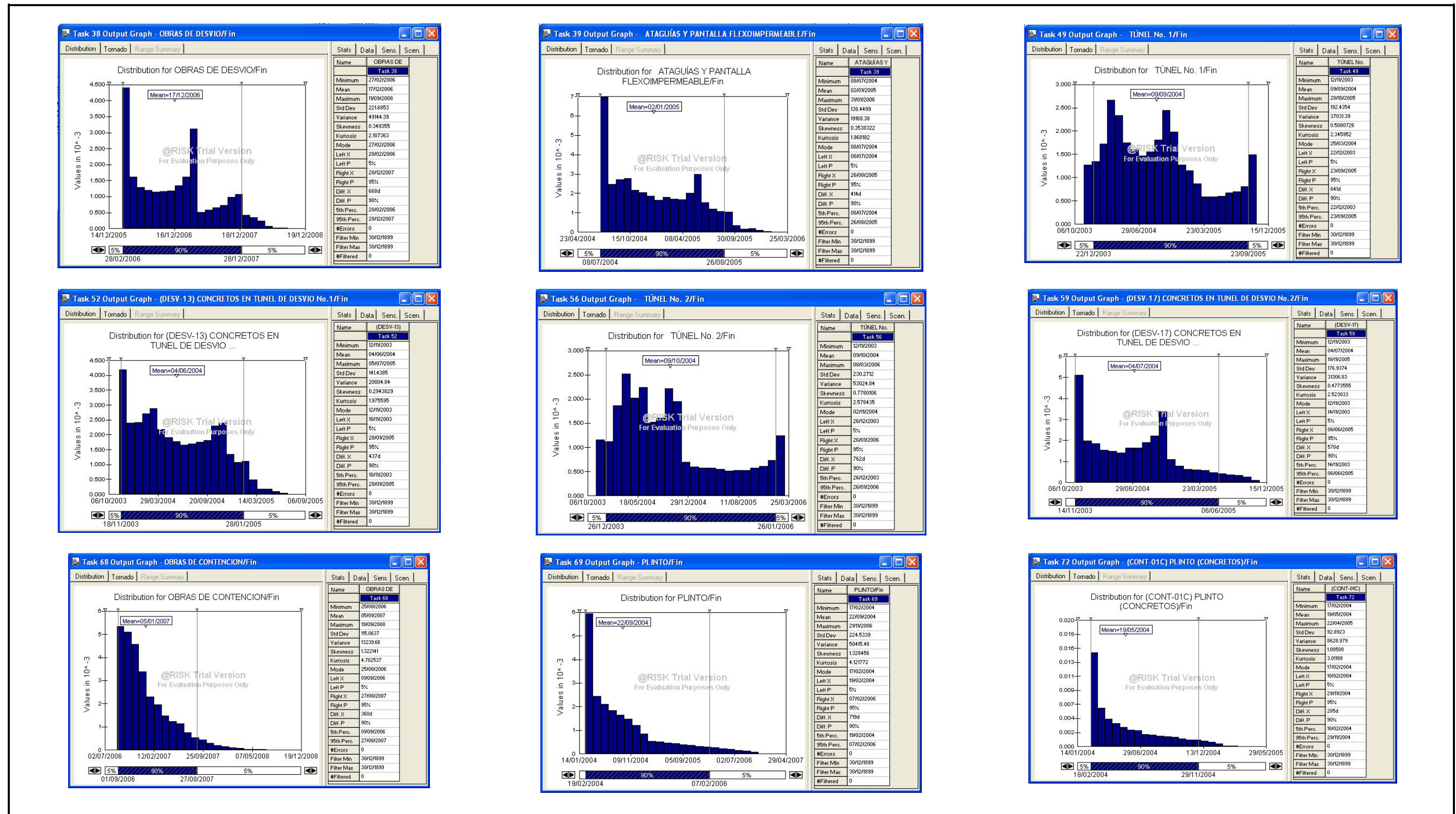


Figura 5.35. P.H. El Cajón – Histogramas, Fin de Actividades (1 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.

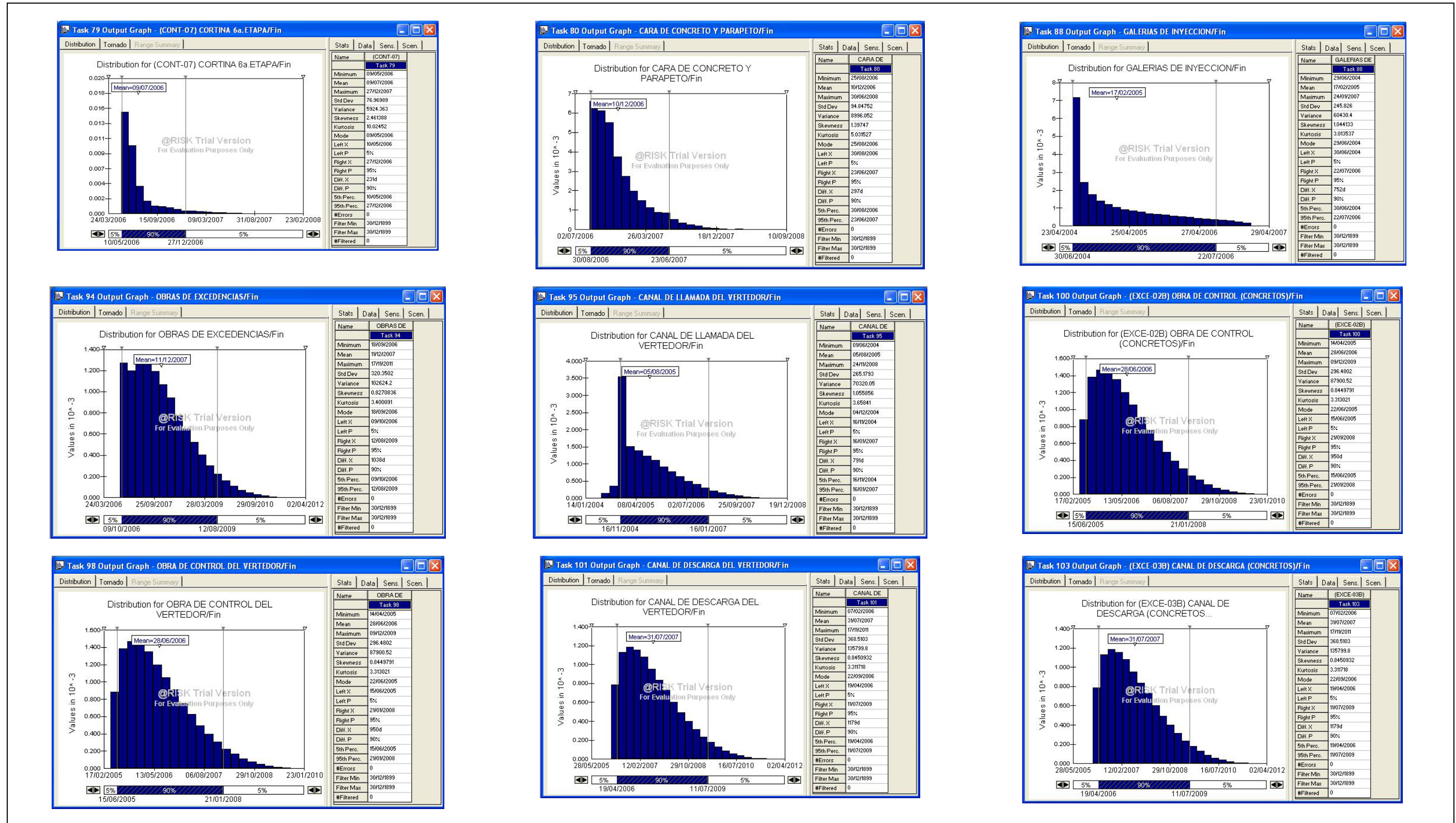


Figura 5.36. P.H. El Cajón – Histogramas, Fin de Actividades (2 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.

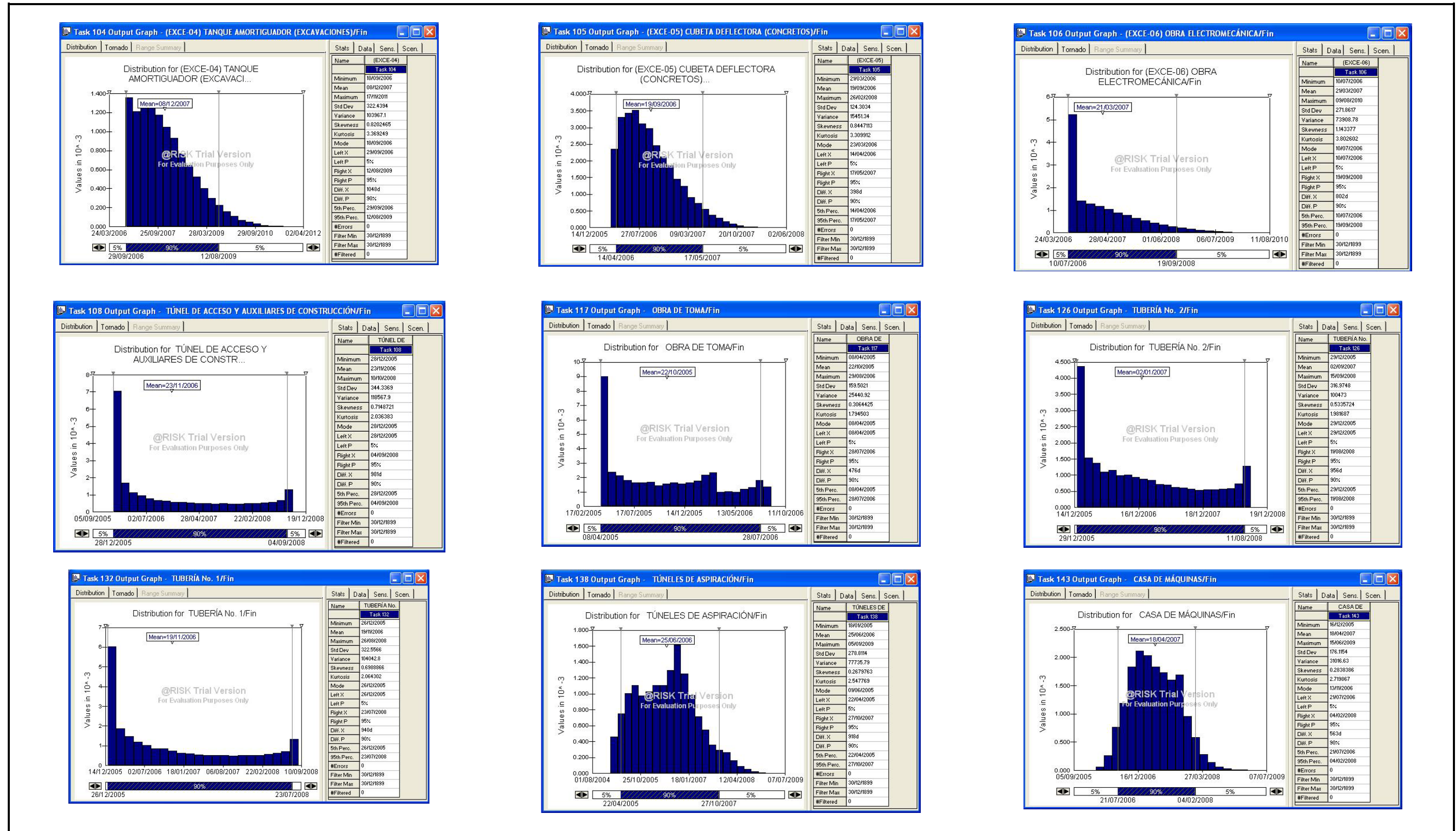


Figura 5.37. P.H. El Cajón – Histogramas, Fin de Actividades (3 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.

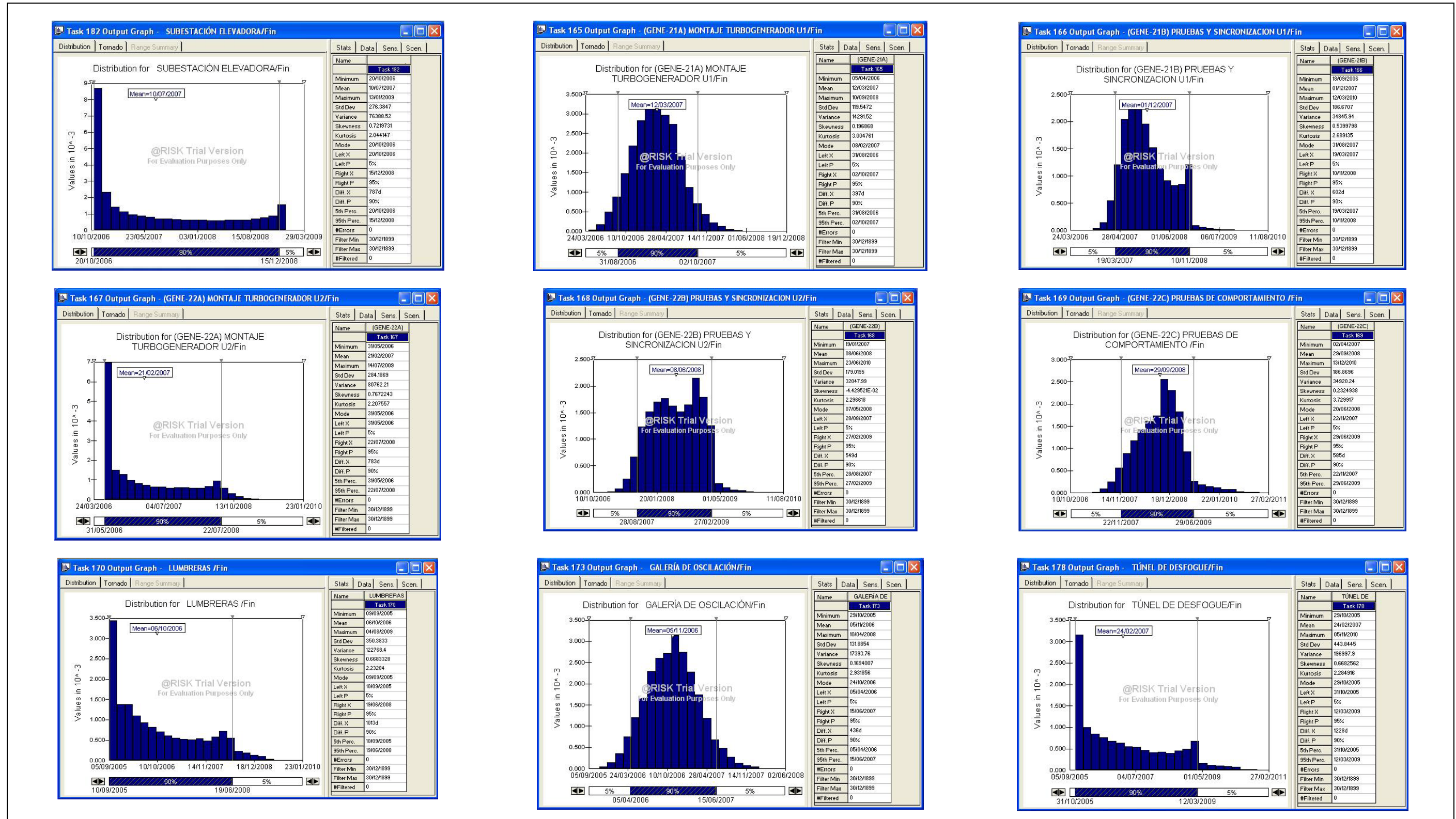


Figura 5.38. P.H. El Cajón – Histogramas, Fin de Actividades (4 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.

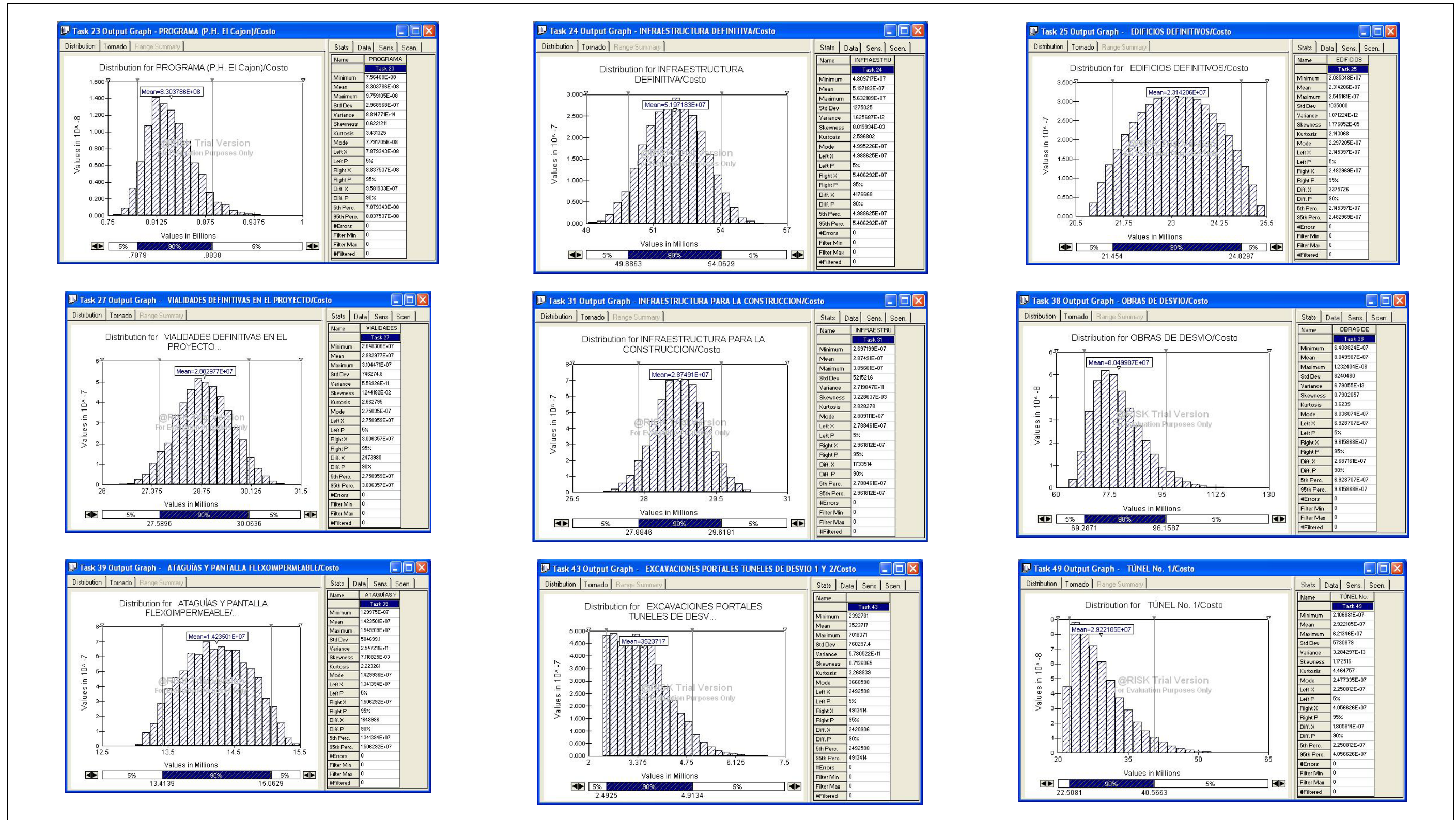


Figura 5.39. P.H. El Cajón – Histogramas, Costo Principales Frentes de Trabajo de Obra Civil (1 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.

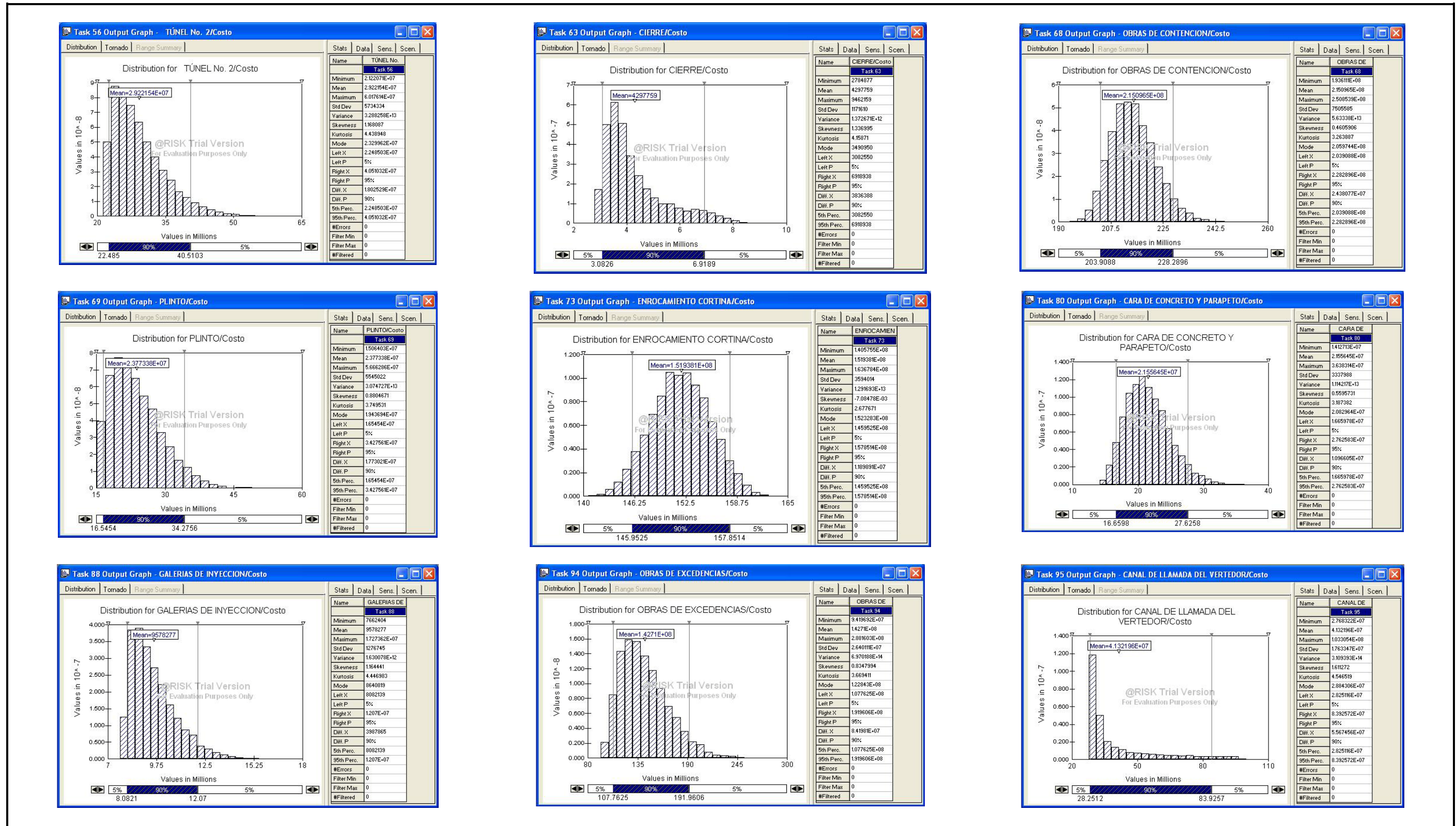


Figura 5.40. P.H. El Cajón – Histogramas, Costo Principales Frentes de Trabajo de Obra Civil (2 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

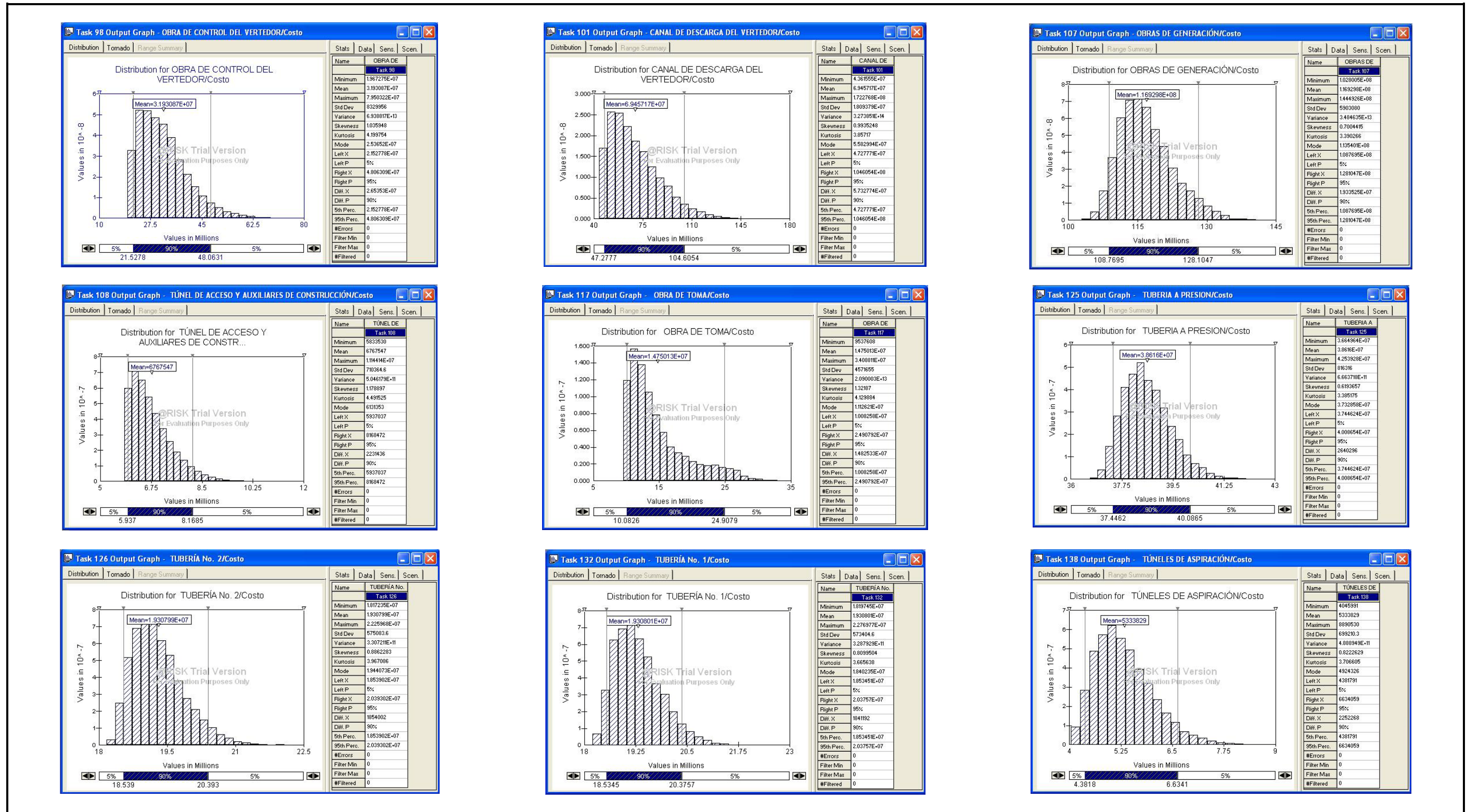


Figura 5.41. P.H. El Cajón – Histogramas, Costo Principales Frentes de Trabajo de Obra Civil (3 de 4). Palisade®@Risk for Project 4.14.

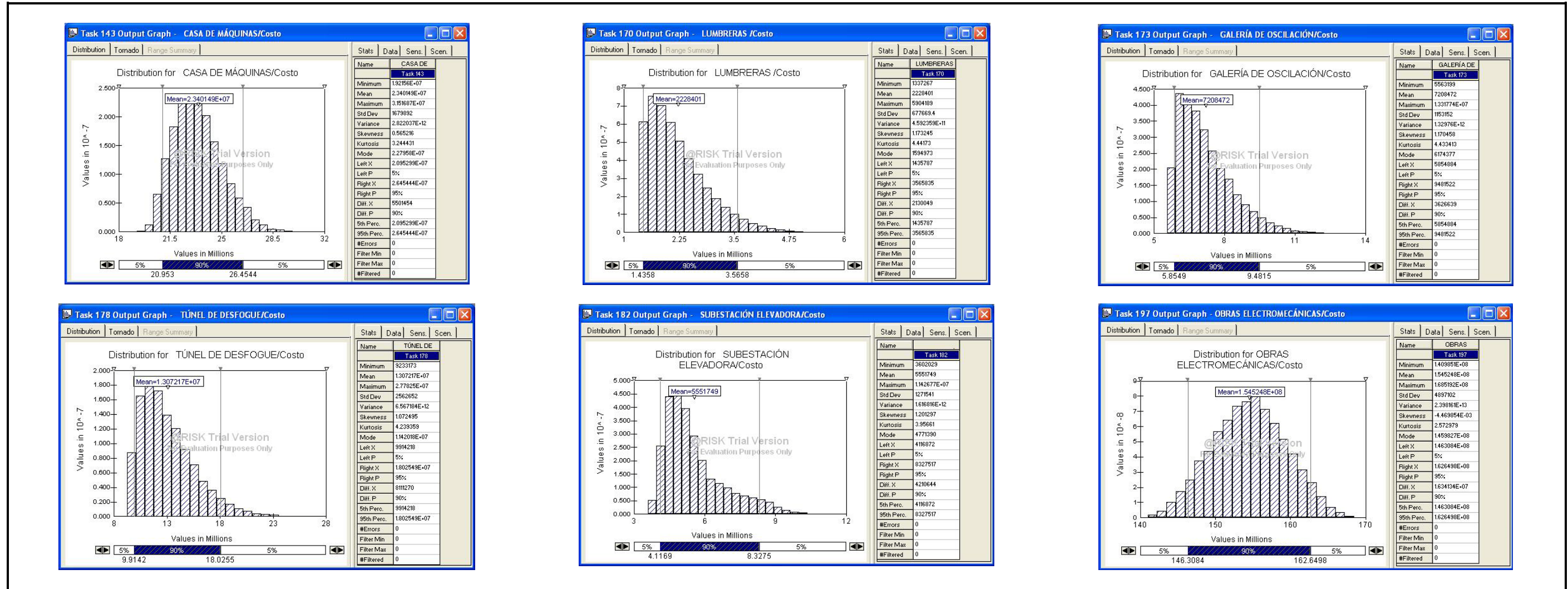


Figura 5.42. P.H. El Cajón – Histogramas, Costo Principales Frentes de Trabajo de Obra Civil (4 de 4). Palisade®@Risk for Project 4.14.

5.1.5.4. Verificación y Validación del modelo.

Para determinar la consistencia del modelo, se debe validar su correspondencia con el sistema real, esto es, que las medidas de salida de este modelo tienen correspondencia con las medidas del sistema real con el fin de predecir el comportamiento del sistema.

Para determinar la validez del modelo, cabe recordar los dos puntos de interés que son los costos y las fechas de término de las actividades, respecto a estos dos aspectos, en primer lugar se presentan las fechas de termino del programa original contemplado, el conciliado en el Convenio No.7 que se considera el real ejecutado y los resultados que arroja la simulación Monte Carlo, **Tabla 5.16.**

ACTIVIDAD	OT-6 (ORIGINAL)				CONVENIO No.7				SIMULACIÓN MONTE CARLO (10'000 ITERACIONES)			
	Duración (días)	Comienzo	Fin	Costo (USD)	Duración (días)	Comienzo	Fin	Costo (USD)	Duración (días)	Comienzo	Fin	Costo (USD)
PROGRAMA (P.H. El Cajón)	1449.5	26-Mar-03	14-Mar-07	749,549,487.91	1836.62	26-Mar-03	04-Abr-08	832,381,864.42	2074.102	26-Mar-03	28-Nov-08	830,378,600.00
INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA	1223.25	07-Nov-03	14-Mar-07	47,549,705.45	1144.25	07-Nov-03	26-Dic-06	49,418,594.92	1223.25	07-Nov-03	14-Mar-07	51,971,830.00
EDIFICIOS DEFINITIVOS	153	29-Dic-04	31-May-05	21,172,973.57	0	01-Ene-05	01-Ene-05	21,699,273.73	153	31-May-05	29-Dic-04	23,142,060.00
VALIADAZAS DEFINITIVAS EN EL PROYECTO	1223.25	07-Nov-03	14-Mar-07	26,376,731.88	0	01-Ene-05	01-Ene-05	21,699,273.73	1223.25	07-Nov-03	14-Mar-07	28,829,770.00
INFRAESTRUCTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN	181.25	27-Mar-03	24-Sep-03	26,302,930.08	448	24-Abr-03	14-Jul-04	29,849,663.35	181.25	27-Mar-03	24-Sep-03	28,749,100.00
OBRAS DE DESVÍO	1081.75	14-Abr-03	29-Mar-06	69,244,143.93	1083.5	23-May-03	10-May-06	79,030,271.85	1343.752	14-Abr-03	17-Dic-06	80,499,870.00
ATAGUIAS Y PANTALLA FLEXOIMPERMEABLE	212.25	09-Dic-03	08-Jul-04	14,466,450.20	272.75	19-Dic-03	16-Sep-04	14,387,694.23	210.8236	05-Jun-04	02-Ene-05	14,235,010.00
EXCAVACIONES PORTALES TUNELES DE DESVÍO 1 Y 2	29.25	07-Ago-03	04-Sep-03	1,847,990.00	235.75	03-Nov-03	24-Jun-04	5,759,108.67	29.25	07-Ago-03	04-Sep-03	3,523,717.00
TÚNEL No. 1	240	14-Abr-03	09-Dic-03	24,999,470.67	401	23-May-03	28-Jun-04	28,037,186.11	515.2471	14-Abr-03	09-Sep-04	29,221,850.00
TÚNEL No. 2	239.25	14-Abr-03	08-Dic-03	24,999,470.67	365	24-Jun-03	22-Jun-04	28,037,186.11	545.0575	14-Abr-03	09-Oct-04	29,221,540.00
CIERRE	908.75	03-Oct-03	29-Mar-06	2,930,762.39	905.5	18-Nov-03	10-May-06	2,809,096.74	1147.072	26-Oct-03	17-Dic-06	4,297,759.00
OBRAS DE CONTENCION	1218.25	07-May-03	06-Sep-06	185,056,413.94	1217.7	31-Jul-03	30-Nov-06	215,345,614.36	1339.07	07-May-03	05-Ene-07	215,096,500.00
PLINTO	329	07-May-03	31-Mar-04	20,307,883.19	520.45	31-Jul-03	01-Ene-05	23,275,122.49	504.3778	07-May-03	22-Sep-04	23,773,380.00
ENROCAMIENTO CORTINA	802.5	17-Mar-04	27-May-06	129,861,589.59	790.75	01-Jun-04	31-Jul-06	152,081,384.84	771.9738	06-Ago-04	17-Sep-06	151,938,100.00
CARA DE CONCRETO Y PARAPETO	948.5	31-Ene-04	06-Sep-06	18,442,602.86	690.25	10-Ene-05	30-Nov-06	19,994,180.14	1017.817	27-Feb-04	10-Dic-06	21,556,450.00
GALERÍAS DE INYECCION	492.75	18-Jun-03	22-Oct-04	8,194,032.42	560	16-Ene-04	28-Jul-05	9,444,156.75	610.5785	18-Jun-03	17-Feb-05	9,578,277.00
PANTALLA IMPERMEABLE	414	01-Nov-03	20-Dic-04	8,250,305.88	732.25	01-Sep-04	02-Sep-06	10,550,770.13	414	01-Nov-03	20-Dic-04	8,250,306.00
OBRAS DE EXCEDENCIAS/Fin	1052.75	01-Nov-03	19-Sep-06	108,330,968.81	1171.75	25-Ago-03	08-Nov-06	142,100,414.69	1501.36	01-Nov-03	11-Dic-07	142,710,000.00
CANAL DE LLAMADA DEL VERTEDOR	385	01-Nov-03	19-Nov-04	31,316,867.21	632.5	25-Ago-03	17-May-05	29,550,170.25	642.906	01-Nov-03	05-Ago-05	41,321,960.00
OBRA DE CONTROL DEL VERTEDOR	598.25	23-Feb-04	12-Oct-05	24,263,676.61	686	15-Mar-04	28-Ene-06	25,530,315.43	857.4648	23-Feb-04	28-Jun-06	31,930,870.00
CANAL DE DESCARGA DEL VERTEDOR	707.75	12-Oct-04	19-Sep-06	52,750,424.99	939.5	13-Abr-04	08-Nov-06	49,752,305.25	1023.2	12-Oct-04	31-Jul-07	69,457,170.00
OBRAS DE GENERACIÓN	1114.75	02-Oct-03	20-Oct-06	113,864,752.94	1646.62	02-Oct-03	04-Abr-08	117,719,906.64	1842.467	02-Oct-03	17-Oct-08	116,929,800.00
TÚNEL DE ACCESO Y AUXILIARES DE CONSTRUCCIÓN	824.25	02-Oct-03	03-Ene-06	6,688,734.32	947.5	02-Oct-03	05-May-06	8,289,519.91	1148.273	02-Oct-03	23-Nov-06	6,767,547.00
OBRA DE TOMA	336.75	07-May-04	08-Abr-05	14,200,293.57	881.48	07-May-04	05-Oct-06	14,809,214.05	533.6725	07-May-04	22-Oct-05	14,750,130.00
TUBERÍA A PRESION	642.25	01-Abr-04	03-Ene-06	38,173,216.63	1017.5	23-Ago-04	05-Jun-07	36,622,741.95	1154.88	12-Abr-04	11-Jun-07	38,616,000.00
TUBERÍA No. 2	601.5	12-May-04	03-Ene-06	19,086,608.32	1017.5	23-Ago-04	05-Jun-07	18,311,370.97	961.5089	16-May-04	02-Ene-07	19,307,990.00
TUBERÍA No. 1	639.25	01-Abr-04	30-Dic-05	19,086,608.32	1017.5	23-Ago-04	05-Jun-07	18,311,370.97	950.8976	12-Abr-04	19-Nov-06	19,308,010.00
TUNELES DE ASPIRACIÓN	204.5	01-Jul-04	21-Ene-05	5,145,755.04	975.75	10-Sep-04	14-May-07	4,438,848.21	590.9152	11-Nov-04	25-Jun-06	5,333,829.00
CASA DE MÁQUINAS	625	23-Ene-04	08-Oct-05	22,592,332.84	597.37	24-Sep-05	15-May-07	27,325,140.26	1127.289	16-Mar-04	18-Abr-07	23,401,490.00
(GENE-21A) MONTAJE TURBOGENERADOR U1	331	14-Mar-05	07-Feb-06		795.5	26-Mar-05	30-May-07			15-Abr-06	12-Mar-07	
(GENE-21B) PRUEBAS Y SINCRONIZACIÓN U1	94	08-Feb-06	12-May-06		86.5	31-May-07	24-Ago-07			01-Dic-07	29-Ago-07	
(GENE-22A) MONTAJE TURBOGENERADOR U2	389	07-May-05	31-May-06		855.25	25-Ene-05	29-May-07			28-Ene-06	21-Feb-07	
(GENE-22B) PRUEBAS Y SINCRONIZACIÓN U2	102	01-Jun-06	11-Sep-06		86	30-May-07	23-Ago-07			27-Feb-08	08-Jun-08	
(GENE-22C) PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO /Fin	37	11-Sep-06	18-Oct-06							23-Ago-08	29-Sep-08	
LUMBRERAS	396.25	16-Ago-04	15-Sep-05	2,153,231.89	359.5	14-Dic-05	08-Dic-06	2,153,231.89	764.0667	03-Sep-04	06-Oct-06	2,228,401.00
GALERÍA DE OSCILACIÓN	558.75	24-Ene-04	04-Ago-05	6,951,991.56	677.6	17-Nov-04	25-Sep-06	6,363,576.84	906.858	12-May-04	05-Nov-06	7,208,472.00
TUNEL DE DESFOGUE	754	14-Oct-03	04-Nov-05	12,608,801.42	1140.5	15-Ene-04	28-Feb-07	12,042,950.26	1230.312	14-Oct-03	24-Feb-07	13,072,170.00
SUBESTACION ELEVADORA	950.5	15-Mar-04	20-Oct-06	5,350,395.66	1433.37	03-May-04	04-Abr-08	5,674,683.27	1213.18	15-Mar-04	10-Jul-07	5,551,749.00

Tabla 5.16. El Cajón – Duraciones, Comienzos, Fines y Costos de las principales actividades de la Programación OT-6 (Original), Convenio No.7 (Real) y Monte Carlo.

Las fechas contempladas corresponden a los frentes principales de trabajo con énfasis en ciertas estructuras, que de antemano se identifican como críticas para el curso correcto de la construcción del proyecto. Cabe recordar que los resultados obtenidos con las 10'000 iteraciones de la simulación Monte Carlo distan de las un resultado sustituyendo los valores medio de las variables, sobre todo en lo que respecta a las fechas de término de las estructuras y frentes, consecuentemente sucede lo mismo para la Fecha de Culminación final del proyecto.

Como prueba estadística se escogió la técnica de análisis de varianza (ANOVA), para determinar los factores de mayor impacto en la salida, y determinar la satisfacción de las suposiciones estadísticas de forma razonable. Para el cálculo de los análisis se utilizó de nueva cuenta como apoyo el programa estadístico **NCSS Versión 07.1.21** ©, a continuación se presentan la pantalla con los valores de los costo y duraciones de las actividades. **Figura 5.43.**

	CJN_Dur_OT6	CJN_Dur_Conv7	CJN_Dur_MCarlo	CJN_Cost_OT6	CJN_Cost_Conv7	CJN_Cost_MCarlo
1	1449.5	1836.62	2074.102	749549487.9	832381864.4	830378600
2	1223.25	1144.25	1223.25	47549705.45	49418594.92	51971830
3	153	0	153	21172973.57	21699273.73	23142060
4	1223.25	0	1223.25	26376731.88	21699273.73	28829770
5	181.25	448	181.25	26302930.08	29849663.35	28749100
6	1081.75	1083.5	1343.752	69244143.93	79030271.85	80499870
7	212.25	272.75	210.8236	14466450.2	14387694.23	14235010
8	29.25	235.75	29.25	1847990	5759108.67	3523717
9	240	401	515.2471	24999470.67	28037186.11	29221850
10	239.25	365	545.0575	24999470.67	28037186.11	29221540
11	908.75	905.5	1147.072	2930762.39	2809096.74	4297759
12	1218.25	1217.7	1339.07	185056413.9	215345614.4	215096500
13	329	520.45	504.3778	20307883.19	23275122.49	23773380
14	802.5	790.75	771.9738	129861589.6	152081384.8	151938100
15	948.5	690.25	1017.817	18442602.86	19994180.14	21556450
16	492.75	560	610.5785	8194032.42	9444156.75	9578277
17	414	732.25	414	8250305.88	10550770.13	8250306

Figura 5.43. P.H. El Cajón – Valores de entrada para la prueba estadística ANOVA. NCSS Versión 07.1.21 ©.

El análisis ANOVA para verificar la validez del modelo Monte, consiste en determinar si existe significancia en la diferencia entre las Duraciones y Costos reales (Convenio No.7) y las respectivas Duraciones y Costos del modelo Monte Carlo. Se presenta la vista del resultado de este análisis, con un nivel de significancia de 0.05, en la **Figura 5.44.**

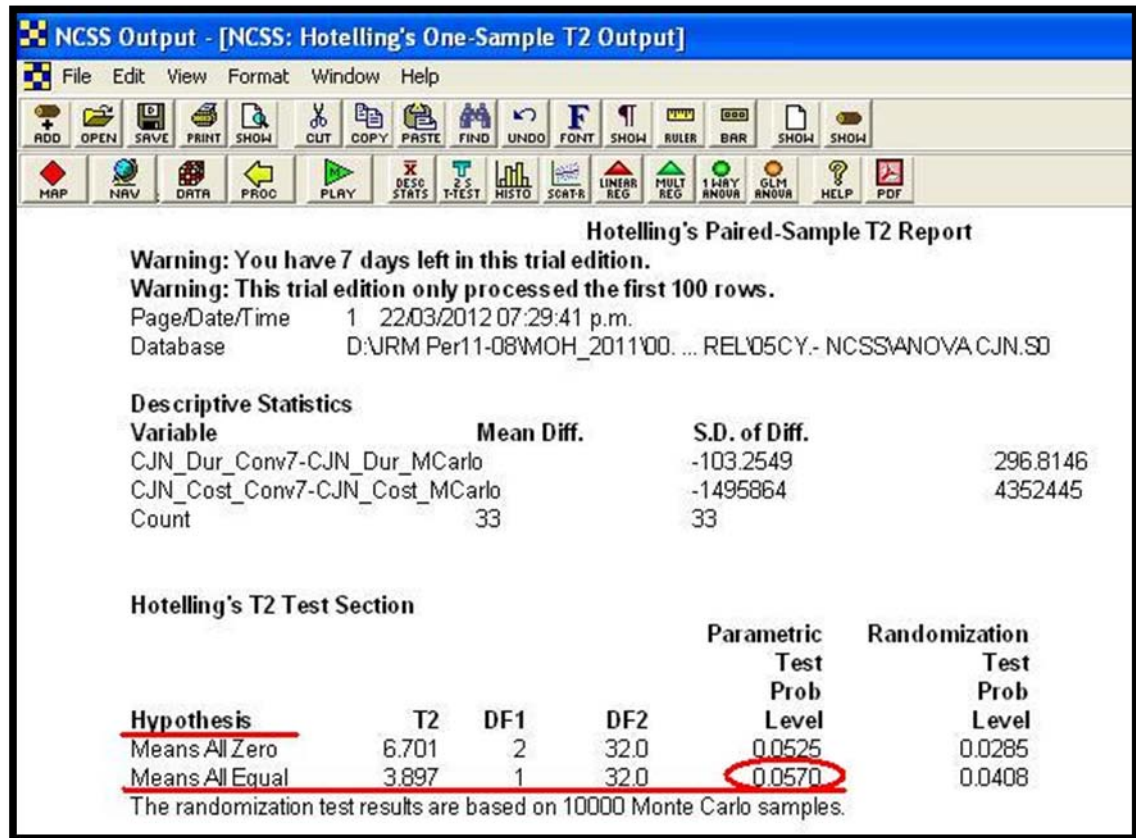


Figura 5.44. P.H. El Cajón – Resultado del ANOVA aplicado al modelo Monte Carlo. NCSS Versión 07.1.21 ©.

Como resultado del análisis se obtuvo una probabilidad de 0.057 que al ser superior al nivel de significancia de 0.05, al obtenerse $p=0.057 > 0.05$ se puede concluir a partir de la probabilidad calculada que no existe evidencia de que sea significativa la diferencia. Por lo tanto queda verificado y validado el Modelo Carlo para el caso del Proyecto El Cajón.

5.1.5.5. Experimentación y Análisis de las salidas

El principal propósito del modelo es obtener información acerca del comportamiento del sistema para la toma de decisiones, a lo largo del proceso de prueba y error para la conformación del modelo y sus mejoras. Aunque un sistema se desea optimizar, en lo que respecta al modelo de El Cajón se busca la correspondencia con lo real ejecutado con el propósito de determinar el comportamiento de futuros proyectos hidroeléctricos,

como el actualmente en construcción La Yesca, propósito que se pretende cumplir en el presente trabajo.

5.1.5.6. Implantación de los resultados de la Simulación

La importancia de este paso consiste convencer y vencer las resistencias al cambio, para ello se considera que la mejor forma es poniendo los beneficios que puede atraer la aplicación de este método.

Una de las bondades de este método es la obtención de las probabilidades de ocurrencia de cada una de las actividades, en cuanto a costo y término de actividad, o bien del proyecto en su totalidad, de los principales frentes o de alguna parte del proyecto de especial interés.

A continuación se presenta una imagen de muestra con el histograma de frecuencias de uno de los principales puntos de estudio que es el Costo del Proyecto, el cual se refiere al Costo Total del Proyecto, el promedio de la simulación asciende a **\$830'3948** millones de dólares. Además, como se puede observar que también se puede determinar las probabilidades de exceder o alcanzar cierto presupuesto total, **Figura 5.45**, así como las probabilidades acumuladas de las actividades de interés, como se pueden observar en la **Figura 5.48**.

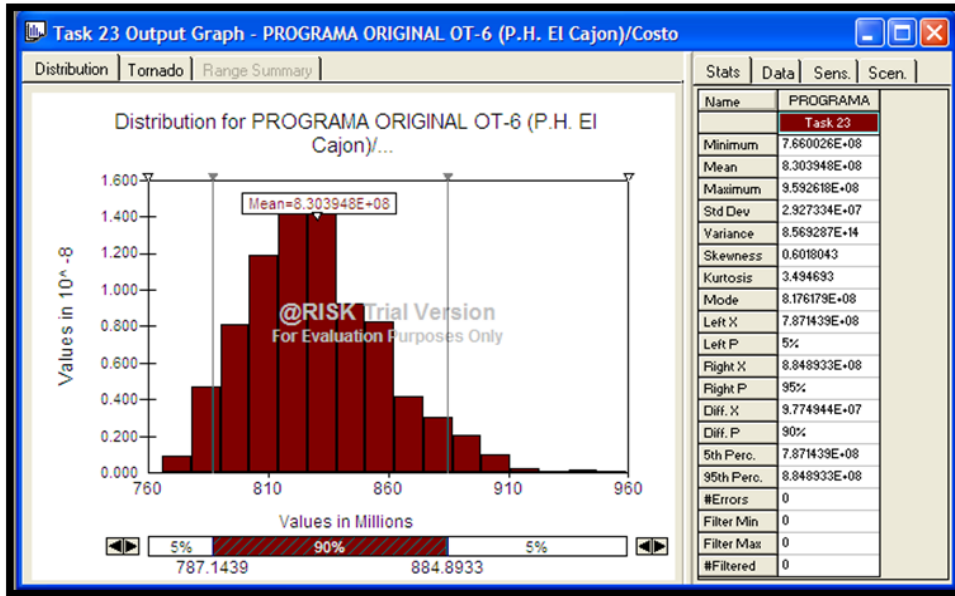


Figura 5.45. P.H. El Cajón – Histograma de la Simulación Monte Carlo del Presupuesto total Proyecto con una media de \$830'394 USD. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

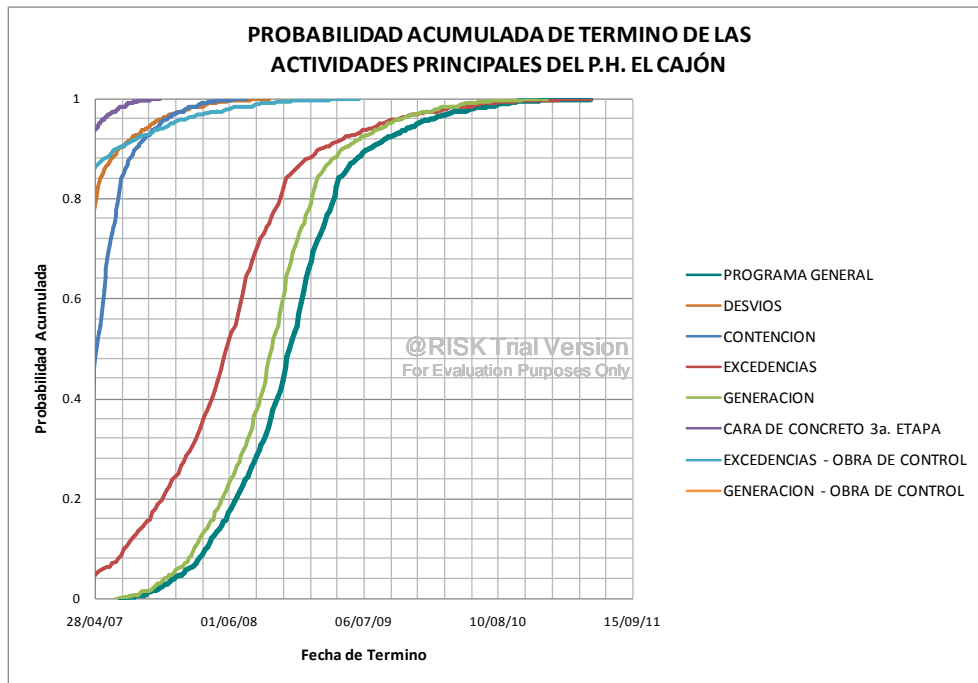


Figura 5.46. P.H. El Cajón – Probabilidades acumuladas de las fechas de término de las principales actividades del Proyecto. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

El software utilizado obtiene los coeficientes de regresión lineal multivariable (método de mínimos cuadrados) y de correlación (coeficientes de correlación de Spearman) de las variables de entrada y con ello determinar la sensibilidad con relación una variable de salida de interés. Como ejemplo de ello se presenta a continuación en los coeficientes de regresión y correlación del la variable de salida del costo total de proyecto, **Figura 5.47**.

Rank for Task 23	Name	Distribution	PROGRAMA ORIGINAL OT-6 (P.H. El Cajón) Costo Regression	PROGRAMA ORIGINAL OT-6 (P.H. El Cajón) Costo Correlation	INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA/Costo	INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA/Costo	VALIDADES DEFINITIVAS EN EL PROYECTO/Costo	VALIDADES DEFINITIVAS EN EL PROYECTO/Costo	INFRAESTRUCTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN/Costo	INFRAESTRUCTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN/Costo	OBRAS DE DESVÍO/Costo Regression	OBRAS DE DESVÍO/Costo Correlation
#1	(EXCE-01A) CANAL DE LLAMADA (EXCA) BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638,		0.629	+0.427	0	+0.021	0	+0.002	0	+0.027	0	-0.054
#2	(EXCE-03B) CANAL DE DESCARGA (COT) BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 27		0.499	+0.406	0	-0.026	0	-0.037	0	-0.039	0	-0.001
#3	(EXCE-03A) CANAL DE DESCARGA (EXCA) BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638,		0.41	+0.233	0	-0.006	0	+0.007	0	+0.011	0	-0.03
#4	(EXCE-02B) OBRA DE CONTROL (CONC) BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 15		0.275	+0.172	0	-0.001	0	+0.043	0	-0.021	0	-0.02
#5	(DESV-13) CONCRETOS EN TUNEL DE BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 11		0.208	+0.134	0	+0.021	0	+0.03	0	-0.007	0.717	+0.657
#6	(DESV-17) CONCRETOS EN TUNEL DE BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 11		0.207	+0.176	0	+0.033	0	+0.002	0	+0.057	0.718	+0.63
#7	(CONT-01C) PLINTO (CONCRETOS)/Cos BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 86		0.156	+0.133	0	+0.042	0	-0.013	0	-0.024	0	-0.034
#8	(GENE-03) CANAL DE LLAMADA (EXCA) BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638,		0.155	+0.136	0	-0.035	0	-0.018	0	+0.063	0	+0.049
#9	(OLEE-02) CONCEPTOS ELÉCTRICOS/C BETAGENERAL(2, 2, 73864389.93, 9027		0.133	+0.17	0	-0.018	0	+0.026	0	+0.022	0	+0.017
#10	(OMEC-01) CONCEPTOS MECÁNICOS/C BETAGENERAL(2, 2, 65207909.48, 7968		0.118	+0.065	0	-0.051	0	-0.039	0	-0.008	0	+0.02
#11	(EXCE-02A) OBRA DE CONTROL (EXCA) BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638,		0.107	+0.069	0	-0.008	0	+0.046	0	+0.008	0	-0.032
#12	(CONT-01A) PLINTO (EXCAVACION LAD) BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638,		0.103	+0.08	0	+0.042	0	+0.058	0	-0.056	0	-0.058
#13	(GENE-30) CONCRETOS/Costo (Dist.83) BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 48		0.089	+0.152	0	+0.029	0	+0.018	0	+0.034	0	+0.064
#14	(CONT-04) CORTINA 3a.ETAPA/Costo (C) BETAGENERAL(2, 2, 51386460.02, 6288		0.083	+0.073	0	-0.055	0	-0.033	0	-0.039	0	+0.035
#15	(CONT-09) CARA DE CONCRETO 1a. ET BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 35		0.068	+0.1	0	+0.018	0	+0.051	0	-0.065	0	+0.027
#16	(GENE-04B) ESTRUCTURA DE CONTRI BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 36		0.067	+0.076	0	+0.045	0	+0.01	0	+0.04	0	+0.023
#17	(CONT-13) CARA DE CONCRETO 3a. ET BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 35		0.06	+0.02	0	-0.044	0	+0.004	0	+0.034	0	-0.048
#18	(CONT-03) CORTINA 2a.ETAPA/Costo (C) BETAGENERAL(2, 2, 33449198.86, 4088		0.059	+0.014	0	+0.018	0	+0.001	0	+0.035	0	-0.01
#19	(CONT-02) CORTINA 1a.ETAPA/Costo (C) BETAGENERAL(2, 2, 35725777.74, 4368		0.058	+0.138	0	-0.032	0	-0.04	0	+0.03	0	-0.008
#20	(CONT-11) CARA DE CONCRETO 2a. ET BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 35		0.057	+0.042	0	-0.022	0	+0.028	0	-0.033	0	+0.032
#21	(EXCE-01B) CANAL DE LLAMADA (CON) BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 28		0.051	+0.059	0	+0.025	0	+0.031	0	+0.022	0	+0.004
#22	(GENE-26) GALERIA OSCILACION (CON) BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 22		0.048	+0.042	0	+0.075	0	+0.059	0	+0.067	0	-0.037
#23	(CONT-01B) PLINTO (EXCAVACION ZON) BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638,		0.047	+0.011	0	-0.037	0	-0.027	0	-0.011	0	+0.009
#24	(CONT-15B) GALERÍAS DE INSPECCION BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 25		0.046	+0.079	0	-0.019	0	+0.009	0	-0.036	0	+0.028
#25	(GENE-16B) CONCRETOS EN MUROS Y BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 19		0.039	-0.008	0	+0.05	0	-0.015	0	-0.011	0	+0.02
#26	(GENE-31) PLATAFORMA (EXCAVACION) BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638,		0.036	+0.027	0	-0.032	0	-0.004	0	+0.04	0	-0.009
#27	(IDEF-01) EDIFICIOS DEFINITIVOS/Costo BETAGENERAL(2, 2, 20827854.1, 25458		0.03	+0.066	0.798	+0.816	0	+0.024	0	+0.02	0	+0.045

Figura 5.47. P.H. El Cajón – Análisis de Sensibilidad de los Costos de las Actividades (Coeficientes de Regresión y Correlación). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

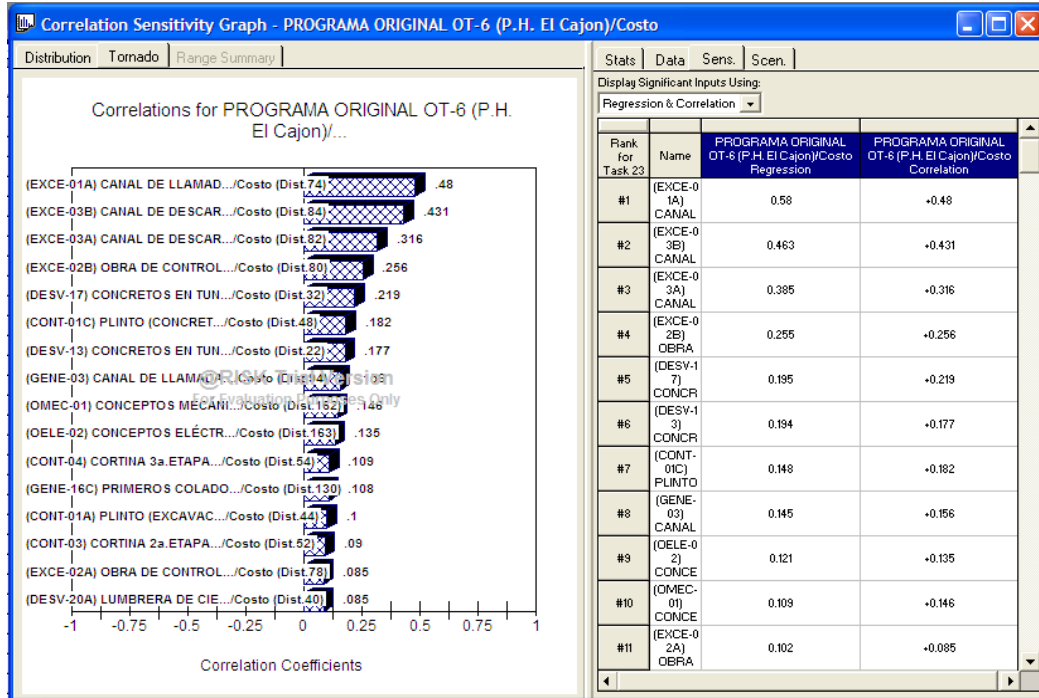


Figura 5.48. P.H. El Cajón – Grafica de Correlación de los Costos de las Actividades - Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

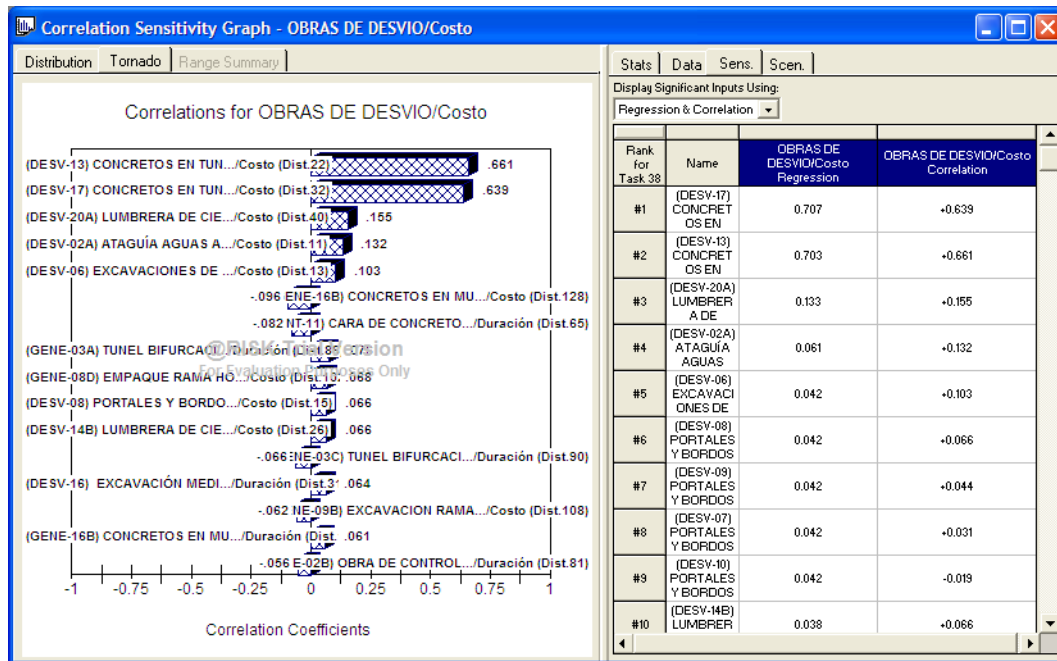


Figura 5.49. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Desvíos. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

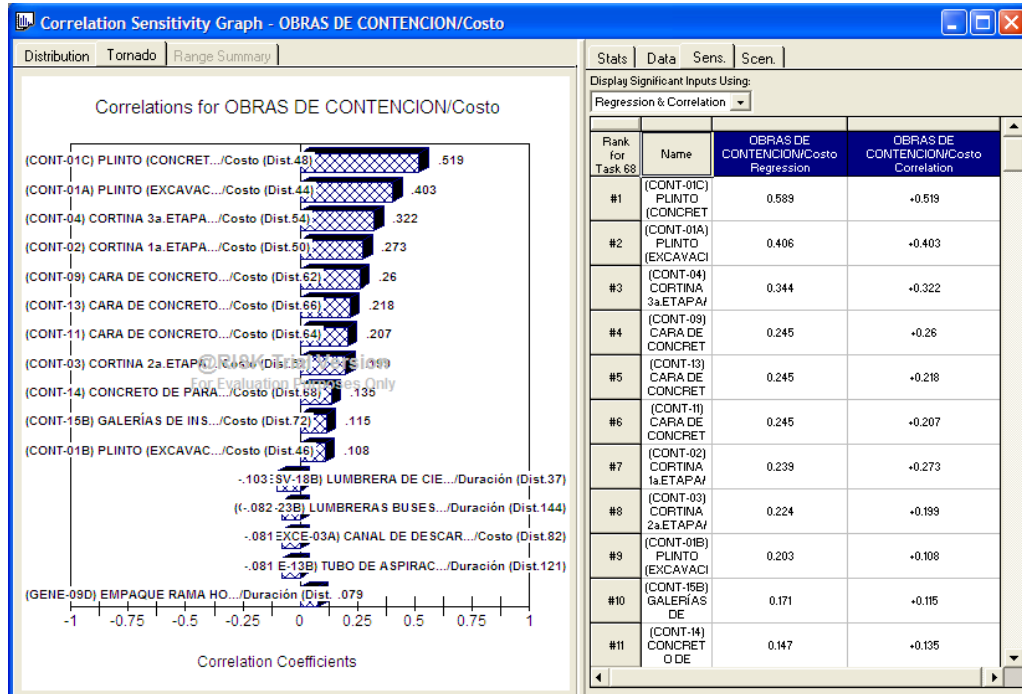


Figura 5.50. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Contención. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

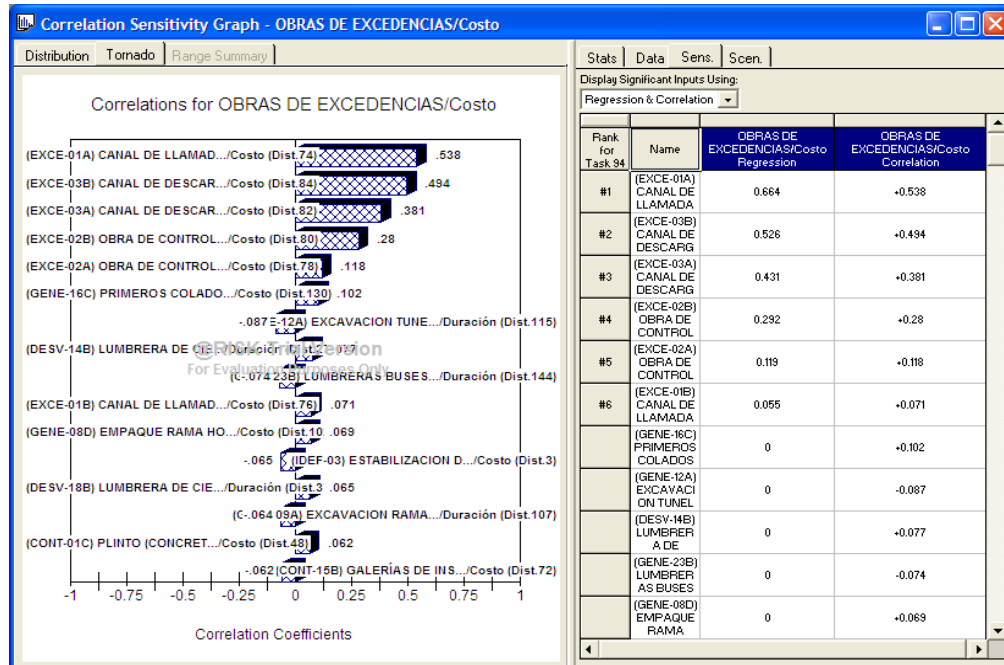


Figura 5.51. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Excedencias. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

El mismo análisis se puede realizar con respecto a los índices de correlación y regresión de las duraciones de las actividades, como ejemplo se presenta también el análisis con respecto a la fecha de término del proyecto, la injerencia de las variables de entrada se observan en las **Figura 5.52** y **Figura 5.53**.

Rank for Task 23	Name	Distribution	PROGRAMA ORIGINAL OF P.H. El Cajón/Costo Regression	PROGRAMA ORIGINAL OF P.H. El Cajón/Costo Correlation	INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA/Costo	INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA/Costo	VALIDADES DEFINITIVAS EN EL PROYECTO	VALIDADES DEFINITIVAS EN EL PROYECTO	INFRAESTRUCTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN/Costo	INFRAESTRUCTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN/Costo	OBRAS DE DESVÍOS/Regresion	OBRAS DE DESVÍOS/Correlation
#1	[EXCE-01A] CANAL DE LLAMADA [EXCA/BETAGENERAL]0.1974752, 0.9549638	[Dist.41]	+0.427	+0.641	0	-0.021	0	+0.002	0	+0.027	0	-0.054
#2	[EXCE-03B] CANAL DE DESCARGA [CON/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 27.8459	[Dist.41]	+0.406	+0.41	0	-0.026	0	-0.037	0	-0.039	0	-0.001
#3	[EXCE-02A] CANAL DE DESCARGA [EX/BETAGENERAL]0.1974752, 0.9549638	[Dist.41]	+0.293	0	0	-0.006	0	+0.007	0	+0.011	0	-0.03
#4	[EXCE-02B] OBRA DE CONTROL [CONC/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 15.0275	[Dist.41]	+0.172	0	0	-0.001	0	+0.043	0	-0.021	0	-0.02
#5	[DESV-13] CONCRETOS EN TUNEL DE BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 11.0208	[Dist.41]	+0.134	0	0	+0.021	0	+0.03	0	-0.007	0.717	+0.657
#6	[DESV-17] CONCRETOS EN TUNEL DE BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 11.0207	[Dist.41]	+0.176	0	0	+0.033	0	+0.002	0	+0.057	0.718	+0.63
#7	[CONT-01C] PLINTO [CONCRETOS/Cost/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 68.0156	[Dist.41]	+0.133	0	0	+0.042	0	-0.013	0	-0.024	0	-0.034
#8	[GENE-03] CANAL DE LLAMADA [EXCA/BETAGENERAL]0.1974752, 0.9549638	[Dist.41]	+0.136	0	0	-0.025	0	-0.018	0	+0.063	0	-0.049
#9	[DELE-02] CONCEPTOS ELÉCTRICOS/C/BETAGENERAL]2, 2.73864389 93.902	[Dist.133]	+0.17	0	0	-0.018	0	+0.026	0	+0.022	0	-0.017
#10	[CMC-01] CONCEPTOS MECÁNICOS/C/BETAGENERAL]2, 2.65207808 49.796	[Dist.110]	+0.095	0	0	-0.051	0	+0.031	0	+0.008	0	-0.02
#11	[EXCE-02A] OBRA DE CONTROL [EXCA/BETAGENERAL]0.1974752, 0.9549638	[Dist.41]	+0.089	0	0	-0.009	0	+0.046	0	+0.008	0	-0.032
#12	[CONT-01A] PLINTO [EXCAVACION LAD/BETAGENERAL]0.1974752, 0.9549638	[Dist.103]	+0.08	0	0	+0.042	0	+0.058	0	-0.056	0	-0.058
#13	[GENE-30] CONCRETOS/Costo [Dist.83] BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 49.0089	[Dist.83]	+0.152	0	0	+0.029	0	+0.018	0	+0.034	0	+0.064
#14	[CONT-04] CORTINA 3a ETAPA/Costo [C/BETAGENERAL]2, 2.51386460 02.620	[Dist.083]	+0.073	0	0	-0.055	0	-0.033	0	-0.039	0	+0.035
#15	[CONT-09] CARA DE CONCRETO 1a ET/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 35.0068	[Dist.35]	+0.1	0	0	+0.018	0	+0.051	0	-0.065	0	+0.027
#16	[GENE-04B] ESTRUCTURA DE CONTR/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 36.0067	[Dist.36]	+0.076	0	0	+0.045	0	+0.01	0	+0.04	0	+0.023
#17	[CONT-13] CARA DE CONCRETO 3a ET/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 35.0068	[Dist.35]	+0.02	0	0	-0.044	0	+0.004	0	+0.034	0	-0.048
#18	[CONT-03] CORTINA 2a ETAPA/Costo [C/BETAGENERAL]2, 2.33449199 96.406	[Dist.069]	+0.094	0	0	-0.019	0	+0.001	0	+0.035	0	-0.01
#19	[CONT-02] CORTINA 1a ETAPA/Costo [C/BETAGENERAL]2, 2.2525777 74.436	[Dist.069]	+0.136	0	0	-0.032	0	-0.04	0	+0.03	0	-0.008
#20	[CONT-11] CARA DE CONCRETO 2a ET/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 35.0067	[Dist.35]	+0.042	0	0	-0.022	0	+0.028	0	-0.033	0	+0.032
#21	[EXCE-01B] CANAL DE LLAMADA [CONC/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 28.0051	[Dist.28]	+0.059	0	0	+0.025	0	+0.031	0	+0.022	0	+0.004
#22	[GENE-26] GALERÍA OSCILACION [CON/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 29.0048	[Dist.29]	+0.042	0	0	+0.075	0	+0.059	0	+0.067	0	-0.037
#23	[CONT-01B] PLINTO [EXCAVACION ZON/BETAGENERAL]0.1974752, 0.9549638	[Dist.104]	+0.047	0	0	-0.037	0	-0.027	0	-0.011	0	+0.009
#24	[CONT-15B] GALERÍAS DE INSPECCION/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 25.0046	[Dist.25]	+0.079	0	0	-0.019	0	+0.009	0	-0.036	0	+0.028
#25	[GENE-16B] CONCRETOS EN MUROS Y/BETAGENERAL]1.361041, 8.641411, 19.0039	[Dist.19]	+0.008	0	0	-0.05	0	-0.015	0	-0.011	0	+0.02
#26	[GENE-31] PLATAFORMA EXCAVACION/BETAGENERAL]0.1974752, 0.9549638	[Dist.036]	+0.027	0	0	-0.032	0	-0.004	0	+0.04	0	-0.009
#27	[IDEF-01] EDIFICIOS DEFINITIVOS/Cost/BETAGENERAL]2, 2.20827854 1.2545	[Dist.105]	+0.005	0.798	0	+0.016	0	+0.024	0	+0.02	0	+0.045

Figura 5.52. P.H. El Cajón – Análisis de Sensibilidad de las Duraciones de las Actividades (Coeficientes de Regresión y Correlación). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

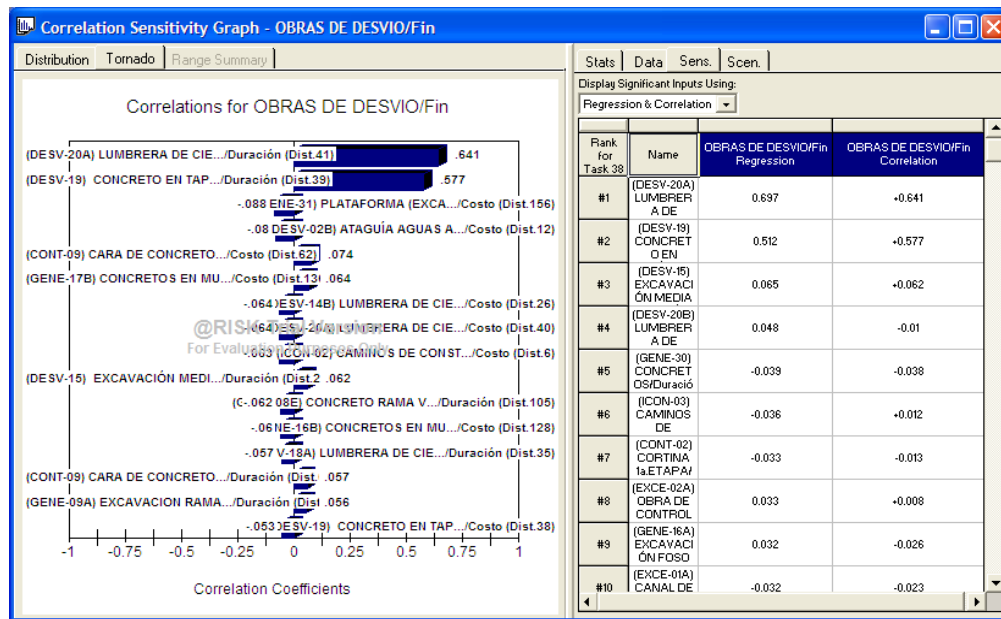


Figura 5.53. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de las Duraciones de la Obra de Desvíos. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

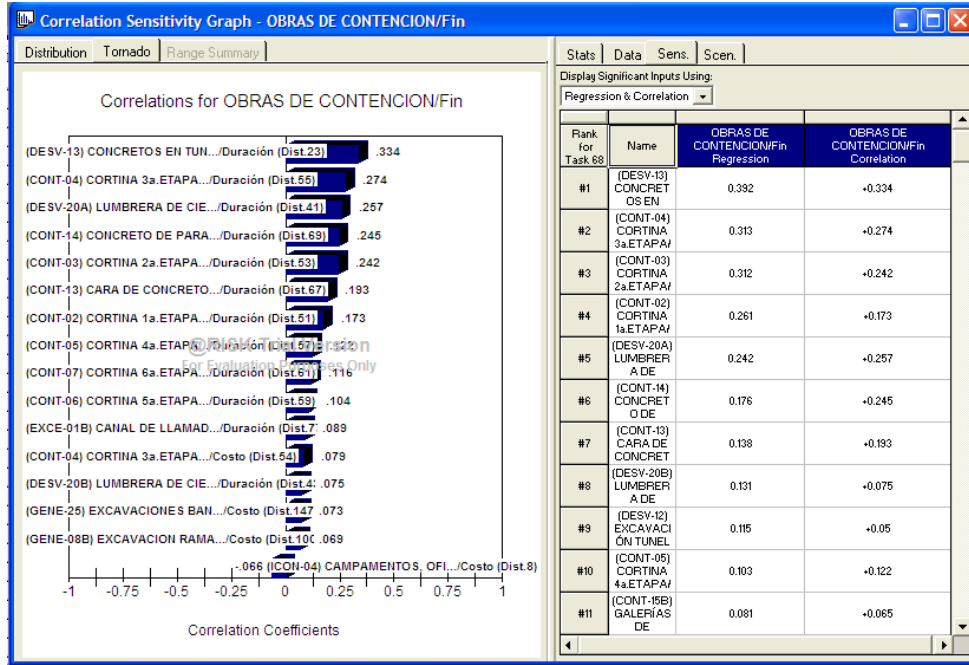


Figura 5.54. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de las Duraciones de la Obra de Contención. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

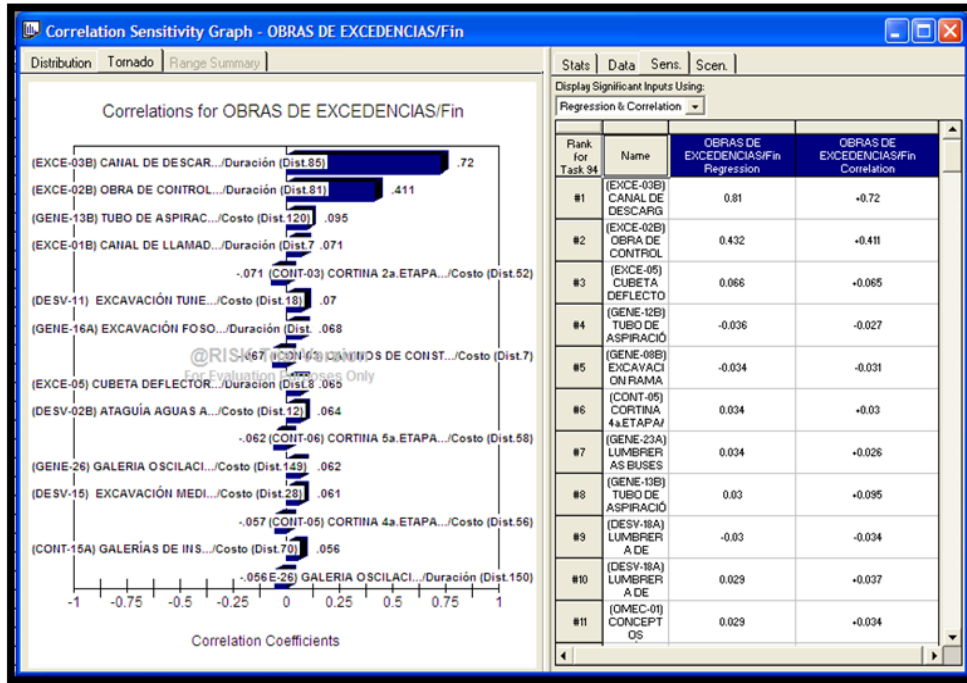


Figura 5.55. P.H. El Cajón – Grafica de correlación de las Duraciones de la Obra de Excedencias. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

Este software también permite visualizar la criticidad de las actividades, esto es, el porcentaje en que cada actividad resultado critica en la simulación que constó de 10'000 iteraciones, lo anterior se observa en una vista del Diagrama de Gantt con los porcentajes, **Figura 5.56** a la **Figura 5.59**.

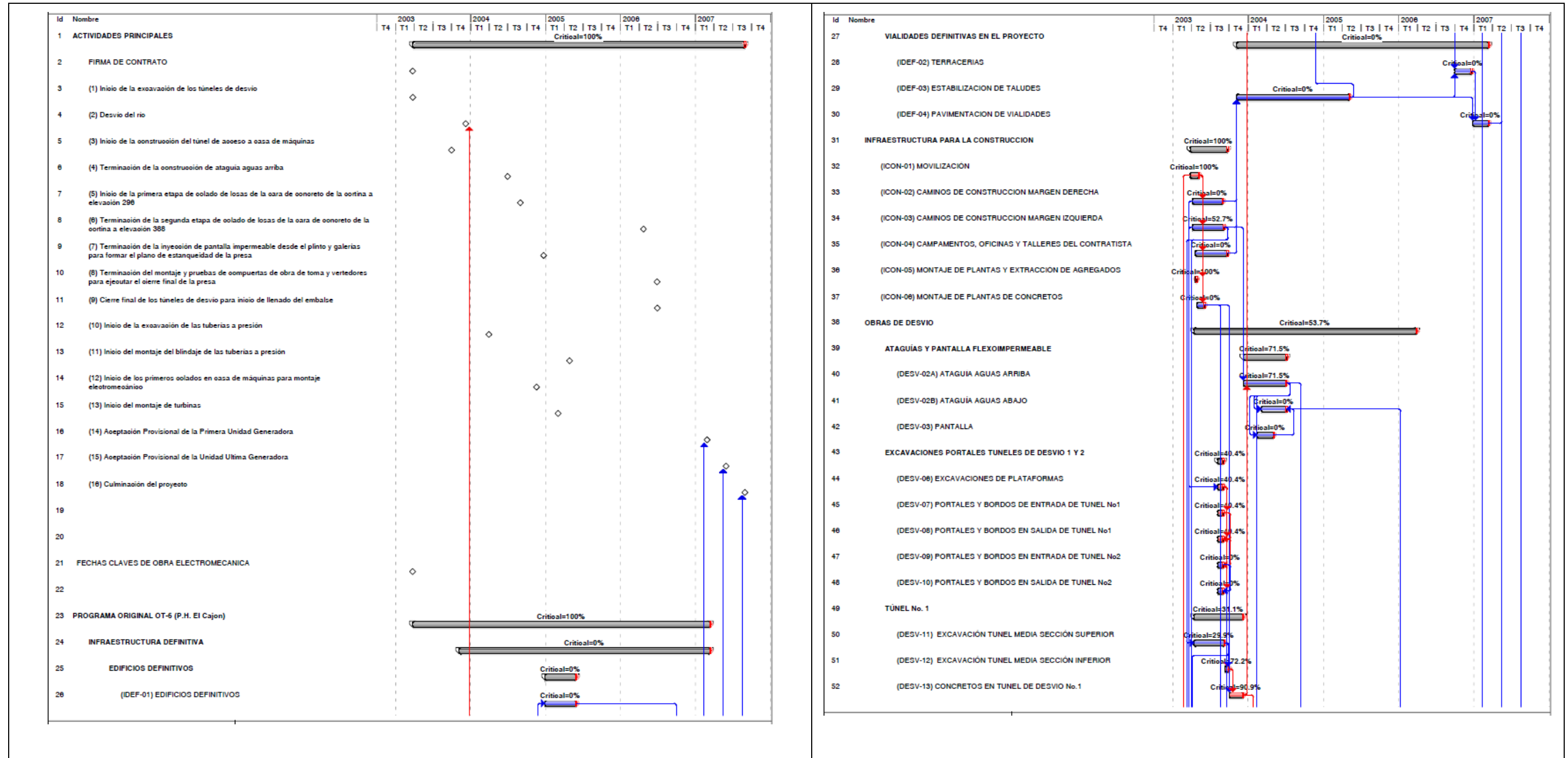


Figura 5.56. P.H. El Cajón – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (1 de 4). Palisade ® @Risk for Project 4.14.

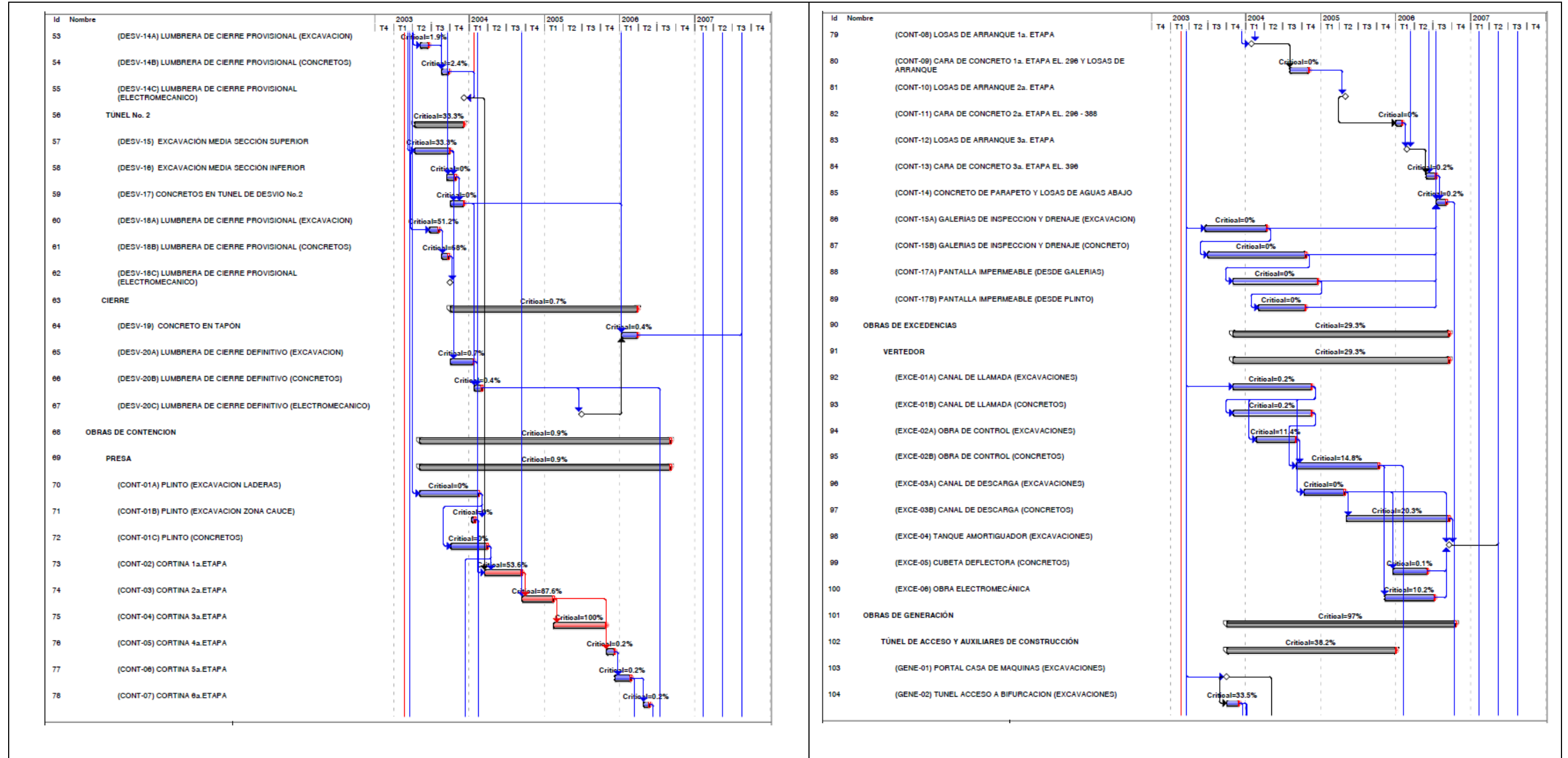


Figura 5.57. P.H. El Cajón – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (2 de 4). Palisade ® @Risk for Project 4.14.

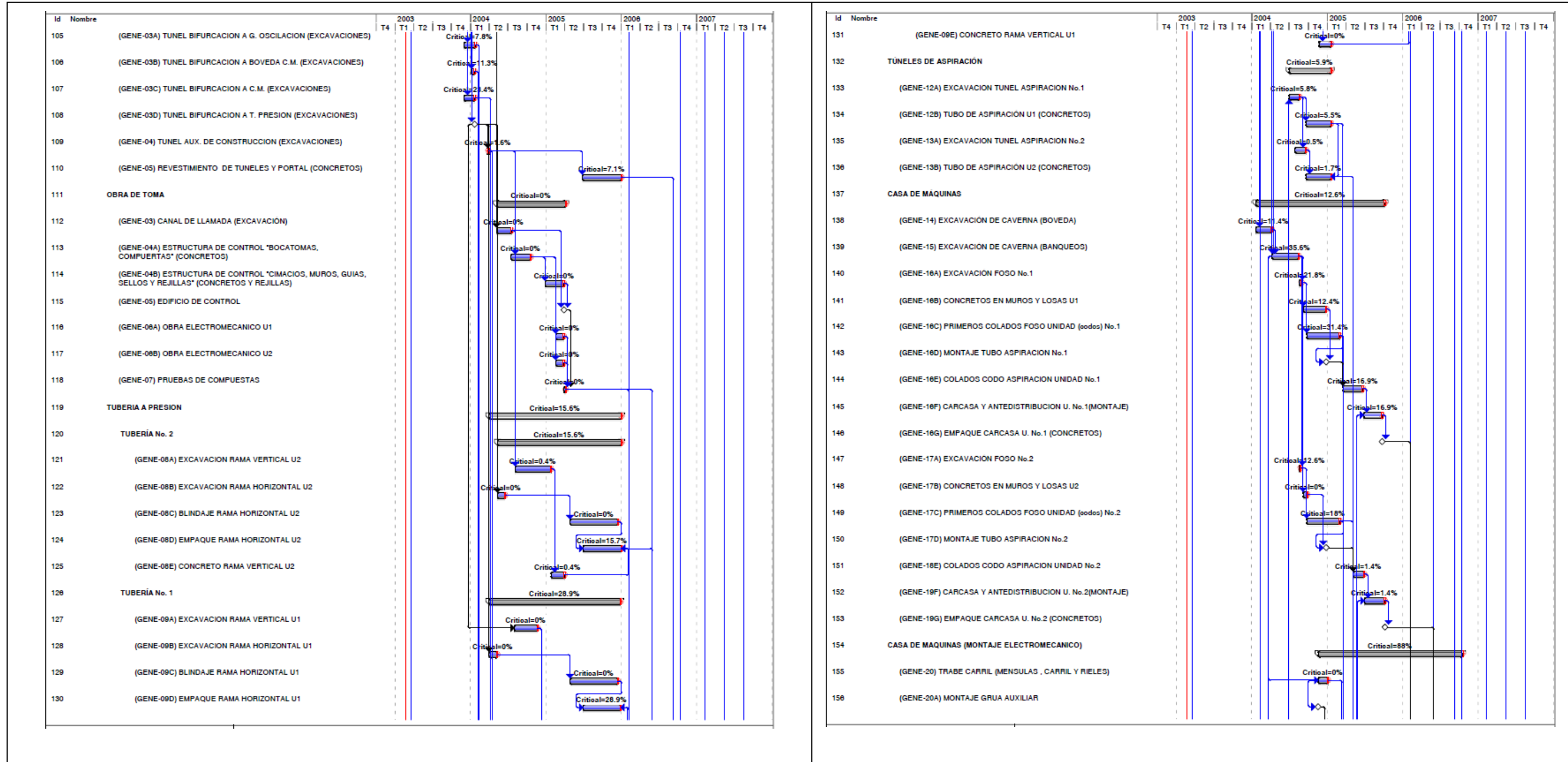


Figura 5.58. P.H. El Cajón – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (3 de 4). Palisade ® @Risk for Project 4.14.

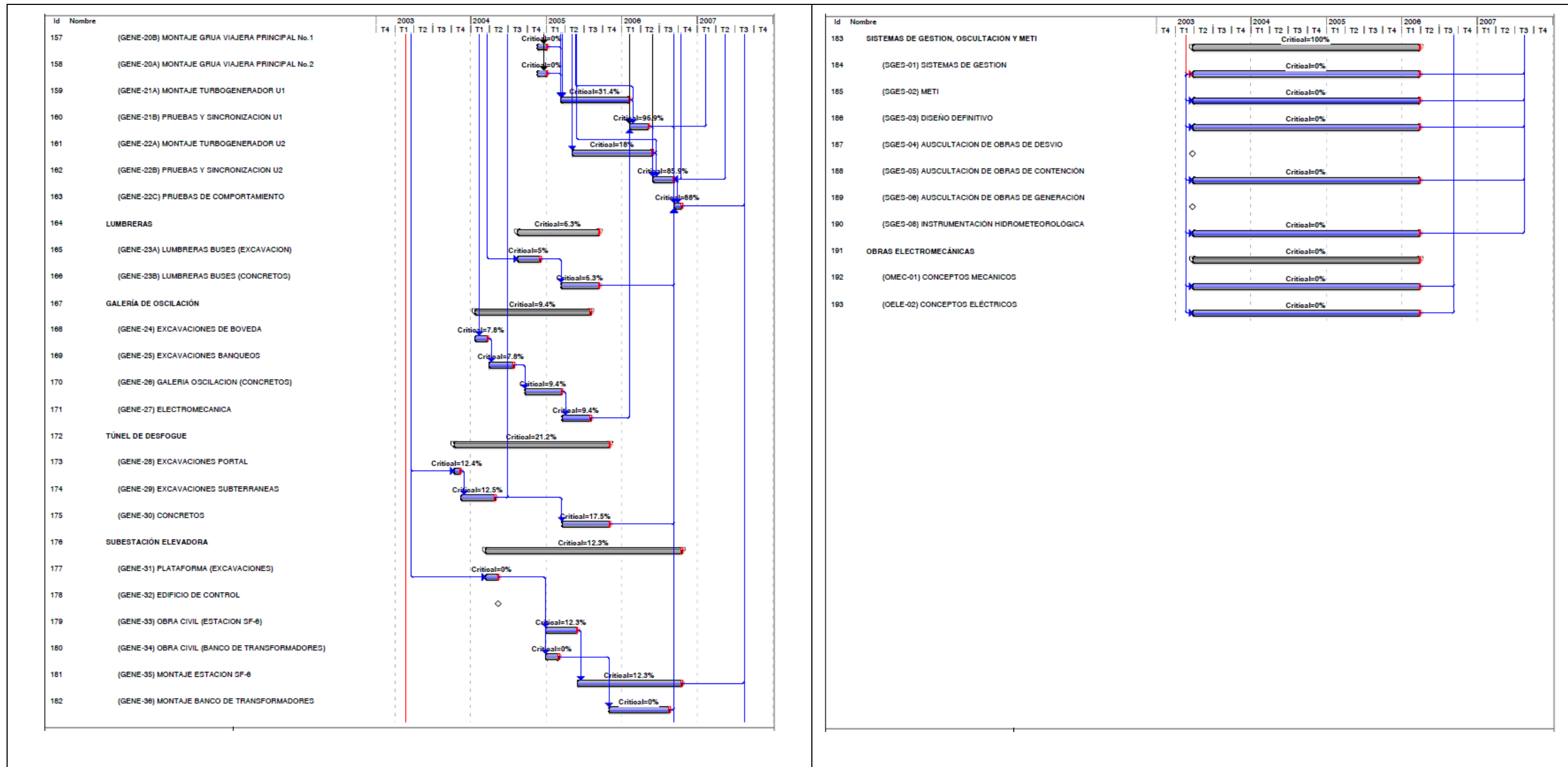


Figura 5.59. P.H. El Cajón – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (4 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

Como ya se mencionó, uno de los objetivos es la aplicación en futuros proyectos de similar complejidad y magnitud, particularmente en Proyectos Hidroeléctricos, después de corroborar la validez del modelo y conocer su comportamiento con las diversas herramientas que tiene el software con aplicaciones orientadas a la simulación Monte Carlo. En este sentido la aplicación inmediata es al Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, lo cual se desarrolla en el siguiente subcapítulo.

5.1.6 Implementación del Método APRAM.

En este apartado se describe la aplicación del último método seleccionado para el análisis de los Magnos Proyectos Hidroeléctricos, desarrollar un planteamiento y análisis aplicando el Modelo Administrativo y de Análisis de Riesgo de Programación Avanzada por sus siglas en ingles APRAM (Advanced Programmatic Risk Analysis and Management) en particular al caso del Proyecto El Cajón y en el subcapítulo siguiente al caso de La Yesca.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. El desarrollo del método APRAM se basa en un sistema de análisis y probabilidad, por lo que antes de la implementación del mismo se debe seguir una metodología de investigación enfocada a recabar la información necesaria y más relevante del Método. Ahora bien, diversa información ya se desarrollo a lo largo del presente subcapítulo, especialmente en el Método Monte Carlo, por lo que sólo se indicaran los apartados donde se encuentra dicha información para no ser reiterativo en el desarrollo. Los dos aspectos principales de la investigación giran en relación al presupuesto y el programa de construcción.

DESGLOSE DE LA ESTRUCTURA. Para la efectividad en la dirección y desarrollo de un proyecto, es importante dividir el proyecto en partes identificables sin ambigüedades para definir los trabajos para lograr un control que mejore el rendimiento para lograr los objetivos previamente definidos objeto del proyecto. Para ello es esencial, para cada parte identificable, ser lo suficientemente definida, para lograr que el trabajo sea medible, presupuestable, programable y administrado. Para dicha estructura WBS se adoptara la misma expuesta en el apartado **5.1.1**.

ESTIMACION DETALLADA DE LOS COSTOS. El desglose de los costos que componen el presupuesto total se expuso a detalle en el apartado **5.1.2.**, dicho presupuesto ascendió a un total de \$749'549'487.93 USD. en una parte a Precio Alzado que asciende a \$683'776'415.34 USD y otra a Precios Unitarios de \$65'773'072.59 USD.

PROYECTO DE PLANIFICACION Y PROGRAMACION. Este paso consiste en identificar todas las actividades necesarias para completar el proyecto. Las actividades tienen una secuencia, duración y costo. Para ello se auxiliara del Diagrama de Gantt elaborado en el apartado **5.1.5.1.**, el mismo aplicado al método Monte Carlo, incluyendo la Ruta Critica (CPM) que se implementa para determinar la duración total del proyecto utilizando la duración de cada actividad y las relaciones entre ellas.

Ya con la información conformada y disponible para la implementación, a continuación se describe la aplicación del APRAM al caso de El Cajón, aunque se debe destacar que entre los insumos necesarios para la aplicación de APRAM destaca **el umbral de riesgo aceptable toma la decisión y que debe ser determinado por el propietario del proyecto** . Este umbral de riesgo es una probabilidad que representa el riesgo máximo que el propietario está dispuesto a aceptar en el proyecto.

Un propietario puede tener el mismo umbral de riesgo de los fallos técnicos y de gestión o los umbrales de riesgo diferentes. Esta metodología se muestra cómo el presupuesto total del proyecto puede ser mayor a fin de que los riesgos para cumplir con el nivel de aceptación en el caso de las probabilidades resultantes de fallos técnicos y de gestión de la asignación óptima del presupuesto residual es mayor que los niveles de riesgo aceptables.

Como se presentó anteriormente en la explicación método APRAM, este se divide en 7 fases. **Figura 5.60.**

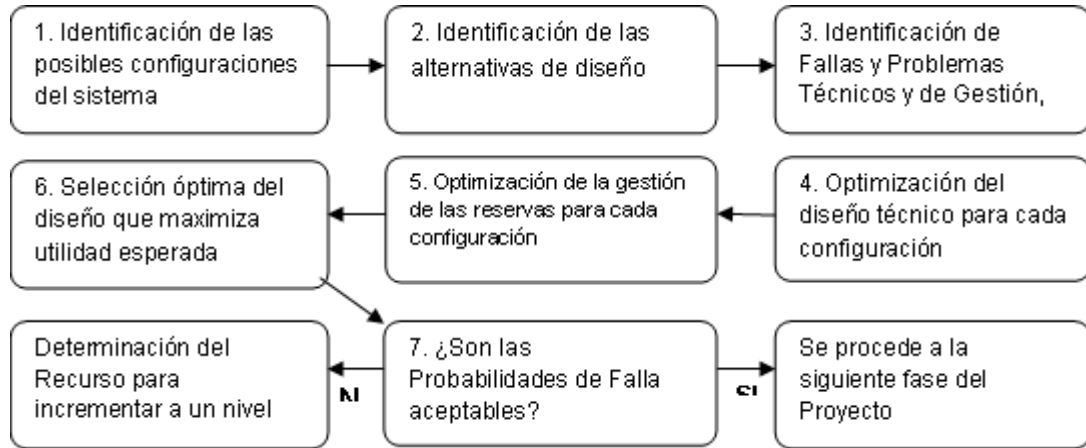


Figura 5.60. Metodología APRAM.

5.1.6.1. Identificación de las posibles configuraciones del sistema

En esta primera etapa del APRAM se requiere la identificación de todas las alternativas que se pueden utilizar en el desarrollo de la instalación, esto es, todas las configuraciones financieras y técnicamente factibles de la necesidad de instalaciones terminadas. Se debe aclarar que este se podría aplicar a para analizar un proyecto desde la etapa de anteproyecto al tenerse diversas configuraciones, para el caso de una hidroeléctrica, se podría comparar y considerar el tipo de cortina, turbinas y demás instalaciones de la central. En la presente aplicación sólo se realiza el análisis del proyecto a nivel de ingeniería básica; esto es, que ya se han definido los esquemas, dimensiones y capacidades de todas las estructuras que integran el proyecto. Ahora bien, cuando sea el caso, lo relacionado a las contingencias que se presentaron durante la construcción.

En este caso, se trata de un Proyecto ya asignado: con un proyecto de Ingeniería Básica clarificado, como parte de la concepción del Proyecto Hidroeléctrico con una casa de máquinas tipo caverna excavada en la margen derecha, una cortina de enrocamiento con cara de concreto, una obra de Excedencias ubicada en la margen derecha constituida de un vertedor controlado tipo Creager con compuertas Radiales y dos canales, las obras de desvío consiste de dos túneles excavados en la margen izquierda

de sección portal y demás obras asociadas como caminos, oficinas, plantas de concretos y agregados, entre otras.

DETERMINACION DEL PRESUPUESTO RESIDUAL. Para el presente trabajo se determino como Presupuesto Residual un monto igual al 100% del Presupuesto Total Original (\$749'549'487.93 USD).

5.1.6.2. Identificación de las alternativas de diseño

En esta etapa se designa el denominado Presupuesto Residual (R), para cada configuración, el cual se determina encontrando la diferencia entre el Presupuesto del Proyecto (TB) y el costo total de la instalación (Devcost). El Presupuesto Residual se refiere a la cantidad de dinero disponible para la mejora de elementos técnicos de las instalaciones y la gestión de las reservas. En este aspecto (R) también parte en gran medida de las políticas del propietario.

5.1.6.3. Identificación de Fallas y Problemas Técnicos y de Gestión, Totales y Parciales.

Las probabilidades de fracaso del proyecto por falla técnica y por gestión, tanto total como parcial, se calcularon para cada configuración haciendo uso del análisis de árbol de fallas. Este análisis implica la identificación de un evento de arriba y secuencial, identificar uniones e intersecciones de sucesos que pueden conducir a la ocurrencia del evento superior (**Paté-Cornell, 1984**). Los gráficos siguientes muestran los árboles de faltas por falta de gestión y un fallo técnico para cada configuración para el caso del P.H. El Cajón, **Figura 5.61** y **Figura 5.62**:



Figura 5.61. P.H. El Cajón – APRAM, Fallas por Gestión.

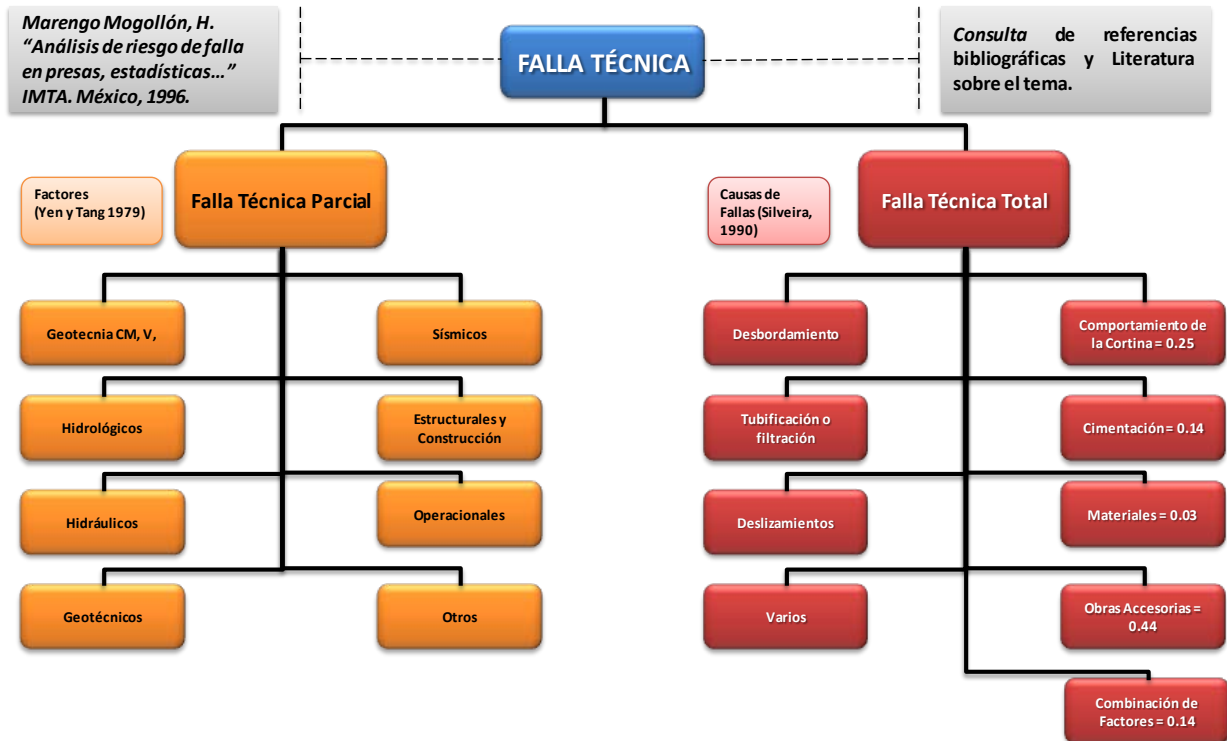


Figura 5.62. P.H. El Cajón – APRAM, Fallas Técnicas.

5.1.6.4. Optimización del diseño técnico para cada configuración

En esta etapa se establece la parte del presupuesto residual que puede ser utilizado para reforzar o mejorar las capacidades técnicas de la instalación, esto es, el presupuesto de fortalecimiento técnico (Techrein) y se expresa como:

$$\text{Tech}_{\text{rein}} = \alpha r$$

Donde α representa la fracción del presupuesto residual que se utiliza para reducir los riesgos de fallo técnico y que puede ser desde cero hasta todo el presupuesto residual ($0 \leq \alpha \leq 1$). Se optimiza para todos los valores de α para determinar la fracción del presupuesto residual que reduzca al mínimo la utilidad del propietario. Aquí utilidad se refiere a la preferencia de la toma de decisiones, que en este caso se supone que se reduce el costo esperado de falla (E).

Para el cálculo en el presente trabajo se adoptara un modelo exponencial de las probabilidades, acorde con **Guikema & Paté-Cornell (2003)**, “riesgo/costo para el modelado de sistemas en los cuales la probabilidades de falla de un sistema decrece exponencialmente como lo hace la inversión del dinero para hacer el sistema más robusto y mejorar el desempeño”.

El costo esperado de error para cada asignación del presupuesto para el fortalecimiento técnico ($\text{Tech}_{\text{rein}}$) se obtiene mediante la ecuación:

$$E = \sum_I (p(\text{TTF}_i | \text{Tech}_{\text{rein}}) C(\text{TTF})) + \sum_J (p(\text{PTF}_j | \text{Tech}_{\text{rein}}) C(\text{PTF}))$$

Donde:

$p(\text{TTF}_i | \text{Tech}_{\text{rein}})$ es la probabilidad de falla técnica total;

$p(\text{PTF}_j | \text{Tech}_{\text{rein}})$ es la probabilidad de falla parcial.

$C(\text{TTF})$ – costo total de falla técnica.

$C(\text{PTF})$ – costo parcial de falla técnica.

Se realiza el proceso de optimización para los diferentes valores de α y con ello asignar el presupuesto de refuerzo técnico óptimo. En la siguiente tabla se presenta la optimización para el modelo exponencial para la asignación de probabilidades.

Presupuesto Total	\$749,549,487.92
Precio Alzado	\$683,776,415.34
Precio Alzado (Obra Civil)	\$524,472,521.40
Precio Alzado (Obra Electromecánica)	\$159,303,893.93
Precios Unitarios	\$65,773,072.59
Residual Budget	\$749,549,487.92
Costo por Falla Total de Gestion C(TMF)	\$1,499,098,975.84
Costo por Falla Total de Gestion C(PMF)	\$224,864,846.38

P.H. El Cajón - Optimización del Diseño Técnico.																										
α	Tech rein = or	Costo por Falla Técnica Total (PTF)	Costo por Falla Parcial Técnica (PTF)	Falla Técnica Total					Probabilidad por Falla Técnica Total	Falla Técnica Parcial							Probabilidad por Falla Técnica Parcial	E(Técnica)								
				Comportamiento de la Cortina = 0.25	Cimentación = 0.14	Materiales = 0.03	Obras Accesorias = 0.44	Combinación de Factores = 0.14		Geotécnicos	Hidrológicos	Hidráulicos	Geotécnicos	Sísmicos	Estructurales y Construcción	Operacionales			Otros							
0	p(F 0)	\$0.00	\$1,499,098,975.84	\$224,864,846.38	0.25	0.14	0.03	0.44	0.14	0.0001	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.1	\$1,723,963,822.22	
0.1	p(F 0.1)	\$74,954,948.79	\$1,364,180,068.01	\$204,627,010.20	0.1988	0.11130538	0.0239	0.3499	0.1113	7.9521E-05	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.07952	\$1,247,543,825.45
0.2	p(F 0.2)	\$149,909,897.58	\$1,229,261,160.19	\$184,389,174.03	0.1581	0.08851915	0.0190	0.2782	0.0885	6.3228E-05	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.06323	\$893,822,330.57
0.3	p(F 0.3)	\$224,864,846.38	\$1,094,342,252.36	\$164,151,337.85	0.1257	0.070381767	0.0151	0.2212	0.0704	5.0272E-05	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.05027	\$632,678,589.44
0.4	p(F 0.4)	\$299,819,795.17	\$959,423,344.54	\$143,913,501.68	0.0999	0.05969294	0.0120	0.1759	0.0599	3.9971E-05	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.03997	\$441,024,971.90
0.5	p(F 0.5)	\$374,774,743.96	\$824,504,436.71	\$123,675,865.51	0.0795	0.04494469	0.0095	0.1399	0.0445	3.1781E-05	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.03178	\$301,548,355.56
0.6	p(F 0.6)	\$449,729,692.75	\$689,585,528.89	\$103,437,829.33	0.0632	0.03537948	0.0076	0.1112	0.0354	2.5897E-05	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.02527	\$200,395,007.44
0.7	p(F 0.7)	\$524,684,641.54	\$554,666,621.06	\$83,199,993.16	0.0502	0.028128844	0.0060	0.0884	0.0281	2.0092E-05	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.02009	\$128,160,360.19
0.8	p(F 0.8)	\$599,639,590.34	\$419,747,713.24	\$62,962,156.99	0.0389	0.022366304	0.0046	0.0703	0.0224	1.5975E-05	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.01598	\$77,113,951.15
0.9	p(F 0.9)	\$674,594,539.13	\$284,828,805.41	\$42,724,320.81	0.0316	0.017782702	0.0038	0.0550	0.0178	1.2701E-05	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.01270	\$41,605,567.96
1	p(F 1)	\$749,549,487.92	\$149,909,897.58	\$22,486,484.64	0.025	0.014	0.003	0.044	0.014	0.00001	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.0128	0.01010	\$152,178,090.23

Tabla 5.17. P.H. El Cajón – APRAM, Optimización del diseño técnico de la configuración.

5.1.6.5. Optimización de la gestión de las reservas para cada configuración.

Con el presupuesto de refuerzo técnico, la parte restante del presupuesto residual (1-α)R, se le denomina gestión de reservas (Mgmt_{res}).

Para la determinación de la reserva de la gestión óptima, se utiliza la misma optimización no lineal utilizada para la optimización del presupuesto técnico de reserva. El costo esperado de fracaso esta nuevamente enfocado a reducir al mínimo la optimización. El costo esperado de la insuficiencia de cada tramo de la gestión de las reservas se ha obtenido de la ecuación:

$$E = \sum_i (p(TMF_i | Mgmt_{res}) C(TMF)) + \sum_j (p(PMF_j | Mgmt_{res}) C(PMF))$$

Donde:

- p(TMF_i/Mgmt_{res}) es la probabilidad de falla administrativa total;
- p(PMF_j/Mgmt_{res}) es la probabilidad de falla administrativa parcial;
- C(TMF) – costo total de falla de gestión;
- C(PMF) – costo parcial de falla de gestión.

Se realiza el proceso de optimización para los diferentes valores de Mgmt y con ello asignar el presupuesto de refuerzo por Gestión óptimo. En las siguientes tres tablas se presenta la optimización para el modelo exponencial para la asignación de probabilidades.

Presupuesto Total	\$749,549,487.92
Precio Alzado	\$683,776,415.34
Precio Alzado (O. Civil)	\$524,472,521.40
Precio Alzado (O. Electromecánica)	\$159,303,893.93
Precios Unitarios	\$65,773,072.59
Residual Budget	\$749,549,487.92
Costo por Falla Total de Gestion C(TMf)	\$749,549,487.92
Costo por Falla Total de Gestion C(PMF)	\$74,954,948.79

P.H. El Cajón - Optimización de Fallas por Gestión.																
α	Mgmt res=(1-α)r	Costo por Falla Total por Gestion (TMF)	Costo por Falla Parcial por Gestion (PMF)	Falla Total por Gestión (Simulación Monte Carlo)					Probabilidad de Falla Total por Gestión	Falla Parcial por Gestión (Simulación Monte Carlo)					E(Gestion)	
				Sobrecostos substanciales mayores al 25% (P+PU)	Sobrecostos substanciales por factores económicos	Cortina, no es posible realizar el cierre en el 2006	Vertedor, no es posible realizar el cierre en el 2006	Estructuras, no es posible realizar el cierre en el 2006		Sobrecostos inesperados menores al 25% (P+PU)	Sobrecostos de insumos por factores económicos	Construcción de la Cortina a la Elevación cierre tardío después de Julio - 2006	Construcción del Vertedor, cierre tardío en el 2006 (Julio, 2006)	Retraso Estructuras necesarias para el cierre		Probabilidad de Falla Parcial por Gestión
0	p(F α=0)	\$749,549,487.92	\$74,954,948.79	0.12	0.01	0.207	0.246	0.24	0.02500	1	0.8	0.56	0.428	0.4	0.05656	\$79,690,506.80
0.1	p(F α=0.1)	\$674,594,539.13	\$480,089,076.00	0.0152	0.0013	0.0263	0.0312	0.0305	0.03175	0.1270	0.1016	0.0711	0.0544	0.0508	0.07113	\$83,855,679.13
0.2	p(F α=0.2)	\$599,639,590.34	\$432,607,738.82	0.0192	0.0016	0.0331	0.0393	0.0383	0.03994	0.1598	0.1278	0.0895	0.0684	0.0639	0.08946	\$95,034,656.92
0.3	p(F α=0.3)	\$524,684,641.54	\$385,126,401.63	0.0241	0.0020	0.0416	0.0494	0.0482	0.05023	0.2009	0.1607	0.1125	0.0860	0.0804	0.11252	\$106,406,483.15
0.4	p(F α=0.4)	\$449,729,692.75	\$337,645,064.44	0.0303	0.0025	0.0523	0.0622	0.0606	0.06317	0.2527	0.2022	0.1415	0.1082	0.1011	0.14151	\$117,328,163.80
0.5	p(F α=0.5)	\$374,774,743.96	\$290,163,727.25	0.0381	0.0032	0.0658	0.0782	0.0763	0.07945	0.3178	0.2543	0.1780	0.1360	0.1271	0.17798	\$126,812,498.74
0.6	p(F α=0.6)	\$299,819,795.17	\$242,682,390.07	0.0480	0.0040	0.0827	0.0983	0.0959	0.09993	0.3997	0.3198	0.2238	0.1711	0.1599	0.22384	\$133,393,378.69
0.7	p(F α=0.7)	\$224,864,846.38	\$195,201,052.88	0.0603	0.0050	0.1041	0.1237	0.1207	0.12568	0.5027	0.4022	0.2815	0.2152	0.2011	0.28153	\$134,944,514.70
0.8	p(F α=0.8)	\$149,909,897.58	\$147,719,715.69	0.0759	0.0063	0.1309	0.1555	0.1517	0.15807	0.6323	0.5058	0.3541	0.2706	0.2529	0.35408	\$128,436,544.81
0.9	p(F α=0.9)	\$74,954,948.79	\$100,238,378.51	0.0954	0.0080	0.1646	0.1956	0.1909	0.19880	0.7952	0.6362	0.4453	0.3404	0.3181	0.44532	\$109,612,795.50
1	p(F α=1)	\$0.00	\$52,757,041.32	0.12	0.01	0.207	0.246	0.24	0.25	1	0.8	0.56	0.428	0.4	0.56	\$72,547,321.40

Tabla 5.18. P.H. El Cajón – APRAM, Optimización del diseño de reservas por gestión.

5.1.6.6. Selección óptima del diseño que maximiza utilidad esperada

El paso final implica la integración de las dos optimizaciones independientes a fin de determinar la asignación óptima del presupuesto residual. Se determina la fracción del presupuesto residual que maximiza la utilidad (α).

Este paso también permite la selección de la mejor alternativa minimizando el costo esperado de fracaso. Ahora bien, se pondera que el orden en que puede ocurrir un fallo técnico y por gestión, puede ocurrir al determinar lo necesario para complementar este paso. Se entiende que una falla técnica solo puede realizarse después de que la instalación se ha construido, se espera que un fracaso de gestión, ya sea parcial o total, tendrá que ocurrir primero. Así, un fracaso de gestión o falta de gestión no tiene que ocurrir antes de la falla técnica total, parcial o técnica no puede ocurrir.

P.H. El Cajón - Seleccione óptimo diseño que maximiza utilidad esperada.									
α	Tech rein = ar	Mgmt res=(1-α)r	Costo por Falla Total Tecnica (TTF)	Costo por Falla Parcial Tecnica (PTF)	Costo por Falla Total por Gestion (TMF)	Costo por Falla Parcial por Gestion (PMF)	E(Tecnica)	E(Gestion)	E(Optimo)
0	\$0.00	\$749,549,487.92	\$1,499,098,975.84	\$224,864,846.38	\$749,549,487.92	\$74,954,948.79	\$1,723,963,822.22	\$79,690,506.80	\$1,803,654,329.01
0.1	\$74,954,948.79	\$674,594,539.13	\$1,364,180,068.01	\$204,627,010.20	\$480,089,076.00	\$110,999,713.22	\$1,247,543,825.45	\$83,855,679.13	\$1,331,399,504.59
0.2	\$149,909,897.58	\$599,639,590.34	\$1,229,261,160.19	\$184,389,174.03	\$432,607,738.82	\$100,021,719.61	\$893,822,330.57	\$95,034,656.92	\$988,866,987.49
0.3	\$224,864,846.38	\$524,684,641.54	\$1,094,342,252.36	\$164,151,337.85	\$385,126,401.63	\$89,043,725.99	\$632,678,589.44	\$106,406,483.15	\$739,085,072.59
0.4	\$299,819,795.17	\$449,729,692.75	\$959,423,344.54	\$143,913,501.68	\$337,645,064.44	\$78,065,732.38	\$441,024,971.90	\$117,328,163.80	\$558,353,135.71
0.5	\$374,774,743.96	\$374,774,743.96	\$824,504,436.71	\$123,675,665.51	\$290,163,727.25	\$67,087,738.76	\$301,348,355.56	\$126,812,498.74	\$428,160,854.31
0.6	\$449,729,692.75	\$299,819,795.17	\$689,585,528.89	\$103,437,829.33	\$242,682,390.07	\$56,109,745.15	\$200,395,007.44	\$133,393,378.69	\$333,788,386.14
0.7	\$524,684,641.54	\$224,864,846.38	\$554,666,621.06	\$83,199,993.16	\$195,201,052.88	\$45,131,751.53	\$128,160,360.19	\$134,944,514.70	\$263,104,874.89
0.8	\$599,639,590.34	\$149,909,897.58	\$419,747,713.24	\$62,962,156.99	\$147,719,715.69	\$34,153,757.92	\$77,113,951.15	\$128,436,544.81	\$205,550,495.95
0.9	\$674,594,539.13	\$74,954,948.79	\$284,828,805.41	\$42,724,320.81	\$100,238,378.51	\$23,175,764.30	\$41,605,567.96	\$109,612,795.50	\$151,218,363.46
1	\$749,549,487.92	\$0.00	\$149,909,897.58	\$22,486,484.64	\$52,757,041.32	\$12,197,770.68	\$152,178,090.23	\$72,547,321.40	\$224,725,411.63

Tabla 5.19. P.H. El Cajón – APRAM, Selección óptima del diseño.

Del cálculo anterior se obtiene que la opción óptima es para un presupuesto residual con un $\alpha=0.9$ el cual corresponde a **\$151'218'363.46 USD**, recordando que esta selección óptima corresponde a la asignación de riesgo residual de presupuesto que Minimiza el fracaso total.

La **Figura 5.63** resulta de la optimización del presupuesto residual para reforzar las partes técnicas y por gestión de forma independiente. Se identifica que las probabilidades de falla decrecen en la medida que se invierten más recursos del presupuesto residual. Es importante hacer notar que los elementos técnicos del proyecto necesitan ser reforzados con dicho presupuesto antes de ser concedido a las reservas por gestión.

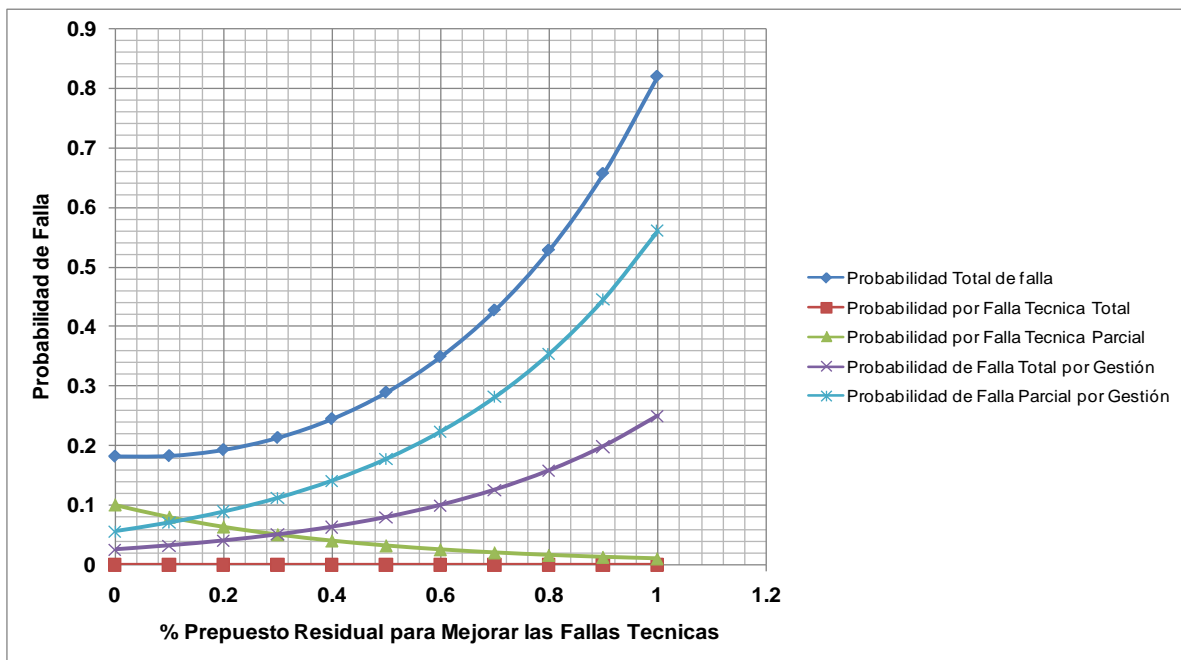


Figura 5.63. P.H. El Cajón – APRAM, Probabilidad de Diferentes Estados de Falla versus Fracción del Presupuesto Residual.

Por otro lado en la **Figura 5.64** se puede analizar si las probabilidades correspondientes a la configuración óptima son mayores que el umbral de riesgo aceptable, en la medida de lo anterior se puede determinar qué cantidad del presupuesto tiene que ser incrementado con el propósito de alcanzar los niveles de riesgo esperados.

Como se puede visualizar, el análisis por medio del método APRAM sirve para sensibilizar sobre los costos esperados de falla, las probabilidades y el incremento del presupuesto.

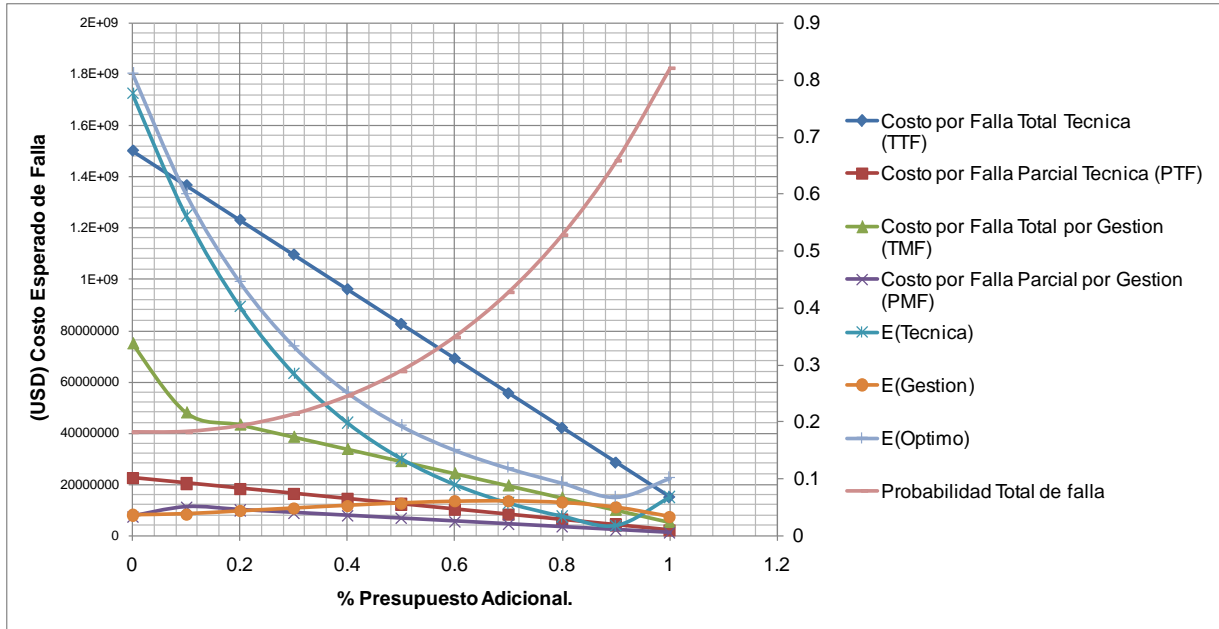


Figura 5.64. P.H. El Cajón – APRAM, %Presupuesto Adicional versus Costo Esperado de Falla – Probabilidad de Falla.

5.2 Proyecto Hidroeléctrico La Yesca

Para el caso del Proyecto La Yesca, en lo que respecta a la información, análisis e implementación de métodos, se procede de la misma forma que en subcapítulo anterior. Por lo anterior y para no ser redundante, solo se indicaran las cuestiones que se diferencian o bien se adaptan al caso de La Yesca.

5.2.1. Estructura Desglosada de Trabajo (WBS)

Para la efectividad en la dirección, desarrollo y control del proyecto, se adopta la siguiente estructura del WBS, **Figura 5.65**

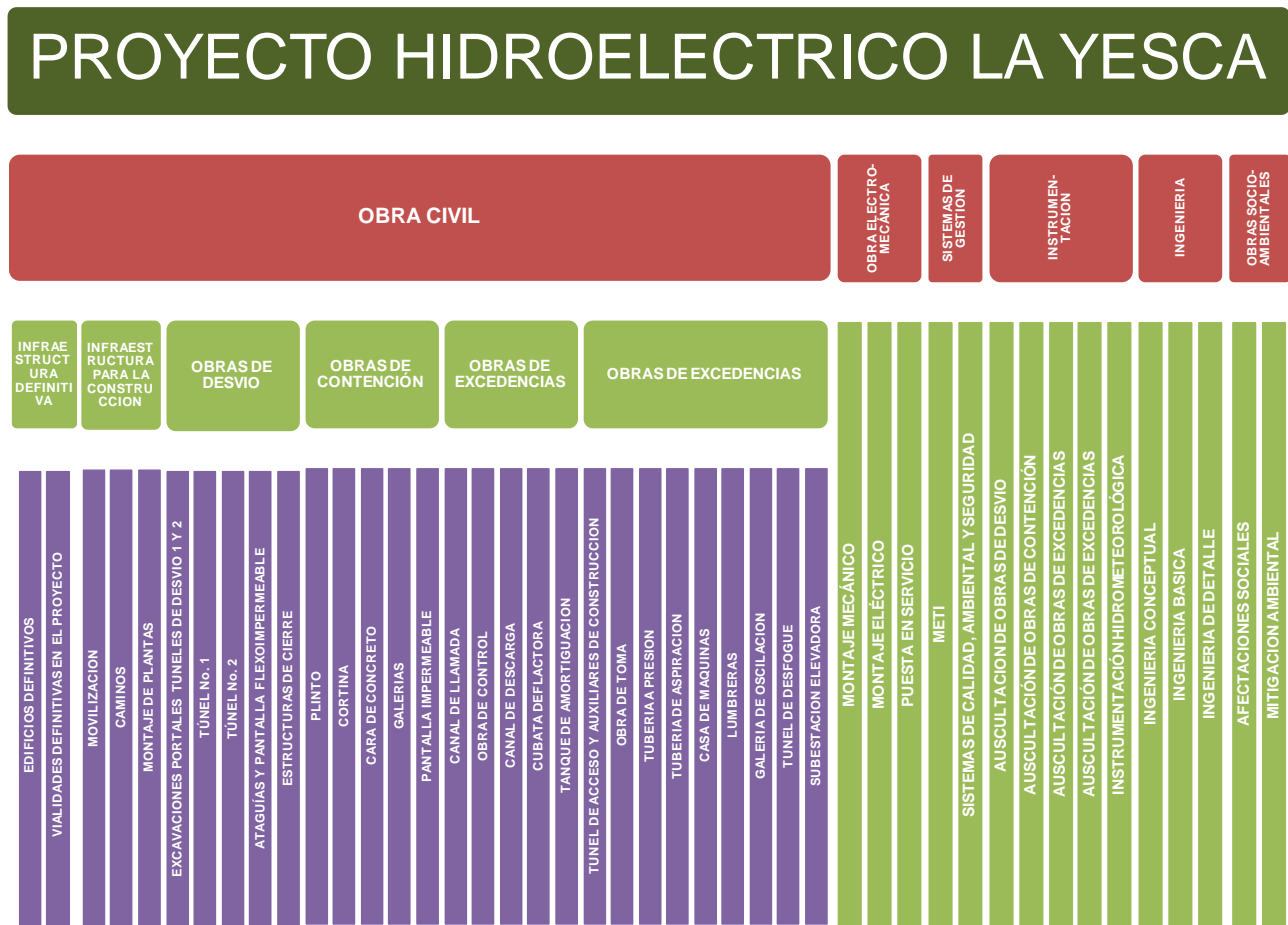


Figura 5.65. WBS del P.H. La Yesca.

5.2.2. Presupuesto

Con relación al Presupuesto original se contó con la oferta Económica del Contrato PIF-010/07, oferta ganadora para la Construcción del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, ya descrito con anterioridad en el capítulo tercero.

A continuación, se presenta desglosado el presupuesto, siguiendo la estructura del WBS, en sus partes correspondiente al Precio Alzado y Precios Unitarios, respectivamente la **Tabla 5.20**.

CONCEPTOS	COSTOS EN USD		
	PRECIO ALZADO	PRECIO UNITARIO	TOTAL
I. Y II. EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS Y ELECTRICOS	240,097,226.82		240,097,226.82
I. EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS	123,349,301.44		123,349,301.44
II. EQUIPOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS	116,747,925.38		116,747,925.38
III.2 OBRA DE DESVIO	37,942,777.46	22,089,668.07	60,032,445.53
III.2.1 PRETAGUIA, ATAGUIA AGUAS ABAJO Y BORDO ARROYO CARRIZALILLO	4,674,320.22	4,673,271.70	9,347,591.92
III.2.2.1 PORTALES DE TÚNELES	2,504,815.61	2,363,668.82	4,868,484.43
III.2.2.2 PLATAFORMAS PARA LUMBRERAS DE CIERRE PROVISIONAL	1,925,835.55	2,225,022.21	4,150,857.76
III.2.2.3 PLATAFORMAS PARA LUMBRERAS DE CIERRE	1,039,307.04		1,039,307.04
III.2.3 TÚNELES Y LUMBRERAS	25,962,394.12	12,827,705.34	38,790,099.46
Ingeniería	1,836,104.93		1,836,104.93
III.3 OBRA DE CONTENCIÓN	100,913,383.69	41,671,310.69	142,584,694.38
III.3.1 CORTINA	85,425,676.34	28,710,725.67	114,136,402.01
III.3.2 GALERÍAS	10,713,834.54	894,830.98	11,608,665.52
III.3.5 TRATAMIENTOS DE FALLAS DESDE GALERÍAS		1,314,835.50	1,314,835.50
III.3.6.1 TRATAMIENTOS DE INYECCIÓN PARA PANTALLA DE IMPERMEABILIZACIÓN DESDE LAS GALERÍAS		7,258,423.30	7,258,423.30
III.3.6.2 TRATAMIENTOS DE INYECCIÓN DE CONSOLIDACIÓN Y DE CONEXIÓN DE PANTALLA		2,688,160.24	2,688,160.24
III.3.6.3 PANTALLA DE DRENAJE DESDE GALERÍAS		804,335.00	804,335.00
Ingeniería	4,773,872.82		4,773,872.82
III.4 OBRA DE GENERACION	93,334,059.77	31,136,458.23	124,731,100.40
III.4.1 OBRA DE TOMA	13,095,045.63	3,618,493.82	16,974,121.85
III.4.2 CONDUCCIONES A PRESIÓN	19,493,637.97	3,535,484.27	23,029,122.24
III.4.3 CASA DE MÁQUINAS	12,485,858.65	4,486,873.64	16,972,732.29
III.4.4 LUMBRERAS: BUSES, VENTILACION, CABLES Y ELEVADOR	7,257,470.85		7,257,470.85
III.4.5 TÚNELES DE ASPIRACIÓN	3,890,419.92	1,387,513.22	5,277,933.14
III.4.6 GALERÍA DE OSCILACIÓN	5,816,821.51	2,764,744.70	8,581,566.21
III.4.7 DESFOGUE	6,903,949.93	8,613,321.52	15,517,271.45
III.4.8 TÚNELES DE ACCESO A CASA DE MAQUINAS Y GALERÍA DE OSCILACIÓN	3,423,251.67	4,571,255.92	7,994,507.59
III.4.9 SUBESTACIÓN ELEVADORA	14,908,457.37	2,158,771.14	17,067,228.51
Ingeniería	6,059,146.28		6,059,146.28
III.5 OBRAS DE EXCEDENCIAS	101,582,185.63	23,281,050.41	124,863,236.04
III.5.1 CANAL DE LLAMADA	10,705,977.91	953,256.94	11,659,234.85
III.5.2 ESTRUCTURA DE CONTROL	29,487,520.16	2,647,236.83	32,134,756.99
III.5.3 CANALES DE DESCARGA	56,798,425.23	19,680,556.64	76,478,981.87
Ingeniería	4,590,262.32		4,590,262.32
IV. OBRAS ASOCIADAS	71,114,772.60	3,538,637.04	74,653,409.64
IV.1 EDIFICIOS AUXILIARES	3,356,627.34	2,508,344.54	5,864,971.88
IV.2 SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO Y PROTECCION AMBIENTAL	27,253,421.62		27,253,421.62
IV.3 CARRETERAS	11,192,933.91	559,509.50	11,752,443.41
IV.4 PUENTES	3,720,367.47		3,720,367.47
IV.5 MODELO ELECTRÓNICO TRIDIMENSIONAL	4,344,805.42		4,344,805.42
IV.6 INSTRUMENTACIÓN	20,144,953.88		20,144,953.88
IV.7 DISEÑO COMPLEMENTARIO	1,101,662.96	470,783.00	1,572,445.96
OBRAS ASOCIADAS	704,887.19		704,887.19
VIALIDADES DEFINITIVAS	704,887.19		704,887.19
TOTAL GENERAL	645,689,293.16	121,717,124.44	767,667,000.00

Tabla 5.20. Presupuesto original de Construcción del P.H. La Yesca,

Se presenta el análisis del presupuesto, con relación a la misma clasificación definida para el Cajón, validando el Principio de Pareto:



Figura 5.66. P.H. La Yesca – Conceptos propuestos para corroborar el Principio de Pareto.

El análisis para determinar la validez del Principio de Pareto se muestra a continuación en las **Tabla 5.21**, **Figura 5.67** y **Figura 5.68**.

P.H. LA YESCA (Dolares)					
TIPO DE CONCEPTO (PARETO)	ORIGINAL			REAL (Avance a Nov-2010)	
	MONTO	%	% Acumulado	MONTO	%
CONCRETOS	141,199,746.00	18.40%	18.40%	159,529,447.56	19.62%
MECANICO	123,349,301.44	16.07%	34.47%	123,349,301.44	15.17%
ELECTRICO	116,747,925.38	15.21%	49.69%	116,747,925.38	14.35%
EXC.CIELO ABIERTO	75,624,889.92	9.85%	59.54%	87,434,604.65	10.75%
ENROCAMIENTO	64,505,521.86	8.41%	67.95%	63,503,951.36	7.81%
ESTRUC.METALICA	45,731,546.62	5.96%	73.91%	48,681,537.20	5.99%
EXC.SUBTERRANEA	39,196,242.02	5.11%	79.01%	46,041,651.50	5.66%
CALIDAD	31,598,227.04	4.12%	83.13%	31,598,227.04	3.89%
TRATAMIENTOS	21,934,998.02	2.86%	85.99%	19,871,729.01	2.44%
INTRUMENTACION	20,144,953.88	2.63%	88.61%	21,642,686.81	2.66%
INGENIERIA	18,831,832.31	2.45%	91.07%	30,175,782.65	3.71%
BLINDAJE TUBERIA	17,230,898.12	2.25%	93.31%	17,230,898.12	2.12%
INFRAEST.DEFINITIVA	15,472,810.88	2.02%	95.33%	18,927,045.58	2.33%
BARRENACION	14,212,350.90	1.85%	97.18%	5,313,095.56	0.65%
INYECCIONES	6,629,123.71	0.86%	98.05%	3,050,764.98	0.38%
INFRAEST.CONSTRUC.	6,569,859.07	0.86%	98.90%	4,061,514.53	0.50%
FILTROS	4,319,773.02	0.56%	99.46%	1,078,276.18	0.13%
MAT N	1,780,792.11	0.23%	99.70%	1,780,792.11	0.22%
PANTALLA PLAST.	1,187,239.20	0.15%	99.85%	1,187,239.20	0.15%
PRUEBAS PERM.	933,819.10	0.12%	99.97%	322,722.42	0.04%
JUNTAS CARA CONCRETO	204,567.00	0.03%	100.00%	0.00	0.00%
ACARREOS ADICION.				11,768,504.57	1.45%
TOTAL GENERAL	767,406,417.60	100%		813,297,697.84	100%

Tabla 5.21. P.H. La Yesca – Presupuesto Original y Real de acuerdo al Criterio de Pareto.

También se obtuvo una base de datos, con las mismas clasificaciones aplicadas al caso de El Cajón presentadas en el subcapítulo anterior, por Tipo de Precio, Por Frente y Estructuras, a continuación se presentan unas tablas con las clasificaciones indicadas:

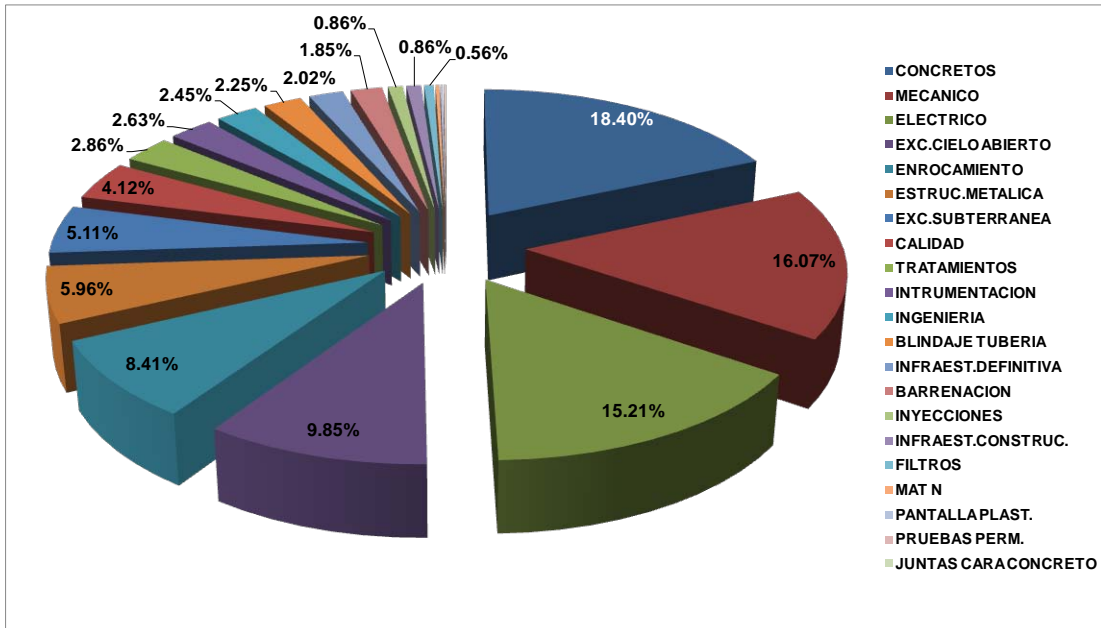


Figura 5.67. P.H. La Yesca – Porcentaje Original de la participación de los Conceptos.

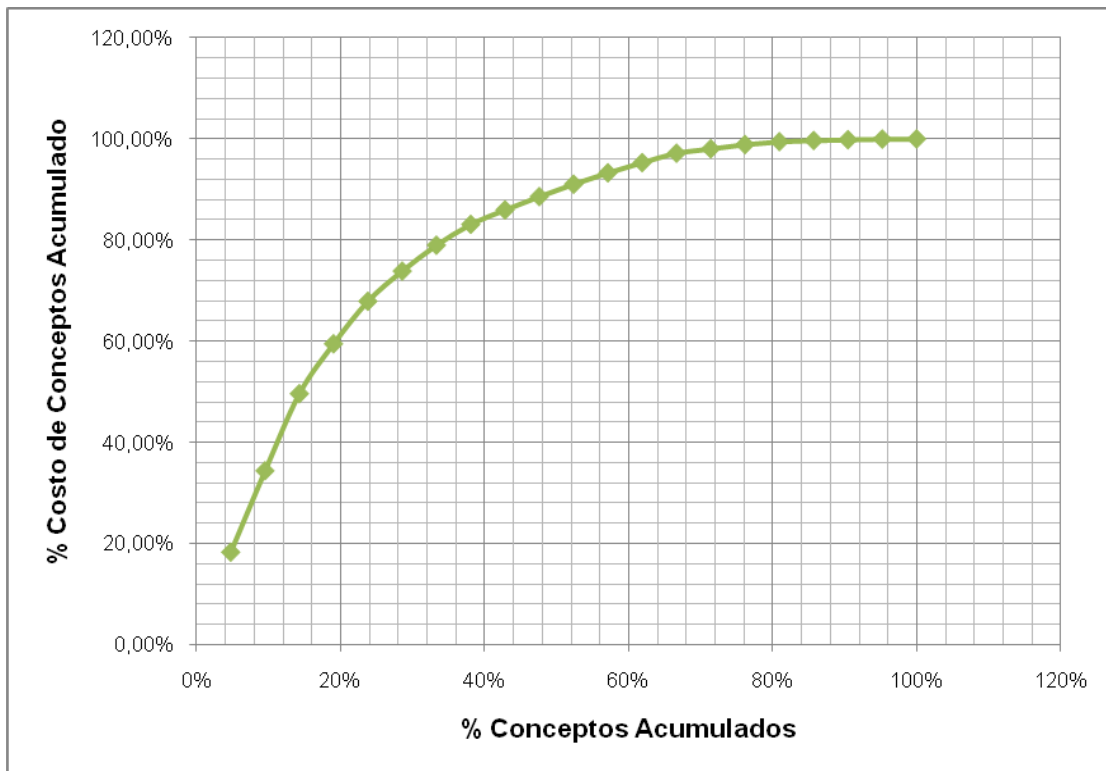


Figura 5.68. P.H. La Yesca – %Conceptos vs %Costos de Conceptos Acumulados.

P.H. LA YESCA (COSTOS EN USD)		
FRENTE - ESTRUCTURA	ORIGINAL	REAL (Nov-2010)
I. Y II. EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS	240,097,226.82	240,097,226.82
I. EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS	123,349,301.44	123,349,301.44
II. EQUIPOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS	116,747,925.38	116,747,925.38
III.2 OBRA DE DESVÍO	60,032,445.53	112,009,635.41
III.2.1 PRETAGUÍA, ATAGUÍA AGUAS ABAJO Y BORDO ARROYO CARRIZALILLO	9,347,591.92	12,481,118.61
III.2.2.1 PORTALES DE TÚNELES	4,868,484.43	38,960,626.19
III.2.3 TÚNELES Y LUMBRERAS	38,790,099.46	40,883,784.47
III.2.2.2 PLATAFORMAS PARA LUMBRERAS DE CIERRE PROVISIONAL	4,150,857.76	2,349,700.75
III.2.2.3 PLATAFORMAS PARA LUMBRERAS DE CIERRE FINAL	1,039,307.04	1,039,307.04
GALERÍA DE FRICCIÓN Y LUMBRERAS DE CORTANTE		8,759,140.75
LUMBRERA DE COMPRESIÓN 4 (ELEV. 500)		575,608.50
PANTALLA DE DRENAJE COLAPSO		442,313.59
TÚNEL CRUCERO Y TUNEL VENTANA		896,932.38
TÚNEL DE DESCARGA DE FONDO		2,431,433.11
TÚNEL FALSO		1,353,565.09
INGENIERÍA	1,836,104.93	1,836,104.93
III.3 OBRA DE CONTENCIÓN	142,584,694.38	131,982,443.74
III.3.1 CORTINA	114,136,402.01	111,704,407.80
III.3.2 GALERÍAS	11,608,665.52	11,836,804.70
III.3.5 TRATAMIENTOS DE FALLAS DESDE GALERÍAS	1,314,835.50	98,591.56
III.3.6.1 TRATAMIENTOS DE INYECCIÓN PARA PANTALLA DE IMPERMEABILIZACIÓN DE	7,258,423.30	2,133,473.60
III.3.6.2 TRATAMIENTOS DE INYECCIÓN DE CONSOLIDACIÓN Y DE CONEXIÓN	2,688,160.24	1,435,293.27
III.3.6.3 PANTALLA DE DRENAJE DESDE GALERÍAS	804,335.00	0.00
INGENIERÍA	4,773,872.82	4,773,872.82
III.4 OBRA DE GENERACIÓN	124,731,100.40	126,493,862.26
III.4.1 OBRA DE TOMA	16,974,121.85	20,232,186.78
III.4.2 CONDUCCIONES A PRESIÓN	23,029,122.24	21,510,303.77
III.4.3 CASA DE MÁQUINAS	16,972,732.29	16,660,799.07
III.4.4 LUMBRERAS: BUSES, VENTILACIÓN, CABLES Y ELEVADOR	7,257,470.85	7,268,664.54
III.4.5 TÚNELES DE ASPIRACIÓN	5,277,933.14	4,523,655.41
III.4.6 GALERÍA DE OSCILACIÓN	8,581,566.21	7,982,763.78
III.4.7 DESFOGUE	15,517,271.45	13,150,011.25
III.4.8 TÚNELES DE ACCESO A CASA DE MÁQUINAS Y GALERÍA DE OSCILACIÓN	7,994,507.59	7,248,749.81
III.4.9 SUBESTACIÓN ELEVADORA	17,067,228.51	21,857,581.58
INGENIERÍA	6,059,146.28	6,059,146.28
III.5 OBRAS DE EXCEDENCIAS	124,863,236.04	124,912,609.70
III.5.1 CANAL DE LLAMADA	11,659,234.85	17,412,492.94
III.5.2 ESTRUCTURA DE CONTROL	32,134,756.99	30,737,493.15
III.5.3 CANALES DE DESCARGA	76,478,981.87	60,828,410.95
INGENIERÍA	4,590,262.32	15,934,212.66
IV. OBRAS ASOCIADAS	74,653,409.64	77,097,032.72
IV.1 EDIFICIOS AUXILIARES	5,864,971.88	3,356,627.34
IV.2 SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO Y PROTECCIÓN AMBIENTAL	27,253,421.62	27,253,421.62
IV.5 MODELO ELECTRÓNICO TRIDIMENSIONAL	4,344,805.42	4,344,805.42
VIALIDADES DEFINITIVAS	704,887.19	704,887.19
IV.3 CARRETERAS	11,752,443.41	15,206,678.11
IV.4 PUENTES	3,720,367.47	3,720,367.47
IV.6 INSTRUMENTACIÓN	20,144,953.88	21,642,686.81
IV.7 DISEÑO COMPLEMENTARIO	1,572,445.96	1,572,445.96
TOTAL GENERAL	767,667,000.00	813,297,697.84

Tabla 5.22. P.H. La Yesca – Presupuesto Clasificado por Frente y Estructura.

P.H. LA YESCA (COSTOS EN USD)		
FRENTE - PARETO	ORIGINAL	REAL (Nov-2010)
I. Y II. EQUIPOS Y SISTEMAS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS	240,097,226.82	240,097,226.82
ELECTRICO	116,747,925.38	116,747,925.38
MECÁNICO	123,349,301.44	123,349,301.44
III.2 OBRA DE DESVÍO	60,032,445.53	112,009,635.41
ACARREOS ADICIONALES		2,321,109.30
BARRENACIÓN	520,175.72	1,370,493.03
CONCRETOS	21,070,783.26	57,225,950.20
ENROCAMIENTO	3,621,471.13	4,937,292.10
ESTRUCTURA METALICA	2,873,901.45	6,195,529.18
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	6,733,498.01	8,554,518.18
EXCAVACIÓN SUBTERRANEA	15,339,843.69	20,683,709.00
INYECCIONES	1,359,964.59	1,961,227.23
MATERIAL N	1,780,792.11	1,780,792.11
PANTALLA PLÁSTICA	1,187,239.20	1,187,239.20
PRUEBAS PERMEABILIDAD	39,462.90	12,027.16
TRATAMIENTOS	3,669,208.54	3,943,643.78
III.3 OBRA DE CONTENCIÓN	142,584,694.38	131,982,443.74
ACARREOS ADICIONALES		9,447,395.27
BARRENACIÓN	13,238,558.98	3,898,931.48
CONCRETOS	41,507,827.40	36,516,360.59
ENROCAMIENTO	60,884,050.73	58,516,329.16
ESTRUCTURA METALICA	389,133.09	230,781.27
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	5,240,896.78	8,836,270.20
EXCAVACIÓN SUBTERRANEA	6,015,009.49	6,012,496.62
FILTROS	4,319,773.02	1,078,276.18
INGENIERÍA	4,773,872.82	4,773,872.82
INYECCIONES	4,738,768.02	1,029,706.26
JUNTAS CARA CONCRETO	204,567.00	0.00
PRUEBAS PERMEABILIDAD	894,356.20	310,695.26
TRATAMIENTOS	377,880.86	1,331,328.65
III.4 OBRA DE GENERACIÓN	124,731,100.40	126,493,862.26
BARRENACIÓN	246,456.00	18,268.55
BLINDAJE TUBERIA	17,230,898.12	17,230,898.12
CONCRETOS	41,471,759.10	38,160,443.90
ESTRUCTURA METALICA	18,023,132.20	17,809,846.87
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	12,080,847.29	15,439,646.18
EXCAVACIÓN SUBTERRANEA	17,841,388.84	19,345,445.88
INYECCIONES	304,716.10	21,633.69
ENROCAMIENTO		50,330.10
INGENIERÍA	6,059,146.28	6,059,146.28
TRATAMIENTOS	11,472,756.49	12,358,202.71
III.5 OBRAS DE EXCEDENCIAS	124,863,236.04	124,912,609.70
BARRENACIÓN	207,160.20	25,402.50
CONCRETOS	37,149,376.26	27,626,692.88
ESTRUCTURA METALICA	24,445,379.88	24,445,379.88
EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO	51,569,647.85	54,604,170.10
INYECCIONES	225,675.00	38,197.80
TRATAMIENTOS	6,675,734.53	2,238,553.88
INGENIERÍA	4,590,262.32	15,934,212.66
IV. OBRAS ASOCIADAS	74,653,409.64	77,097,032.72
CALIDAD	31,598,227.04	31,598,227.04
INFRAESTRUCTURA CONSTRUCCIÓN	5,864,971.88	3,356,627.34
INFRAESTRUCTURA CONSTRUCCIÓN	704,887.19	704,887.19
INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA	15,472,810.88	18,927,045.58
INGENIERÍA	1,572,445.96	1,572,445.96
INTRUMENTACIÓN	20,144,953.88	21,642,686.81
TOTAL GENERAL	767,667,000.00	813,297,697.84

Tabla 5.23. P.H. La Yesca – Presupuesto Clasificado por Frente y Criterio de Pareto.

5.2.3. Programas

Como ya se comentó, para lograr una estandarización, se construyo un programa con la misma secuencia del presentado anteriormente de El Cajón, adaptando cuestiones particulares de La Yesca. De la **Figura 5.69** a la **Figura 5.72**.

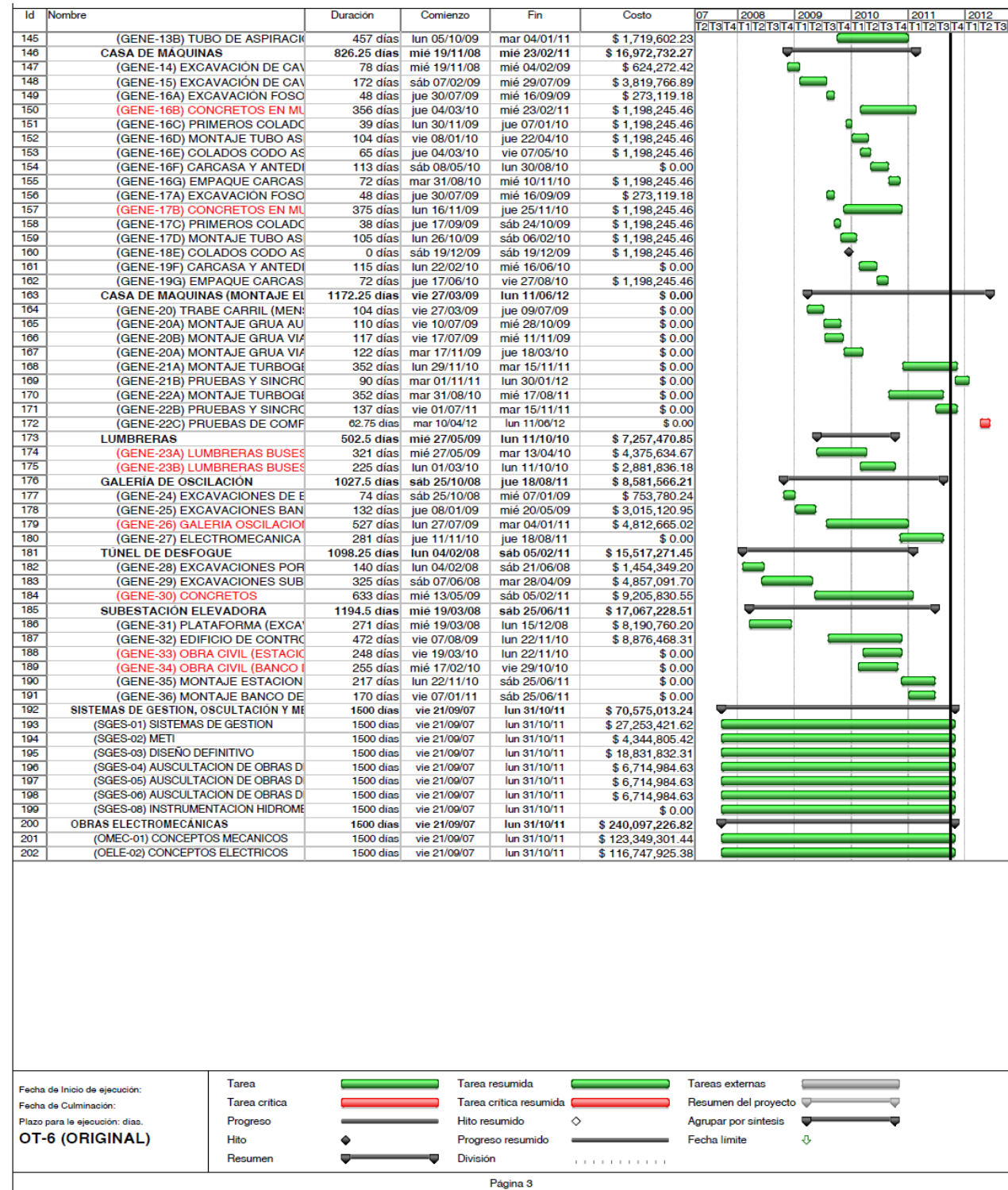
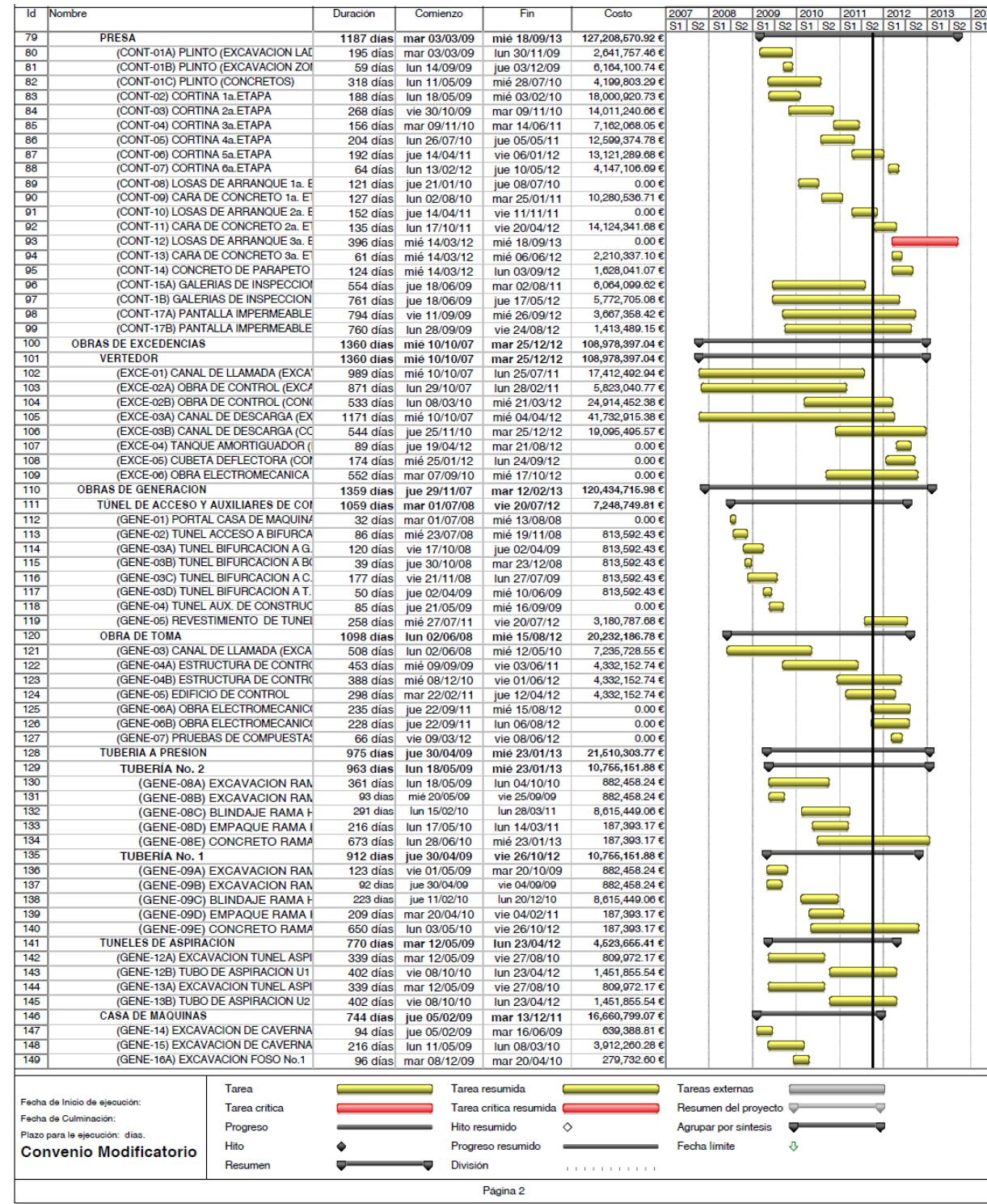
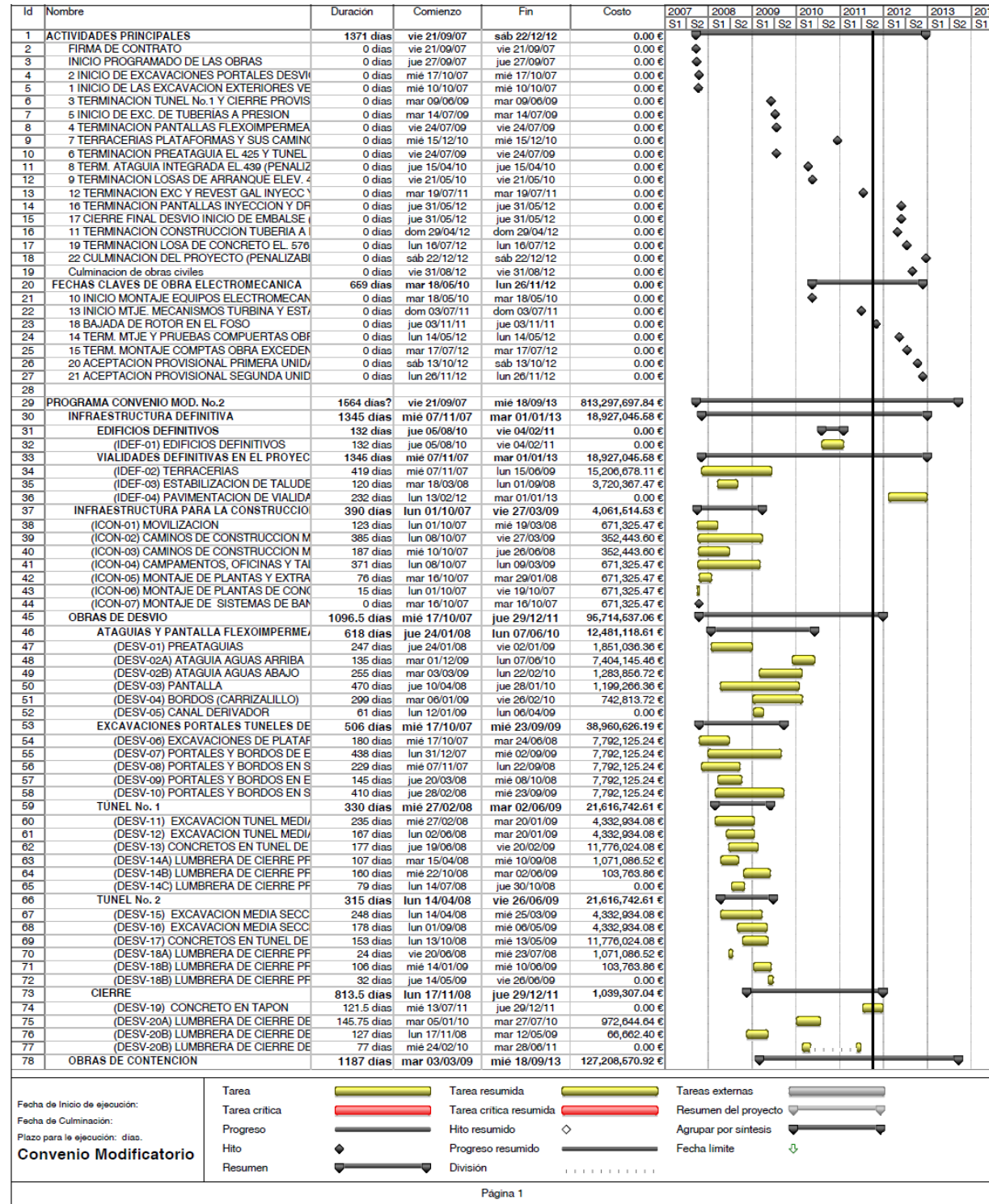


Figura 5.70. P.H. La Yesca – Programa de Construcción con fechas originalmente contempladas (2 de 2). Microsoft ® Office Project 2007.

ANÁLISIS DE RIESGO APLICADO A LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS



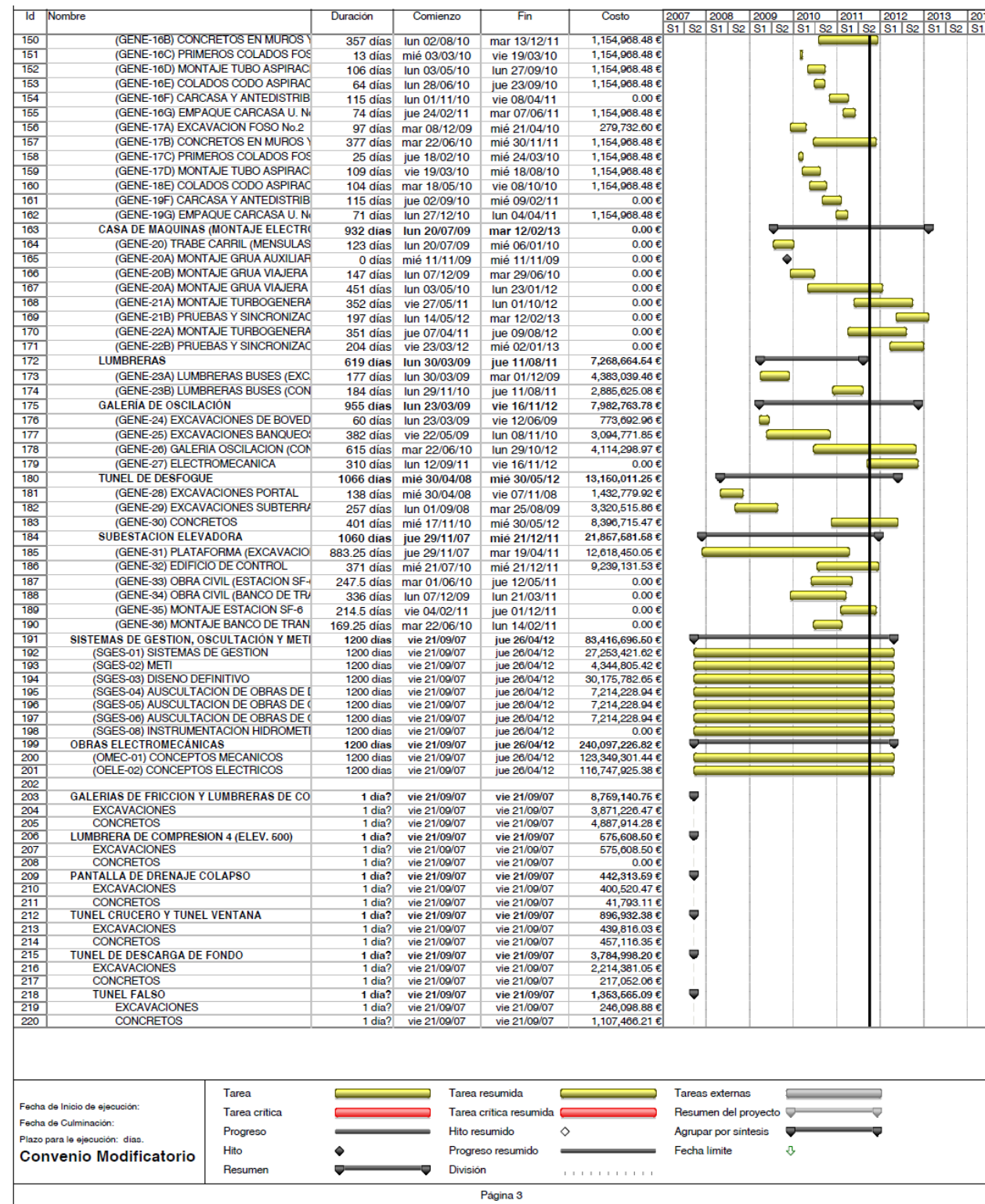


Figura 5.72. P.H. La Yesca – Programa de Construcción con fechas del Convenio No.2 (2 de 2). Microsoft® Office Project 2007.

También se realizó una comparativa entre el Programa Original y el reprogramado del Convenio Modificatorio No.2., con el cual se puede visualizar de mejor forma el comportamiento que tuvo el proyecto durante su ejecución en la etapa de construcción, esta comparativa se presenta a continuación en la **Figura 5.73** y **Figura 5.74**.

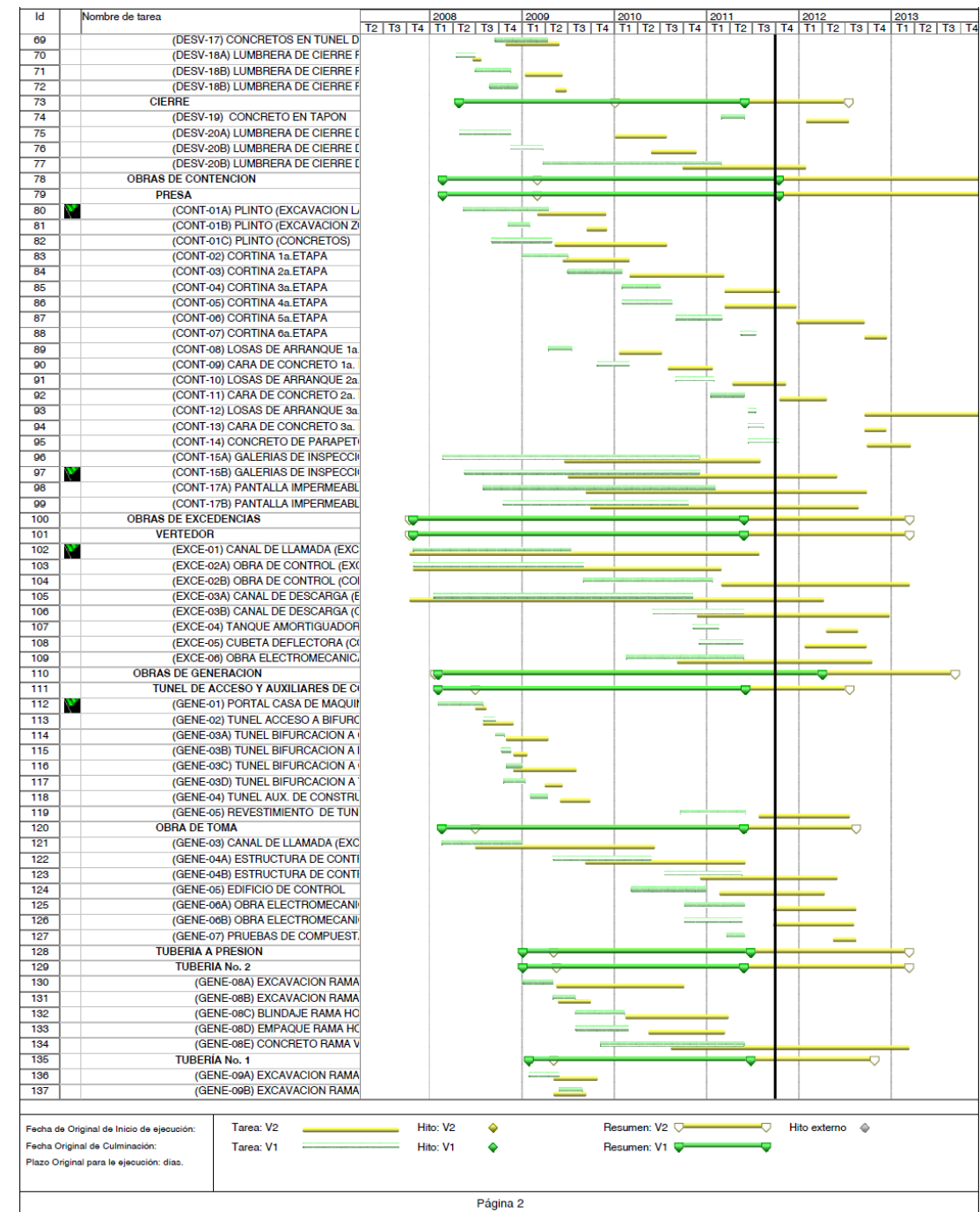
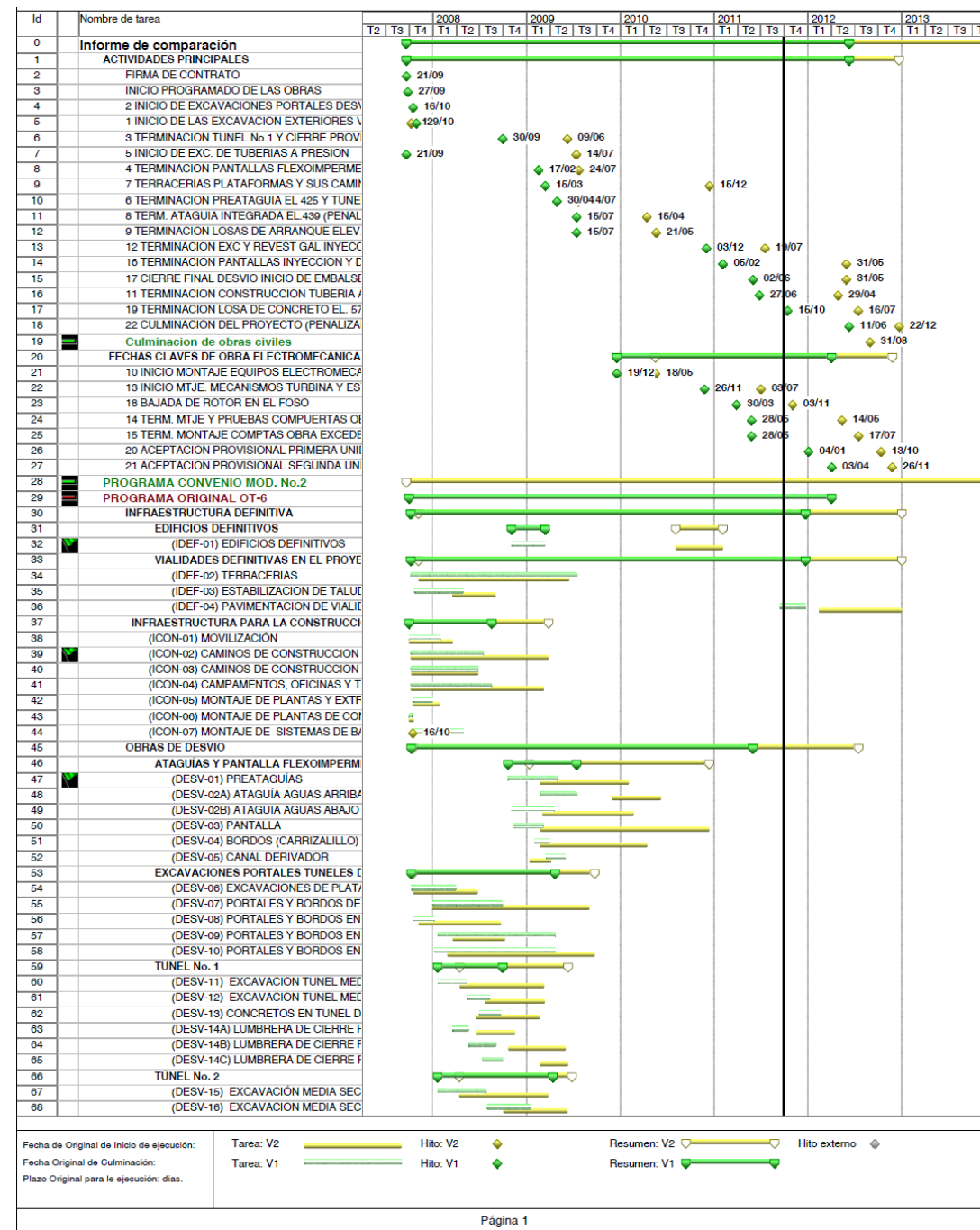


Figura 5.73. P.H. La Yesca – Comparativa de los Programa de Construcción Fechas Originales VS Fechas Convenio No.2 (1 de 2). Microsoft ® Office Project 2007.

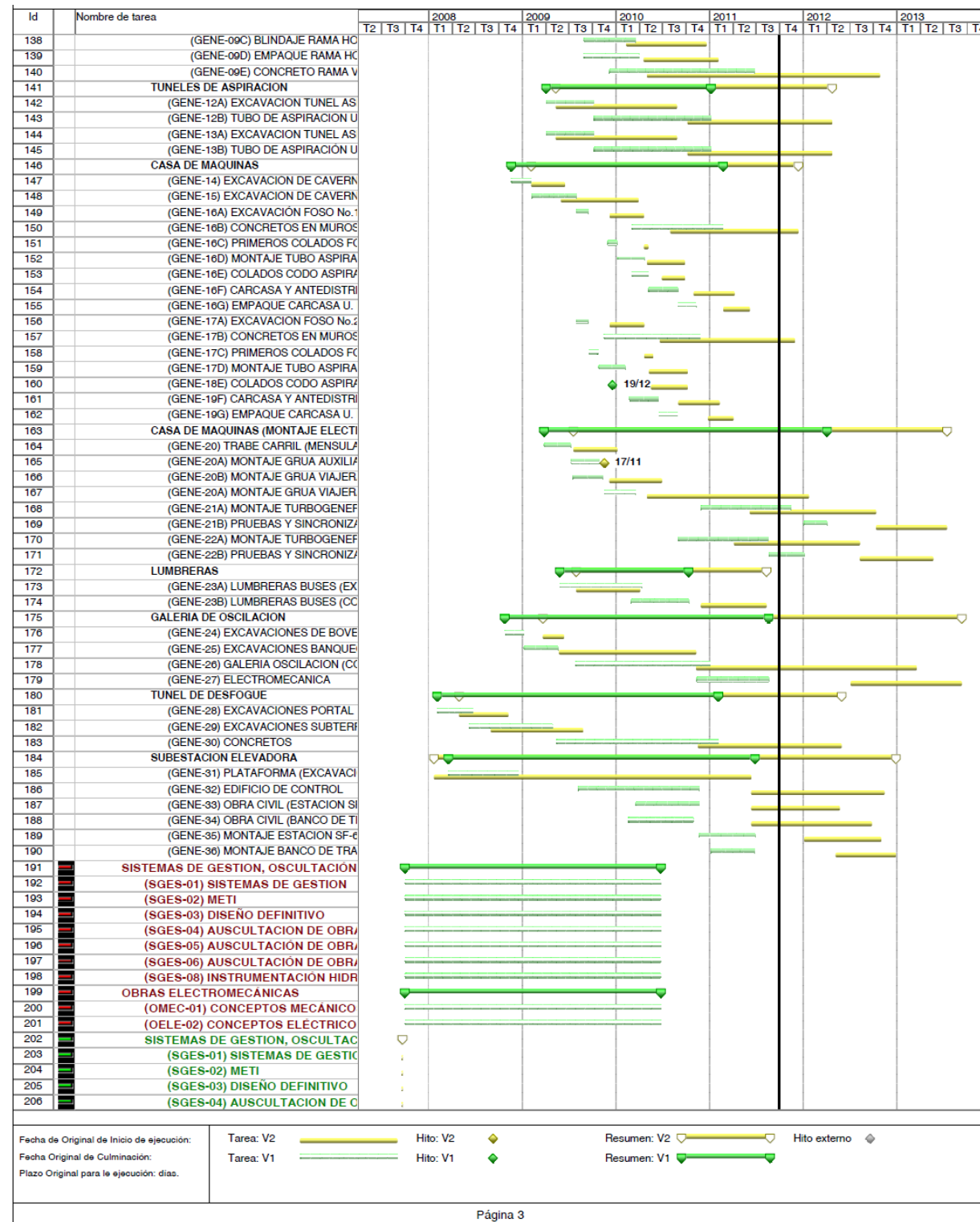


Figura 5.74. P.H. La Yesca – Comparativa de los Programa de Construcción Fechas Originales VS Fechas Convenio No.2 (2 de 2). Microsoft ® Office Project 2007.

5.2.3. Análisis de Varianza entre los Proyectos El Cajón – La Yesca

Para poder adoptar los parámetros y consideraciones que se tuvieron en el caso del Proyecto El Cajón y su adopción al caso de La Yesca, se debe validar la correspondencia entre estos Proyectos. Se procede de forma similar a la prueba ANOVA aplicada al caso de El Cajón, solo que para determinar la correspondencia entre El Cajón y La Yesca se consideran como variables las duraciones y costos originalmente contemplados de las actividades principales. Los cuales se pueden visualizar a continuación en la **Tabla 5.24**.

ACTIVIDAD	OT-6 (ORIGINAL)				OT-6 (ORIGINAL)			
	Duración (días)	Comienzo	Fin	Costo (USD)	Duración (días)	Comienzo	Fin	Costo (USD)
PROGRAMA	1449.5	26-Mar-03	14-Mar-07	749,549,487.91	1716.25	01-Oct-07	11-Jun-12	767,667,000.04
INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA	1223.25	07-Nov-03	14-Mar-07	47,549,705.45	1538.75	08-Oct-07	23-Dic-11	15,472,810.88
EDIFICIOS DEFINITIVOS	153	29-Dic-04	31-May-05	21,172,973.57	133	03-Nov-08	14-Mar-09	0.00
VIALIDADES DEFINITIVAS EN EL PROYECTO	1223.25	07-Nov-03	14-Mar-07	26,376,731.88	1538.75	08-Oct-07	23-Dic-11	15,472,810.88
INFRAESTRUCTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN	181.25	27-Mar-03	24-Sep-03	26,302,930.08	323	01-Oct-07	18-Ago-08	6,569,859.08
OBRAS DE DESVIO	1081.75	14-Abr-03	29-Mar-06	69,244,143.93	1329.75	10-Oct-07	31-May-11	58,196,340.62
ATAGUIAS Y PANTALLA FLEXOIMPERMEABLE	212.25	09-Dic-03	08-Jul-04	14,466,450.20	267.25	21-Oct-08	14-Jul-09	9,347,591.91
EXCAVACIONES PORTALES TUNELES DE DESVIO 1 Y 2	29.25	07-Ago-03	04-Sep-03	1,847,990.00	561.5	10-Oct-07	23-Abr-09	4,868,484.45
TÚNEL No. 1	240	14-Abr-03	09-Dic-03	24,999,470.67	254	21-Ene-08	30-Sep-08	21,470,478.61
TÚNEL No. 2	239.25	14-Abr-03	08-Dic-03	24,999,470.67	448.5	21-Ene-08	13-Abr-09	21,470,478.61
CIERRE	908.75	03-Oct-03	29-Mar-06	2,930,762.39	1129.25	28-Abr-08	31-May-11	1,039,307.04
OBRAS DE CONTENCIÓN	1218.25	07-May-03	06-Sep-06	185,056,413.94	1331.5	22-Feb-08	15-Oct-11	137,810,821.57
PLINTO	329	07-May-03	31-Mar-04	20,307,883.19	350.25	15-May-08	30-Abr-09	10,761,954.07
ENROCAMIENTO CORTINA	802.5	17-Mar-04	27-May-06	129,861,589.59	925	02-Ene-09	15-Jul-11	65,203,823.74
CARA DE CONCRETO Y PARAPETO	948.5	31-Ene-04	06-Sep-06	18,442,602.86	914	15-Abr-09	15-Oct-11	37,350,011.82
GALERIAS DE INYECCION	492.75	18-Jun-03	22-Oct-04	8,194,032.42	1016	22-Feb-08	03-Dic-10	11,608,665.52
PANTALLA IMPERMEABLE	414	01-Nov-03	20-Dic-04	8,250,305.88	919	01-Ago-08	05-Feb-11	12,886,366.42
OBRAS DE EXCEDENCIAS/Fin	1052.75	01-Nov-03	19-Sep-06	108,330,968.81	1309.25	29-Oct-07	30-May-11	120,272,973.71
CANAL DE LLAMADA DEL VERTEDOR	385	01-Nov-03	19-Nov-04	31,316,867.21	623	29-Oct-07	11-Jul-09	11,659,234.85
OBRA DE CONTROL DEL VERTEDOR	598.25	23-Feb-04	12-Oct-05	24,263,676.61	1183.25	29-Oct-07	24-Ene-11	32,134,756.99
CANAL DE DESCARGA DEL VERTEDOR	707.75	12-Oct-04	19-Sep-06	52,750,424.99	1228.5	17-Ene-08	30-May-11	76,478,981.87
OBRAS DE GENERACIÓN	1114.75	02-Oct-03	20-Oct-06	113,864,752.94	1590.25	04-Feb-08	11-Jun-12	118,671,954.12
TÚNEL DE ACCESO Y AUXILIARES DE CONSTRUCCIÓN	824.25	02-Oct-03	03-Ene-06	6,688,734.32	1218	04-Feb-08	04-Jun-11	7,994,507.60
OBRA DE TOMA	336.75	07-May-04	08-Abr-05	14,200,293.57	1196	19-Feb-08	30-May-11	16,974,121.85
TUBERÍA A PRESION	642.25	01-Abr-04	03-Ene-06	38,173,216.63	903	05-Ene-09	25-Jun-11	23,029,122.24
TUBERÍA No. 2	601.5	12-May-04	03-Ene-06	19,086,608.32	875.25	05-Ene-09	30-May-11	11,514,561.12
TUBERÍA No. 1	639.25	01-Abr-04	30-Dic-05	19,086,608.32	878.25	29-Ene-09	25-Jun-11	11,514,561.12
TÚNELES DE ASPIRACIÓN	204.5	01-Jul-04	21-Ene-05	5,145,755.04	643	04-Abr-09	07-Ene-11	5,277,933.14
CASA DE MÁQUINAS	625	23-Ene-04	08-Oct-05	22,592,332.84	826.25	19-Nov-08	23-Feb-11	16,972,732.27
(GENE-21A) MONTAJE TURBOGENERADOR U1	331	14-Mar-05	07-Feb-06		352	29-Nov-10	15-Nov-11	
(GENE-21B) PRUEBAS Y SINCRONIZACION U1	94	08-Feb-06	12-May-06		90	04-Ene-12	03-Abr-12	
(GENE-22A) MONTAJE TURBOGENERADOR U2	389	07-May-05	31-May-06		352	31-Ago-10	17-Ago-11	
(GENE-22B) PRUEBAS Y SINCRONIZACION U2	102	01-Jun-06	11-Sep-06		137	20-Ago-11	04-Ene-12	
(GENE-22C) PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO /Fin	37	11-Sep-06	18-Oct-06		62.75	10-Abr-12	11-Jun-12	
LUMBRERAS	396.25	16-Ago-04	15-Sep-05	2,153,231.89	502.5	27-May-09	11-Oct-10	7,257,470.85
GALERÍA DE OSCILACIÓN	558.75	24-Ene-04	04-Ago-05	6,951,991.56	1029.05	25-Oct-08	20-Ago-11	8,581,566.21
TÚNEL DE DESFOGUE	754	14-Oct-03	04-Nov-05	12,608,801.42	1098.25	04-Feb-08	05-Feb-11	15,517,271.45
SUBESTACIÓN ELEVADORA	950.5	15-Mar-04	20-Oct-06	5,350,395.66	1195.5	19-Mar-08	27-Jun-11	17,067,228.51

Tabla 5.24. P.H. El Cajón y P.H. La Yesca – Comienzos, Fines y Costos de las principales actividades de la Programación OT-6 (Original).

Para el cálculo de los análisis se utilizó también como apoyo el programa estadístico **NCSS Versión 07.1.21 ©**, a continuación se presentan la pantalla con los valores de los

costo y duraciones de las actividades principales de los Proyectos Hidroeléctricos El Cajón y La Yesca. **Figura 5.75.**

	C_JN_Dur_OT6	C_JN_Cost_OT6	YSC_Dur_OT6	YSC_Cost_OT6
1	1449.5	749549487.9	1716.25	767667000
2	1223.25	47549705.45	1538.75	15472810.88
3	153	21172973.57	133	0
4	1223.25	26376731.88	1538.75	15472810.88
5	181.25	26302930.08	323	6569859.08
6	1081.75	69244143.93	1329.75	58196340.62
7	212.25	14466450.2	267.25	9347591.91
8	29.25	1847990	561.5	4868484.45
9	240	24999470.67	254	21470478.61
10	239.25	24999470.67	448.5	21470478.61
11	908.75	2930762.39	1129.25	1039307.04
12	1218.25	185056413.9	1331.5	137810821.6
13	329	20307883.19	350.25	10761954.07
14	802.5	129861589.6	925	65203823.74
15	948.5	18442602.86	914	37350011.82
16	492.75	8194032.42	1016	11608665.52
17	414	8250305.88	919	12886366.42

Figura 5.75. P.H. El Cajón – P.H. La Yesca, Valores de entrada para la prueba ANOVA, duraciones y costos de las actividades principales originales, NCSS Versión 07.1.21 ©.

El análisis ANOVA se utilizó para determinar si existe significancia en la diferencia entre las Duraciones y Costos, entre los proyecto El Cajón y La Yesca. Se presenta la vista del resultado de este análisis, con un nivel de significancia de 0.05, en la **Figura 5.76.**

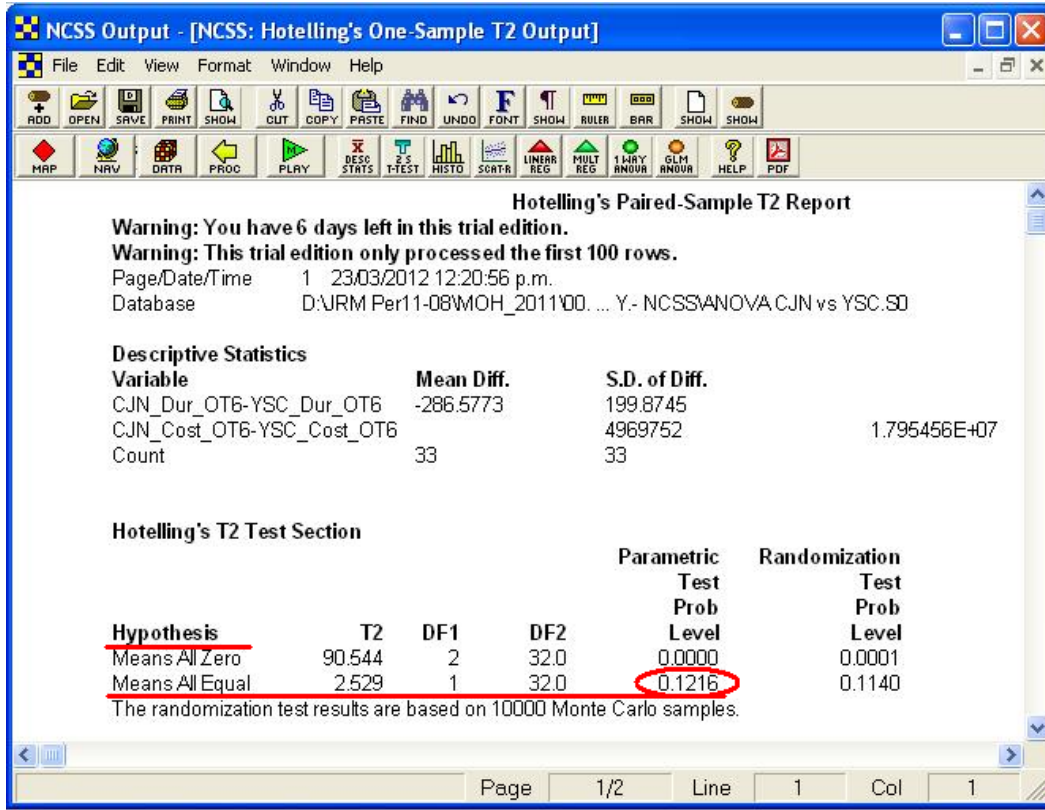


Figura 5.76. P.H. El Cajón – P.H. La Yesca. Resultado del ANOVA, aplicado a las duraciones y costos de las actividades principales. NCSS Versión 07.1.21 ©.

Como resultado del análisis se obtuvo una probabilidad de 0.1216 que al ser superior al nivel de significancia de 0.05, al obtenerse $p=0.1216 > 0.05$ se puede concluir a partir de la probabilidad calculada que no existe evidencia de que sea significativa la diferencia entre la variable duraciones y costos de los Proyectos El Cajón y La Yesca.

5.2.4. Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Financiera.

En el capítulo tercero en la parte correspondiente al Proyecto de La Yesca se expuso a detalle la Evaluación Económica del conjunto Central – Red de Transmisión, sus montos contemplados de inversión y las consideraciones que en su momento se tomaron en cuenta, donde los principales parámetros de interés son la Relación Beneficio/Costo (B/C) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). La Evaluación Contemplaba una Tasa de descuento real del **12%** anual y un horizonte de planeación de 50 años entre los parámetros de mayor relevancia.

En el Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Económica, que debió cumplir con los lineamientos dictados por la Secretaria de hacienda y Crédito Público (SHCP), los cuales son:

- i) que la relación Beneficio/Costo (B/C) en la evaluación financiera sea mayor o igual a 1.0 y;
- ii) que el resultado neto de operación sea mayor que los pagos financieros de las Obra Publica Financiada (OPF's) que incluye la Central Hidroeléctrica El Cajón y su Red de Transmisión.

Estos lineamientos se siguieron acatando para el Análisis de Sensibilidad que se presenta a continuación, cabe mencionar que el segundo lineamiento vario con respecto al Proyecto previo de EL Cajón, en La Yesca no se permitieron tres años de déficit por lo que resulta más estricto para este último proyecto.

Para el Análisis de Sensibilidad se consideraron los mismos parámetros considerados para el caso de El Cajón:

- **SENSIBILIDAD AL INCREMENTO DE LA INVERSIÓN**
- **SENSIBILIDAD AL INCREMENTO EN EL PERIODO CONSTRUCTIVO DE LA CENTRAL**
- **SENSIBILIDAD A LA TASA DE DESCUENTO REAL ANUAL**
- **SENSIBILIDAD A LA DISMINUCION DE LAS TARIFAS**

Ahora bien los parámetros económicos:

En primer término se expone en la **Tabla 5.25** la evaluación económica del Proyecto, para mayores detalles se puede consultar el documento de “Reevaluación del Proyecto CH La Yesca y LT Red de Transmisión Asociada” elaborado por la CFE en noviembre del 2006.

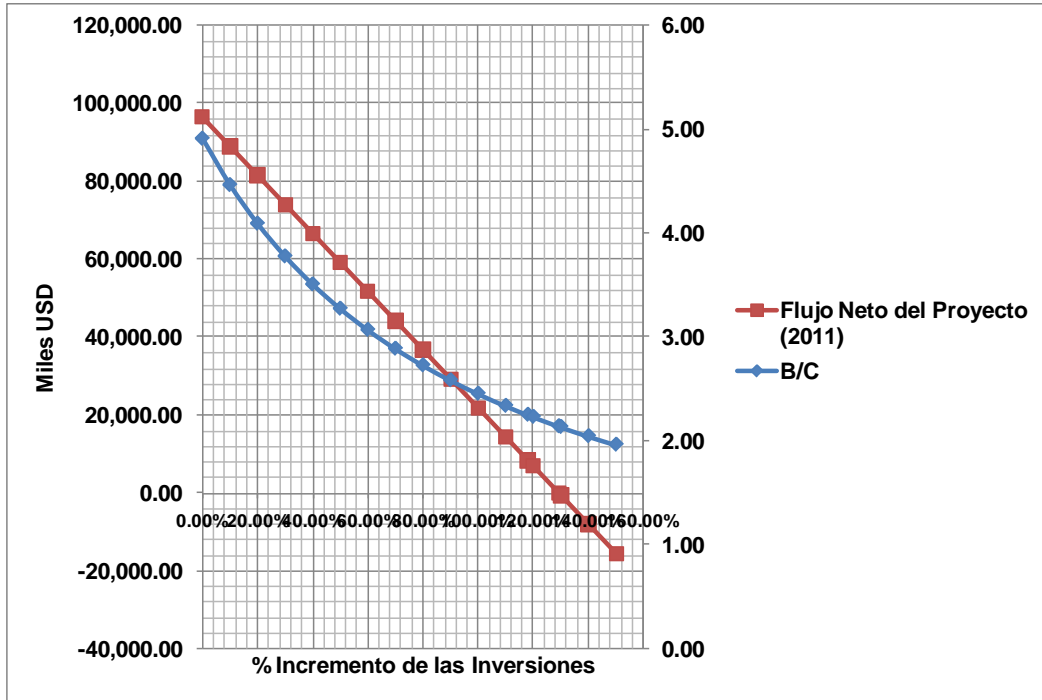


Figura 5.77. P.H. La Yesca - Sensibilidad de la Evaluación Económica a la Variación del Presupuesto.

5.2.4.2. Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas.

Se obtuvo que el proyecto, sin dejar de ser rentable, en un 52% de la tarifa con una relación B/C de 2.286.

SENSIBILIDAD A LA DISMINUCION DE LAS TARIFAS
CH La Yesca - Red de Transmisión Asociada a la CH La Yesca

% INCREMENTO	B/C	TIR	Central OPF1 (USD)	Central OPF2 (USD)	Red de transmisión OPF3 (USD)	Total de pagos financieros (VP DE 2006)	Inversion Presupuestal en Obras en la Central (VP de 2006)	Inversion Presupuestal en Obras Red (VP de 2006)	Flujo Neto del Proyecto (2011)
100.00%	4.91	54.66%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	96,530.44
90%	4.42	50.78%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	79,407.62
80%	3.93	46.41%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	62,284.79
70%	3.44	41.41%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	45,161.97
60%	2.95	35.59%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	28,039.14
52%	2.56	30.27%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	14,340.88
50%	2.46	28.84%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	10,916.32
43.62%	2.14	24.13%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	0.00
40%	1.97	21.40%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	-6,206.51
30%	1.47	14.33%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	-23,329.34
20.35%	1.00	8.70%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	-39,858.44
20%	0.98	8.52%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	536,750.10	66,682.62	548.78	-40,452.16

Tabla 5.27.P.H. La Yesca – Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas.

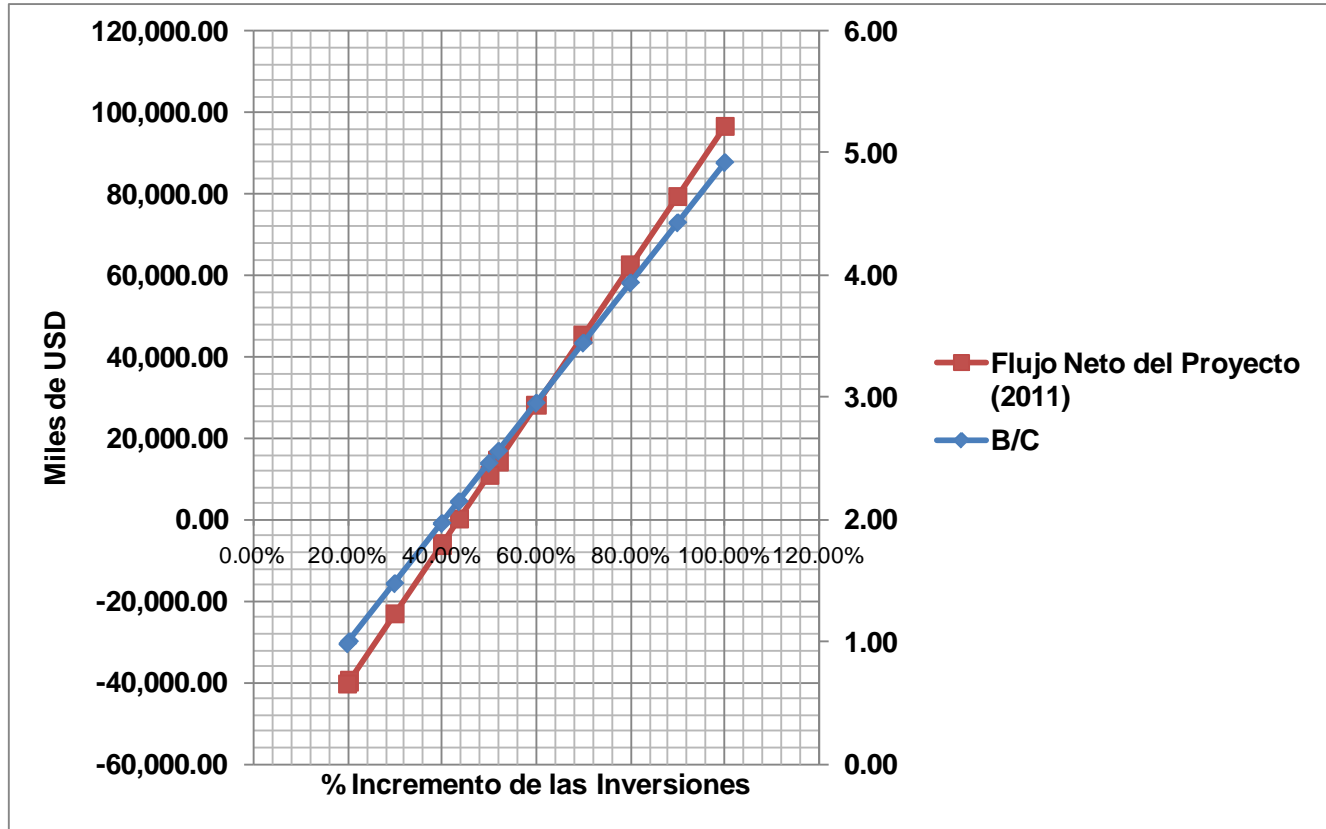


Figura 5.78. P.H. La Yesca – Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas.

5.2.4.3. Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo

Al respecto, se realizó para diferentes incrementos, los resultados para los retrasos desde 2 hasta 12 meses pueden ver en la **Tabla 5.28**.

SENSIBILIDAD AL INCREMENTO EN AL PERIODO DEL PROYECTO
CH La Yesca - Red de Transmisión Asociada a la CH La Yesca

MESES DE RETRASO	B/C	TIR	Central OPF1 (USD)	Central OPF2 (USD)	Red de transmisión OPF3 (USD)	Total de pagos financieros (VP DE 2006)	Inversion Presupuestal en Obras en la Central (VP de 2006)	Inversion Presupuestal en Obras Red (VP de 2006)	Flujo Neto del Proyecto (2011)
2	4.81	53.83%	511,500.00	341,388.40	73,363.42	549,452.55	68,221.57	561.52	94,812.39
4	4.70	52.99%	523,264.50	349,240.33	75,050.78	562,089.95	69,790.67	574.43	93,054.83
6	4.59	52.15%	535,299.58	357,272.86	76,776.95	575,018.02	71,395.85	587.65	91,256.84
8	4.49	51.32%	547,611.47	365,490.14	78,542.82	588,243.44	73,037.96	601.16	89,417.50
10	4.39	50.48%	560,206.54	373,896.41	80,349.30	601,773.04	74,717.83	614.99	87,535.85
12	4.29	49.63%	573,091.29	382,496.03	82,197.34	615,613.82	76,436.34	629.13	85,610.93

Tabla 5.28. P.H. La Yesca – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo.

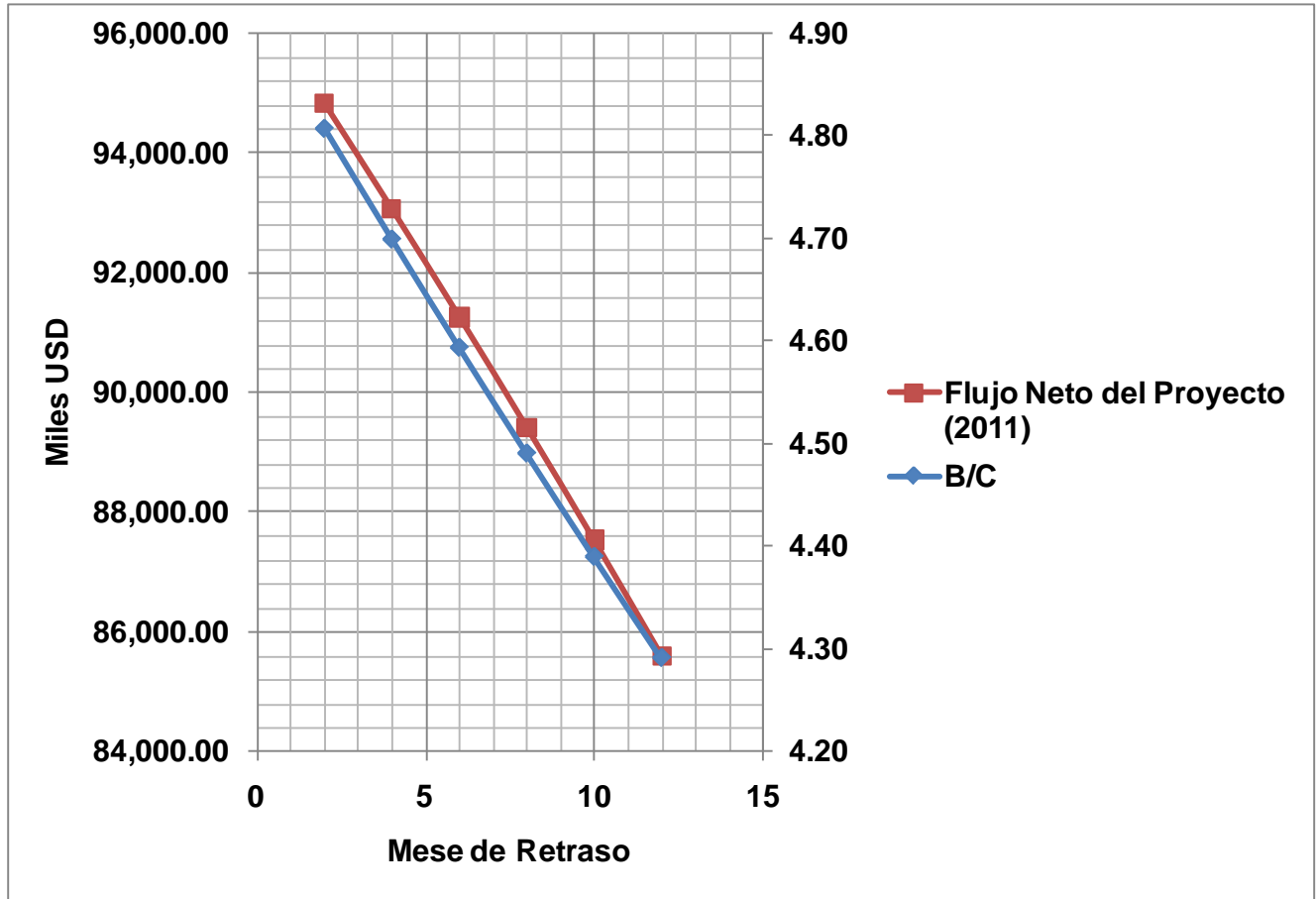


Figura 5.79. P.H. La Yesca – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo.

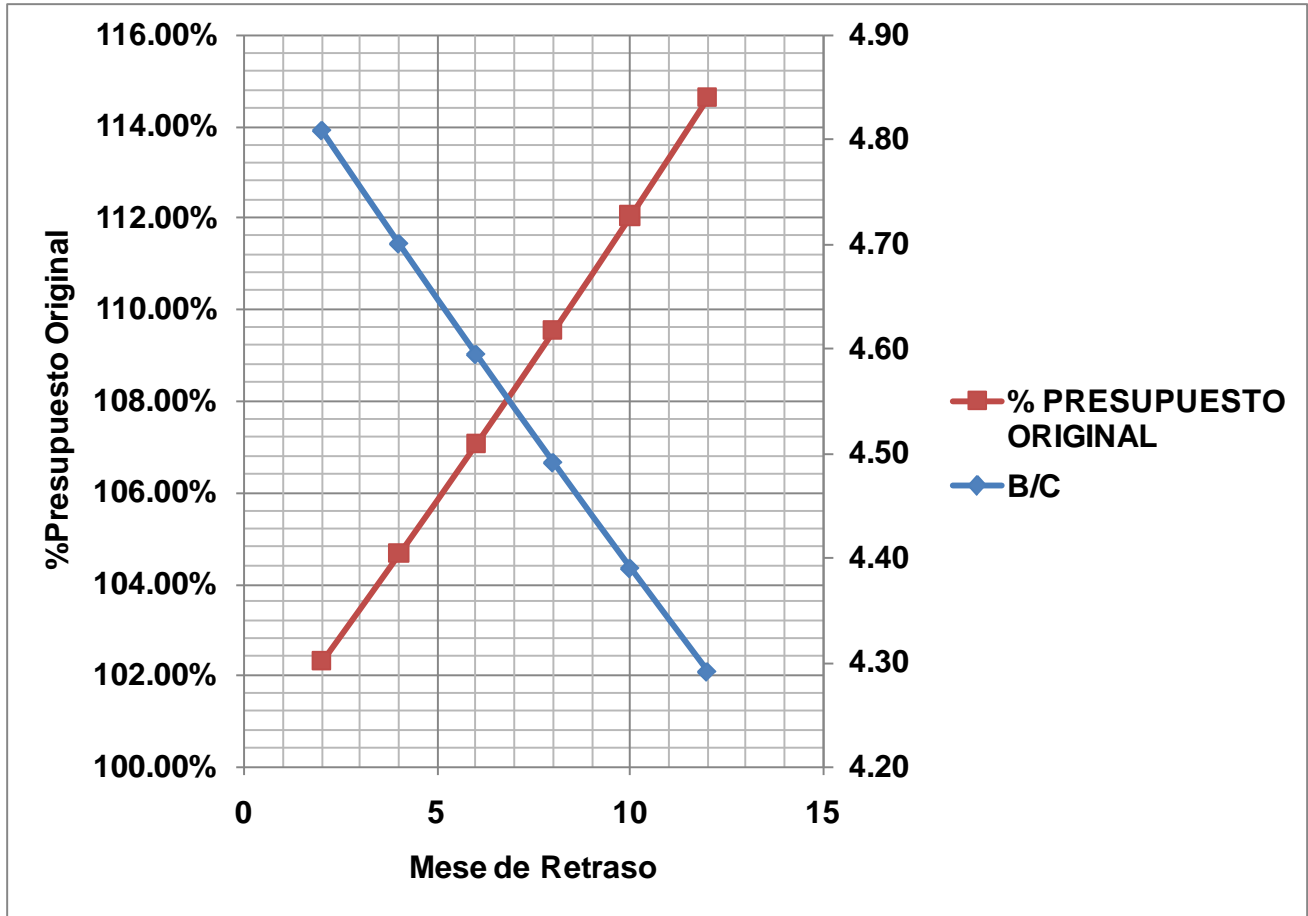


Figura 5.80. P.H. La Yesca – Sensibilidad al Incremento en el Periodo Constructivo.

5.2.4.4. Sensibilidad a la Tasa de Descuento.

Finalmente en la **Tabla 5.29** se presentan los resultados ante la variación de la Tasa de Descuento Real Anual.

**SENSIBILIDAD AL INCREMENTO EN PERIODO CONSTRUCTIVO DE LA CENTRAL
CH La Yesca - Red de Transmisión Asociada a la CH La Yesca**

TASA DE DESCUENTO	B/C	TIR	Central OPF1 (USD)	Central OPF2 (USD)	Red de transmisión OPF3 (USD)	Total de pagos financieros (VP DE 2006)	Inversion Presupuestal en Obras en la Central (VP de 2006)	Inversion Presupuestal en Obras Red (VP de 2006)	Flujo Neto del Proyecto (2011)
5.00%	5.23	54.66%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	573,829.77	67,210.85	560.57	96,530.44
6%	4.76	54.66%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	517,796.60	66,398.79	542.46	96,530.44
7%	4.37	54.66%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	468,758.01	65,615.43	525.06	96,530.44
8%	4.05	54.66%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	425,633.93	64,859.45	508.34	96,530.44
9%	3.78	54.66%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	387,541.59	64,129.60	492.26	96,530.44
10%	3.55	54.66%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	353,754.72	63,424.70	476.81	96,530.44
11%	3.36	54.66%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	323,671.94	62,743.62	461.94	96,530.44
12%	318.57%	54.66%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	296,792.17	62,085.31	447.63	96,530.44
13%	3.04	54.66%	500,000.00	333,713.00	71,714.00	272,695.42	61,448.77	433.86	96,530.44

Tabla 5.29. P.H. La Yesca – Sensibilidad a la Tasa de Descuento Real Anual.

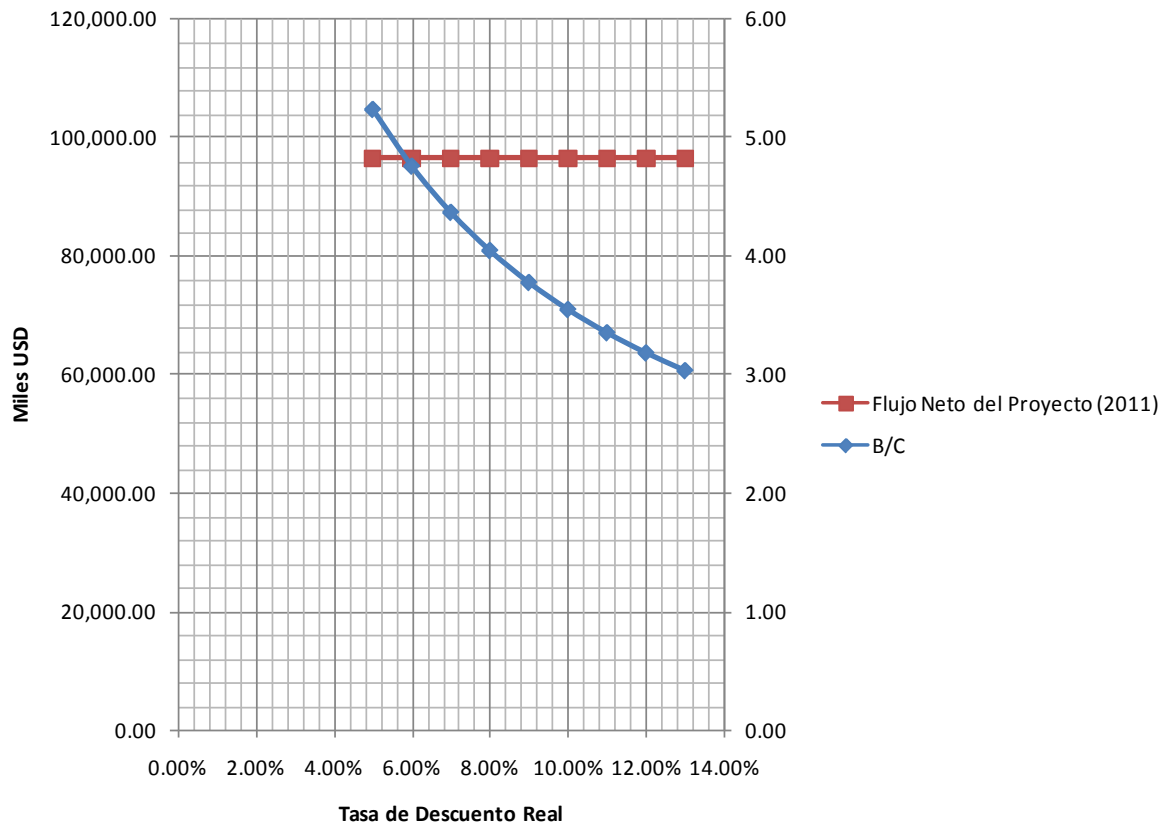


Figura 5.81. P.H. La Yesca – Sensibilidad a la Tasa de Descuento Real Anual.

5.2.4.5. Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros

A continuación se presentan para este método de análisis, como apoyo grafico, la sensibilidad de los parámetros sintetizando las graficas previas de incremento en las inversiones, al incremento en el periodo de construcción, a la tasa de descuento y a la disminución de las tarifas; a continuación se presenta la grafica que sintetiza toda esta información, **Figura 5.82**.

Flujo Neto (2013*)	BENEFICIO/ COSTO	TIR	% INVERSION	% TARIFA	MESES DE RETRASO	TASA DE DESCUENTO
47,002.65	1.60	22.05%	100.00%	100.00%	0.0	13.10%
40,000.00	1.53	20.93%	105.11%	96.44%	4.2	13.83%
30,000.00	1.43	19.48%	112.41%	91.35%	10.0	15.02%
20,000.00	1.35	18.18%	119.70%	86.27%	15.4	16.11%
10,000.00	1.27	17.01%	127.00%	81.19%	20.5	17.32%
0.00	1.21	15.96%	134.30%	76.10%	25.3	18.33%
-10,000.00	1.15	15.02%	141.60%	71.02%	29.9	19.44%
-20,000.00	1.09	14.16%	148.89%	65.93%	34.3	20.65%
-30,000.00	1.04	13.39%	156.19%	60.85%	38.4	21.74%
-40,000.00	1.00	12.69%	163.49%	55.76%	42.4	22.66%
-50,000.00	0.96	12.04%	170.79%	50.68%	46.3	23.65%

Tabla 5.30. P.H. La Yesca – Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros; incremento en las inversiones, incremento en el periodo de construcción, tasa de descuento y disminución de las tarifas.

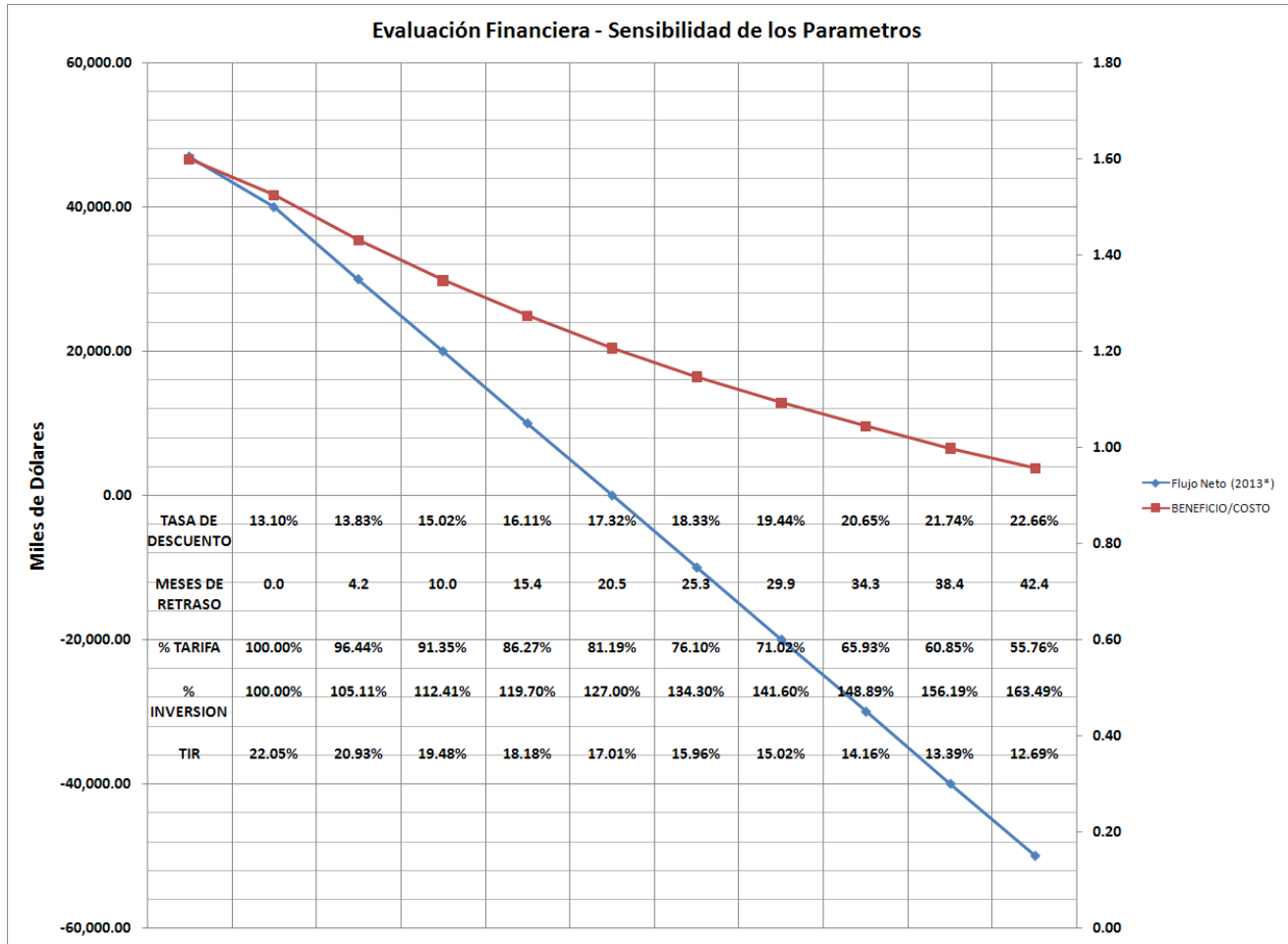


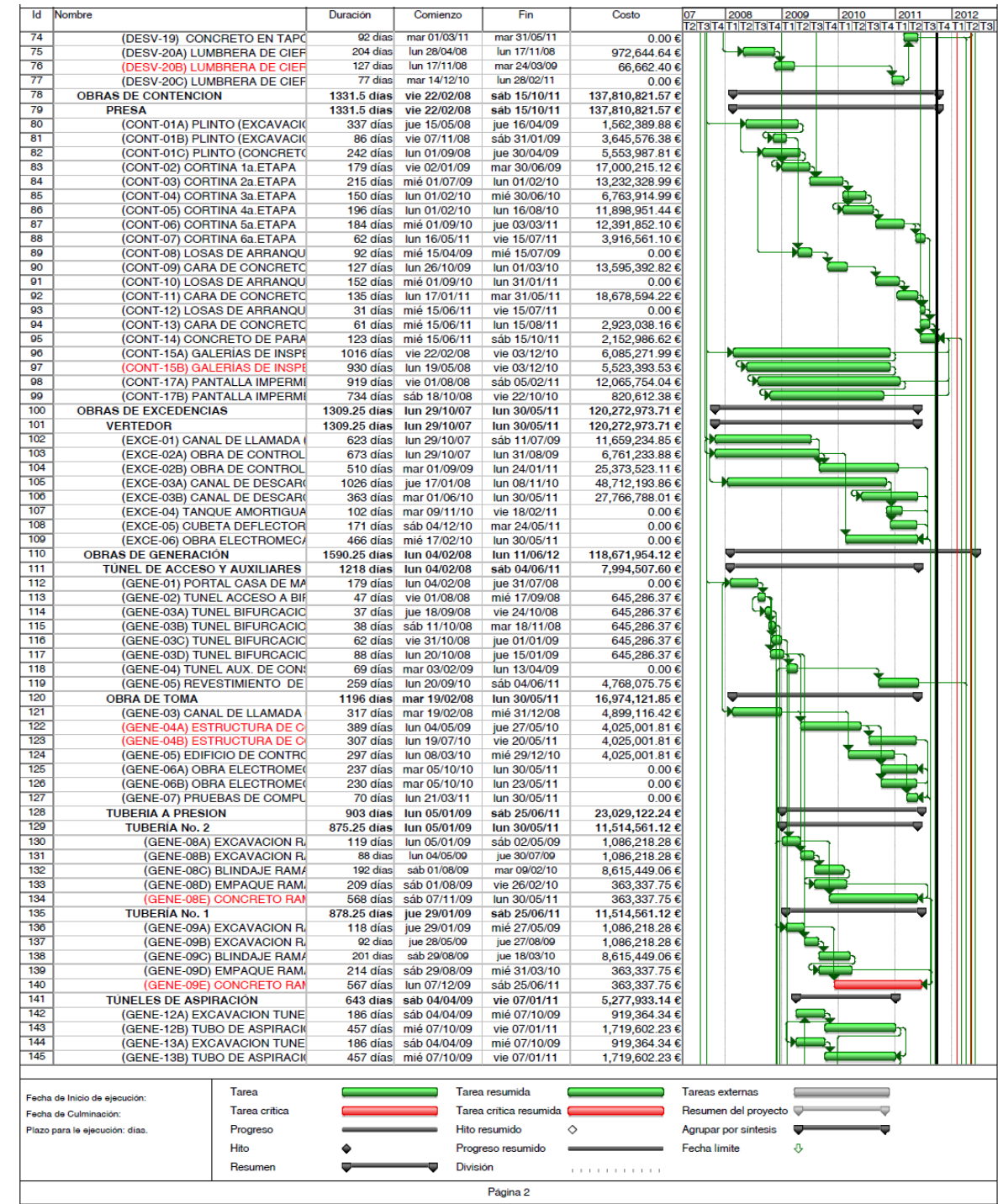
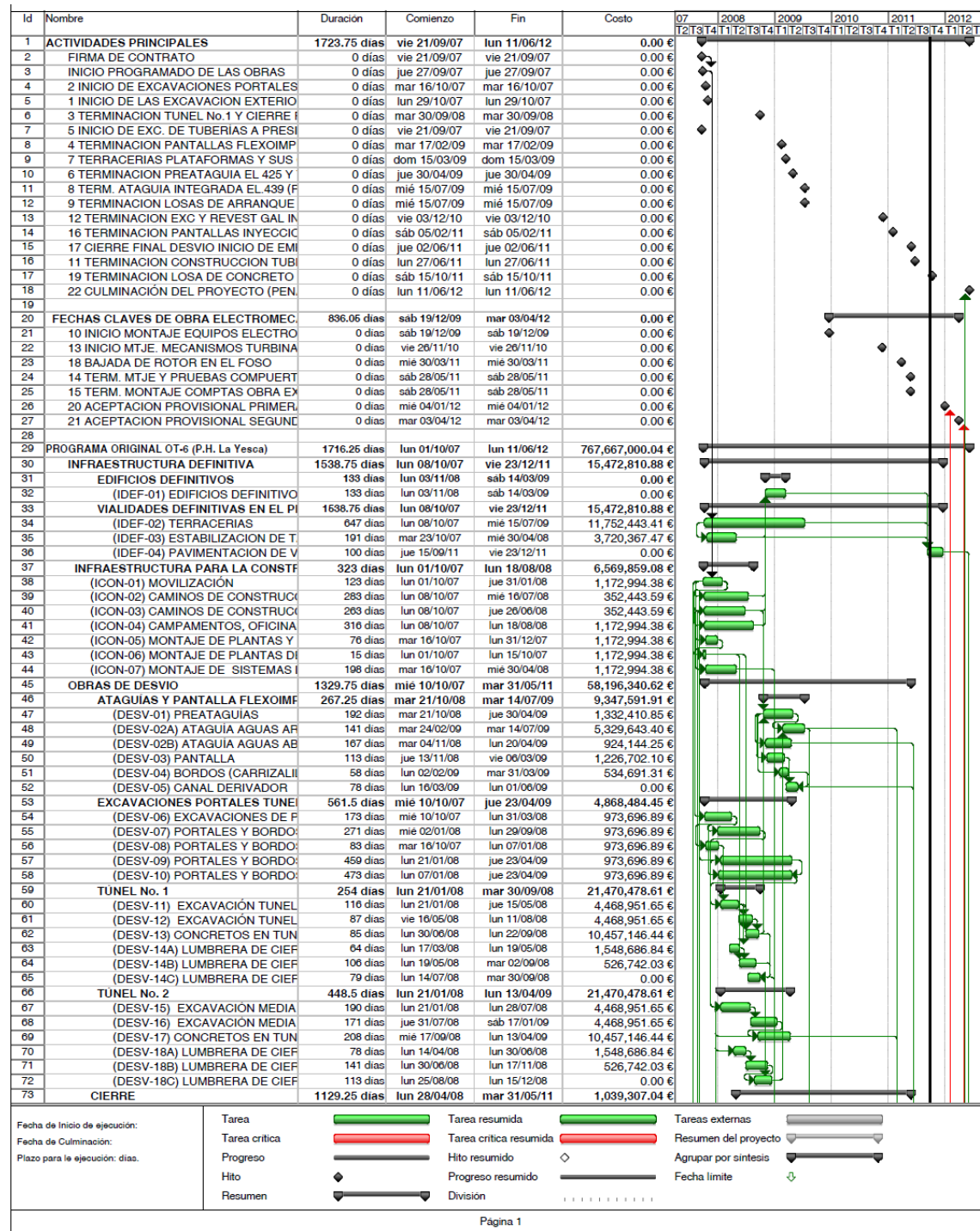
Figura 5.82. P.H. La Yesca – Grafica de Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros; incremento en las inversiones, incremento en el periodo de construcción, tasa de descuento y disminución de las tarifas.

5.2.5 Simulación con el Método Monte Carlo.

En este apartado se seguirá la misma metodología que se presento en el subcapítulo anterior para el caso del Proyecto de El Cajón, ahora aplicado al caso del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca actualmente en construcción. Por ello, el principal interés radica en la aplicación del modelo obtenido anteriormente en el Proyecto al Cajón con vías a obtener conclusiones y una herramienta para la toma de decisiones.

5.2.5.1. Formulación del problema

Básicamente se construyo el programa, diagrama de Gantt, con base en el realizado previamente para El Cajón siguiendo la jerarquización del WBS definido, considerando las dependencias entre actividades y adaptando algunas nuevas condiciones del Proyecto de la Yesca, como lo son los Bordos y Ataguía integrada aguas arriba, contemplada en un la concepción inicial del esquema del proyecto.



5.2.5.2. Colección de datos y Análisis

En lo que respecta a el Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, como ya se comentó, es un proyecto actualmente en construcción, por ello se aprovechará la información y conocimiento obtenido del proyecto precedente de El Cajón.

Para definir las duraciones de las actividades y costos de las mismas también se adoptara la distribución Beta para su definición y aprovechando la información y conocimiento previo del Proyecto El Cajón. Para la construcción del modelo se contemplan los parámetros calculados en el subcapítulo previo en su apartado 5.1.5.1.

5.2.5.3. Desarrollo del modelo.

Para la construcción del modelo y aplicación del método de simulación Monte Carlo se continuo utilizando el software **Microsoft Office Project 2007**, y el paquete especializado **@Risk for Project 4.14**. para la simulación Monte Carlo. Se utilizaran los parámetros calculados de los ajustes a distribuciones Beta obtenidos para el caso de El Cajón en el subcapítulo pasado (apartado **5.1.5.3**), para definir las actividades del Proyecto La Yesca, con vías a generar un modelo que refleje el comportamiento de la construcción de esta hidroeléctrica y con ello estimar un presupuesto final y el termino de las principales actividades del proyecto, así como las actividades criticas del mismo.

El proceso seguido para la construcción del modelo fue el mismo que el realizado para el caso del proyecto previo El Cajón, la asignación de las distribuciones de probabilidad y sus parámetros, tanto para las duraciones como los costos.

Para las salidas del modelo se determinaron los datos de interés, también se designaron los costos y el termino de los frentes principales, las estructuras que componen dichos frentes y actividades de interés. Todo las actividades anteriores culminan en la estructuración del modelo y su correspondiente simulación que se fijo también en 10'000 iteraciones, **Figura 5.85**.

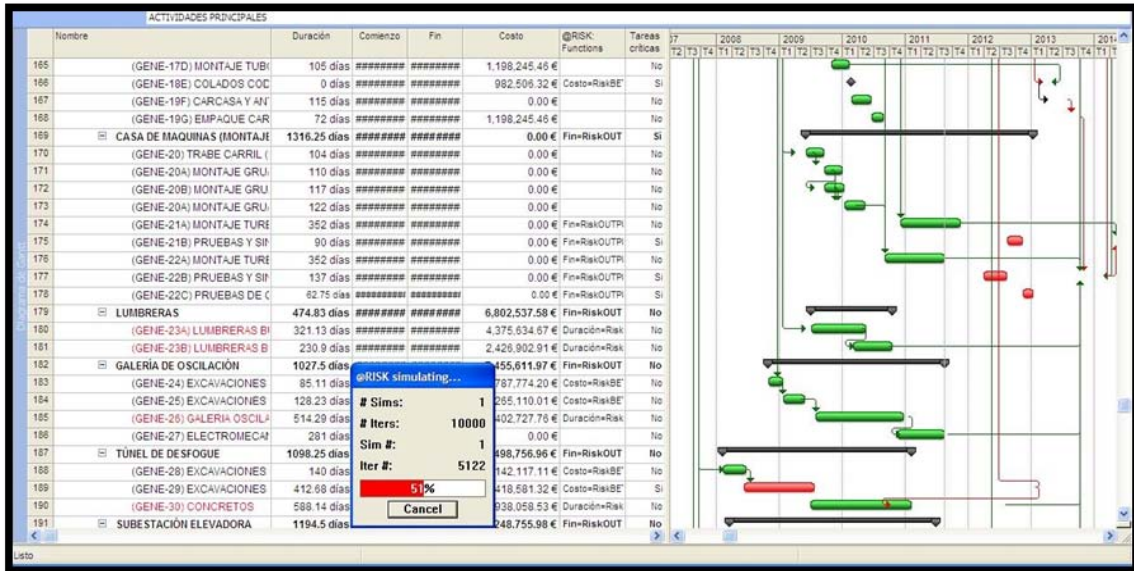


Figura 5.85. P.H. La Yesca – Ventaja donde se observa el proceso de simulación Monte Carlo. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

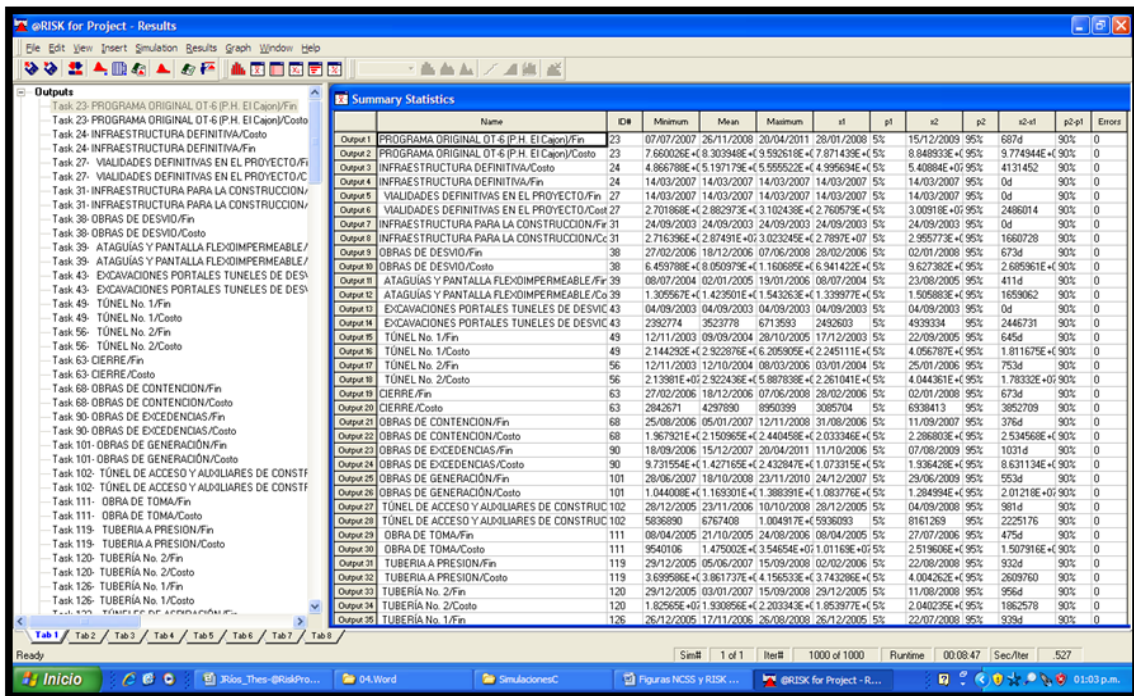


Figura 5.86. P.H. La Yesca – Ventaja donde se observa la ventana de resultados de la simulación. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

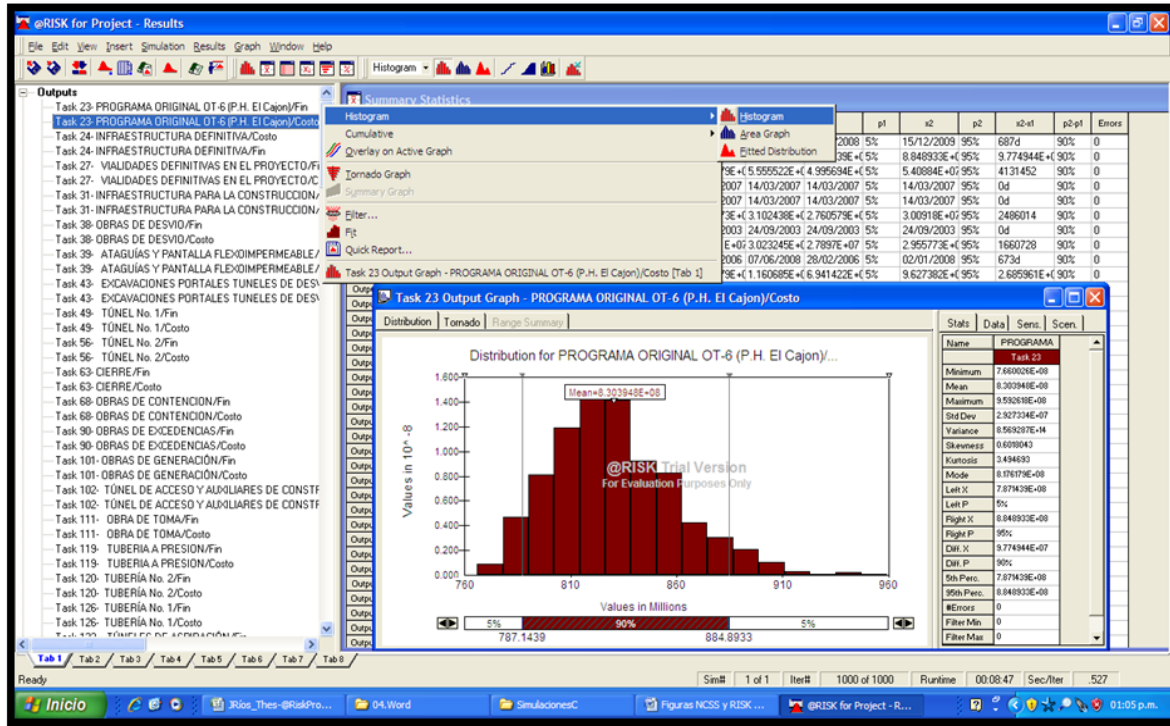


Figura 5.87. P.H. La Yesca – Ventaja de resultados donde se muestra un histograma de frecuencias (Costo total de Proyecto). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

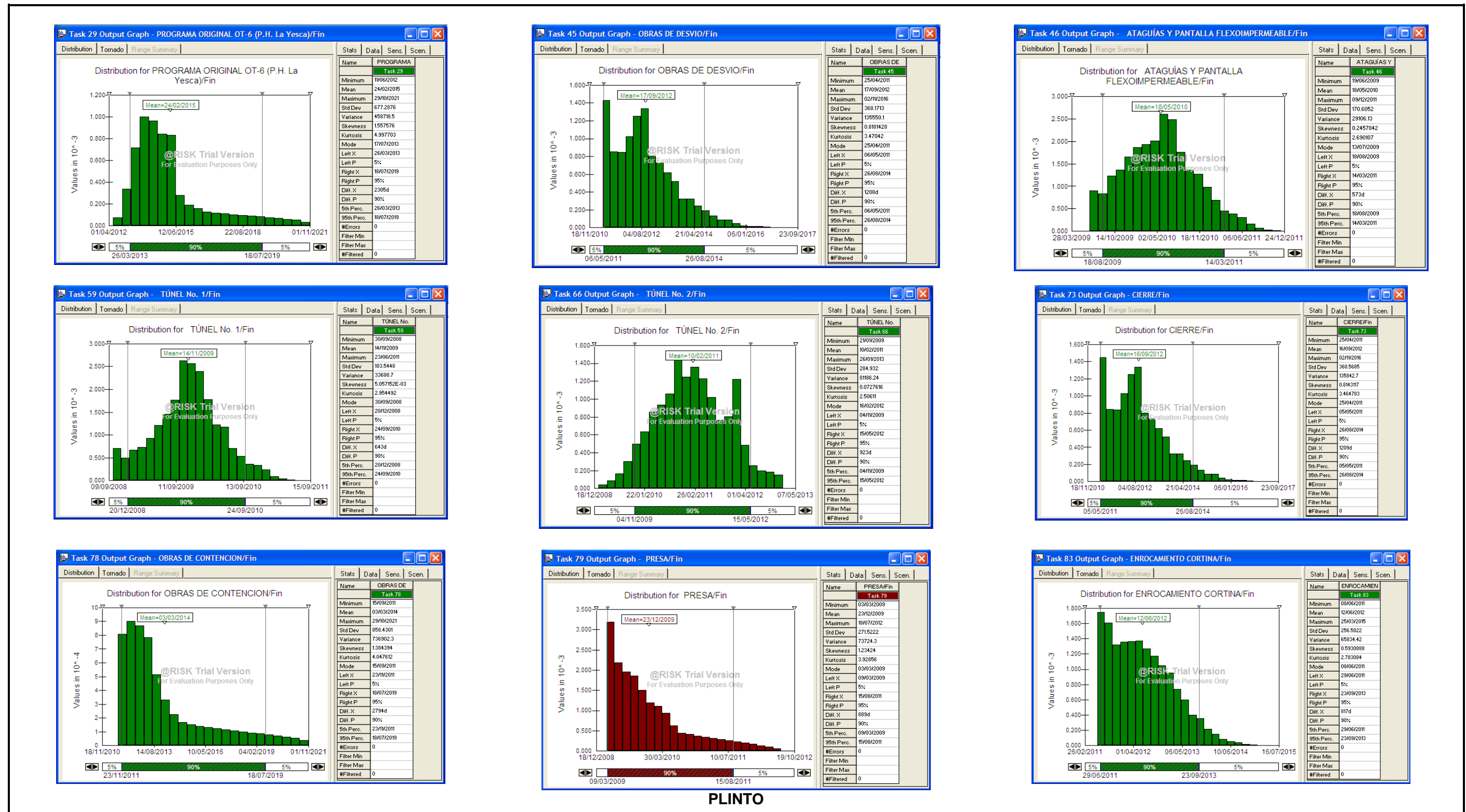


Figura 5.88. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (1 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

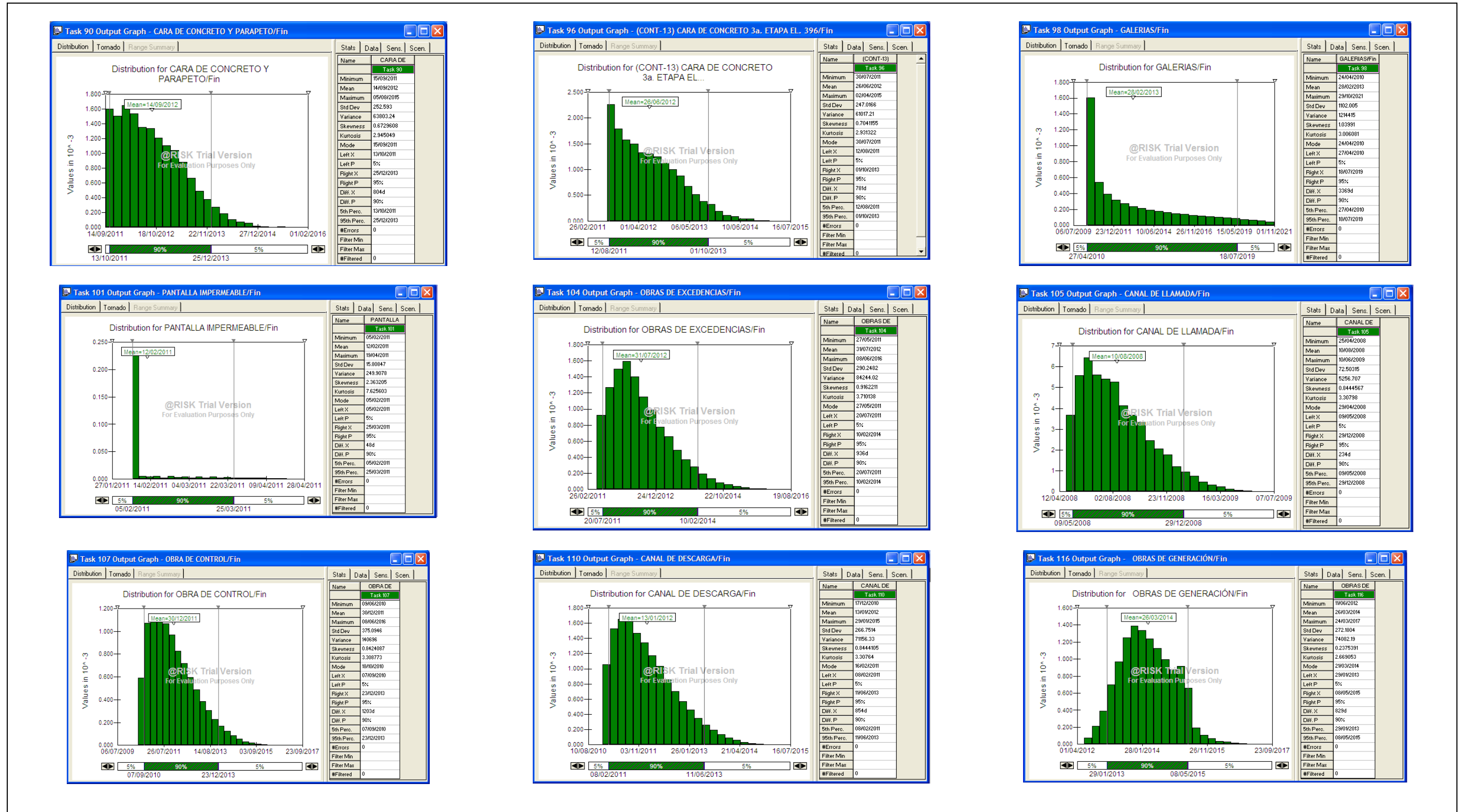


Figura 5.89. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (2 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

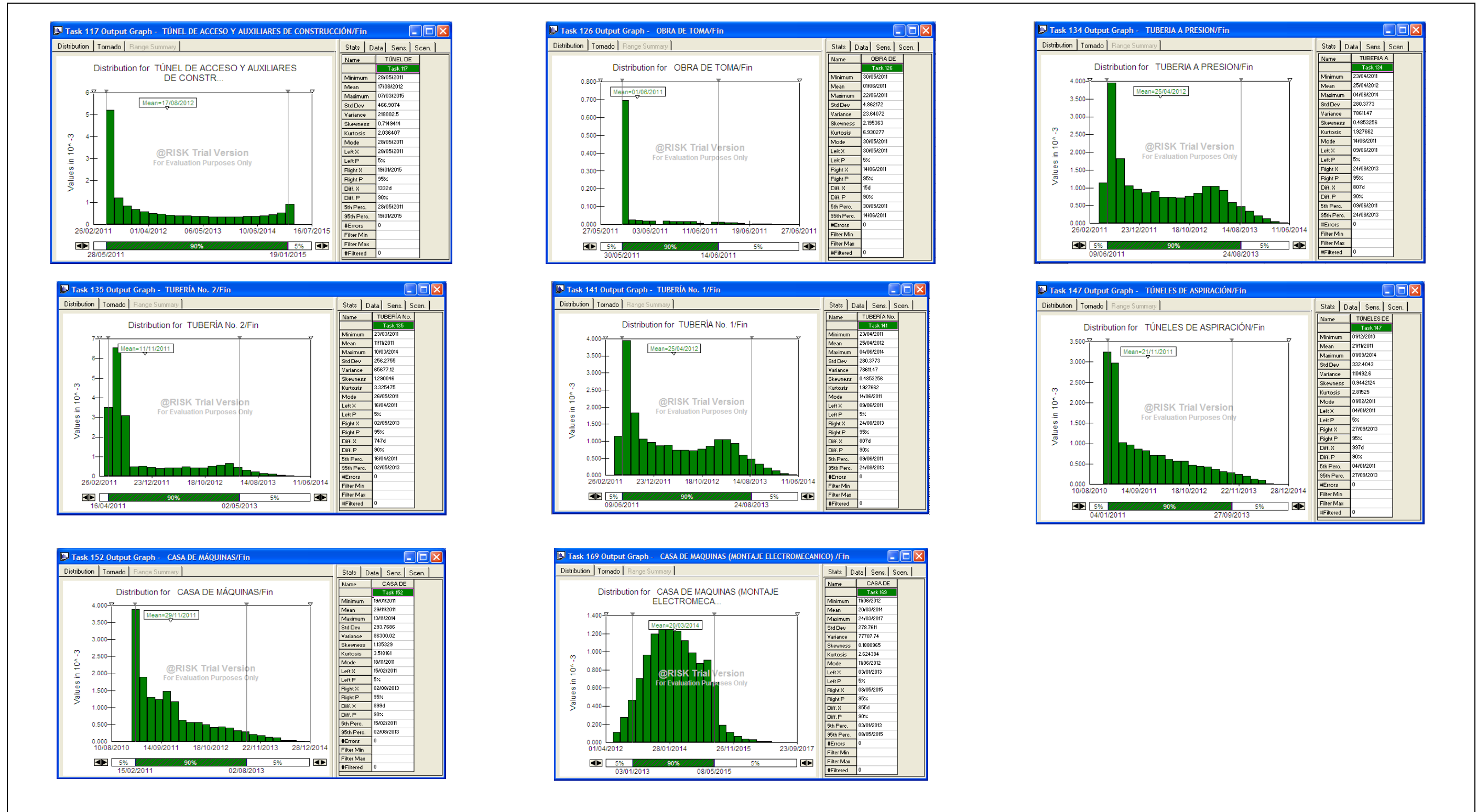


Figura 5.90. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (3 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

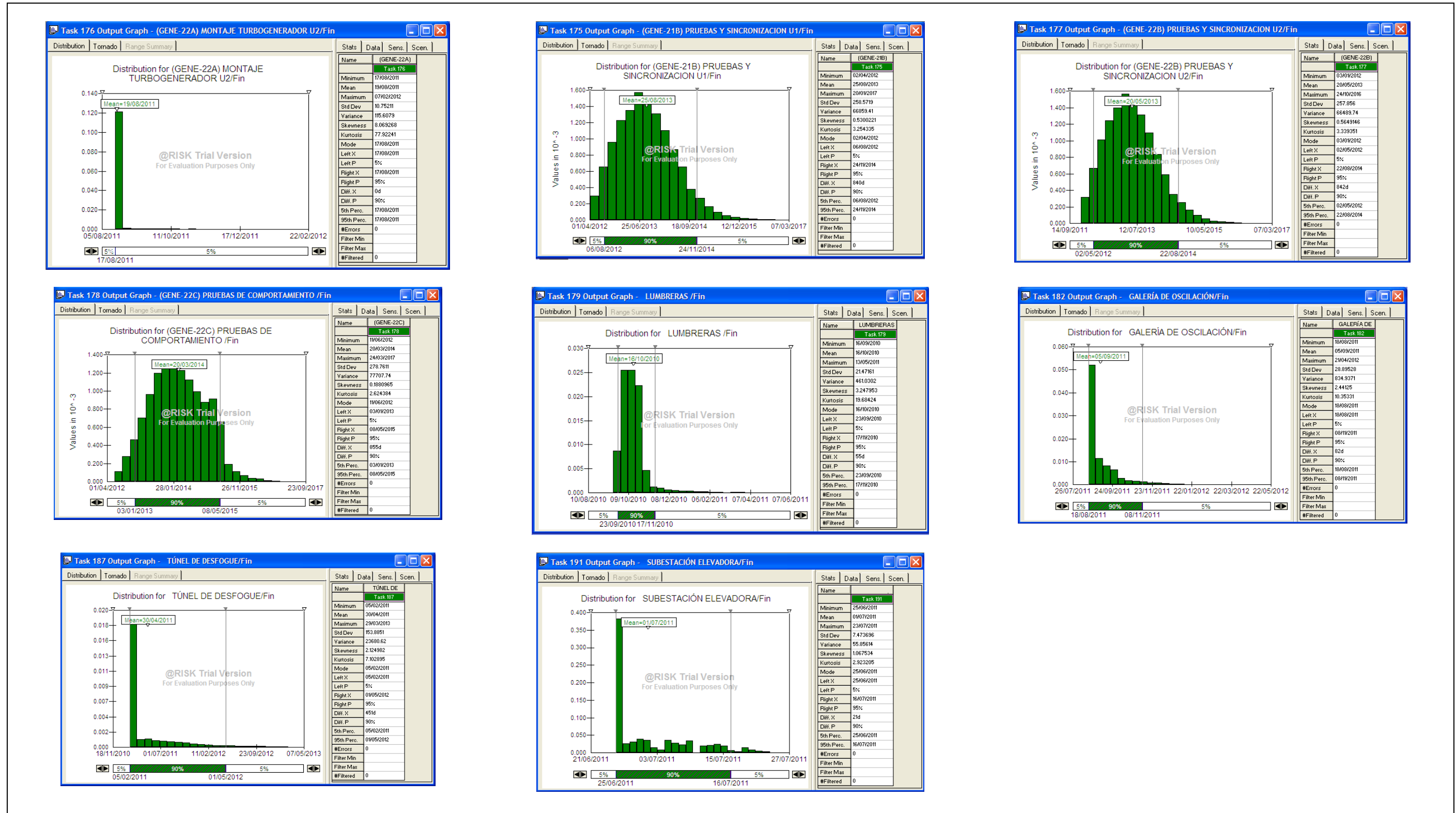


Figura 5.91. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (4 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

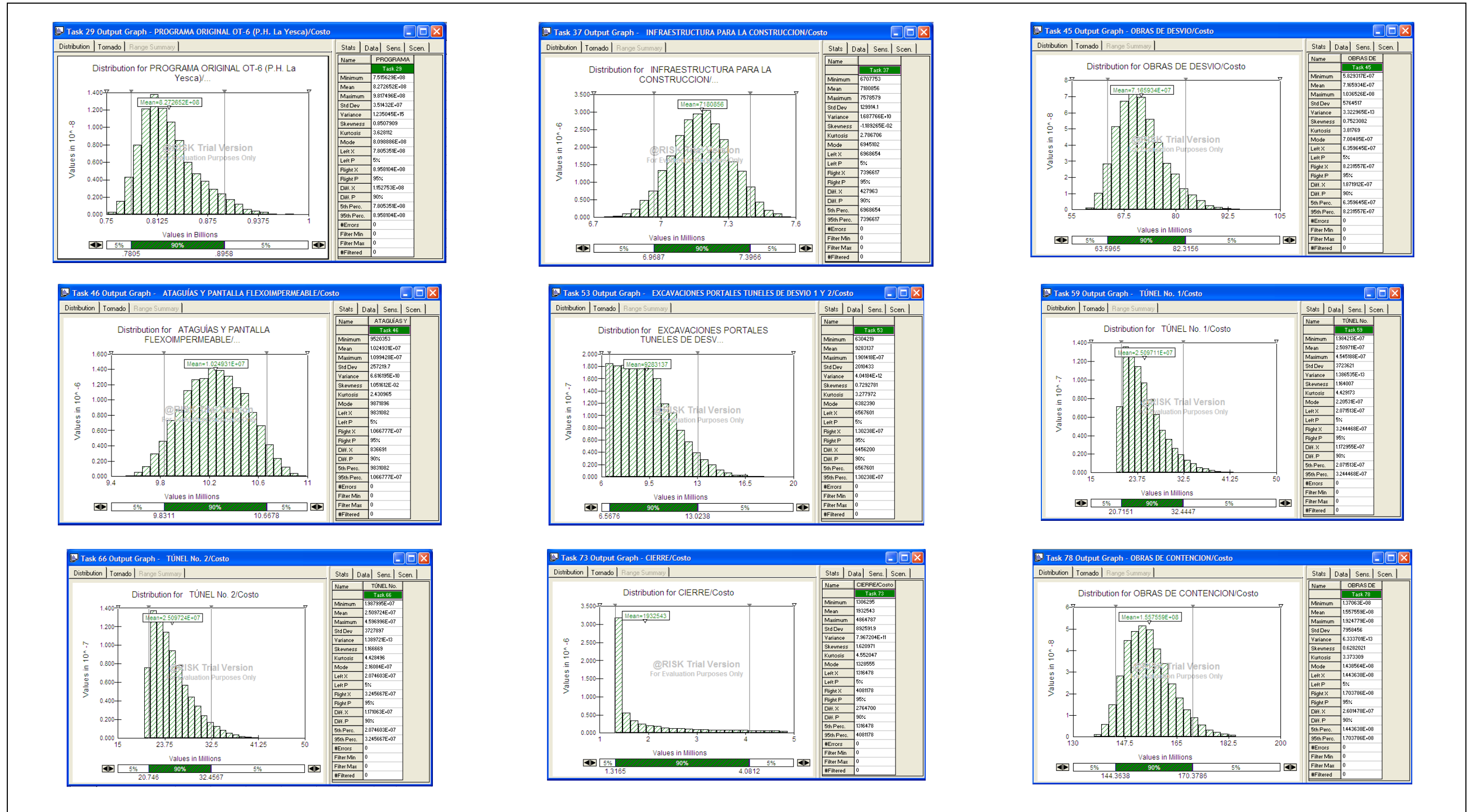


Figura 5.92. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (1 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.

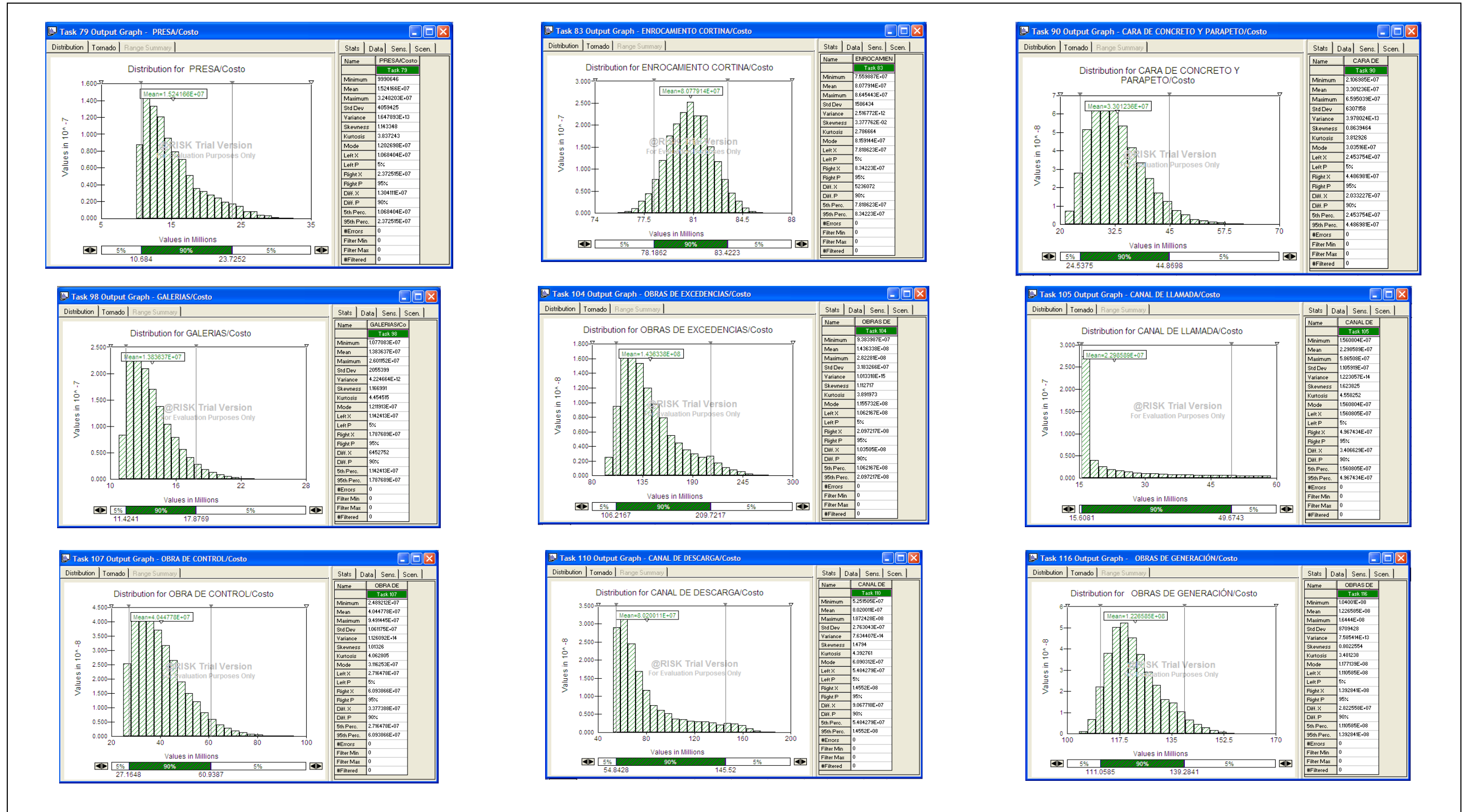


Figura 5.93. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (2 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.

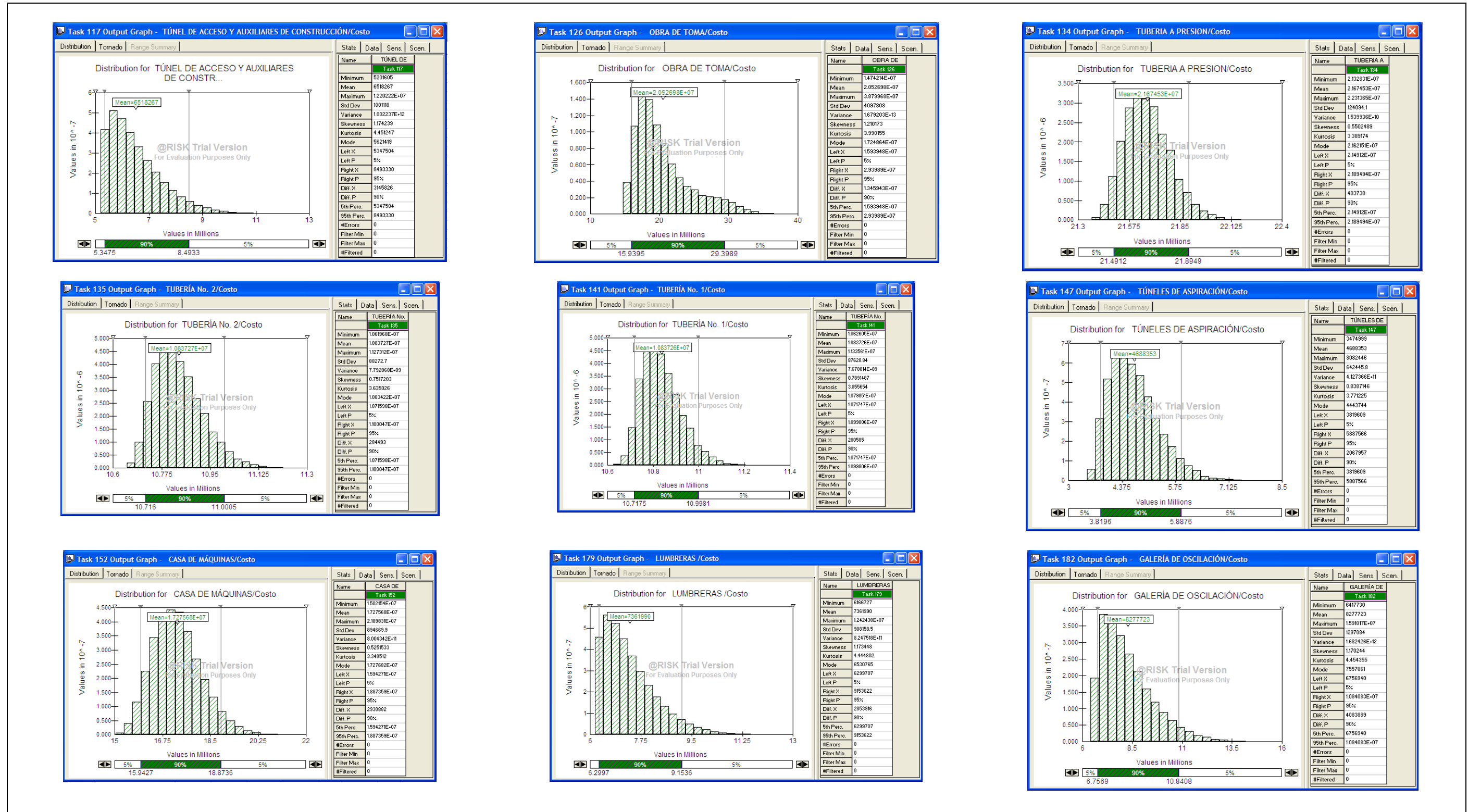


Figura 5.94. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (3 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.

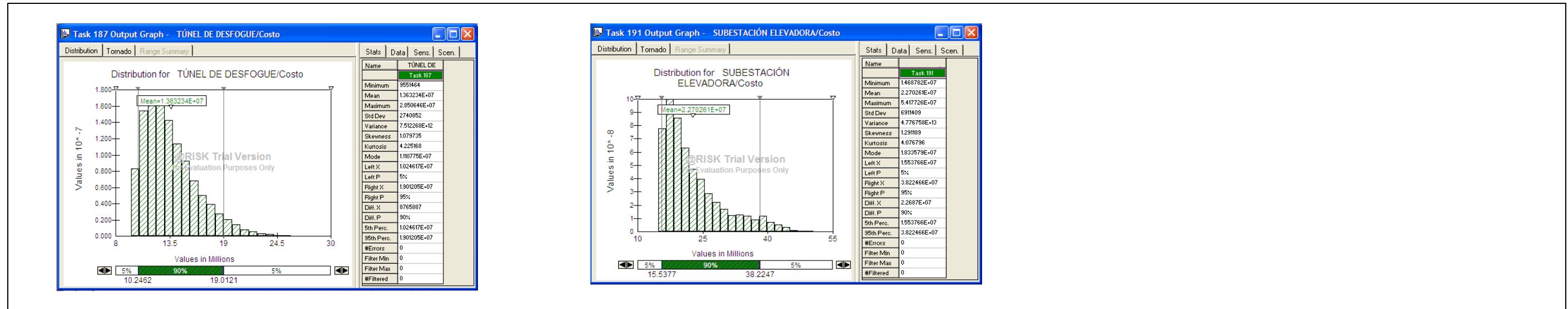


Figura 5.95. P.H. La Yesca – Histogramas, Fin de Actividades (4 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

5.2.5.4. Verificación y Validación del modelo

Para determinar la validez del modelo, se verifica la correspondencia de los costos y las fechas de término. Recordando que el Proyecto La Yesca se encuentra actualmente en construcción, únicamente como referencia, se presentan las fechas originales, las últimas fechas conciliadas en el Convenio No.2 del Contrato de Construcción y los resultados de la simulación, **Tabla 5.31**.

ACTIVIDAD	OT-6 (ORIGINAL)				CONVENIO No.2 (REAL)				SIMULACIÓN MONTE CARLO (10'000 ITERACIONES)			
	Duración (días)	Comienzo	Fin	Costo (USD)	Duración (días)	Comienzo	Fin	Costo (USD)	Duración (días)	Comienzo	Fin	Costo (USD)
PROGRAMA (P.H. La Yesca)	1716.25	01-Oct-07	11-Jun-12	767,667,000.04	1698	21-Sep-07	25-Mar-14	813,297,697.84	2704.893	01-Oct-07	25-Feb-15	827,264,400.00
INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA	1538.75	08-Oct-07	23-Dic-11	15,472,810.88	1345	07-Nov-07	01-Ene-13	18,927,045.58	1538.75	08-Oct-07	23-Dic-11	16,911,780.00
EDIFICIOS DEFINITIVOS	133	03-Nov-08	14-Mar-09	0.00	132	05-Ago-10	04-Feb-11	0.00	133			
VIALIDADES DEFINITIVAS EN EL PROYECTO	1538.75	08-Oct-07	23-Dic-11	15,472,810.88	132	05-Ago-10	04-Feb-11	0.00	1538.75	08-Oct-07	23-Dic-11	16,911,780.00
INFRAESTRUCTURA PARA LA CONSTRUCCION	323	01-Oct-07	18-Ago-08	6,569,859.08	390	01-Oct-07	27-Mar-09	4,061,514.53	323	01-Oct-07	18-Ago-08	7,180,856.00
OBRAS DE DESVIO	1329.75	10-Oct-07	31-May-11	58,196,340.62	1239.88	17-Oct-07	17-Jul-12	95,714,537.06	1804.995	10-Oct-07	17-Sep-12	71,659,740.00
ATAGUIAS Y PANTALLA FLEXOIMPERMEABLE	267.25	21-Oct-08	14-Jul-09	9,347,591.91	501	12-Ene-09	13-Dic-10	12,481,118.61	361.8199	23-May-09	19-May-10	10,249,310.00
EXCAVACIONES PORTALES TUNELES DE DESVIO 1 Y 2	561.5	10-Oct-07	23-Abr-09	4,868,484.45	506	17-Oct-07	23-Sep-09	38,960,626.19	561.5	10-Oct-07	23-Abr-09	9,283,148.00
TUNEL No. 1	254	21-Ene-08	30-Sep-08	21,470,478.61	302.5	15-Abr-08	11-Jun-09	21,616,742.61	664.5316	21-Ene-08	14-Nov-09	25,097,150.00
TUNEL No. 2	448.5	21-Ene-08	13-Abr-09	21,470,478.61	315	14-Abr-08	26-Jun-09	21,616,742.61	1117.766	21-Ene-08	11-Feb-11	25,097,600.00
CIERRE	1129.25	28-Abr-08	31-May-11	1,039,307.04	660.88	05-Ene-10	17-Jul-12	1,039,307.04	1543.152	27-Jun-08	17-Sep-12	1,932,538.00
OBRAS DE CONTENCIÓN	1331.5	22-Feb-08	15-Oct-11	137,810,821.57	1321	03-Mar-09	25-Mar-14	127,208,570.92	2202.834	22-Feb-08	05-Mar-14	155,755,000.00
PLINTO	350.25	15-May-08	30-Abr-09	10,761,954.07	367	03-Mar-09	28-Jul-10	13,005,661.49	588.5689	15-May-08	24-Dic-09	15,241,710.00
ENROCAMIENTO CORTINA	925	02-Ene-09	15-Jul-11	65,203,823.74	916	12-Jun-09	14-Dic-12	69,042,000.60	953.7659	03-Nov-09	13-Jun-12	80,779,140.00
CARA DE CONCRETO Y PARAPETO	914	15-Abr-09	15-Oct-11	37,350,011.82	1089	21-Ene-10	25-Mar-14	28,243,256.56	1204.444	31-May-09	16-Sep-12	33,011,540.00
GALERIAS DE INYECCION	1016	22-Feb-08	03-Dic-10	11,608,665.52	771	18-Jun-09	31-May-12	11,836,804.70	1833.38	22-Feb-08	28-Feb-13	13,836,240.00
PANTALLA IMPERMEABLE	919	01-Ago-08	05-Feb-11	12,886,366.42	794	11-Sep-09	26-Sep-12	5,080,847.56	919	08-Ago-08	12-Feb-11	12,886,370.00
OBRAS DE EXCEDENCIAS	1309.25	29-Oct-07	30-May-11	120,272,973.71	1414	15-Oct-07	14-Mar-13	108,978,397.04	1739.001	29-Oct-07	01-Ago-12	143,633,600.00
CANAL DE LLAMADA DEL VERTEDOR	623	29-Oct-07	11-Jul-09	11,659,234.85	1414	15-Oct-07	14-Mar-13	108,978,397.04	287.0964	29-Oct-07	10-Ago-08	22,985,870.00
OBRA DE CONTROL DEL VERTEDOR	1183.25	29-Oct-07	24-Ene-11	32,134,756.99	1404	29-Oct-07	14-Mar-13	30,737,493.15	1523.732	29-Oct-07	30-Dic-11	40,447,720.00
CANAL DE DESCARGA DEL VERTEDOR	1228.5	17-Ene-08	30-May-11	76,478,981.87	1357	15-Oct-07	25-Dic-12	60,828,410.95	1457.089	17-Ene-08	13-Ene-12	80,200,000.00
OBRAS DE GENERACIÓN	1590.25	04-Feb-08	11-Jun-12	118,671,954.12	1470.7	22-Ene-08	11-Sep-13	120,434,715.98	2249.396	04-Feb-08	01-Abr-14	122,658,400.00
TUNEL DE ACCESO Y AUXILIARES DE CONSTRUCCION	1218	04-Feb-08	04-Jun-11	7,994,507.60	1059	01-Jul-08	20-Jul-12	7,248,749.81	1657.382	04-Feb-08	17-Ago-12	6,518,252.00
OBRA DE TOMA	1196	19-Feb-08	30-May-11	16,974,121.85	1077	01-Jul-08	15-Ago-12	20,232,186.78	1198.547	19-Feb-08	01-Jun-11	20,526,950.00
TUBERIA A PRESION	903	05-Ene-09	25-Jun-11	23,029,122.24	1004.8	07-May-09	13-Mar-13	21,510,303.77	1188.021	24-Ene-09	26-Abr-12	21,674,530.00
TUBERIA No. 2	875.25	05-Ene-09	30-May-11	11,514,561.12	997.8	18-May-09	13-Mar-13	10,755,151.88	1020.087	24-Ene-09	10-Nov-11	10,837,270.00
TUBERIA No. 1	878.25	29-Ene-09	25-Jun-11	11,514,561.12	907	07-May-09	26-Oct-12	10,755,151.88	1171.078	10-Feb-09	26-Abr-12	10,837,270.00
TUNELES DE ASPIRACION	643	04-Abr-09	07-Ene-11	5,277,933.14	770	12-May-09	23-Abr-12	4,523,655.41	659.5434	30-Ene-10	21-Nov-11	4,688,413.00
CASA DE MÁQUINAS	826.25	19-Nov-08	23-Feb-11	16,972,732.27	744	05-Feb-09	13-Dic-11	16,660,799.07	1054.102	09-Ene-09	29-Nov-11	17,275,710.00
(GENE-21A) MONTAJE TURBOGENERADOR U1	352	29-Nov-10	15-Nov-11	0.00	352	08-Jun-11	11-Oct-12	0.00	1774.956	17-May-09	27-Mar-14	
(GENE-21B) PRUEBAS Y SINCRONIZACION U1	90	04-Ene-12	03-Abr-12	0.00	197	12-Oct-12	15-Jul-13	0.00	90	30-May-13	15-Nov-11	
(GENE-22A) MONTAJE TURBOGENERADOR U2	352	31-Ago-10	17-Ago-11	0.00	351	07-Abr-11	09-Ago-12	0.00	352	01-Sep-10	19-Ago-11	
(GENE-22B) PRUEBAS Y SINCRONIZACION U2	137	20-Ago-11	04-Ene-12	0.00	204	10-Ago-12	22-May-13	0.00	137	06-Ene-13	23-May-13	
(GENE-22C) PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO	62.75	10-Abr-12	11-Jun-12	0.00					62.75	23-Ene-14	27-Mar-14	
LUMBRERAS	502.5	27-May-09	11-Oct-10	7,257,470.85	530.3	30-Jul-09	11-Ago-11	7,268,664.54	469.1819	03-Jul-09	15-Oct-10	7,361,992.00
GALERIA DE OSCILACIÓN	1029.05	25-Oct-08	20-Ago-11	8,581,566.21	1167.5	23-Mar-09	11-Sep-13	7,982,763.78	999.8622	09-Dic-08	05-Sep-11	8,277,732.00
TUNEL DE DESFOGUE	1098.25	04-Feb-08	05-Feb-11	15,517,271.45	1066	30-Abr-08	30-May-12	13,150,011.25	1182.709	04-Feb-08	30-Abr-11	13,632,250.00
SUBESTACION ELEVADORA	1195.5	19-Mar-08	27-Jun-11	17,067,228.51	1287.7	22-Ene-08	28-Dic-12	21,857,581.58	1199.91	19-Mar-08	01-Jul-11	22,702,530.00

Tabla 5.31. P.H. La Yesca – Duraciones, Comienzos, Fines y Costos de las principales actividades de la Programación OT-6 (Original), Convenio No.2 (Real) y Monte Carlo.

Las fechas contempladas corresponden a los frentes principales de trabajo con énfasis en ciertas estructuras, que de antemano se identifican como críticas para el curso correcto de la construcción del proyecto. Cabe recordar que los resultados obtenidos con

las 10'000 iteraciones de la simulación Monte Carlo distan de las un resultado sustituyendo los valores medio de las variables, sobre todo en lo que respecta a las fechas de término de las estructuras y frentes, consecuentemente sucede lo mismo para la Fecha de Culminación final del proyecto.

Como prueba estadística, se escogió la técnica de análisis de varianza (ANOVA), para determinar los factores de mayor impacto en la salida, y determinar la satisfacción de las suposiciones estadísticas de forma razonable. Para el cálculo de los análisis se utilizó de nueva cuenta como apoyo el programa estadístico **NCSS Versión 07.1.21** ©, a continuación se presentan la pantalla con los valores de los costo y duraciones de las actividades. **Figura 5.96.**

	YSC_Dur_OT6	YSC_Dur_Conv2	YSC_Dur_MCarlo	YSC_Cost_OT6	YSC_Cost_Conv2	YSC_Cost_MCarlo
1	1716.25	1698	2704.893	767667000	813297697.8	827264400
2	1538.75	1345	1538.75	15472810.88	18927045.58	16911780
3	133	132	133	0	0	
4	1538.75	132	1538.75	15472810.88	0	16911780
5	323	390	323	6569859.08	4061514.53	7180856
6	1329.75	1239.88	1804.995	58196340.62	95714537.06	71659740
7	267.25	501	361.8199	9347591.91	12481118.61	10249310
8	561.5	506	561.5	4868484.45	38960626.19	9283148
9	254	302.5	664.5316	21470478.61	21616742.61	25097150
10	448.5	315	1117.766	21470478.61	21616742.61	25097600
11	1129.25	660.88	1543.152	1039307.04	1039307.04	1932538
12	1331.5	1321	2202.834	137810821.6	127208570.9	155755000
13	350.25	367	588.5689	10761954.07	13005661.49	15241710
14	925	916	953.7659	65203823.74	69042000.6	80779140
15	914	1089	1204.444	37350011.82	28243256.56	33011540
16	1016	771	1833.38	11608665.52	11836804.7	13836240
17	919	794	919	12886366.42	5080847.56	12886370

Figura 5.96. P.H. La Yesca – Valores de entrada para la prueba estadística ANOVA. NCSS Versión 07.1.21 ©.

El análisis ANOVA para verificar la validez del modelo Monte, consiste en determinar si existe significancia en la diferencia entre las Duraciones y Costos reales (Convenio

No.7) y las respectivas Duraciones y Costos del modelo Monte Carlo. Se presenta la vista del resultado de este análisis, con un nivel de significancia de 0.05, en la **Figura 5.97**.

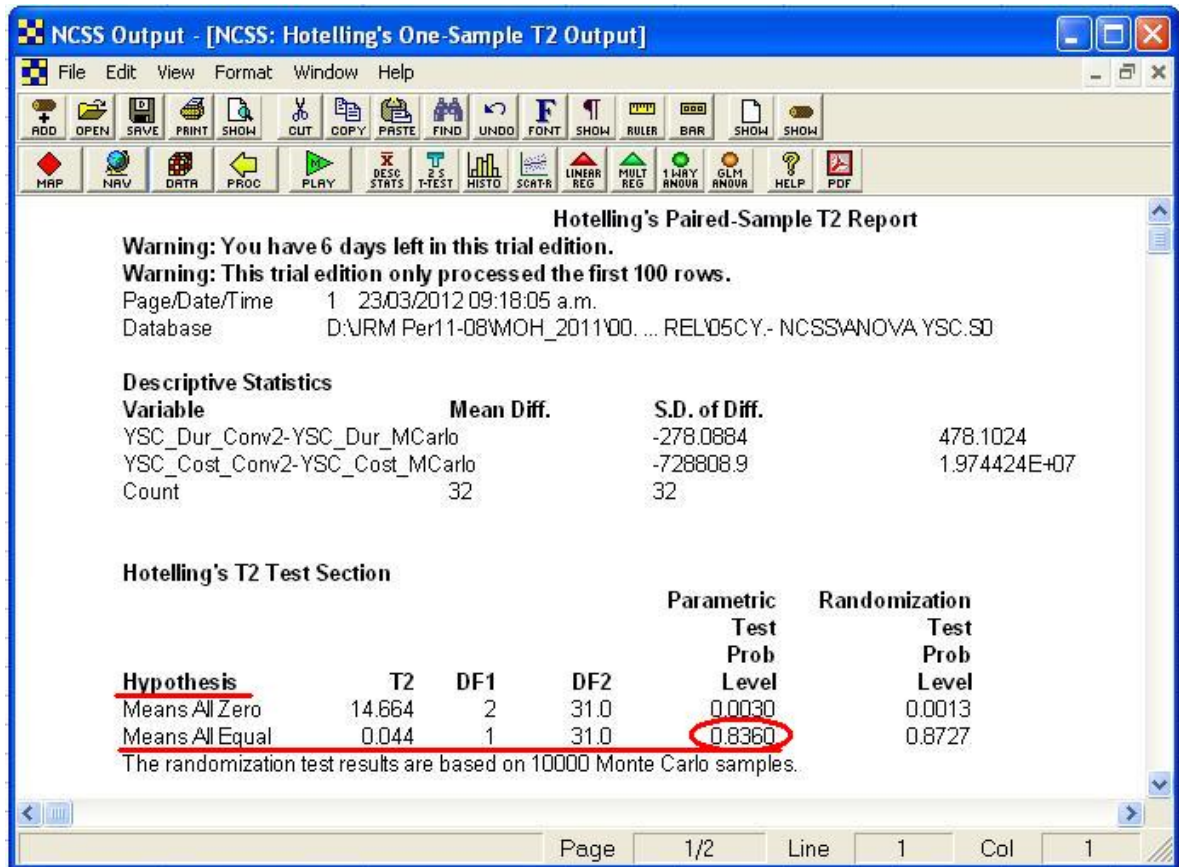


Figura 5.97. P.H. La Yesca – Resultado del ANOVA aplicado al modelo Monte Carlo. NCSS Versión 07.1.21 ©.

Como resultado del análisis se obtuvo una probabilidad de 0.8360 que al ser superior al nivel de significancia de 0.05, al obtenerse $p=0.8360 > 0.05$ se puede concluir a partir de la probabilidad calculada que no existe evidencia de que sea significativa la diferencia. Por lo tanto, queda verificado y validado el Modelo Carlo para el caso del Proyecto El Cajón.

5.2.5.5. Experimentación y Análisis de las salidas

La importancia del modelo Monte Carlo del P.H. La Yesca radica en que se trata de un proyecto actualmente en construcción, de ahí el grado de utilidad para determinar el

comportamiento de futuros proyectos hidroeléctricos y finalmente el apoyo de la información recabada para la toma de decisiones.

5.2.5.6. Implantación de los resultados de la Simulación

Primeramente se presenta una imagen de muestra con el histograma de frecuencias de uno de los principales puntos de estudio que es el Costo del Proyecto, el cual se refiere al Costo Total del Proyecto, el promedio de la simulación asciende a **\$827'265** millones de dólares. Además, como se puede observar, también se puede determinar las probabilidades de exceder o alcanzar cierto presupuesto total, **Figura 5.98**.

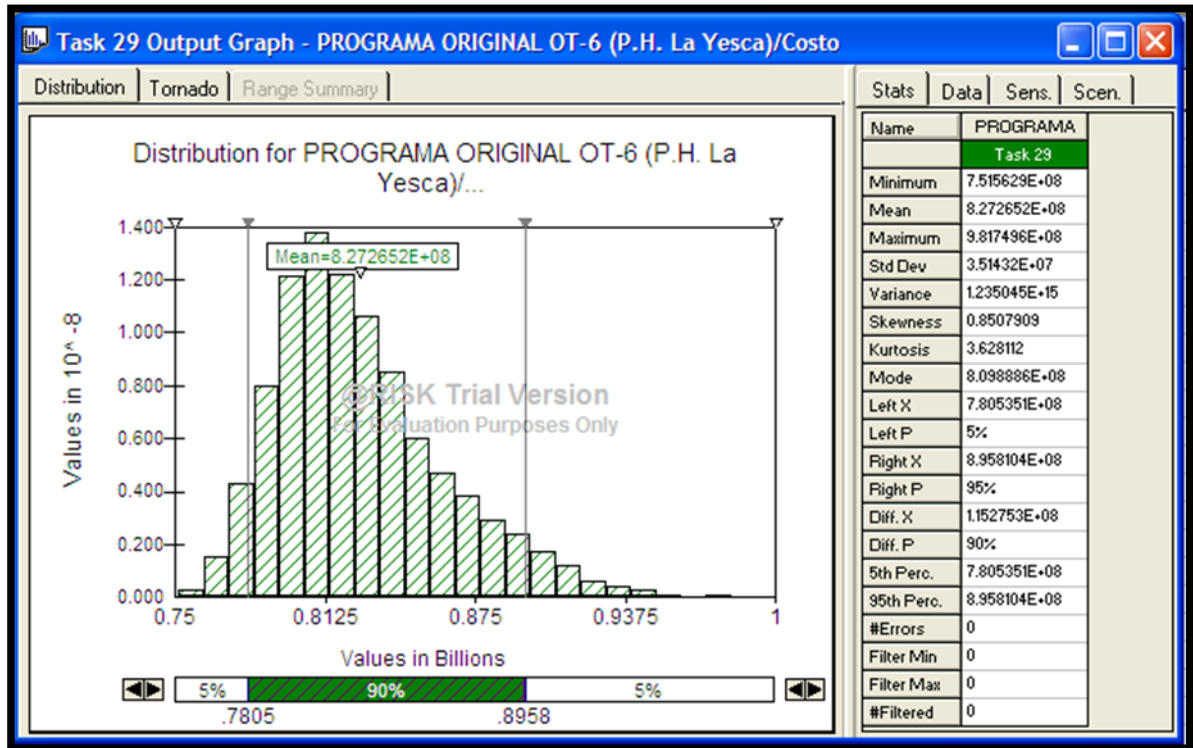


Figura 5.98. P.H. La Yesca – Histograma de la Simulación Monte Carlo del Presupuesto total Proyecto con una media de \$827'265 USD. Palisade @Risk for Project 4.14.

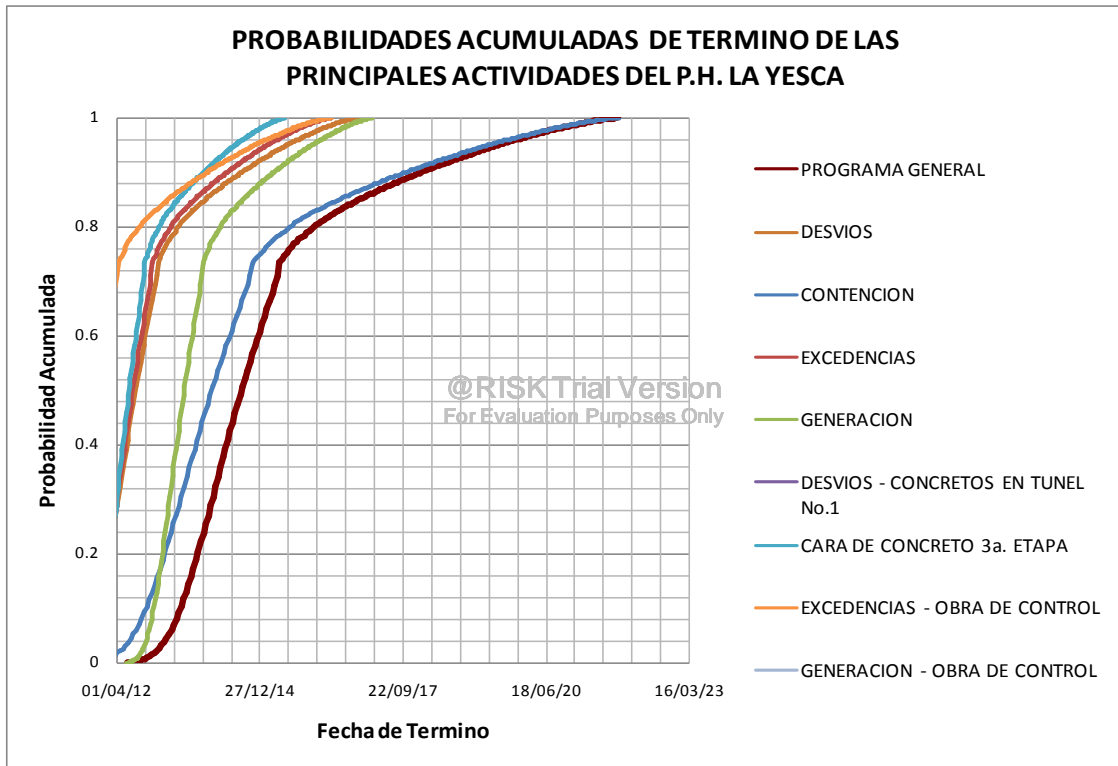


Figura 5.99. P.H. La Yesca – Probabilidades acumuladas de las fechas de término de las principales actividades del Proyecto. Palisade®@Risk for Project 4.14.

Se presenta el análisis realizado por el software, que obtiene los coeficientes de regresión lineal multivariable (método de mínimos cuadrados) y de correlación (coeficientes de correlación de Spearman) de las variables de entrada y con ello determinar la sensibilidad con relación una variable de salida de interés. **Figura 5.100** y **Figura 5.101**.

Sensitivity Analysis

Rank Inputs for Output: PROGRAMA ORIGINAL OT-6 (P.H. La Yesca) | Display Significant Inputs Using: Regression & Correlation

Rank for Task 23	Name	Distribution	PROGRAMA ORIGINAL OT-6 (P.H. La Yesca)/Fin Regression	PROGRAMA ORIGINAL OT-6 (P.H. La Yesca)/Fin Correlation	INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA/Fin	INFRAESTRUCTURA DEFINITIVA/Fin	VIALIDADES DEFINITIVAS EN EL PROYECTO/Fin	VIALIDADES DEFINITIVAS EN EL PROYECTO/Fin
#1	(CONT-15B) GALERÍAS DE INSPECCION BETAGENERAL	(0.4241331, 1.291834, 7)	0.861	+0.607	0	0	0	0
#2	(GENE-05) REVESTIMIENTO DE TUNEI BETAGENERAL	(0.2950011, 0.6158314, 2)	0.124	+0.231	0	0	0	0
#3	(EXCE-02B) OBRA DE CONTROL (CONC BETAGENERAL	(1.436128, 4.868968, 28)	0.115	+0.176	0	0	0	0
#4	(DESV-20A) LUMBRERA DE CIERRE DE BETAGENERAL	(0.3066503, 0.6438065, 5)	0.062	+0.108	0	0	0	0
#5	(EXCE-03B) CANAL DE DESCARGA (CO BETAGENERAL	(1.436128, 4.868968, 28)	0.053	+0.073	0	0	0	0
#6	(CONT-03) CORTINA 2a.ETAPA/Duració BETAGENERAL	(0.5970362, 0.983117, 8)	0.043	+0.029	0	0	0	0
#7	(DESV-19) CONCRETO EN TAPÓN/Dur. BETAGENERAL	(0.3780964, 0.5120501, 1)	0.042	+0.076	0	0	0	0
#8	(DESV-15) EXCAVACIÓN MEDIA SECCI(BETAGENERAL	(0.3066503, 0.6438065, 5)	0.038	-0.025	0	0	0	0
#9	(GENE-09B) EXCAVACION RAMA HORIZ BETAGENERAL	(0.7120502, 1.665087, 4)	0.037	-0.024	0	0	0	0
#10	(DESV-20B) LUMBRERA DE CIERRE DE BETAGENERAL	(0.3780964, 0.5120501, 1)	0.037	+0.081	0	0	0	0
#11	(GENE-17B) CONCRETOS EN MUROS Y BETAGENERAL	(1.361041, 8.641411, 71)	-0.037	-0.09	0	0	0	0
#12	(GENE-02) TUNEL ACCESO A BIFURCA(BETAGENERAL	(0.7120502, 1.665087, 2)	-0.036	-0.055	0	0	0	0
#13	(EXCE-05) CUBETA DEFLECTORA (CON BETAGENERAL	(1.436128, 4.868968, 94)	0.036	+0.078	0	0	0	0
#14	(DESV-13) CONCRETOS EN TUNEL DE BETAGENERAL	(0.3780964, 0.5120501, 1)	0.031	+0.019	0	0	0	0
#15	(GENE-24) EXCAVACIONES DE BOVEDA BETAGENERAL	(0.6333843, 1.455335, 5)	0.029	+0.023	0	0	0	0
#16	(CONT-06) CORTINA 5a.ETAPA/Duració BETAGENERAL	(0.5970362, 0.983117, 6)	0.028	+0.08	0	0	0	0
#17	(DESV-02A) ATAGUÍA AGUAS ARRIBA / BETAGENERAL	(0.5188869, 0.297781, 1)	0	+0.011	0	0	0	0
#18	(DESV-02B) ATAGUÍA AGUAS ABAJO/D/ BETAGENERAL	(0.5188869, 0.297781, 1)	0	+0.015	0	0	0	0
#19	(DESV-11) EXCAVACIÓN TUNEL MEDIA BETAGENERAL	(0.3066503, 0.6438065, 5)	0	+0.016	0	0	0	0
#20	(DESV-12) EXCAVACIÓN TUNEL MEDIA BETAGENERAL	(0.3066503, 0.6438065, 5)	0	+0.021	0	0	0	0
#21	(DESV-14A) LUMBRERA DE CIERRE PR BETAGENERAL	(0.3066503, 0.6438065, 5)	0	+0.033	0	0	0	0
#22	(DESV-14B) LUMBRERA DE CIERRE PR BETAGENERAL	(0.3780964, 0.5120501, 1)	0	-0.016	0	0	0	0
#23	(DESV-16) EXCAVACIÓN MEDIA SECCI(BETAGENERAL	(0.3066503, 0.6438065, 5)	0	-0.005	0	0	0	0
#24	(DESV-17) CONCRETOS EN TUNEL DE BETAGENERAL	(0.3780964, 0.5120501, 1)	0	+0.033	0	0	0	0
#25	(DESV-18A) LUMBRERA DE CIERRE PR BETAGENERAL	(0.3066503, 0.6438065, 5)	0	-0.027	0	0	0	0
#26	(DESV-18B) LUMBRERA DE CIERRE PR BETAGENERAL	(0.3780964, 0.5120501, 1)	0	+0.023	0	0	0	0

Figura 5.100. P.H. La Yesca – Análisis de Sensibilidad de los Costos de las Actividades (Coeficientes de Regresión y Correlación). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

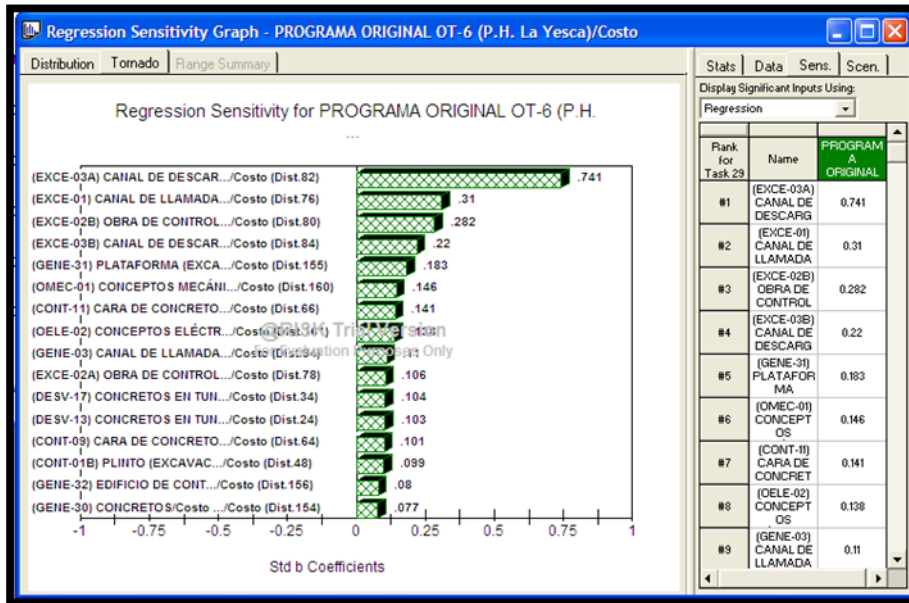


Figura 5.101. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de los Costos de las Actividades - Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

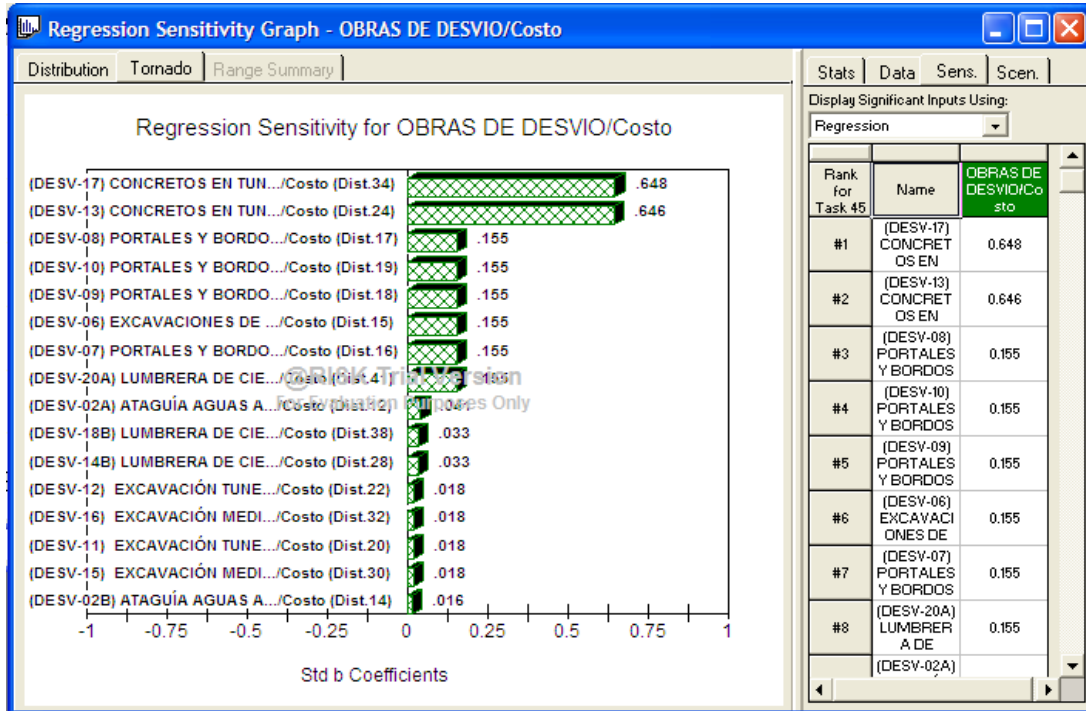


Figura 5.102. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Desvío. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

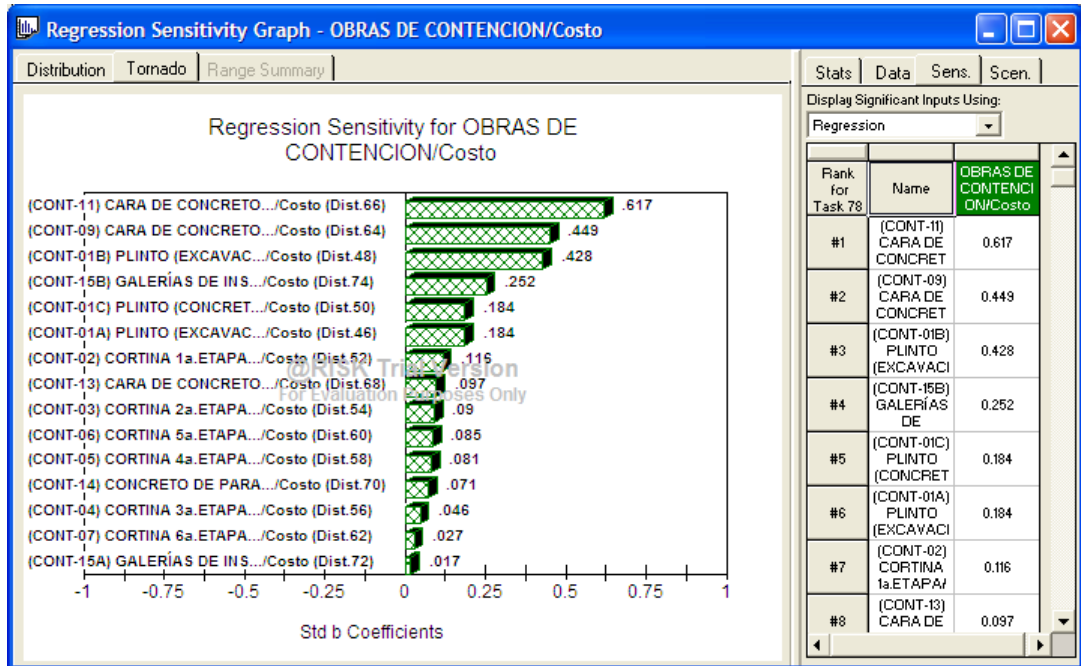


Figura 5.103. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Contención Palisade ®@Risk for Project 4.14.

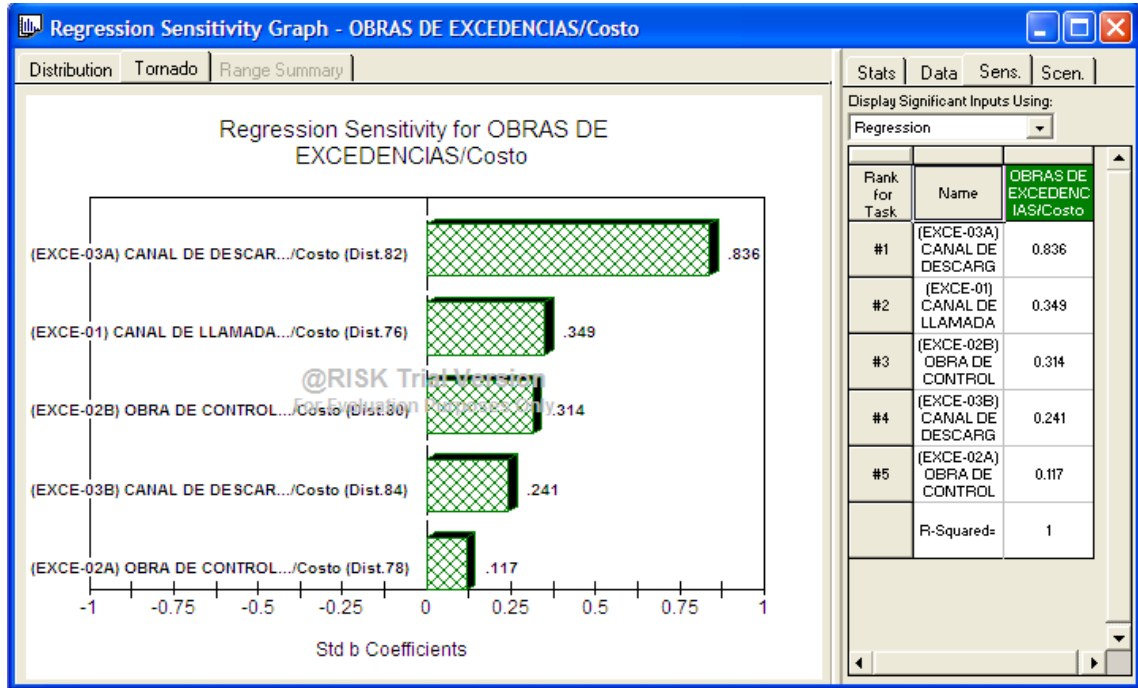


Figura 5.104. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Excedencias Palisade ®@Risk for Project 4.14.

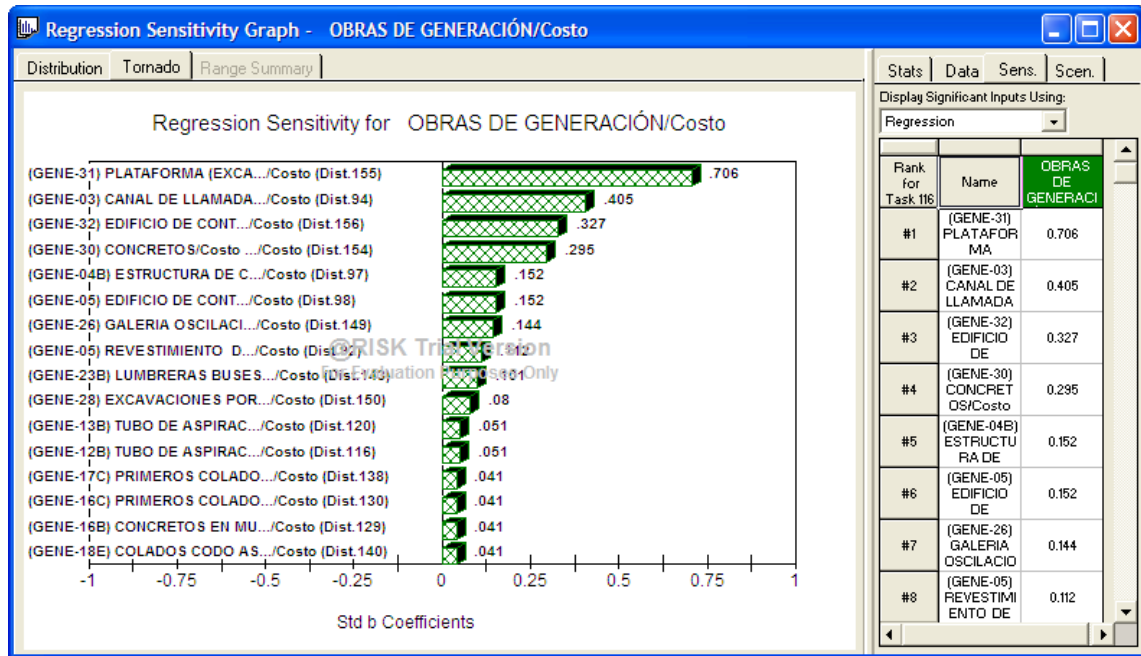


Figura 5.105. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de los Costos de las Obras de Generación. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

Sensitivity Analysis

Rank Inputs for Output: PROGRAM A ORIGINAL OT-6 (P.H. La Yesca) / Fin

Display Significant Inputs Using: Regression & Correlation

Rank for Task 29	Name	Distribution	PROGRAM A ORIGINAL OT-6 (P.H. La Yesca) / Costo Regression	PROGRAM A ORIGINAL OT-6 (P.H. La Yesca) / Costo Correlation	INFRAESTRUCTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN	INFRAESTRUCTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN	OBRAS DE DESVÍO/Costo Regression	OBRAS DE DESVÍO/Costo Correlation	ATAGUÍAS Y PANTALLA FLEXIBLE/MEABLE/Costo	FI M	
#1	[EXCE-03A] CANAL DE DESCARGA [EXCAVACION] BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638, 0.746		+0.583	0	0	0	0	+0.017	0	-0.	
#2	[EXCE-01] CANAL DE LLAMADA [EXCAVACION] BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638, 0.314		+0.321	0	0	0	+0.001	0	+0.038	0	+C
#3	[EXCE-02B] OBRA DE CONTROL [CONCRETO] BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 19		+0.244	0	0	0	+0.032	0	-0.006	0	-0.
#4	[EXCE-03B] CANAL DE DESCARGA [CONCRETO] BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 15		+0.211	0	0	0	+0.028	0	+0.007	0	-0.
#5	[GENE-31] PLATAFORMA [EXCAVACION] BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638, 0.177		+0.2	0	0	0	+0.032	0	+0.01	0	-0.
#6	[OMEC-01] CONCEPTOS MECÁNICOS/COSTO BETAGENERAL(2, 2, 107683940.2, 1316		+0.145	0	0	0	-0.015	0	-0.015	0	-0.
#7	[DESV-02] CONCEPTOS ELÉCTRICOS/COSTO BETAGENERAL(2, 2, 101920938.9, 1245		+0.144	0	0	0	-0.02	0	+0.016	0	-0.
#8	[CONT-11] CARA DE CONCRETO 2a. ETAPA BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 99		+0.139	0	0	0	+0.009	0	-0.019	0	-0.
#9	[DESV-17] CONCRETOS EN TUNEL DE BIFURCACION BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 73		+0.11	0	0	0	+0.029	0.649	+0.591	0	-0.
#10	[GENE-03] CANAL DE LLAMADA [EXCAVACION] BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638, 0.107		+0.152	0	0	0	-0.013	0	+0.066	0	+C
#11	[DESV-13] CONCRETOS EN TUNEL DE BIFURCACION BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 73		+0.105	0	0	0	+0.015	0.651	+0.603	0	-0.
#12	[CONT-09] CARA DE CONCRETO 1a. ETAPA BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 72		+0.103	0	0	0	-0.004	0	+0.024	0	+C
#13	[EXCE-02A] OBRA DE CONTROL [EXCAVACION] BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638, 0.102		+0.084	0	0	0	-0.045	0	-0.042	0	+C
#14	[CONT-01B] PLINTO [EXCAVACION] ZONAS BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638, 0.099		+0.139	0	0	0	-0.03	0	+0.061	0	+C
#15	[GENE-32] EDIFICIO DE CONTROL/COSTO BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 57		+0.086	0	0	0	-0.018	0	+0.069	0	+C
#16	[GENE-30] CONCRETOS/COSTO (Dist.83) BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 52		+0.068	0	0	0	+0.005	0	-0.061	0	+C
#17	[CONT-15B] GALERÍAS DE INSPECCION BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 40		+0.056	0	0	0	+0.076	0	+0.02	0	+C
#18	[SGES-01] SISTEMAS DE GESTION/COSTO BETAGENERAL(2, 2, 29924256.94, 3657		+0.047	0	0	0	+0.037	0	-0.018	0	+C
#19	[CONT-01A] PLINTO [EXCAVACION] ZONAS BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638, 0.043		+0.063	0	0	0	+0.059	0	+0	0	+C
#20	[GENE-04B] ESTRUCTURA DE CONTROL/COSTO BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 26		+0.042	0	0	0	+0.012	0	-0.016	0	+C
#21	[GENE-05] EDIFICIO DE CONTROL/COSTO BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 26		+0.041	0	0	0	+0.011	0	+0.009	0	+C
#22	[CONT-01C] PLINTO [CONCRETOS]/COSTO BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 29		0.04	0	0	0	-0.009	0	-0.024	0	+C
#23	[GENE-26] GALERIA OSCILACION [CONCRETO] BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 25		+0.034	0	0	0	-0.027	0	+0.049	0	-0.
#24	[GENE-05] REVESTIMIENTO DE TUNEL BETAGENERAL(1.361041, 8.641411, 19		+0.033	0	0	0	-0.043	0	-0.032	0	-0.
#25	[CONT-02] CORTINA 1a. ETAPA/COSTO [CONCRETO] BETAGENERAL(2, 2, 18954969.53, 2316		+0.031	0	0	0	+0.001	0	+0.053	0	-0.
#26	[DESV-09] PORTALES Y BORDOS EN EL TUNEL BETAGENERAL(0.1974752, 0.9549638, 0.025		+0.088	0	0	0	+0.031	0.156	+0.143	0	+C

Figura 5.106. P.H. La Yesca – Análisis de Sensibilidad de las Duraciones de las Actividades (Coeficientes de Regresión y Correlación). Palisade @Risk for Project 4.14.

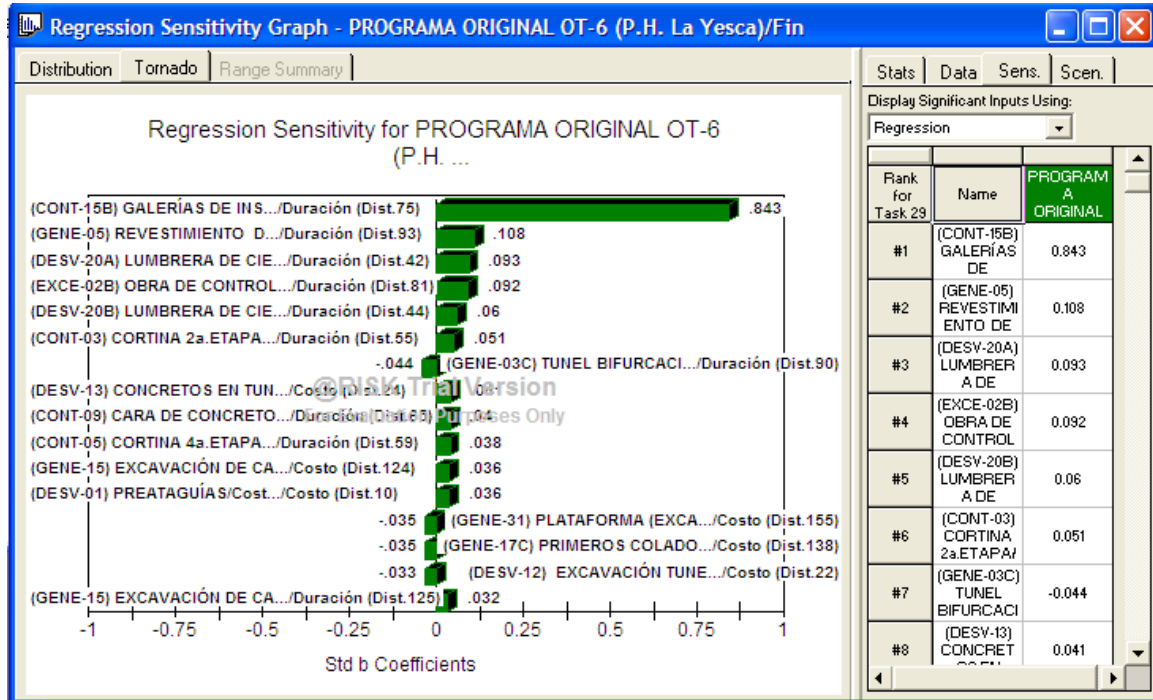


Figura 5.107. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de las Duraciones de las Actividades - Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade @Risk for Project 4.14.

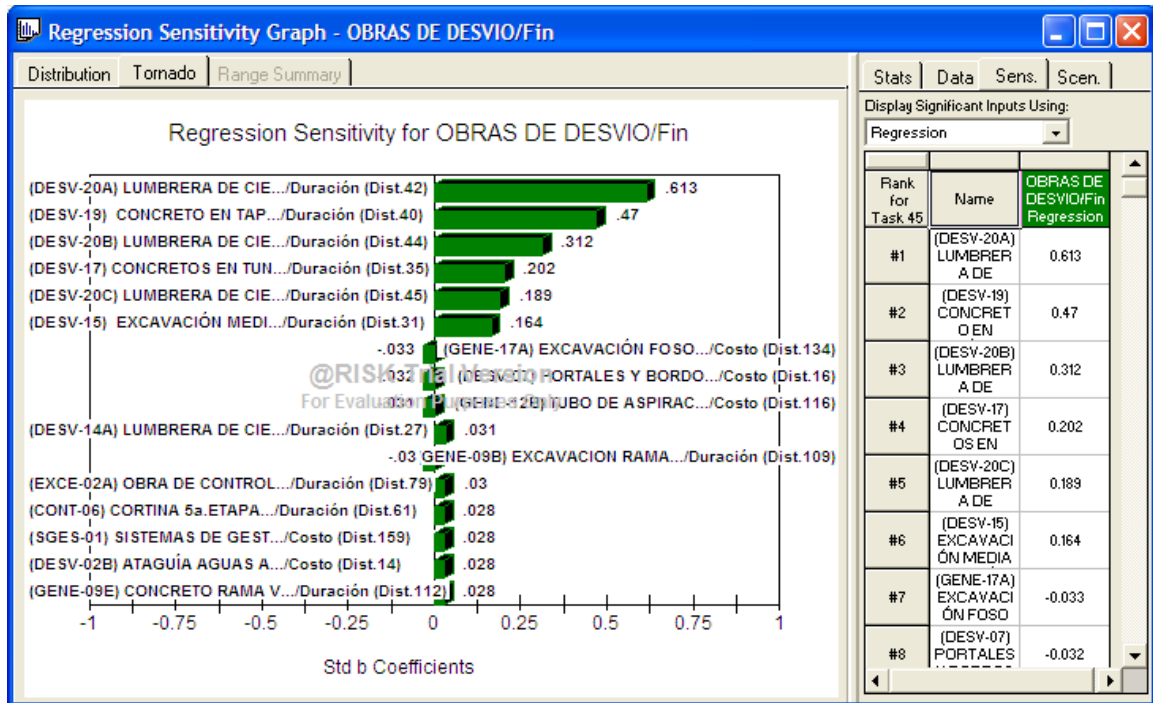


Figura 5.108. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de las Duraciones de las Obras de Desvío -Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

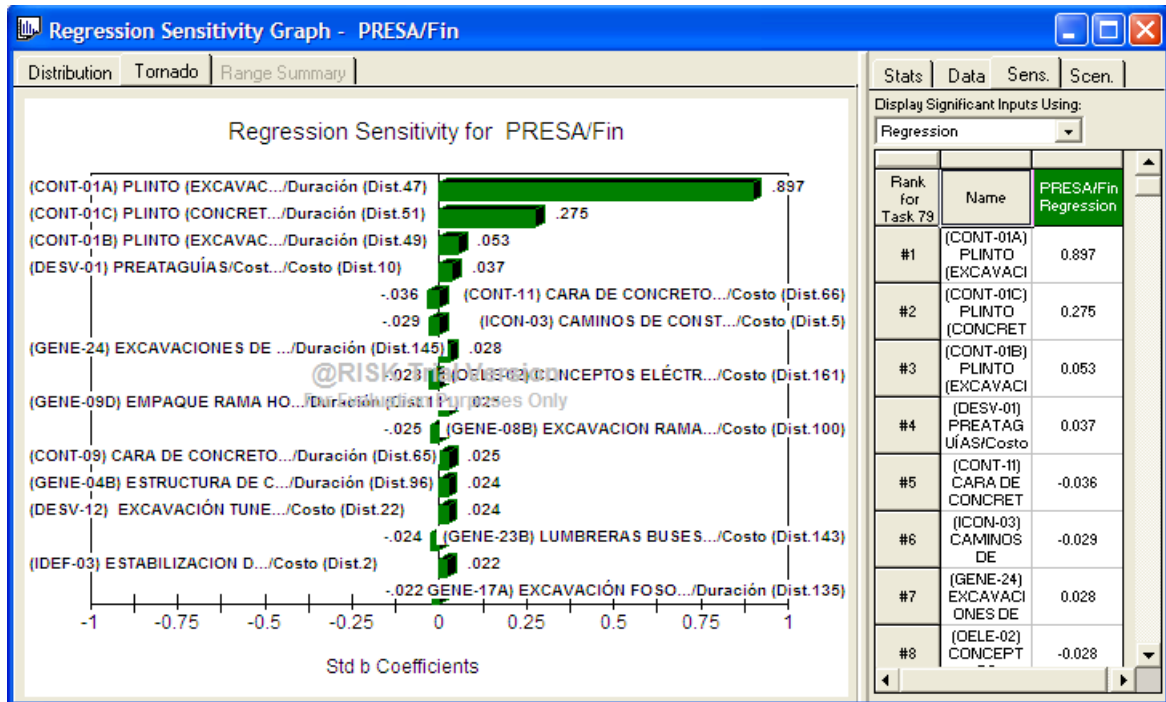


Figura 5.109. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de las Duraciones de las Obras de Contención -Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

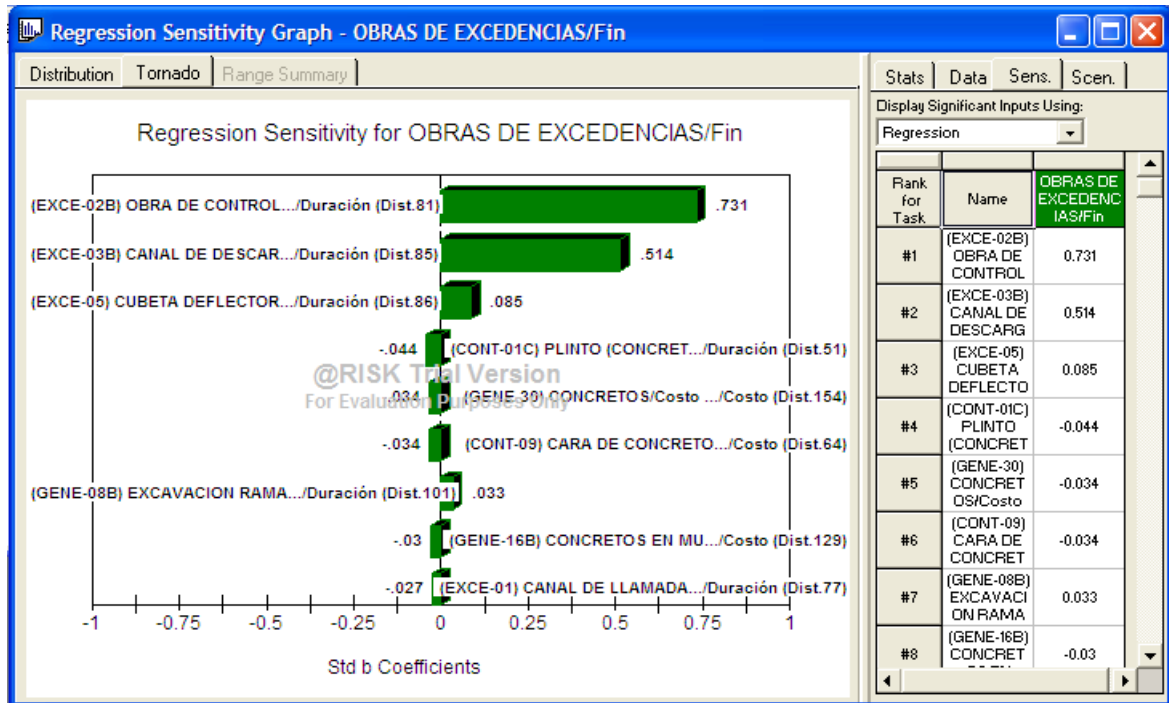


Figura 5.110. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de las Duraciones de las Obras de Excedencias -Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

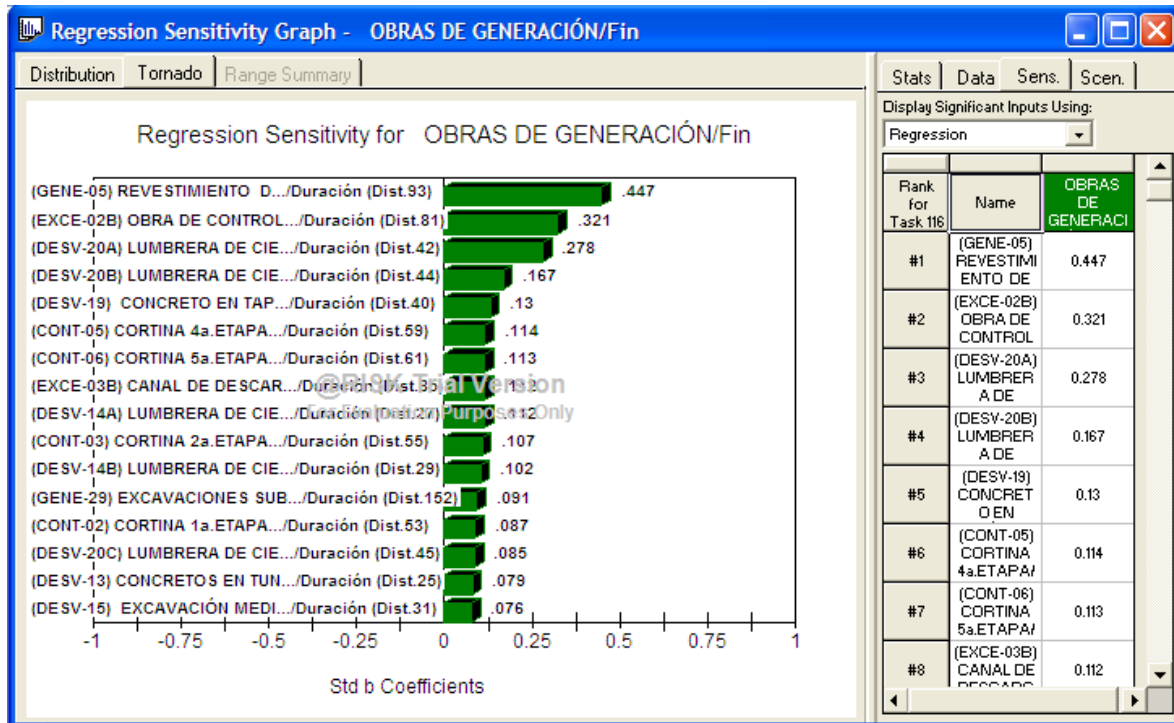


Figura 5.111. P.H. La Yesca – Grafica de correlación de las Duraciones de las Obras de Generación -Coeficientes de Regresión de los Costos-. Palisade ®@Risk for Project 4.14.

A continuación se visualiza la criticidad de las actividades, esto es, el porcentaje en que cada actividad resultado crítica en la simulación que consto de 10'000 iteraciones, lo anterior se observa en una vista del Diagrama de Gantt con los porcentajes, **Figura 5.112** a la **Figura 5.115**.

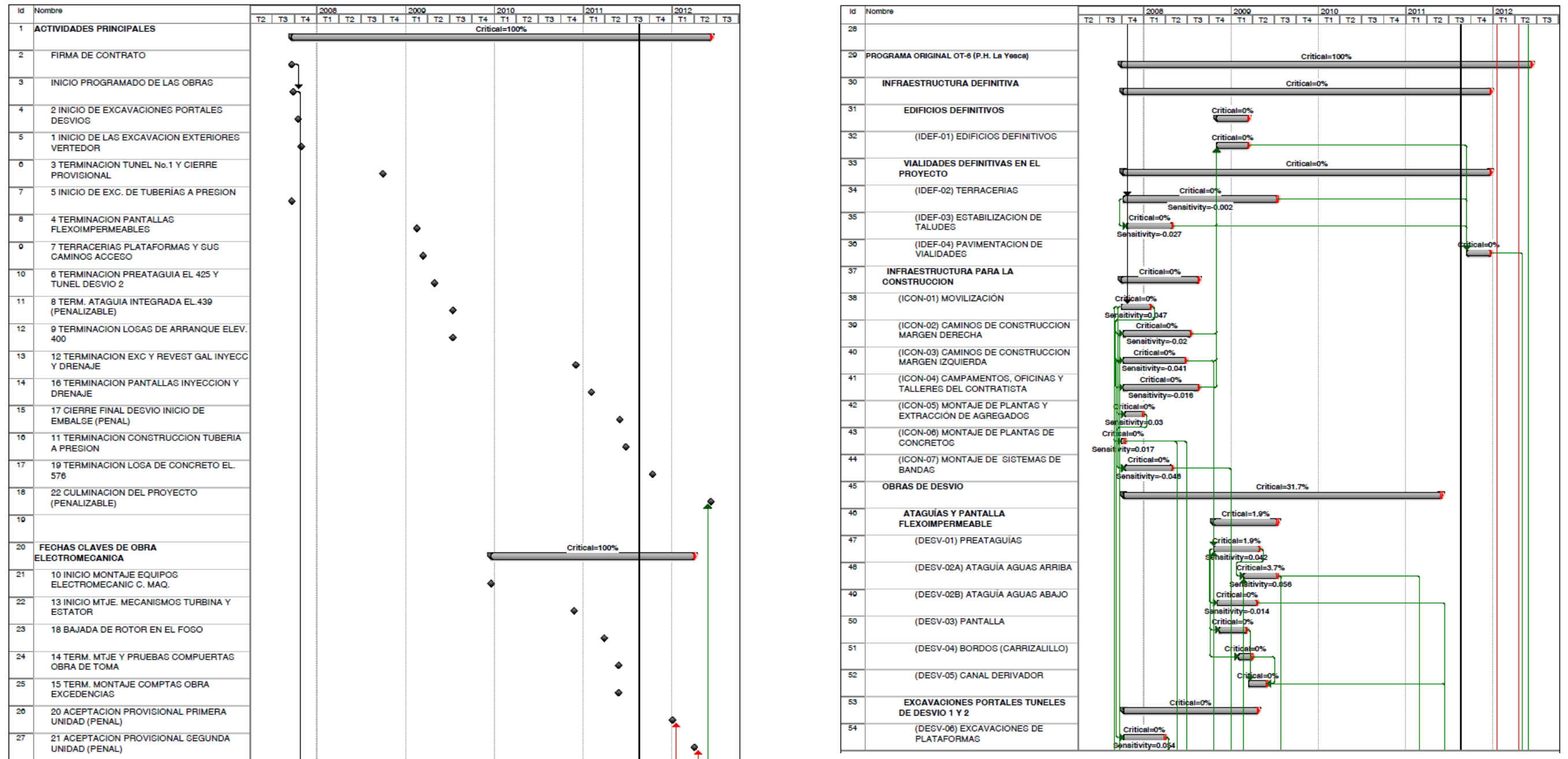


Figura 5.112. P.H. La Yesca – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (1 de 4). Palisade @Risk for Project 4.14.

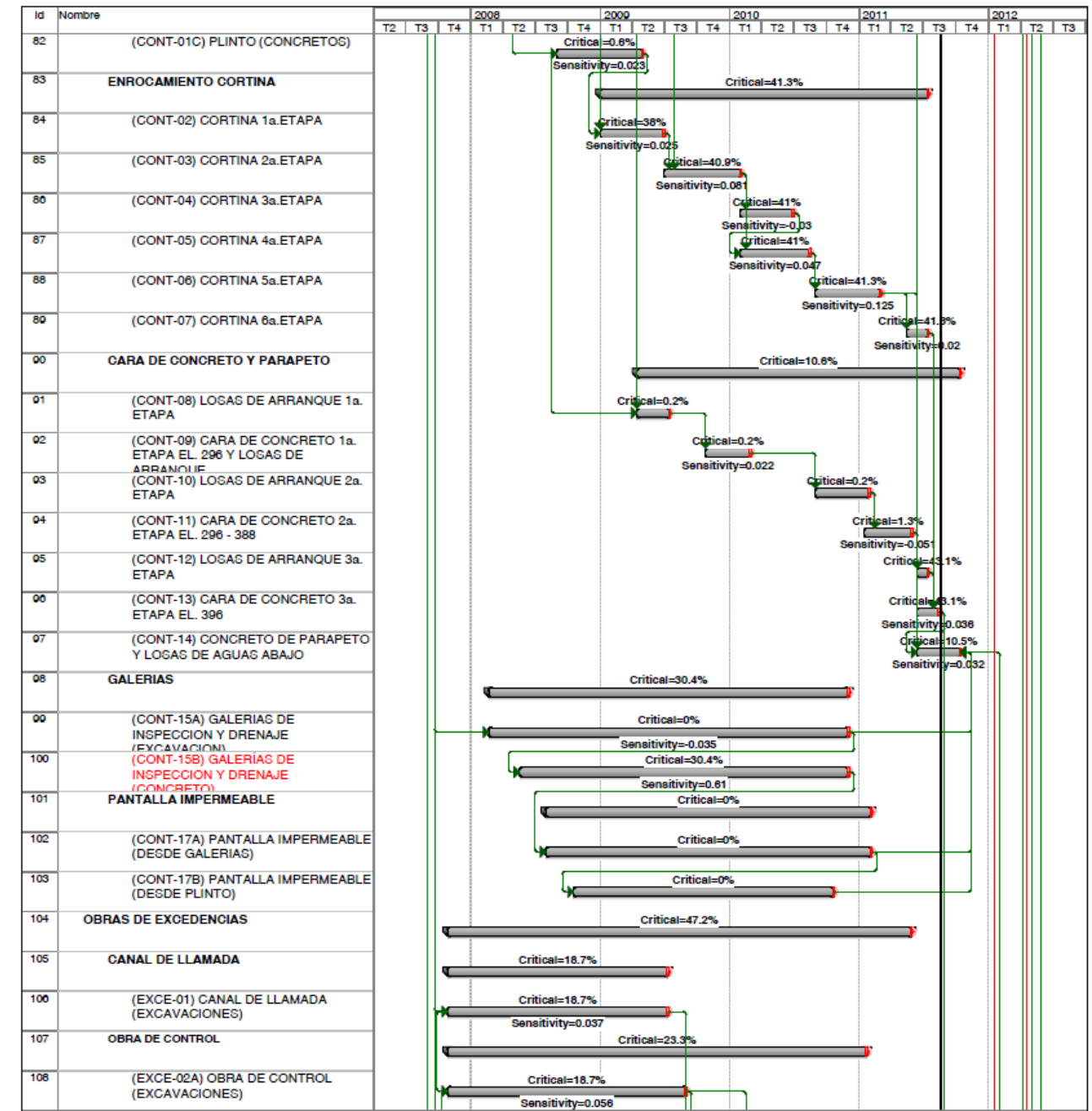
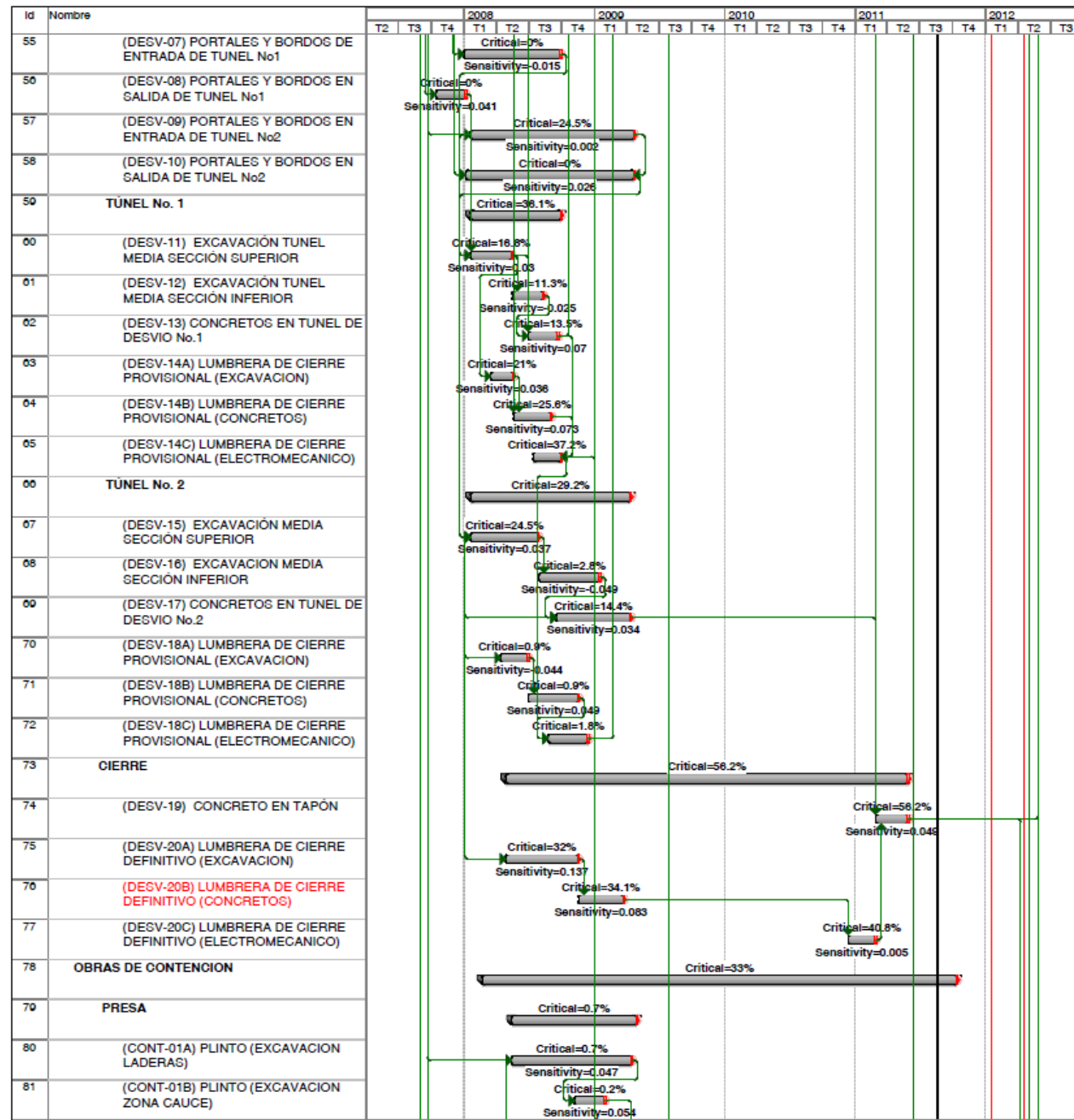


Figura 5.113. P.H. La Yesca – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (2 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

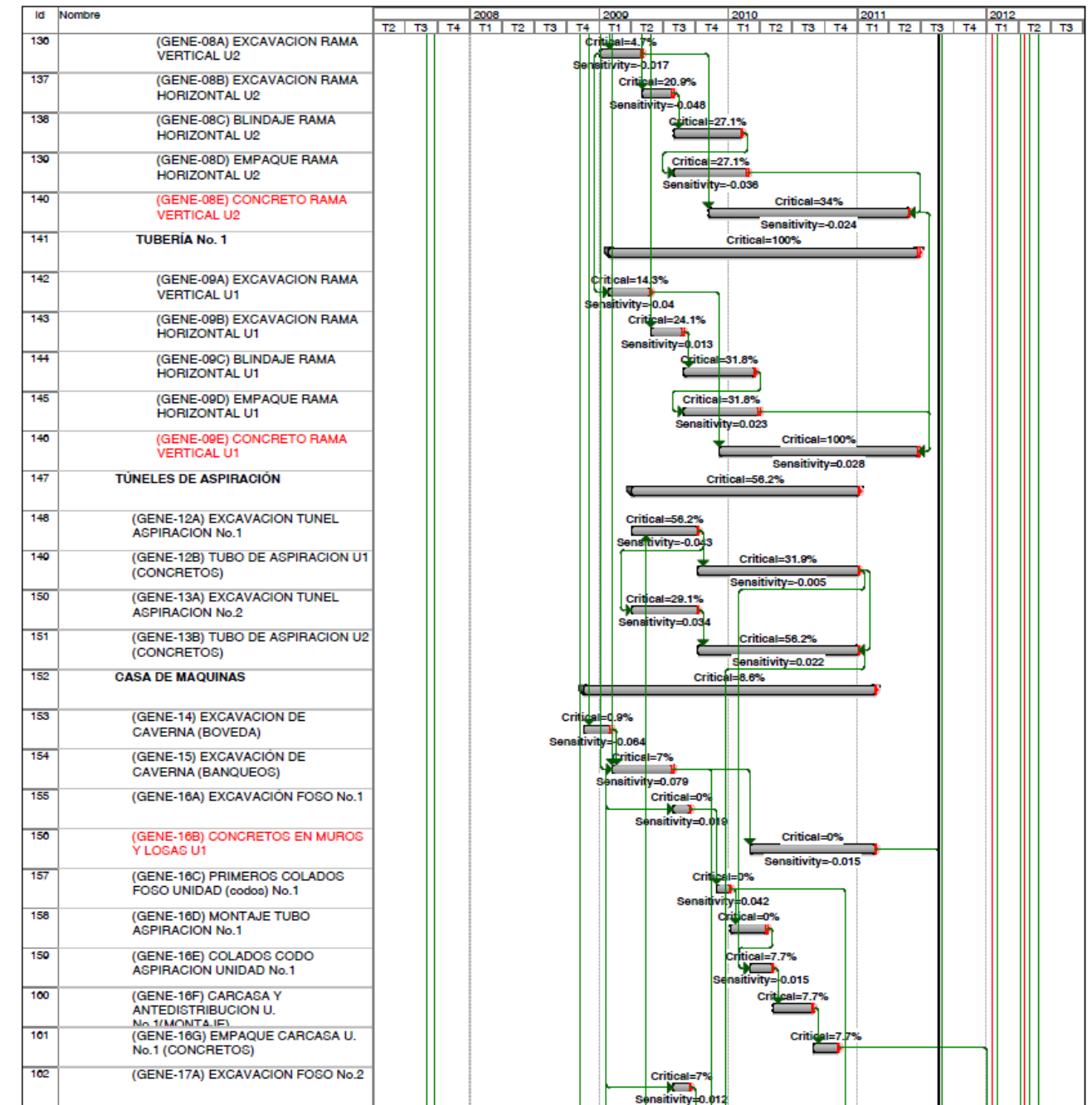
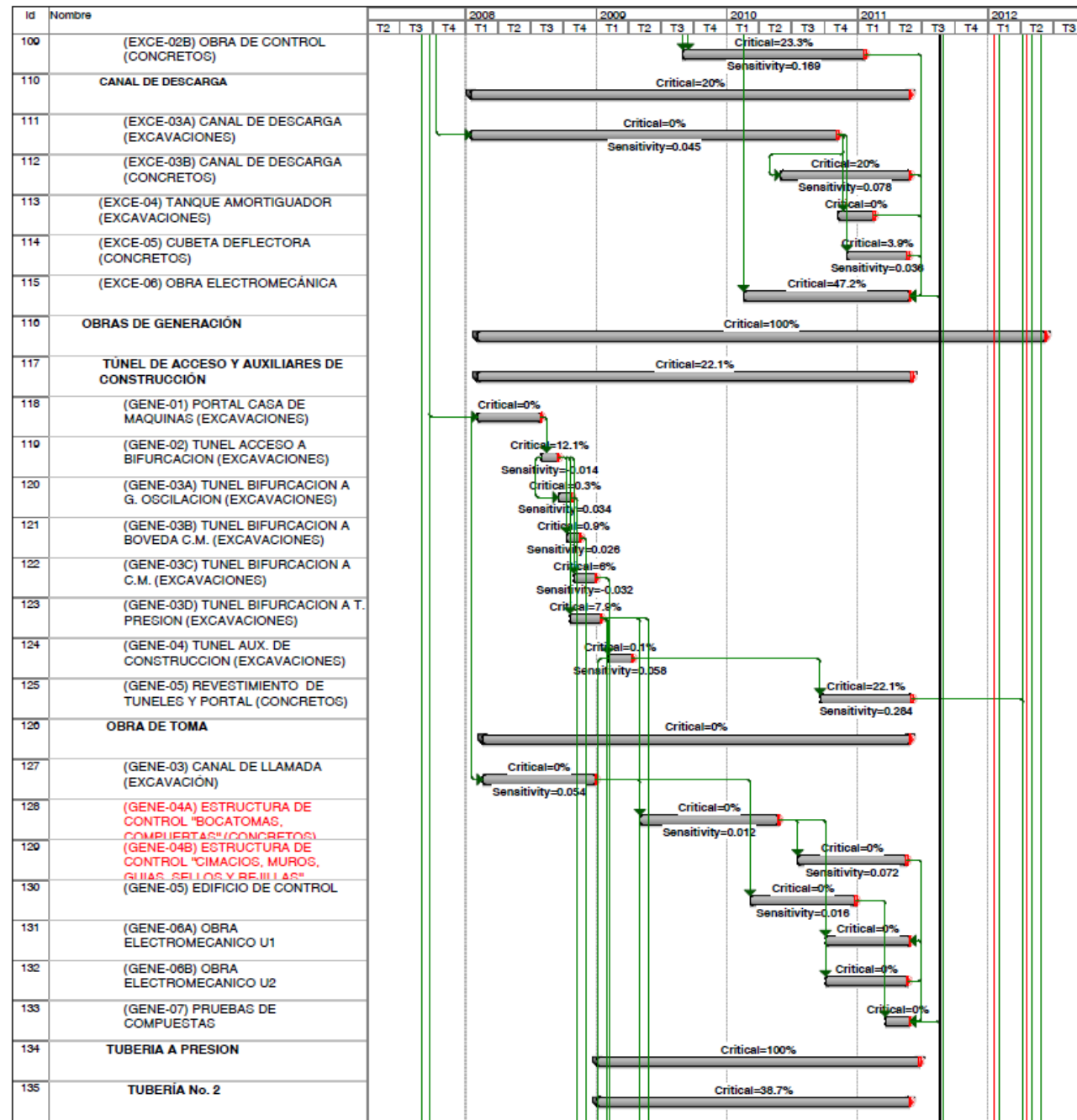


Figura 5.114. P.H. La Yesca – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (3 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

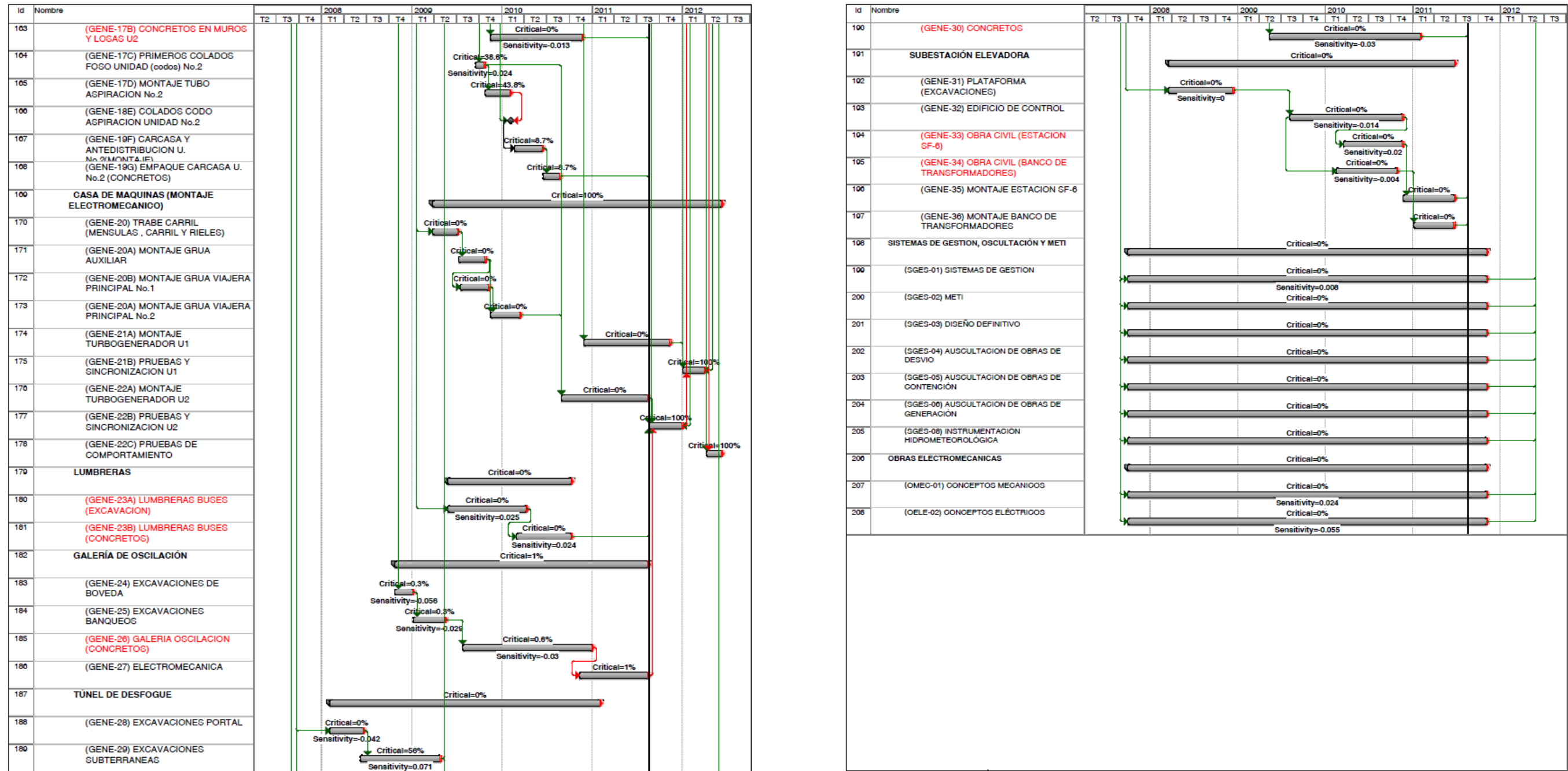


Figura 5.115. P.H. La Yesca – Criticidad de las Duraciones de las Actividades (4 de 4). Palisade ®@Risk for Project 4.14.

5.2.6 Implementación del Método APRAM

En este apartado se procederá de la misma forma que en el subcapítulo anterior para el caso de El Cajón.

DESGLOSE DE LA ESTRUCTURA. Para adoptara la estructura propuesta de WBS expuesta en el apartado **5.2.1.**

ESTIMACION DETALLADA DE LOS COSTOS. El desglose de los costos que componen el presupuesto total se expuso a detalle en el apartado **5.2.2.**, dicho presupuesto ascendió a un total de \$767'667'000.00 USD en una parte a Precio Alzado que asciende a \$645'689'293.16 USD y otra a Precios Unitarios de \$121'977'706.84 USD.

PROYECTO DE PLANIFICACION Y PROGRAMACION. Para la secuencia de actividades, duración y costo, se auxilió del Diagrama de Gantt elaborado en el apartado **5.2.5.1.**, con su Ruta Critica (CPM) para determinar la duración total del proyecto.

Se requiere definir el **umbral de riesgo aceptable toma la decisión y que debe ser determinado por el propietario del proyecto.** Que es la probabilidad que representa el riesgo máximo que el propietario está dispuesto a aceptar en el proyecto.

5.2.6.1. Identificación de las posibles configuraciones del sistema

Para el caso del Proyecto La Yesca ya se ha clarificado un proyecto de Ingeniería Básica como parte de la concepción del Proyecto Hidroeléctrico con una casa de maquinas tipo caverna excavada en la margen derecha, una cortina de enrocamiento con cara de concreto, una obra de Excedencias ubicada en la margen derecha constituida de un vertedor controlado tipo Greager con compuertas Radiales y dos canales, las obras de desvió consiste de dos túneles excavados en la margen izquierda de sección portal y demás obras asociadas como caminos, oficinas, plantas de concretos y agregados, entre otras.

En la presente aplicación solo se realiza el análisis del proyecto a nivel de ingeniería básica, esto es, que ya se han definido los esquemas, dimensiones y capacidades de todas las estructuras que integran el proyecto; Ahora bien, cuando sea el caso lo relacionado a las contingencias que se presentaron durante la construcción.

DETERMINACION DEL PRESUPUESTO RESIDUAL. Para el caso de la Yesca también se determino como Presupuesto Residual igual al 100% del Monto Total del Presupuesto Original, esto es \$767'667'000.00 USD.

5.2.6.2. Identificación de las alternativas de diseño.

En esta etapa se designa el denominado Presupuesto Residual (R), para cada configuración, el cual se determina encontrando la diferencia entre el Presupuesto del Proyecto (TB) y el costo total de la instalación (Devcost). El Presupuesto Residual se refiere a la cantidad de dinero disponible para la mejora de elementos técnicos de las instalaciones y la gestión de las reservas. En este aspecto (R) también parte en gran medida de las políticas del propietario.

5.2.6.3. Identificación de Fallas y Problemas Técnicos y de Gestión, Totales y Parciales.

Las probabilidades de fracaso del proyecto por falla técnica y por gestión, tanto total como parcial, se calcularon para cada configuración haciendo uso del análisis de árbol de fallas. Este análisis implica la identificación de un evento de arriba y secuencial, identificar uniones e intersecciones de sucesos que pueden conducir a la ocurrencia del evento superior (**Paté-Cornell, 1984**). Los gráficos siguientes muestran los árboles de faltas por falta de gestión y un fallo técnico para cada configuración para el caso del P.H. La Yesca, **Figura 5.116** y **Figura 5.117**:



Figura 5.116. P.H. La Yesca – APRAM, Fallas por Gestión.

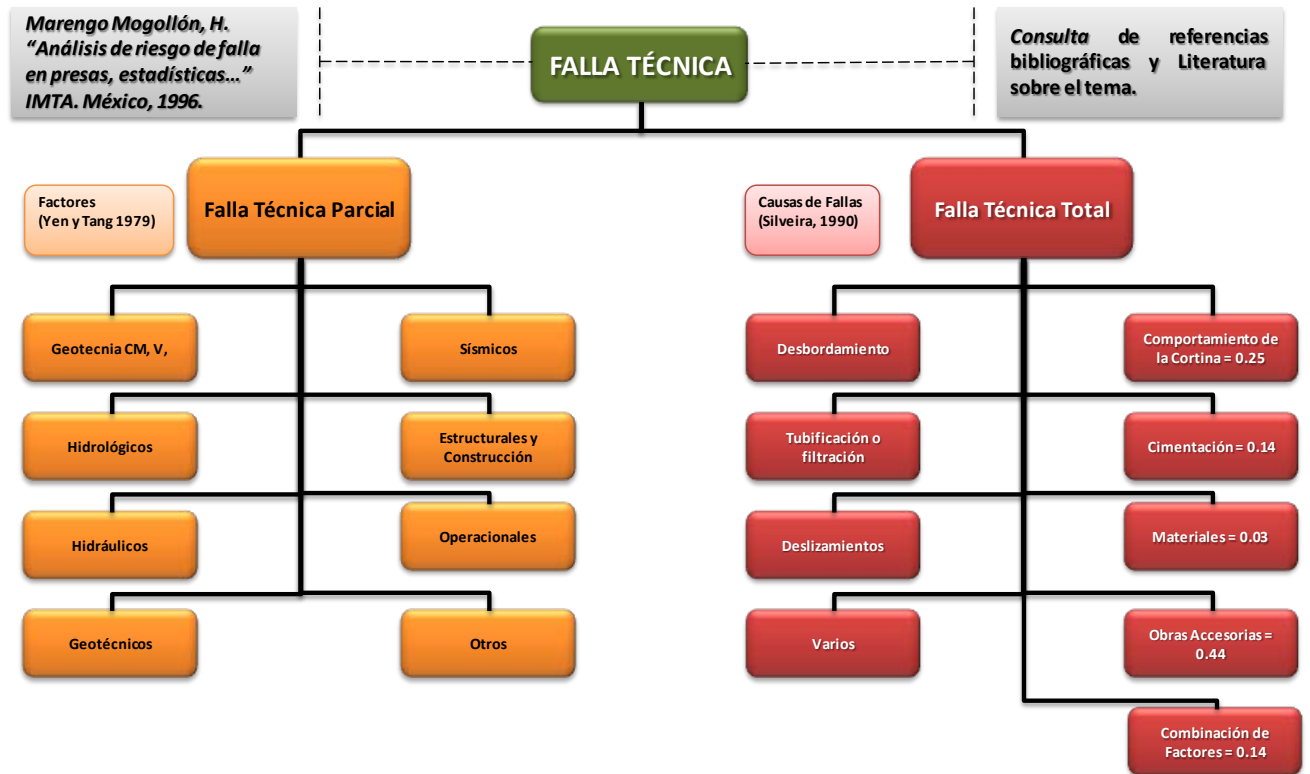


Figura 5.117. P.H. La Yesca – APRAM, Falla Técnica.

5.2.6.4. Optimización y determinación de Presupuesto de Refuerzo técnico.

Se realiza el proceso de optimización para los diferentes valores de α y con ello asignar el presupuesto de refuerzo técnico óptimo. En la siguiente tabla se presenta la optimización para el modelo exponencial para la asignación de probabilidades. **Tabla 5.32.**

P.H. La Yesca - Optimización del diseño Técnico.																							
α	Tech rein = ar	Costo por Falla Técnica Total (PTF)	Costo por Falla Parcial Técnica (PTF)	Falla Técnica Total							Probabilidad por Falla Técnica Total	Falla Técnica Parcial										Probabilidad por Falla Técnica Parcial	E(Técnica)
				Comportamiento de la Cortina = 0.25	Cimentación = 0.14	Materiales = 0.03	Obras Accesorias = 0.44	Combinación de Factores = 0.14	Geotécnica	Hidrológicos		Hidráulicos	Geotécnicos	Sísmicos	Estructurales y Construcción	Operacionales	Otros						
0	p(F=0)	\$0.00	\$1,535,334,000.02	\$230,300,100.00	0.25	0.14	0.03	0.44	0.14	0.00001	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.1	\$1,765,634,100.02		
0.1	p(F=0.1)	\$76,766,700.00	\$1,397,153,940.02	\$209,573,091.00	0.1988	0.113329528	0.0239	0.3499	0.1113	0.000028	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.0994	0.07952	\$1,777,898,459.28		
0.2	p(F=0.2)	\$153,533,400.00	\$1,258,970,880.02	\$198,848,082.00	0.1581	0.0881915	0.0190	0.2752	0.0885	0.000036	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.0790	0.06323	\$915,427,798.68		
0.3	p(F=0.3)	\$230,300,100.00	\$1,120,789,820.01	\$188,119,073.00	0.1257	0.070381767	0.0151	0.2212	0.0704	0.000050	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628	0.05027	\$647,971,191.43		
0.4	p(F=0.4)	\$307,066,800.00	\$982,613,760.01	\$147,392,064.00	0.0999	0.055960694	0.0120	0.1759	0.0560	0.000044	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.03997	\$481,685,075.59			
0.5	p(F=0.5)	\$383,833,500.01	\$844,433,700.01	\$126,665,055.00	0.0795	0.044944669	0.0095	0.1398	0.0445	0.000033	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.0397	0.03178	\$308,632,307.54		
0.6	p(F=0.6)	\$460,600,200.01	\$706,253,640.01	\$105,938,046.00	0.0632	0.033777648	0.0076	0.1112	0.0354	0.000023	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316	0.02527	\$205,238,795.65		
0.7	p(F=0.7)	\$537,366,900.01	\$568,073,580.01	\$85,211,037.00	0.0502	0.028128844	0.0060	0.0884	0.0281	0.000020	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.02009	\$131,258,150.14		
0.8	p(F=0.8)	\$614,133,600.01	\$429,893,520.01	\$64,484,028.00	0.0399	0.022365204	0.0048	0.0703	0.0224	0.000010	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.01598	\$78,977,888.04			
0.9	p(F=0.9)	\$690,900,300.01	\$297,713,460.00	\$43,757,019.00	0.0318	0.017782702	0.0038	0.0559	0.0178	0.000001	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.01270	\$42,611,224.55			
1	p(F=1)	\$767,667,000.01	\$153,533,400.00	\$23,030,010.00	0.025	0.014	0.003	0.044	0.014	0.000001	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125	0.01010	\$158,886,417.95			

Tabla 5.32. P.H. La Yesca – APRAM, Optimización del refuerzo técnico.

5.2.6.5. Optimización y determinación de la mejor respuesta a los problemas de administración

Para la determinación de la reserva de la gestión óptima, se utiliza la misma optimización no lineal utilizada para la optimización del presupuesto técnico de reserva. El costo esperado de fracaso esta nuevamente enfocado a reducir al mínimo la optimización. **Tabla 5.33.**

P.H. La Yesca - Optimización por Fallas por Gestión. Modelo Exponencial.																	
α	Mgmt res=(1- α)r	Costo por Falla Total por Gestion (PMF)	Costo por Falla Parcial por Gestion (PMF)	Falla Total por Gestión (Simulación Monte Carlo)					Falla Parcial por Gestión (Simulación Monte Carlo)					Probabilidad de Falla Parcial por Gestión	E(Gestion)		
				Sobrecostos substanciales inesperados mayores al 25% (PA+PU)	Sobrecostos substanciales por factores económicos	Cortina, no es posible realizar el cierre en el 2012	Vertedor, no es posible realizar el cierre en el 2012	Estructuras, no es posible realizar el cierre en el 2012	Probabilidad de Falla Total por Gestion	Sobrecostos inesperados menores al 25% (PA+PU)	Sobrecostos de insumos por factores económicos	Construcción de la Cortina -cierre tardío en el 2012 (Marzo, 2012)	Construcción del Vertedor, cierre tardío en el 2012 (Marzo, 2012)			Retraso de Estructuras necesarias para el cierre	
0	p(F=0)	\$767,667,000.01	\$767,667,000.01	\$76,766,700.00	0.05	0.01	0.23	0.17	0.23	0.02300	0.98	0.8	0.55	0.348	0.55	0.05555	\$71,718,393.06
0.1	p(F=0.1)	\$690,900,300.01	\$480,089,076.00	\$110,099,713.22	0.0064	0.0013	0.0292	0.0216	0.0292	0.02921	0.1245	0.1016	0.0699	0.0442	0.0699	0.06986	\$76,309,226.60
0.2	p(F=0.2)	\$614,133,600.01	\$432,607,738.82	\$100,021,718.61	0.0080	0.0016	0.0367	0.0272	0.0367	0.03674	0.1566	0.1278	0.0879	0.0566	0.0879	0.08786	\$86,482,170.85
0.3	p(F=0.3)	\$537,366,900.01	\$385,126,401.63	\$89,043,725.99	0.0100	0.0020	0.0462	0.0342	0.0462	0.04621	0.1969	0.1607	0.1105	0.0699	0.1105	0.11051	\$96,830,606.47
0.4	p(F=0.4)	\$460,600,200.01	\$337,645,064.44	\$78,065,732.38	0.0126	0.0025	0.0581	0.0430	0.0581	0.05812	0.2476	0.2022	0.1390	0.0879	0.1390	0.13898	\$106,769,410.62
0.5	p(F=0.5)	\$383,833,500.01	\$290,163,727.25	\$67,087,738.76	0.0159	0.0032	0.0731	0.0540	0.0731	0.07310	0.3115	0.2543	0.1748	0.1106	0.1748	0.17480	\$115,400,218.59
0.6	p(F=0.6)	\$307,066,800.00	\$242,682,390.07	\$56,109,745.15	0.0200	0.0040	0.0919	0.0680	0.0919	0.09194	0.3917	0.3198	0.2198	0.1391	0.2198	0.21985	\$121,388,863.18
0.7	p(F=0.7)	\$230,300,100.00	\$195,201,052.88	\$45,131,751.53	0.0251	0.0050	0.1156	0.0855	0.1156	0.11563	0.4927	0.4022	0.2765	0.1749	0.2765	0.27650	\$122,800,407.28
0.8	p(F=0.8)	\$153,533,400.00	\$147,719,715.69	\$34,153,757.92	0.0316	0.0063	0.1454	0.1075	0.1454	0.14542	0.6196	0.5058	0.3478	0.2200	0.3478	0.34775	\$116,878,111.33
0.9	p(F=0.9)	\$76,766,700.00	\$100,238,378.51	\$23,175,764.30	0.0398	0.0080	0.1829	0.1352	0.1829	0.18290	0.7793	0.6362	0.4374	0.2767	0.4374	0.43737	\$89,748,374.07
1	p(F=1)	\$0.00	\$52,757,041.32	\$12,197,770.68	0.05	0.01	0.23	0.17	0.23	0.23	0.98	0.8	0.55	0.348	0.55	0.55	\$66,018,545.73

Tabla 5.33. P.H. La Yesca – APRAM, Optimización del refuerzo por gestión.

5.2.6.6. Selección de la Alternativa Óptima y asignación del presupuesto residual que minimiza el Riesgo Total

El paso final implica la integración de las dos optimizaciones independientes a fin de determinar la asignación óptima del presupuesto residual. Se determina la fracción del presupuesto residual que maximiza la utilidad (α).

Este paso también permite la selección de la mejor alternativa minimizando el costo esperado de fracaso. Ahora bien, se pondera que el orden en que puede ocurrir un fallo técnico y por gestión, puede ocurrir al determinar lo necesario para complementar este pasó.

Del cálculo anterior se obtiene que la opción optima es para un presupuesto residual con un $\alpha=0.9$ el cual corresponde a **\$142'359'598.62 USD**, recordando que esta selección óptima corresponde a la asignación de riesgo residual de presupuesto que Minimiza el fracaso total.

P.H. La Yesca - Seleccione óptimo diseño que maximiza utilidad esperada.									
α	Tech rein = ar	Mgmt res=(1- α)r	C(TTF)	C(PTF)	C(TMF)	C(PMF)	E(Técnico)	E(Gestión)	E(Optimo)
0	\$0.00	\$767,667,000.01	\$1,535,334,000.02	\$230,300,100.00	\$767,667,000.01	\$76,766,700.00	\$1,765,634,100.02	\$71,718,393.06	\$1,837,352,493.08
0.1	\$76,766,700.00	\$690,900,300.01	\$1,397,153,940.02	\$209,573,091.00	\$480,089,076.00	\$110,999,713.22	\$1,277,698,459.28	\$76,309,226.60	\$1,354,007,685.87
0.2	\$153,533,400.00	\$614,133,600.01	\$1,258,973,880.02	\$188,846,082.00	\$432,607,738.82	\$100,021,719.61	\$915,427,090.69	\$86,482,170.85	\$1,001,909,261.53
0.3	\$230,300,100.00	\$537,366,900.01	\$1,120,793,820.01	\$168,119,073.00	\$385,126,401.63	\$89,043,725.99	\$647,971,191.43	\$96,830,608.47	\$744,801,799.91
0.4	\$307,066,800.00	\$460,600,200.01	\$982,613,760.01	\$147,392,064.00	\$337,645,064.44	\$78,065,732.38	\$451,685,075.59	\$106,769,410.62	\$558,454,486.21
0.5	\$383,833,500.01	\$383,833,500.01	\$844,433,700.01	\$126,665,055.00	\$290,163,727.25	\$67,087,738.76	\$308,632,307.54	\$115,400,218.59	\$424,032,526.13
0.6	\$460,600,200.01	\$307,066,800.00	\$706,253,640.01	\$105,938,046.00	\$242,682,390.07	\$56,109,745.15	\$205,238,795.65	\$121,388,863.18	\$326,627,658.83
0.7	\$537,366,900.01	\$230,300,100.00	\$568,073,580.01	\$85,211,037.00	\$195,201,052.88	\$45,131,751.53	\$131,258,150.14	\$122,800,407.28	\$254,058,557.42
0.8	\$614,133,600.01	\$153,533,400.00	\$429,893,520.01	\$64,484,028.00	\$147,719,715.69	\$34,153,757.92	\$78,977,888.04	\$116,878,111.33	\$195,855,999.36
0.9	\$690,900,300.01	\$76,766,700.00	\$291,713,460.00	\$43,757,019.00	\$100,238,378.51	\$23,175,764.30	\$42,611,224.55	\$99,748,374.07	\$142,359,598.62
1	\$767,667,000.01	\$0.00	\$153,533,400.00	\$23,030,010.00	\$52,757,041.32	\$12,197,770.68	\$155,856,417.59	\$66,018,545.73	\$221,874,963.32

Tabla 5.34. P.H. La Yesca – APRAM, Optimización de la alternativa.

La **Figura 5.118** resulta de la optimización del presupuesto residual para reforzar las partes técnicas y por gestión de forma independiente. Se identifica que las probabilidades de falla decrecen en la medida que se invierten más recursos del presupuesto residual.

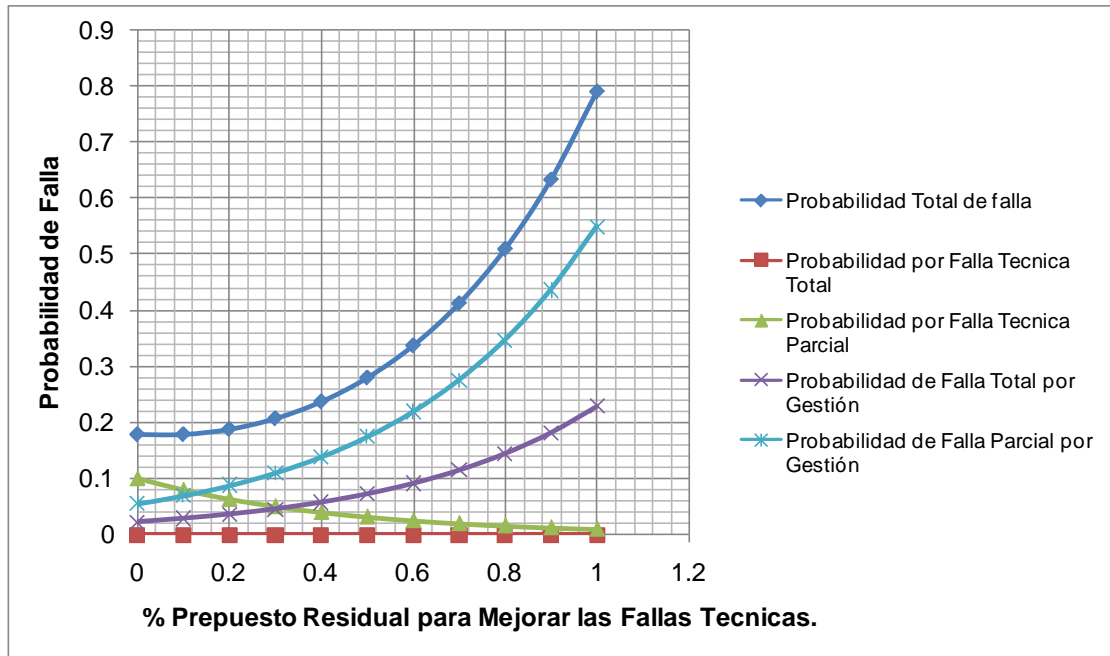


Figura 5.118. P.H. La Yesca – APRAM, Probabilidad de Diferentes Estados de Falla versus Fracción del Presupuesto Residual.

Por otro lado en la **Figura 5.118** se puede analizar si las probabilidades correspondientes al a la configuración óptima es mayor que el umbral de riesgo aceptable, en la medida de lo anterior se puede determinar qué cantidad del presupuesto tiene que ser incrementado con el propósito de alcanzar los niveles de riesgo esperados. Como se puede visualizar el análisis por medio del método APRAM sirve para sensibilizar sobre los costos esperados de falla, las probabilidades y el incremento del presupuesto

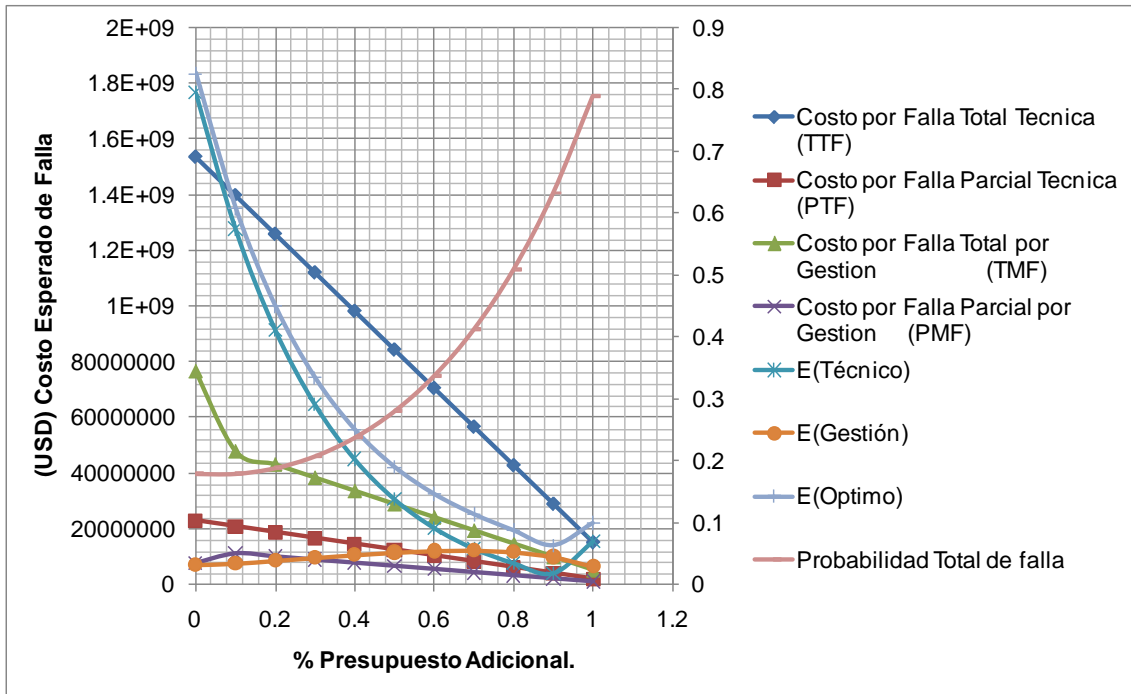


Figura 5.119. P.H. La Yesca – APRAM, %Presupuesto Adicional versus Costo

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CAPITULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión de resultados se expondrán de acuerdo al desarrollo que siguió el presente trabajo, esto es, los resultados de cada uno de los métodos aplicados para el caso del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón y posteriormente los resultados obtenidos para el caso del Proyecto La Yesca, sin olvidar que para este último se aplicaron parámetros obtenidos previamente en los análisis aplicados a El Cajón.

6.1. Proyecto El Cajón

6.1.1. Pareto

Con relación al análisis de los principales tipos de conceptos (**Tabla 5.2** y **Figura 5.5**) se observa que el 71.61% del presupuesto del Proyecto está integrado por los conceptos de Concretos, Enrocamiento, Eléctricos, Mecánicos, Excavaciones a Cielo Abierto y Subterráneo; cumpliéndose con ello el Principio de Pareto, cuestión importante para enfocar la atención sobre los conceptos y con ello fijar con éxito al control del proyecto. Para su implementación en la estructura del WBS y el correspondiente diagrama de Gantt.

6.1.2. Criticidad de Actividades

Con la información que se obtiene de la Ruta Critica y del Análisis de Criticidad del Programa de Construcción (Diagrama de Gantt). La Ruta Critica (**Figura 5.18** y **Figura 5.19**) muestra como actividades Críticas las siguientes:

- **(ICON-01) MOVILIZACIÓN**
- **(DESV-06) EXCAVACIONES DE PLATAFORMAS**
- **(DESV-07) PORTALES Y BORDOS DE ENTRADA DE TUNEL No1**
- **(DESV-08) PORTALES Y BORDOS EN SALIDA DE TUNEL No1**
- **(DESV-13) CONCRETOS EN TUNEL DE DESVIO No.1**
- **(CONT-02) CORTINA 1a.ETAPA**
- **(CONT-03) CORTINA 2a.ETAPA**
- **(CONT-04) CORTINA 3a.ETAPA**

Como complemento a esta información, resulta útil la información que arroja la simulación con la criticidad de las actividades, esto es, la frecuencia en que las actividades resultan críticas (**Figura 5.56** a la **Figura 5.59**).

P.H. EL CAJÓN - CRITICALIDAD DE ACTIVIDADES	CRÍTICO
INFRAESTRUCTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN	100%
(ICON-03) CAMINOS DE CONSTRUCCIÓN MARGEN IZQUIERDA	52.70%
(DESV-02A) ATAGUÍA AGUAS ARRIBA	71.50%
OBRA DE DESVÍO	53.70%
EXCAVACIONES PORTALES TÚNELES DE DESVÍO 1 Y 2	40.40%
(DESV-06) EXCAVACIONES DE PLATAFORMAS	40.40%
(DESV-07) PORTALES Y BORDOS DE ENTRADA DE TUNEL No. 1	40.40%
(DESV-08) PORTALES Y BORDOS EN SALIDA DE TÚNEL No.1	40.40%
TÚNEL No. 1	31.10%
(DESV-11) EXCAVACIÓN TÚNEL MEDIA SECCIÓN SUPERIOR	29.90%
(DESV-12) EXCAVACIÓN TÚNEL MEDIA SECCIÓN INFERIOR	72.20%
(DESV-13) CONCRETOS EN TÚNEL DE DESVÍO No. 1	90.90%
TÚNEL No. 2	33.30%
(DESV-15) EXCAVACIÓN MEDIA SECCIÓN SUPERIOR	33.30%
(DESV-18A) LUMBRERA DE CIERRE PROVISIONAL (EXCAVACIÓN)	51.20%
(DESV-18B) LUMBRERA DE CIERRE PROVISIONAL (CONCRETOS)	68.00%
OBRAS DE CONTENCIÓN	0.90%
(CONT-02) CORTINA 1a. ETAPA	53.60%
(CONT-03) CORTINA 2a. ETAPA	87.60%
(CONT-04) CORTINA 3a. ETAPA	100%
OBRAS DE EXCEDENCIAS	29.30%
(EXCE-02A) OBRA DE CONTROL (EXCAVACIONES)	11.40%
(EXCE-02B) OBRA DE CONTROL (CONCRETOS)	14.80%
(EXCE-03B) CANAL DE DESCARGA (CONCRETOS)	20.30%

Tabla 6.1. P.H. El Cajón – Criticidad de las Actividades (1 de 2).

P.H. EL CAJÓN - CRITICALIDAD DE ACTIVIDADES	CRÍTICO (%)
OBRAS DE GENERACIÓN	97%
TÚNEL DE ACCESO Y AUXILIARES DE CONSTRUCCIÓN	38.20%
OBRA DE TOMA	0.00%
TUBERÍA A PRESIÓN	15.60%
TUBERÍA No.1	28.90%
(GENE-08D) EMPAQUE RAMA HORIZONTAL U1	28.90%
TUBERÍA No.2	15.60%
(GENE-09D) EMPAQUE RAMA HORIZONTAL U2	15.60%
TUNELES DE ASPIRACIÓN	5.90%
CASA DE MÁQUINAS	12.60%
(GENE-15) EXCAVACIÓN DE CAVERNA (BANQUEOS)	35.60%
(GENE-16A) EXCAVACIÓN FOSO No. 1	21.80%
(GENE-16C) PRIMEROS COLADOS FOSO UNIDAD No. 1	31.40%
CASA DE MÁQUINAS (MONTAJE ELECTROMECAÁNICO)	88.00%
(GENE-21A) MONTAJE TURBOGENERADOR U1	31.40%
(GENE-21B) PRUEBAS Y SINCRONIZACIÓN	96.90%
TUNEL DE DESFOGUE	21.20%
SUBESTACIÓN ELEVADORA	12.30%

Tabla 6.2. P.H. El Cajón – Criticidad de las Actividades (2 de 2).

6.1.3. Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Financiera.

Del análisis de sensibilidad para determinar el incremento máximo en las inversiones que permitan seguir cumpliendo con los lineamientos de siguientes:

- i) Relación Beneficio/Costo igual o mayor a 1.
- ii) Resultado neto de operación, año con año, mayor que los pagos financieros.

La Yesca (incluyendo red asociada) conforme a las Tablas

Sensibilidad al Incremento de la Inversión. Cumpliendo los lineamientos, el incremento en la inversión (**Tabla 5.7**) resulta en 9.8%, con una relación Beneficio/Costo igual a 1.21.

Sensibilidad al Incremento en el Periodo de Construcción. Los incrementos en la inversión para cada incremento en el periodo de construcción resultaron los siguientes (**Tabla 6.3**):

CENTRAL GENERADORA (INCLUYENDO RED ASOCIADA DE TRANSMISIÓN)			
INCREMENTO EN EL PERIODO CONSTRUCTIVO (MESES)	INCREMENTO EN LA INVERSIÓN (%)	BENEFICIO/COSTO	FLUJO NETO DEL PROYECTO (MILES USD '2013')
2	1.67	1.3	10,416.26
4	3.36	1.28	8,244.96
6	5.08	1.26	6,037.47
10	8.62	1.22	1,511.50
12	10.43	1.2	-808.21

Tabla 6.3. P.H. El Cajón – Sensibilidad al Incremento en el Periodo de Construcción.

Sensibilidad a la Tasa de Descuento. Para este importante indicador del proyecto (**Tabla 6.4**) solo se observa que repercute en la relación Beneficio/Costo.

TASA DE DESCUENTO	BENEFICIO/COSTO
9%	1.40
10%	1.33
11%	1.27
12%	1.21
13%	1.16

Tabla 6.4. P.H. El Cajón – Sensibilidad a la Tasa de Descuento.

Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas. En este rubro la mayor disminución en las tarifas que soportaría el proyecto sin dejar de ser rentable (**Tabla 5.10**) resulta ser del 91% al cual corresponde el límite del Flujo Neto del Proyecto igual a cero y una correspondiente relación Beneficio/Costo de 1.21.

6.1.3.1 Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros.

Se presenta la grafica que sintetiza toda la información de la sensibilidad de los parámetros; incremento en las inversiones, al incremento en el periodo de construcción, a la tasa de descuento y la disminución de las tarifas.

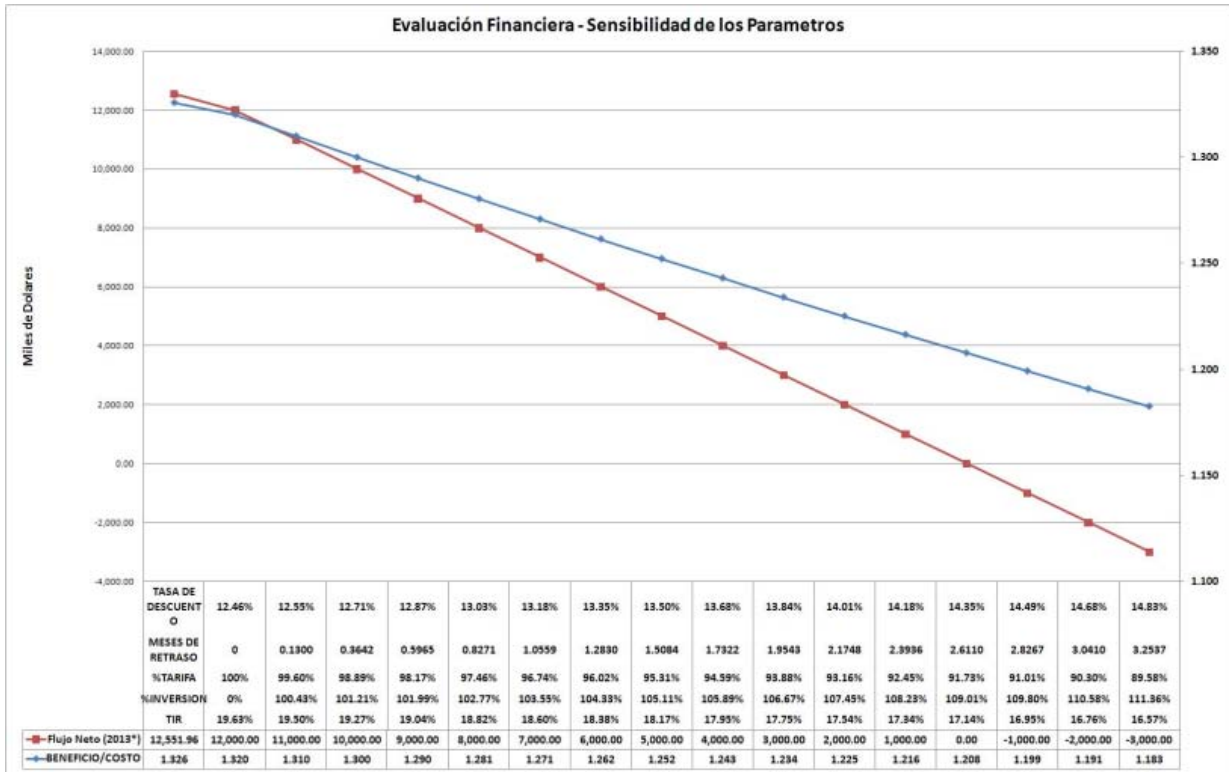


Figura 6.1. P.H. El Cajón – Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros.

6.1.4. Simulación Monte Carlo.

Del cúmulo de información que arroja el modelo desarrollado y sometido a una simulación Monte Carlo, con la generación de 10´000 números aleatorios. Se destacan dos rubros principal de interés, el primero se refiere a la programación y correspondiente fecha de culminación del Proyecto y el segundo al costo total, así como las actividades que mas impactan en cada uno de estos dos aspecto.

Con relación a la programación, de los histogramas de las actividades principales, las fechas de los hitos de mayor interés resultan:

Unidad No.1 el 12 de marzo del 2007

Unidad No.2 el 21 de febrero del 2007

Culminación del Proyecto el 26 de noviembre del 2008

Las diez actividades que más impactan en la duración total del proyecto, de acuerdo a su ubicación y duración particular en el programa general, sus coeficientes de regresión y correlación son los siguientes:

P.H. EL CAJÓN - ACTIVIDADES CON MAYOR IMPACTO EN LA DURACIÓN TOTAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
(EXCE-01A) CANAL DE LLAMADA (EXCAVACIONES)	0.427
(EXCE-03B) CANAL DE DESCARGA (CONCRETOS)	0.406
(EXCE-03A) CANAL DE DESCARGA (EXCAVACIONES)	0.293
(EXCE-02B) OBRA DE CONTROL (CONCRETOS)	0.172
(DESV-13) CONCRETOS EN TÚNEL DE DESVÍO No. 1	0.134
(DESV-17) CONCRETOS EN TUNEL DE DESVIO No. 2	0.176
(CONT-01C) PLINTO (CONCRETOS)	0.133
(GENE-03) CANAL DE LLAMADA (EXCAVACIÓN)	0.136
(OELE-02) CONCEPTOS ELÉCTRICOS	0.17
(OMEC-01) CONCEPTOS MECÁNICOS	0.065

Tabla 6.5. P.H. El Cajón – Actividades con mayor impacto en la duración del proyecto.

Ahora con respecto al costo total del proyecto, la simulación obtuvo un promedio de **\$830'3948**. De igual forma las diez actividades que mas impactan en el costo tal del proyecto son las siguientes:

P.H. EL CAJÓN - ACTIVIDADES CON MAYOR IMPACTO EN EL PRESUPUESTO TOTAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
(EXCE-01A) CANAL DE LLAMADA (EXCAVACIONES)	0.427
(EXCE-03B) CANAL DE DESCARGA (CONCRETOS)	0.406
(EXCE-03A) CANAL DE DESCARGA (EXCAVACIONES)	0.293
(EXCE-02B) OBRA DE CONTROL (CONCRETOS)	0.172
(DESV-13) CONCRETOS EN TÚNEL DE DESVÍO No. 1	0.134
(DESV-17) CONCRETOS EN TUNEL DE DESVIO No. 2	0.176
(CONT-01C) PLINTO (CONCRETOS)	0.133
(GENE-03) CANAL DE LLAMADA (EXCAVACIÓN)	0.136
(OELE-02) CONCEPTOS ELÉCTRICOS	0.17
(OMEC-01) CONCEPTOS MECÁNICOS	0.065

Tabla 6.6. P.H. El Cajón – Actividades con mayor impacto en el Presupuesto Total del Proyecto.

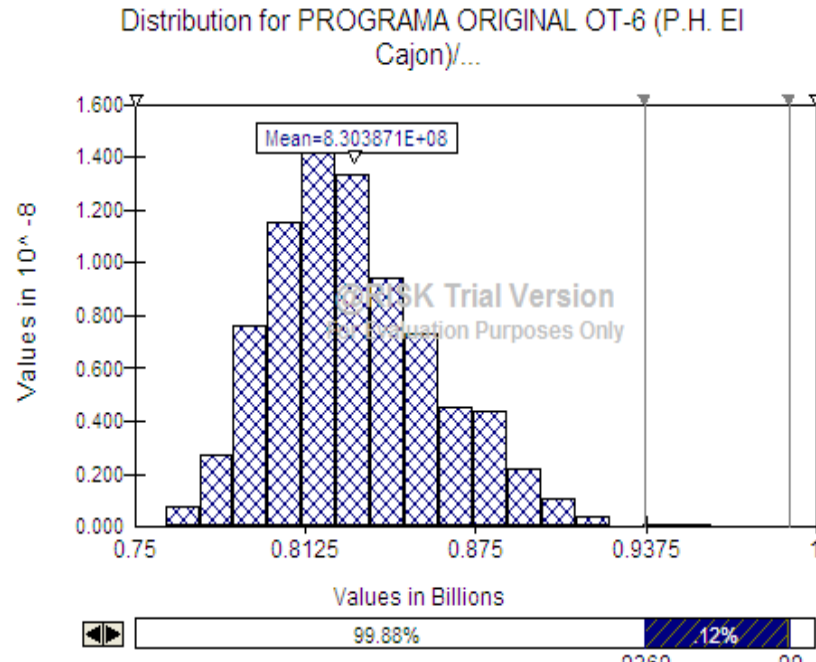


Figura 6.2. P.H. El Cajón – Histograma de la Simulación Monte Carlo del Presupuesto total Proyecto con una media de \$830'394 USD.

6.1.5. APRAM

Con relación a este método y la configuración prevista del mismo, se calcula que la opción óptima corresponde para un presupuesto residual $\alpha=0.9$ con un el cual corresponde a **\$151'218'363.46 USD**, recordando que esta selección óptima corresponde a la asignación de riesgo residual de presupuesto que minimiza el fracaso total.

Esta optimización del presupuesto residual para reforzar las partes técnicas y por gestión de forma independiente. Se identifica que las probabilidades de falla decrecen en la medida que se invierten más recursos del presupuesto residual. Es importante hacer notar que los elementos técnicos del proyecto necesitan ser reforzados con dicho presupuesto antes de ser concedido a las reservas por gestión.

Para todo lo descrito hasta el momento en esta discusión de resultados, se auxiliará del adagio “Una imagen dice más que mil palabras” para lo cual a continuación se

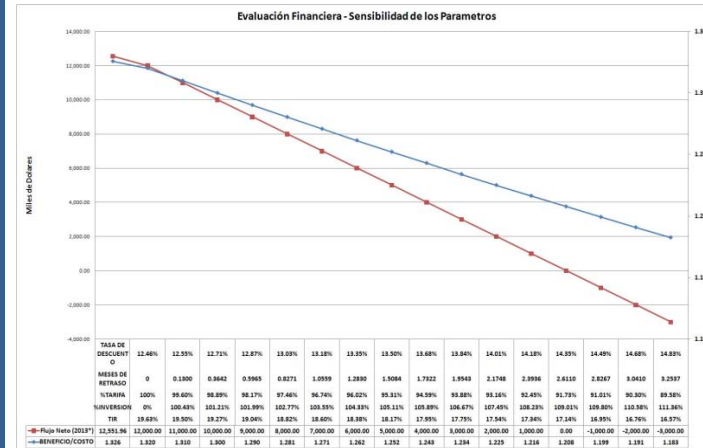
presenta un cuadro en forma sintética con las principales gráficas e índices que arrojan cada una de las tres metodologías y que viene a representar el soporte visual de las herramientas utilizadas y que deben ayudar para el auxilio en la toma de decisiones.

6.1.6. Síntesis de los Métodos de Análisis de Riesgo

A continuación se presenta una tabla donde se resumen los principales resultados de cada una de los métodos empleados, como apoyo gráfico para sensibilizar a los ingenieros encargados de la dirección y ejecución del proyecto.

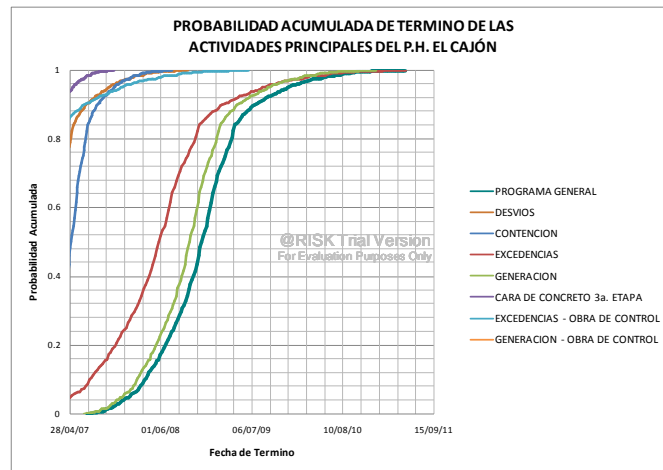
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

FLUJO NETO (2013*)	BENEFICIO/COSTO	TIR	%INVERSION	%TARIFA	MESES DE RETRASO	TASA DE DESCUENTO
12,551.96	1.33	19.63%	0.00%	100.00%	0.0	12.46%
12,000.00	1.32	19.50%	100.43%	99.60%	0.1	12.55%
11,000.00	1.31	19.27%	101.21%	98.89%	0.4	12.71%
10,000.00	1.30	19.04%	101.99%	98.17%	0.6	12.87%
9,000.00	1.29	18.82%	102.77%	97.46%	0.8	13.03%
8,000.00	1.28	18.60%	103.55%	96.74%	1.1	13.18%
7,000.00	1.27	18.38%	104.33%	96.02%	1.3	13.35%
6,000.00	1.26	18.17%	105.11%	95.31%	1.5	13.50%
5,000.00	1.25	17.95%	105.89%	94.59%	1.7	13.68%
4,000.00	1.24	17.75%	106.67%	93.88%	2.0	13.84%
3,000.00	1.23	17.54%	107.45%	93.16%	2.2	14.01%
2,000.00	1.23	17.34%	108.23%	92.45%	2.4	14.18%
1,000.00	1.22	17.14%	109.01%	91.73%	2.6	14.35%
0.00	1.21	16.95%	109.80%	91.01%	2.8	14.49%
-1,000.00	1.20	16.76%	110.58%	90.30%	3.0	14.68%
-2,000.00	1.19	16.57%	111.36%	89.58%	3.3	14.83%
-3,000.00	1.18	16.38%	112.14%	88.87%	3.5	15.01%

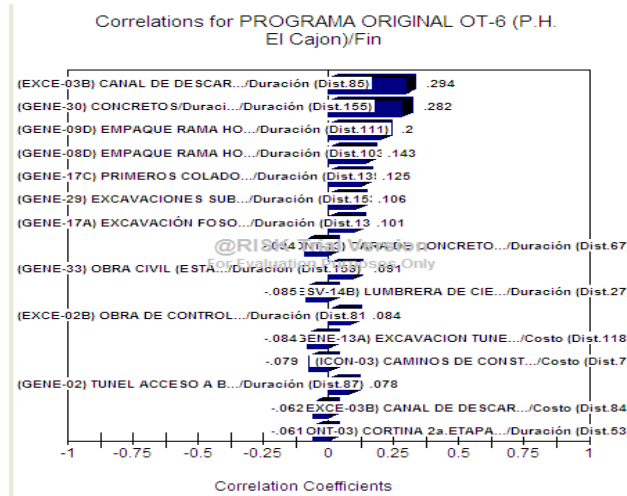


Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros; incremento en las inversiones, incremento en el periodo de construcción, tasa de descuento y disminución de las tarifas

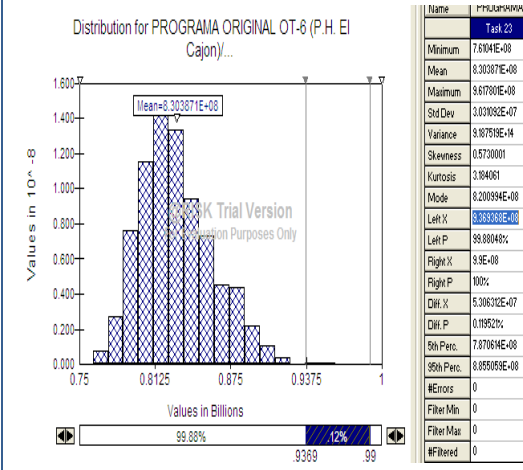
MONTE CARLO



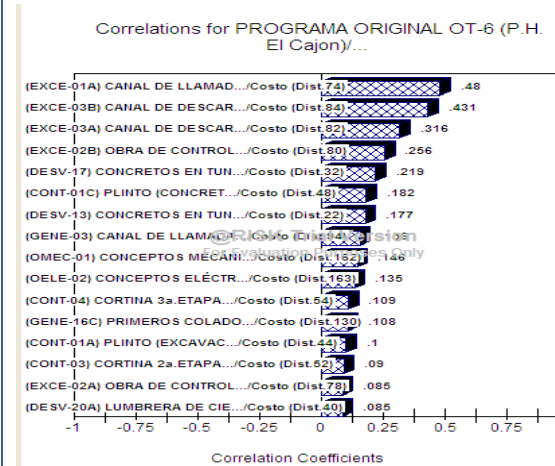
Probabilidades acumuladas de las fechas de término de las principales actividades del Proyecto.



Correlación de las Duraciones de las Principales Actividades.

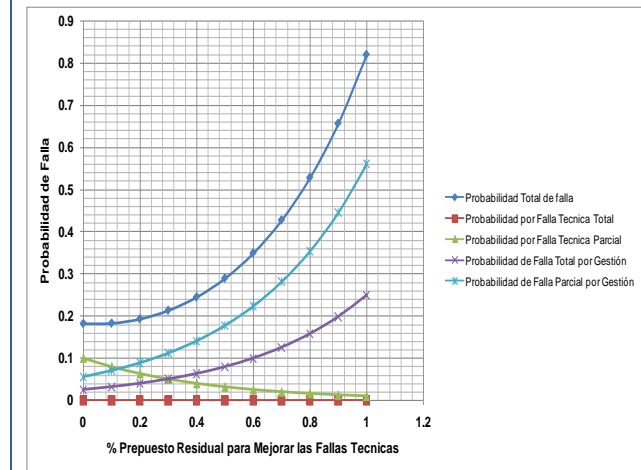


Histograma del Presupuesto Total.

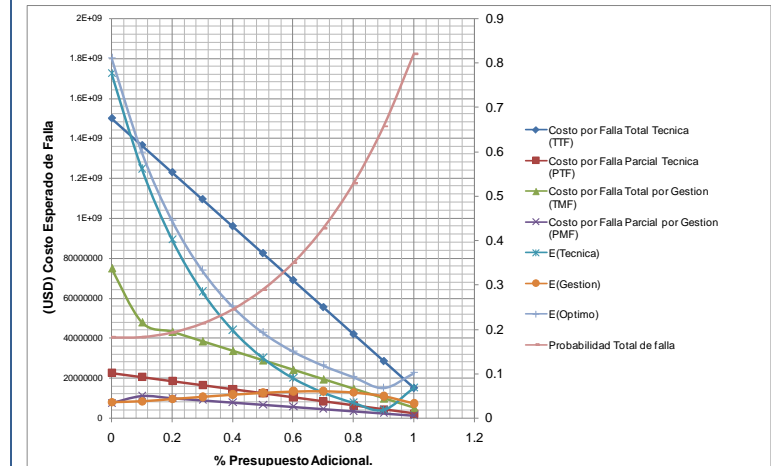


Correlación de los Costos de las Actividades (Coeficientes de Regresión de los Costos).

APRAM



Probabilidad de Diferentes Estados de Falla versus Fracción del Presupuesto Residual.



%Presupuesto Adicional versus Costo Esperado de Falla - Probabilidad de Falla.

Figura 6.3. P.H. El Cajón – Síntesis de los Métodos de Análisis de Riesgo (Sensibilidad, Monte Carlo y APRAM).

Se continúa con la discusión de resultados obtenidos del Proyecto de La Yesca recordando que para este último se aplicaron parámetros obtenidos previamente en el análisis de El Cajón.

6.2. Proyecto La Yesca.

Se inicia discutiendo los presupuestos originales de los Proyectos. Aunque el monto total es similar, sin embargo proporción de las partidas de precio alzado y precios unitarios entre ambos proyectos se visualizan claramente diferente.

Presupuesto Original	P.H. El Cajón		P.H. La Yesca	
Precio Alzado (P.A.)	USD 683,776,415.34	91.22%	USD 645,689,293.16	84.11%
Precio Alzado - Obra Civil	USD 524,472,521.40	69.97%	USD 405,592,066.35	52.83%
Precio Alzado - Obra Electromecánica	USD 159,303,893.93	21.25%	USD 240,097,226.82	31.28%
Precio Unitario (P.U.)	USD 65,773,072.59	8.78%	USD 121,977,706.84	15.89%
Total	USD 749,549,487.93	100.00%	USD 767,667,000.00	100.00%

Tabla 6.7. Presupuestos P.H. El Cajón vs P.H. La Yesca.

Primeramente, el porcentaje representado por la partida correspondiente a los precios unitarios de La Yesca casi duplica la correspondiente a la de El Cajón. Ahora bien, partiendo del principio que el Precio Alzado tiene la función, o persigue el objetivo, de fijar un costo final. Aunque queda fuera del alcance del presente trabajo, como propuesta, se puede visualizar que este punto se puede contemplar durante el proceso de licitación, ya sea contemplarse este aspecto durante la conformación de las bases de licitación, así como en el proceso de evaluación de propuestas, acorde a las Leyes, Reglamentos y Tratados vigentes, con el propósito de fijar de mejor manera el costo final del proyecto. Lo cual contemplarse, en el desglose se las partes a Precio Alzado y Precios unitarios, teniendo presente que estas últimas estas expuestas al incremento tanto en precio como de duración.

6.2.1. Pareto

Con relación al análisis sobre los tipos de conceptos (**Tabla 5.21** y **Figura 5.68**) se observa que el 79.01% del presupuesto del Proyecto está integrado por los tipo de conceptos de Concretos, Mecánicos, Eléctricos, Excavación a Cielo Abierto, Enrocamiento, Estructura Mecánica y Excavación Subterránea, cumpliéndose con ello el Principio de Pareto, cuestión es importante para enfocar la atención sobre los conceptos para fijar un

mejor control con éxito al control del proyecto. Para su implementación en la estructura del WBS (**Figura 5.65**) y al diagrama de Gantt (**Figura 5.69** y **Figura 5.70**).

6.2.2. Criticidad de Actividades.

Continuando con la información que se obtiene de la Ruta Crítica y el Análisis de Criticidad del Programa de Construcción (Diagrama de Gantt). La Ruta Crítica (**Figura 5.83** y **Figura 5.84**) muestra como actividades Críticas las siguientes:

- **(GENE-09E) CONCRETO RAMA VERTICAL U1**
- **(GENE-17A) EXCAVACIÓN FOSO No.2**
- **(GENE-17C) PRIMEROS COLADOS FOSO UNIDAD (codos) No.2**
- **(GENE-17D) MONTAJE TUBO ASPIRACION No.2**
- **(GENE-21B) PRUEBAS Y SINCRONIZACION U1**
- **(GENE-22B) PRUEBAS Y SINCRONIZACION U2**
- **(GENE-26) GALERIA OSCILACION (CONCRETOS)**

Actividades que destacan por otro lado el análisis de Criticidad de las actividades del programa son:

P.H. LA YESCA - CRITICALIDAD DE ACTIVIDADES	CRÍTICO
OBRA DE DESVÍO	31.70%
ATAGUÍA Y PANTALLA FLEXOIMPERMEABLE	1.90%
(DESV-02A) ATAGUÍA AGUAS ARRIBA	3.70%
TÚNEL No. 1	36.10%
(DESV-11) EXCAVACIÓN TÚNEL MEDIA SECCIÓN SUPERIOR	16.60%
(DESV-12) EXCAVACIÓN TÚNEL MEDIA SECCIÓN INFERIOR	11.30%
(DESV-13) CONCRETOS EN TÚNEL DE DESVÍO No. 1	13.50%
TÚNEL No. 2	29.20%
(DESV-15) EXCAVACIÓN MEDIA SECCIÓN SUPERIOR	24.50%
(DESV-18A) LUMBRERA DE CIERRE PROVISIONAL (EXCAVACIÓN)	2.80%
(DESV-18B) LUMBRERA DE CIERRE PROVISIONAL (CONCRETOS)	14.40%
CIERRE	56.20%
(CONT-19) CONCRETO EN TAPÓN	56.20%
(DESV-20A) LUMBRERA DECIERRE DEFINITIVO (EXCAVACIÓN)	32.00%
(DESV-20B) LUMBRERA DECIERRE DEFINITIVO (CONCRETOS)	34.10%
(ELECTROMECAÁNICO)	40.80%
OBRAS DE CONTENCIÓN	33.00%
ENROCAMIENTO CORTINA	41.30%
(CONT-02) CORTINA 1a. ETAPA	36.00%
(CONT-03) CORTINA 2a. ETAPA	40.90%
(CONT-04) CORTINA 3a. ETAPA	41.00%
(CONT-05) CORTINA 4a. ETAPA	41.00%
(CONT-06) CORTINA 5a. ETAPA	41.30%
(CONT-07) CORTINA 6a. ETAPA	41.80%
OBRAS DE EXCEDENCIAS	47.20%
CANAL DE LLAMADA	18.70%
(EXCE-02A) OBRA DE CONTROL (EXCAVACIONES)	11.40%
(EXCE-02B) OBRA DE CONTROL (CONCRETOS)	14.80%
CANAL DE DESCARGA	20.00%
(EXCE-03B) CANAL DE DESCARGA (CONCRETOS)	20.30%

Tabla 6.8. P.H. La Yesca – Criticidad de Actividades (1 de 2).

P.H. LA YESCA - CRITICALIDAD DE ACTIVIDADES		CRÍTICO
OBRAS DE GENERACIÓN		100.00%
TÚNEL DE ACCESO Y AUXILIARES DE CONSTRUCCIÓN		22.10%
OBRA DE TOMA		0.00%
TUBERÍA A PRESIÓN		100.00%
TUBERÍA No.1		100.00%
(GENE-08D) EMPAQUE RAMA HORIZONTAL U1		31.80%
TUBERÍA No.2		38.70%
(GENE-09D) EMPAQUE RAMA HORIZONTAL U2		27.10%
TUNELES DE ASPIRACIÓN		51.80%
CASA DE MÁQUINAS		8.60%
(GENE-15) EXCAVACIÓN DE CAVERNA (BANQUEOS)		7.00%
(GENE-16A) EXCAVACIÓN FOSO No. 1		0.00%
(GENE-16C) PRIMEROS COLADOS FOSO UNIDAD No. 1		0.00%
CASA DE MÁQUINAS (MONTAJE ELECTROMECAÁNICO)		100.00%
(GENE-21A) MONTAJE TURBOGENERADOR U1		100.00%
(GENE-21B) PRUEBAS Y SINCRONIZACIÓN		100.00%
TUNEL DE DESFOGUE		56.00%
SUBESTACIÓN ELEVADORA		0.00%

Tabla 6.9. P.H. La Yesca – Criticidad de Actividades (2 de 2).

6.2.3. Análisis de Sensibilidad de la Evaluación Financiera.

Al igual que el caso anterior de El Cajón, en el análisis de sensibilidad de La Yesca para determinar el incremento máximo en las inversiones que permitan seguir cumpliendo con los lineamientos de siguientes:

- iii) Relación Beneficio/Costo igual o mayor a 1.
- iv) Resultado neto de operación, año con año, mayor que los pagos financieros.

Sensibilidad al Incremento de la Inversión. Cumpliendo los lineamientos, el incremento en la inversión (**Tabla 5.26**) resulta en 118%, con una relación Beneficio/Costo igual a 225.

Sensibilidad al Incremento en el Periodo de Construcción. Los incrementos en la inversión para cada incremento en el periodo de construcción resultaron los siguientes (**Tabla 5.28**):

CENTRAL GENERADORA (INCLUYENDO RED ASOCIADA DE TRANSMISIÓN)			
INCREMENTO EN EL PERIODO CONSTRUCTIVO (MESES)	INCREMENTO EN LA INVERSIÓN (%)	BENEFICIO/COSTO	FLUJO NETO DEL PROYECTO (MILES USD '2013')
2	2.3	4.81	94,812.39
4	4.65	4.7	93,054.83
6	7.06	4.59	91,256.84
10	12.04	4.39	87,535.85
12	14.62	4.29	85,610.93

Tabla 6.10. La Yesca – Sensibilidad al Incremento en el Periodo de Construcción.

Sensibilidad a la Tasa de Descuento. Para este importante indicador del proyecto (Tabla 5.29) solo se observa que repercute en la relación Beneficio/Costo.

TASA DE DESCUENTO	BENEFICIO/COSTO
5%	5.23
6%	4.76
7%	4.37
8%	4.05
9%	3.78
10%	3.55
11%	3.36
12%	3.19
13%	3.04

Tabla 6.11. P.H. La Yesca – Sensibilidad a la Tasa de Descuento.

Sensibilidad a la Disminución de las Tarifas. En este rubro la mayor disminución en las tarifas que soportaría el proyecto sin dejar de ser rentable (Tabla 5.27) resulta ser del 52% al cual corresponde el límite del Flujo Neto del Proyecto igual a cero y una correspondiente relación Beneficio/Costo de 2.286.

6.2.3.1. Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros.

Se presenta la gráfica que sintetiza toda la información de la sensibilidad de los parámetros; incremento en las inversiones, al incremento en el periodo de construcción, a la tasa de descuento y la disminución de las tarifas.

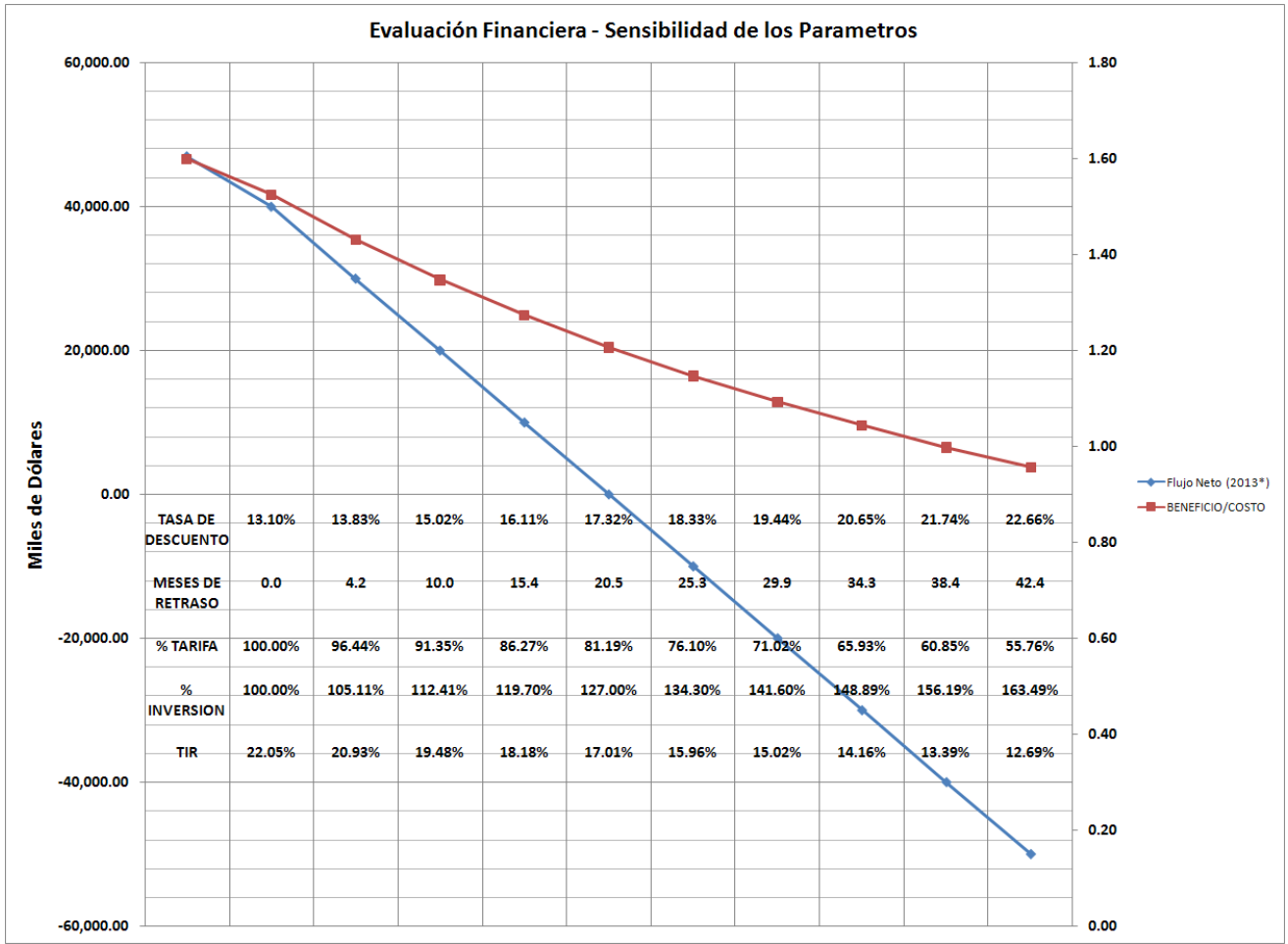


Figura 6.4. P.H. La Yesca – Síntesis de la Sensibilidad de los Parámetros.

6.2.4. Simulación Monte Carlo

El modelo fue desarrollado y sometido a una simulación Monte Carlo, con la generación de 10´000 números aleatorios: se destacan dos rubros principal interés, el primero se refiere a la programación y correspondiente fecha de culminación del Proyecto y el segundo al costo total, así como las actividades que más impactan en cada uno de estos aspectos.

Con relación a la programación, los hitos de mayor interés resultan:

Unidad No.1 el 25 de agosto del 2013

Unidad No.2 el 19 de agosto del 2011

Culminación del Proyecto el 24 de febrero del 2015

Siendo las actividades que más impactan de acuerdo a su duración particular y ubicación dentro de la programación de actividades, conforme a los coeficientes de regresión y correlación, las diez actividades que más impactan en la duración total del proyecto son:

P.H. LA YESCA- ACTIVIDADES CON MAYOR IMPACTO EN LA DURACIÓN TOTAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
(EXCE-03A) CANAL DE DESCARGA (EXCAVACIONES)	0.583
(EXCE-01) CANAL DE LLAMADA (EXCAVACIONES)	0.321
(EXCE-02B) OBRA DE CONTROL (CONCRETOS)	0.244
(EXCE-03B) CANAL DE DESCARGA (CONCRETOS)	0.187
(EXCE-31) PLATAFORMA (EXCAVACIONES)	0.2
(OMEC-01) CONCEPTOS MECÁNICOS	0.13
(OMEC-02) CONCEPTOS ELÉCTRICOS	0.176
(CONT-11) CARA DE CONCRETO 2a. ETAPA	0.155
(DESV-17) CONCRETOS EN TÚNEL DE DESVÍO No. 2	0.146
(GENE-03) CANAL DE LLAMADA (EXCAVACIÓN)	0.152

Tabla 6.12. P.H. La Yesca – Actividades con mayor impacto en la duración del proyecto.

Ahora con respecto al costo total del proyecto de igual forma, a destacar de los histogramas se obtuvieron los siguientes datos.

Costo Total del Proyecto, el promedio de la simulación asciende a **\$827'265 miles de millones de USD**. Las diez actividades que más impactan en dicho costo son:

P.H. LA YESCA- ACTIVIDADES CON MAYOR IMPACTO EN LA DURACIÓN TOTAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
(CONT-15B) GALERIAS DE INSPECCIÓN Y DRENAJE (CONCRETO)	0.607
(GENE-05) REVESTIMIENTO DE TÚNELES Y PORTAL (CONCRETOS)	0.231
(EXCE-02B) OBRA DE CONTROL (CONCRETOS)	0.176
(DESV-20B) LUMBRERA DE CIERRE DEFINITIVO (CONCRETOS)	0.108
(EXCE-03B) CANAL DE DESCARGA (CONCRETOS)	0.073
(CONT-03) CORTINA 2a. ETAPA	0.029
(DESV-19) CONCRETO EN TAPÓN	0.076
(DESV-15) EXCAVACIÓN MEDIA SECCIÓN SUPERIOR	-0.025
(GENE-09B) EXCAVACIÓN RAMA HORIZONTAL U1	-0.024
(DESV-20B) LUMBRERA DE CIERRE DEFINITIVO (CONCRETOS)	0.081

Tabla 6.13. P.H. La Yesca – Actividades con mayor impacto en la duración del proyecto.

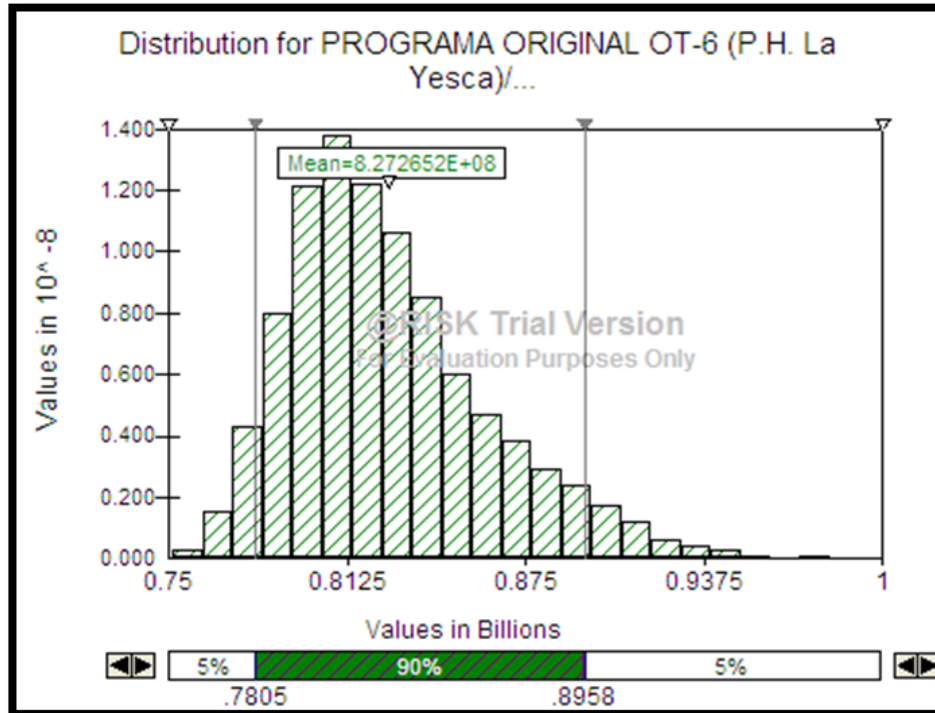


Figura 6.5. P.H. La Yesca – Histograma de la Simulación Monte Carlo del Presupuesto total Proyecto

6.2.5. APRAM

Con relación a esta este método y la configuración prevista del mismo, se calcula que la opción óptima corresponde para un presupuesto residual $\alpha=0.9$ con un el cual corresponde a **\$142'359'598.62 USD**, recordando que esta selección óptima corresponde a la asignación de riesgo residual de presupuesto que minimiza el fracaso total.

Esta optimización del presupuesto residual para reforzar las partes técnicas y por gestión de forma independiente. Se identifica que las probabilidades de falla decrecen en la medida que se invierten más recursos del presupuesto residual. Es importante hacer notar que los elementos técnicos del proyecto necesitan ser reforzados con dicho presupuesto antes de ser concedido a las reservas por gestión.

A continuación también se presentan las principales graficas e índices que arrojan cada una de las tres metodologías y que viene a representar el soporte visual de las herramientas utilizadas y que deben ayudar para el auxilio en la toma de decisiones.

6.2.6. Síntesis de los Métodos de Análisis de Riesgo

Se presenta una tabla de resumen los principales resultados de cada una de los métodos empleados, como apoyo grafico para sensibilizar con vías a la toma de decisiones.

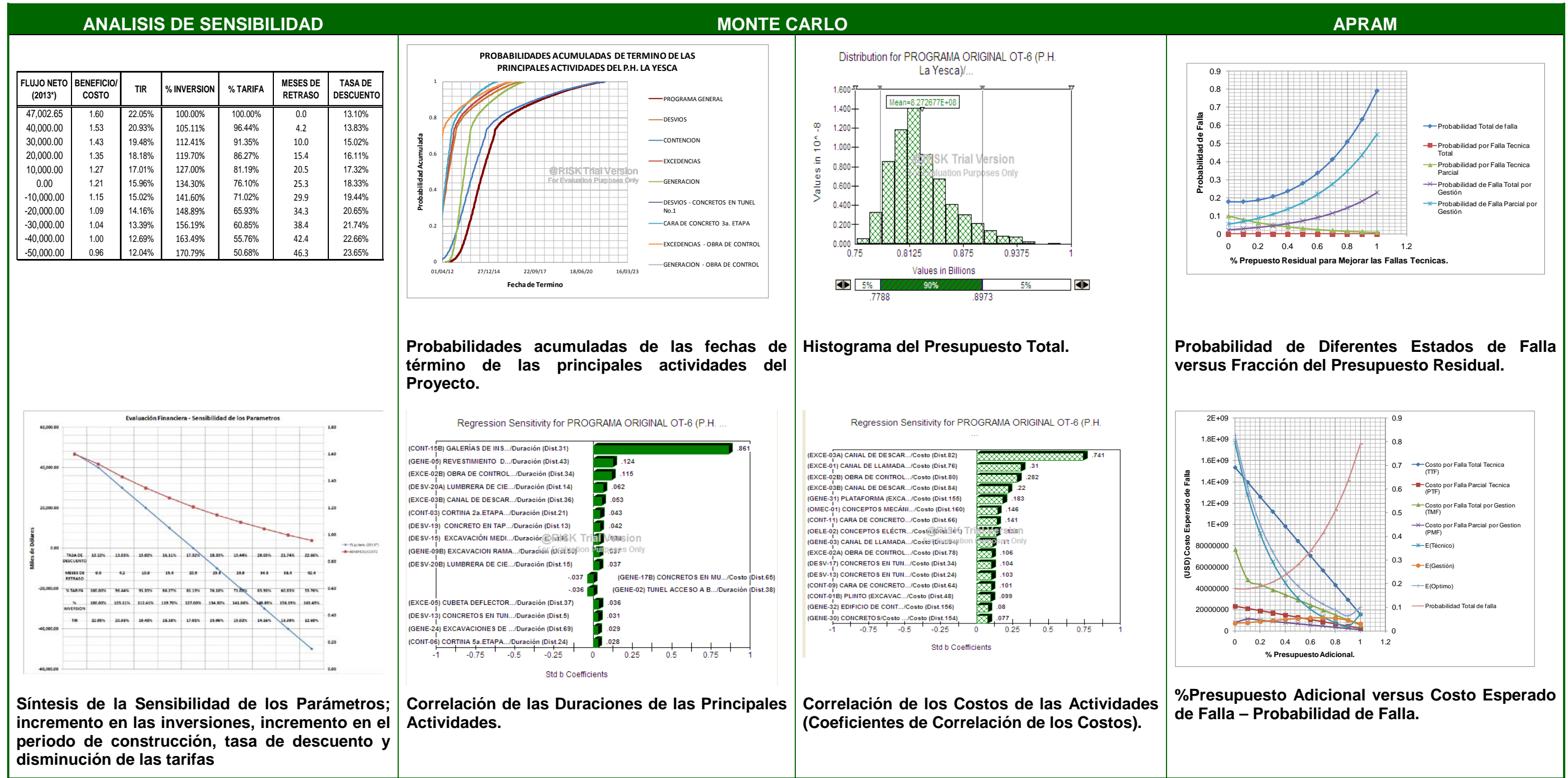


Figura 6.6. P.H. La Yesca – Síntesis de los Métodos de Análisis de Riesgo (Sensibilidad, Monte Carlo y APRAM).

CONCLUSIONES

CAPITULO 7. CONCLUSIONES

7.1. Conclusiones generales

Los análisis de Riesgo aplicados a la Administración de Proyectos, como se pudo visualizar a lo largo del desarrollo de este trabajo, proveen información encaminada a afrontar contingencias que repercuten en el presupuesto de un Proyecto Hidroeléctrico; primordialmente en la parte correspondiente a la obra civil, expuesta a una gran variación, tanto en el aspecto presupuestal como en el programático, por lo que la investigación realizada cumplió con éxito este aspecto.

Por otra parte, los análisis de riesgo y los métodos aplicados en este sentido tienen una importante relevancia en la actualidad; por lo que cada vez más se vislumbra que conformaran el eje fundamental en la administración de proyectos, los cuales pueden ser aplicable desde etapas de factibilidad hasta su construcción y puesta en operación. Aunque en el presente trabajo se acotó sólo a su aplicación al aspecto de construcción, si se concibe que el espectro de aplicación es factible de ampliarse a todas las etapas de un proyecto.

Con relación al aspecto para aportar una propuesta coherente para mejorar la práctica en la administración de proyectos hidroeléctricos; en suma, los métodos aplicados se contemplaron y visualizaron para ser de una sencilla –mas no simple– aplicación a los proyectos hidroeléctricos, o bien de igual complejidad, por lo que se cumplió positivamente con este objetivo. Ahora bien, los análisis de riesgo no solo son viables, sino que se han vuelto indispensables; tanto para la estimación de los costos y presupuestos, como también una necesidad para determinar la viabilidad de un proyecto. Más aún tratándose de proyectos de infraestructura acotados por los lineamientos y políticas del Gobierno Federal.

Se han verificado los beneficios del uso de análisis de riesgo con los casos prácticos de los Proyectos Hidroeléctricos El Cajón y La Yesca. La aplicación de los métodos de Análisis de Sensibilidad, Simulación Monte Carlo y APRAM, proporcionan información útil que sin duda generan una mejor calidad en la toma de decisiones.

7.2. Conclusiones particulares

Cabe destacar la información que arrojan los métodos de análisis aplicados; para un mejor entendimiento de un proyecto, como pueden ser las actividades más relevantes que integran el costo total, la duración y término; o bien, de ciertos hitos de interés. Sin dejar de lado el criterio de los ingenieros encargados de la planeación y programación de un proyecto.

7.2.1. Análisis de sensibilidad de la evaluación financiera

De los resultados obtenidos, los criterios utilizados en su momento para el proyecto El Cajón, fueron distintos que los utilizados cuatro años más tarde en el proyecto La Yesca, aunque básicamente deben de cumplir con la relación Beneficio/Costo mayor o igual a 1, y que el resultado neto de la operación año con año sea mayor que los pagos financieros.

El análisis de sensibilidad al incremento en la inversión, al incremento en el periodo de construcción y a la tasa de descuento, son necesarios para verificar cuál de estos parámetros involucra mayor riesgo para el proyecto. Considerando que son análisis requeridos en las políticas hacendarias de nuestro país para la aprobación de los proyectos.

Mientras que para el Proyecto El Cajón el análisis de sensibilidad mostró que los parámetros críticos que mostraban la inviabilidad financiera, eran el incremento en el Periodo de Construcción con 12 meses o bien un 91% en la disminución de las tarifas. En el caso de La Yesca correspondía a la disminución de las tarifas, soportando hasta una disminución del 52%, en ninguno de los casos resultó crítica la variación de la tasa de descuento. De estos dos parámetros, el que resultó estar bajo el control del planeador o constructor, es el incremento en el Período de Construcción, por lo que para proyectos similares un incremento superior a un año resulta crítico.

7.2.2. Método Monte Carlo

En el método Monte Carlo el WBS resulta fundamental para brindar un orden en la administración de un proyecto, por ello es ampliamente recomendado su elaboración para lograr una correcta planeación y control del proyecto.

El principio de Pareto comprobó su utilidad, pues en los Proyectos Hidroeléctricos estudiados, se obtuvo del análisis del presupuesto de los proyectos, que efectivamente un 80% aproximadamente del mismo; se concentra en los tipos de conceptos de Concretos, Enrocamiento, Excavaciones Subterráneas y excavaciones a cielo abierto, en lo que respecta a la obra civil, por lo que para la planeación y principalmente el control durante la construcción del proyecto; ahora bien de las Tablas 5.4 y 5.23 se destacan los siguientes incrementos:

PROYECTO EL CAJÓN (Dolares)	ORIGINAL	REAL	PROYECTO LA YESCA (Dolares)	ORIGINAL	REAL
OBRAS DE DESVIO			OBRA DE DESVIO		
Barrenación	1597979.76	2528262.88	Barrenación	520175.72	1370493.03
Concretos	28914153.9	30948917.6	Concretos	21070783.3	57225950.2
Excavación a Cielo Abierto	3532743.82	6774455.09	Excavación a Cielo Abierto	6733498.01	8554518.18
Tratamientos	2942700.24	4107533.02	Excavación Subterránea	15339843.7	20683709
OBRAS DE CONTENCIÓN			OBRAS DE CONTENCIÓN		
Excavación a Cielo Abierto	8059682.11	10093343.1	Excavación a Cielo Abierto	5240896.78	8836270.2

Se debe concentrar especial cuidado en los conceptos que involucran concreto, pues este rubro representa el 20% del presupuesto de un proyecto con este esquema. Este dato resulta valioso, pues cabe recordar para tomar en cuenta que tanto los volúmenes adicionales y extraordinarios poseen estos conceptos de concreto. Se demuestra la utilidad del Principio de Pareto para la administración de proyectos particularmente en lo que se refiere al presupuesto.

Para el caso del Método Monte Carlo, es de importante relevancia las distribuciones de probabilidad adoptadas para su aplicación a los modelos a construirse, en la aplicación de los casos prácticos; tanto para El Cajón como para La Yesca, se adoptó la Función Beta para los costos como para las duraciones de las actividades particulares. Esto después de corroborar la sugerencia de Malcolm et al (1959), con la prueba chi-cuadrada de bondad de ajuste, tanto para adoptar esta distribución al método PERT, como para la programación de un proyecto. La innovación contempla la adaptación de los resultados obtenidos en la corroboración del Principio de Pareto, para programar las actividades particulares, acordes a los tipos de conceptos que más impactan en el costo total del proyecto.

La mayor dificultad radica en obtener los parámetros que representen las distribuciones de probabilidad, que describan de forma real tanto los costos como las duraciones de las

actividades. La distribución de probabilidad Beta representa satisfactoriamente estas dos características de una actividad de construcción.

Este método es útil para determinar la criticidad en la programación de un proyecto, con la adición de características estocásticas a las actividades en el diagrama de Gantt; y con ello, sensibilizar sobre las actividades de un proyecto.

Mientras que para el proyecto El Cajón; la ruta crítica estaba integrada por las actividades de Movilización, Excavación de plataformas, excavación de portales, concretos en el túnel de desvío No. 1 y la Cortina, y los frentes con mayor criticidad resultaron ser la Infraestructura para construcción con un 100% y las Obras de Desvío con un 53% de criticidad respectivamente. Para el proyecto de La Yesca; las actividades de ruta crítica recaían en el Concreto Rama Vertical U1, Excavación de Fosos, Primeros Colados, Montaje de Tubos de Aspiración y Pruebas de Sincronización, y la criticidad de los frentes resultaron con la Obra de Desvío con un 31.7%, Contención con 33%, Obra de excedencias con 47.7 % de criticidad respectivamente.

El cúmulo de información que brinda el Método Monte Carlo, es muy útil para los planeadores y constructores, pues se trata de una herramienta muy potente y una gran variedad de aplicaciones.

7.2.1. Método APRAM

Se debe destacar que el actual trabajo representó un real esfuerzo de aplicación a dos proyectos reales de suma importancia para la infraestructura de México, y no solo ejemplos académicos; para lo cual se auxilió de una metodología innovadora, el método APRAM, que sensibiliza al analista con un importante apoyo gráfico, y que sin duda –como ya se ha mencionado- derivan en un conjunto de herramientas de suma utilidad para su adaptación a proyectos de obra civil.

En el método APRAM, la definición del riesgo a partir de la relación riesgo/costo está actualmente en debate en el ámbito de la administración de proyectos, pero cabe destacar que el manejo de este método involucra y relaciona cuantitativamente el aspecto de probabilidades de falla, tanto con su costo esperado; así como con el presupuesto residual

que se prevé para las mejoras del proyecto. Con ello, se obtiene una sensibilidad por parte de los ingenieros encargados del proyecto para evaluar la conveniencia e impacto en la disminución o incremento del presupuesto total. También se debe tener presente, que para la aplicación de este método, entre sus consideraciones, se definió el Costo por Perdida Total igual al Costo Total de la Obra y así también el Máximo Presupuesto Residual para mejoras. Con lo que resultaron en factores en un $\alpha=0.9$ para el caso del Cerajun presupuesto residual de \$151'218'363.46 USD para mejorar las partes técnicas y por gestión del proyecto; para el caso del Proyecto La Yesca, también se obtuvo un factor $\alpha=0.9$ acorde a un presupuesto residual de \$142'359'598.62 USD. La sensibilidad del método a las probabilidades asignadas, para cada evento de cada una de las variables que intervienen y que finalmente se ven reflejadas en una serie de graficas, que en resumen representan un apoyo grafico importante.

7.3. Recomendaciones

Cada método provee información particular, que en conjunto con el apoyo grafico, representa importante información para la toma de decisiones y sin duda mejora la calidad de las decisiones de todo proyecto.

El nivel de jerarquización en el WBS, queda a criterio del ingeniero que dirige el proyecto, un tercer nivel de jerarquización en la estructura es muy recomendable para la planeación y control de un proyecto.

Actualmente el Costo Total estimado para Proyecto de La Yesca calculado en alrededor de 830 millones de USD, aunque se prevé un costo superior a los 1000 millones de USD. Se deben tener presente los cambios que la naturaleza nos impone, incertidumbre inherente, que debemos afrontar con experiencia y mejorar los modelos que representen mejor la realidad.

En este proceso de retroalimentación, se concibe que los métodos se pueden afinar a futuro con la obtención de datos de más proyectos, pues las consideraciones y condiciones iniciales contempladas repercuten palpablemente en los modelos.

Continuando con esta disertación, con el propósito de extender la discusión y ampliar los aspectos a desarrollarse como futuros complementos al presente trabajo, como lo puede ser la construcción de un plan de mitigación, que viene a representar el paso lógico siguiente y cuyo fin es identificar los aspectos a mitigar, cuantifica y determinar la viabilidad financiera Beneficio/Costo, para concluir con su implementación a través de un proceso de medición, control y análisis efectivo de las cantidades.

Ahora bien, con relación al presupuesto del Proyecto La Yesca, cabe recalcar que resultó prácticamente el mismo, que se estableció para el proyecto semejante y predecesor que fue El Cajón, sobre el mismo Río Santiago; cuyo inicio de construcción se remonta a 4 años antes en el año de 2003. Si bien se hace difícil la evaluación de estos proyectos, los métodos adoptados, bien sirven para sensibilizar y cuidar los puntos que pueden repercutir en mayor medida en el desarrollo de los mismos, y como ya se mencionó desde etapas tempranas de planeación. Igualmente se debe estar consciente que este tipo de proyectos en México se deben concebir, concretar en plazos comprometidos y con costos planteados en un marco de restricción presupuestal y Análisis de Sensibilidad Financiera, realizando análisis mixtos de los parámetros, revisar el criterio para determinar el sobre costo debido al incremento en el tiempo de construcción, pues el criterio utilizado es solo de un 1% de interés sobre el costo total del proyecto por mes de retraso.

Con respecto al Monte Carlo, se acoto al estudio de dos proyectos; El Cajón y La Yesca. También se recomienda ampliar el estudio con información de otros proyectos hidroeléctricos; que pueden ser nacionales o extranjeros, siempre y cuando la información sea confiable para poder calcular los parámetros necesarios en el seguimiento de los programas y las distribuciones de probabilidad que representen los costos y las duraciones.

Con respecto al método APRAM, un análisis más detallado, consistiría en determinar con mayor precisión la injerencia de cada parte de la obra en las Fallas Técnicas y por Gestión, con su correspondiente probabilidad asignada. Este análisis más meticoloso; serviría como un soporte importante, como una herramienta para el control del proyecto, que bien puede servir en la toma de decisiones, para mejorar el modelo que sensibilice a cada variable

involucrada en la construcción de una hidroeléctrica, lo anterior particularmente al presupuesto ligado al programa de obra.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- *Aldama Álvaro, Ramírez Aldo, Aparicio Javier, Mejía Roberto, Ortega Guillermo. SEGURIDAD HIDROLÓGICA DE LAS PRESAS EN MÉXICO. Primera Edición. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). México, 2006.*
- *Apuntes Sobre Evaluación Social de Proyectos. Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP). México, 2010.*
- *Breierova, Lucia & Choudhari, Mark (Under the Supervision of Dr. Jay W. Forrester). AN INTRODUCTION TO SENSITIVITY ANALYSIS (D-4526-2). Massachusetts Institute of Technology (MIT). System Dynamics in Education Project. EUA, 2001.*
- *Apuntes del Seminario de Entrenamiento de Palisade Corporation Evaluación de riesgos. Palisade Corporation. México, 2010.*
- *Charles Yoe et al. RISK ANALYSIS FRAMEWORK FOR COST ESTIMATION, IWR REPORT 00-R-9. United States Army Corps of Engineers – Institute for Water Resources. December 2000.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO DEL PROYECTO DE GENERACIÓN: CH EL CAJÓN Y RED DE TRANSMISIÓN ASOCIADA 030.02.03 Y 031.02.031. México, enero de 2002.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO DEL PROYECTO INTEGRAL CH LA YESCA – LT RED DE TRANSMISIÓN ASOCIADA A LA CH LA YESCA. México, julio de 2004.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA CENTRAL GENERADORA “LA YESCA”. México, 2004.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA RED DE TRANSMISIÓN ASOCIADA “LA YESCA”. México, 2004.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). FUNDAMENTACIÓN JURÍDICA DEL ESQUEMA DE OBRA PÚBLICA FINANCIADA PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN. México, 2004*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). FACTIBILIDAD AMBIENTAL DE LA CENTRAL GENERADORA “LA YESCA”. México, 2004.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). FACTIBILIDAD AMBIENTAL DE LA RED DE TRANSMISIÓN ASOCIADA “LA YESCA”. México, 2004.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). REEVALUACION DEL PROYECTO CH LA YESCA Y LA LT RED DE TRANSMISIÓN ASOCIADA A LA CH LA YESCA. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO DEL PROYECTO INTEGRAL CH LA YESCA – LT RED DE TRANSMISIÓN ASOCIADA A LA CH LA YESCA. México, noviembre de 2006.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). FACTIBILIDAD AMBIENTAL DE LA RED DE TRANSMISIÓN ASOCIADA “LA YESCA”. México, 2004.*

- *Comisión Federal de Electricidad. Convenios Modificatorios. Nota Técnica Proyecto Hidroeléctrico La Yesca. Abril, 2009.*
- *Comisión Federal de Electricidad. INFORME TÉCNICO “CONTINGENCIA GEOLÓGICA”. México, 2009.*
- *Contrato de Obra Pública Financiada No. PIF – 005/2003 “63 C.H. El Cajón”. México, 2003.*
- *Contrato de Obra Pública Financiada No. PIF – 005/2003 “63 C.H. El Cajón”. Convenios Modificatorios del No.1 al No.20.*
- *Contrato de Obra Pública Financiada No. PIF – 010/2007 “146 CH La Yesca”. México, 2007.*
- *Contrato de Obra Pública Financiada No. PIF – 010/2007 “146 CH La Yesca”. Convenio Normativo. México, junio del 2009.*
- *Contrato de Obra Pública Financiada No. PIF – 010/2007 “146 CH La Yesca”. Convenios Modificatorios del No.1, No.2, No.3 y No.4.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). PROGRAMA DE OBRAS E INVERSIONES DEL SECTOR ELÉCTRICO (POISE) 2010 – 2024. Subdirección de Programación – Coordinación de Planificación. México, 2010.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). PROYECTO HIDROELÉCTRICO. EL CAJÓN – LIBRO TÉCNICO. México, 2007.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). PROYECTO HIDROELÉCTRICO. EL CAJÓN, DICTAMEN TÉCNICO, EXCAVACIÓN DEL MURO ALABEADO, CANAL DE LLAMADA DE OBRA DE EXCEDENCIAS. México, noviembre 2004.*
- *Comisión Federal de Electricidad (CFE). Minuta de acuerdos P.H. La Yesca “Acuerdos, comentarios e instrucciones que sustentan las acciones y obras relacionadas con las circunstancias geológicas no previstas durante los estudios realizados para la determinar su factibilidad que han afectado el desarrollo del proyecto”. México, abril del 2009.*
- *Coss Bu, Raúl. ANALISIS Y EVALUACION DE PROYECTOS DE INVERSION. 2a. Edición. Editorial Limusa. Mexico, 2011.*
- *De Lara Haro, Alfonso. MEDICION Y CONTROL DE RIESGOS FINANCIEROS. 3ª Edición. Limusa Editores. Mexico, 2005.*
- *Dillon, R. L., and Paté-Cornell, M. E. (2001). APRAM: AN ADVANCED PROGRAMMATIC RISK ANALYSIS METHOD. International Journal of Technology, Policy and Management, Vol.1. No.1, 47-55. USA, 2001.*
- *Dillon, R. L., Paté-Cornell, M. E., and Guikema, S. D. (2003). PROGRAMMATIC RISK ANALYSIS FOR CRITICAL ENGINEERING SYSTEMS UNDER TIGHT RESOURCE CONSTRAINTS. Operations Research, 51(3), 354 - 370. USA, 2003.*
- *Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) – 2000 Edition. Project Management Institute. USA, 2000.*
- *Guikema, S.D., and Paté-Cornell, M. E. (2002). COMPONENT CHOICE FOR MANAGING RISK IN ENGINEERED SYSTEMS WITH GENERALIZED RISK/COST FUNCTIONS. Reliability Engineering and Systems Safety, 78, 227 - 238. USA, 2002.*

- Hernández L. E. y Luna A. J. *Apuntes de la materia “Evaluación de Proyectos y Financiamiento de Proyectos”*. Universidad Nacional Autónoma de México. División de Posgrado, Facultad de Ingeniería. México, 2007.
- Hubei Qingjiang Hydroelectric Development Co., Ltd. *A BRIEF INTRODUCTION TO RESETTLEMENT AND INTEREST SHARING IN RESERVOIR AREA OF SHUIBUYA HYDROPOWER STATION*. International Hydropower Association. 2008.
- Imbeah, William and Guikema, Seth. *MANAGING CONSTRUCTION PROYECTS USING THE ADVANCE PROGRAMMATIC RISK ANALYSIS AND MANAGEMENT MODEL*. *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers (ASCE). USA, august 2009.
- Imbeah, William. *THESIS “ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE ADVANCED PROGRAMMATIC RISK ANALYSIS AND MANAGEMENT MODEL (APRAM) AS A DECISION SUPPORT TOOL FOR CONSTRUCTION PROJECTS”* for the degree or Master of Science, Chair of Committee Seth Guikema. Major Subject: Civil Engineering. Texas A&M University. USA, May 2007.
- Instituto Latinoamericano para la Planificación Económica y Social (ILPES). *GUIA PARA LA PRESENTACION DE PROYECTOS*. Editorial Siglo XXI. 27ª. Edición. Mexico, 2006.
- Klastorin, Ted. *PROJECT MANAGEMENT Tools & Trade-Off*. John Wiley & Sons, Inc. USA, 2004.
- Lester, Albert. *Project Management, Planning and Control. “Managing Engineering, Construction and Manufacturing Projects to PMI, APM and BSI Standards”*. Fifth Edition. Butterwoth – Heinemann. USA, 2007.
- Mak, Stephen and Picken, David. *USING RISK ANALYSIS TO DETERMINE CONSTRUCTION PROJECT CONTINGENCIES*. *Journal of Construction Engineering and Management American Society of Civil Engineers (ASCE)*. USA, march/april 2000.
- Marengo Mogollón, Humberto. *ANÁLISIS DE RIEGO DE FALLA EN PRESAS, ESTADÍSTICAS Y PARÁMETROS DE REFERENCIA*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. *Revista Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XI, Núm. 2, págs. 65-77, mayo – agosto de 1996.
- Marengo Mogollón, Humberto. *Presentación “Proyectos Hidroeléctricos en México” en el XX Congreso Nacional de Hidráulica*. Asociación Mexicana de Hidráulica. Octubre, 2008.
- Schuyler, John. *RISK AND DECISION ANALYSIS IN PROYECTS*. Project Management Institute (PMI). Second Edition. USA, 2001.
- Wayne L. Winston. *SIMULATION MODELING USING @RISK: update for Version 4*. Thomson Learning-Brooks/Cole. USA, 2001.
- Yáñez Santillán, David. *VINCULO INGENIERÍA – CONSTRUCCIÓN EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL CAJÓN*. Fundación ICA. México, 2006.

Internet

- Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP), (www.cepep.gob.mx).

- *CFRD under pressure, 29 February 2008. International Water Power& Dam Construction. (<http://www.waterpowermagazine.com>).*
- *Chinese National Committee on Large Dams (CHINCOLD), (www.chincold.org.cn).*
- *Dai Qing. YANGTZE! YANGTZE!. Probe International's Patricia Adams and John G. Thibodeau. 1989. (www.threegorgesprobe.org).*
- *Hydropower Sustainability, Assessment Protocol. (www.hydrosustainability.org).*
- *Proyecto ITER (www.iter.org).*
- *Xinhua. Three Gorges Project spending within budget , China daily. China 2009. (<http://www.chinadaily.com.cn>).*