



**Universidad  
de La Sabana**

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

**Presentado por:**  
ING. LEONARDO SANDINO VELASQUEZ

**Maestría en Diseño y Gestión de Procesos  
Énfasis en Sistemas Logísticos  
Chía 01 de Marzo de 2014.**

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A  
PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

**Proyecto de Investigación**

**Presentado por:**

ING. LEONARDO SANDINO VELASQUEZ

**Director:**

MSc LEONARDO JOSE GONZALEZ RODRIGUEZ

**Universidad de la Sabana  
Maestría en Diseño y Gestión de Procesos  
Énfasis en Sistemas Logísticos  
Chía 01 de Marzo de 2014.**

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

---

## CONTENIDO

CAPITULO 0. INTRODUCCION JUSTIFICACION Y OBJETIVOS.....	14
1. INTRODUCCION.....	14
2. JUSTIFICACION.....	15
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
4. OBJETIVOS.....	21
4.1    General.....	21
4.2    Específicos.....	21
CAPITULO 1. MARCO TEORICO.....	22
5. MARCO TEORICO.....	22
5.1    Logística.....	22
5.2    Control y Gestión por Procesos.....	22
5.3    Naturaleza del Control de Proyectos.....	23
5.4    Análisis de Fallos de Proyecto.....	23
5.5    Programación y Gestión de Proyectos.....	24
5.6    Gestión de Control de Costos.....	32
5.7    Dinámica de Sistemas.....	32
5.8    Control Dinámico de Proyectos.....	33
5.9    Metodología Integral y Dinámica.....	42
5.10    Metodología Integral y Dinámica Aplicada al Control de Proyectos.....	45
5.11    Estrategias de Control en Gestión de Proyectos.....	50
5.12    Simulación.....	79
CAPITULO 2. METODOLOGIA.....	81
6. CARACTERIZACION DEL SISTEMA.....	83
6.1    Identificación de las Actividades.....	83
6.2    Identificación de los Recursos Asociados a las Actividades.....	84
6.3    Identificación de las Variables Asociadas a Cada Actividad.....	85
6.4    Estructura de la Red de Actividades.....	100
6.5    Selección de Estrategias Para el Control de Proyectos en Construcción.....	101
6.6    Selección de Estrategias para el Modelo de Control.....	103
6.7    Análisis de la Estructura Sistémica y Construcción del Modelo de Control.....	105

## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

6.8	Validación del Modelo.....	133
6.9	Simulación del Modelo.....	135
CAPITULO 3. ANALISIS DE RESULTADOS.....		137
CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.....		152
7.	CONCLUSIONES.....	152
8.	RECOMENDACIONES.....	154
CAPITULO 5. ANEXOS.....		155
Anexo 1. Programa Proyecto en Estudio.....		155
Anexo 2. Identificación de Actividades.....		157
Anexo 3. Programa Manejo de Personal de Obra.....		159
Anexo 4. Asignación de Recursos Renovables y No Renovables por Actividad.....		160
Anexo 5. Estado General del Proyecto por Actividad.....		162
Anexo 6. Impacto de las Variables Exógenas Sobre Cada Actividades.....		164
Anexo 7. Impacto de las Variables Endógenas Sobre Cada Actividades.....		166
Anexo 8. Actividades a las Cuales Aplicara el Modo de Ejecución.....		169
Anexo 9. Presentación Consolidado de VARi E.....		171
Anexo 10. Ejemplo de Informe de Estado de Avance (NEP Ejecutado).....		173
Anexo 11. Experimentos Diseñados para Ejecutar el Modelo.....		176
Anexo 12. Resultados para el Experimento 13 (Modo2, Tolerancia 1%, Frecuencia de Control 14 días) Experimentos Diseñados para Ejecutar el Modelo.....		177
Anexo 13. Resultados Prueba t Duración del Proyecto.....		179
Anexo 14. Resultados Prueba t Costo Total del Proyecto.....		180
CAPITULO 6. BIBLIOGRAFIA.....		181

**TABLAS**

Tabla 1. Ocupación por ramas de actividad abril-junio 2011-2012. ....	15
Tabla 2. Grupos y subgrupos de insumos del ICCV .....	17
Tabla 3. Ruta Square para comprender los criterios de éxito.....	28
Tabla 4. Aplicaciones y perspectivas de solución de los modelos de planificación y diseño. ....	51
Tabla 5. Descripciones de los factores en el cuestionario. ....	52
Tabla 6. Descripciones de toma de decisiones basada en el riesgo.....	53
Tabla 7. Las percepciones del valor colocado en el riesgo (% de los encuestados). ....	64
Tabla 8. Riesgos clave por su importancia objetiva en cada proyecto. ....	65
Tabla 9. Los principales riesgos que influyen en los objetivos del proyecto y sus siglas. ....	66
Tabla 10. Ejemplos de prevención y técnicas de evaluación en la construcción. ....	72
Tabla 11. Estudios Sobre Variables de Control en Gestión de Proyectos. ....	85
Tabla 12. Presentación Variables Exógenas.....	87
Tabla 13. Datos análisis de Datos de Lluvias de los Últimos 10 Años en Bogotá. ....	88
Tabla 14. Duración de los Periodos Climáticos Durante el Año. ....	89
Tabla 15. Probabilidad e Impacto del Clima sobre las Actividades.....	89
Tabla 16. Probabilidad e Impacto del Clima sobre las Actividades.....	90
Tabla 17. Probabilidad e Impacto del Índice de Precios sobre las Actividades.....	91
Tabla 18. Probabilidad e Impacto de la Cadena de Suministro sobre las Actividades. ....	91
Tabla 19. Probabilidad e Impacto de los Imprevistos, Entorno Social y Seguridad sobre las Actividades.....	92
Tabla 20. Presentación Variables Endógenas. ....	93
Tabla 21. Probabilidad e Impacto de los Reprocesos por Mala Calidad. ....	94
Tabla 22. Probabilidad e Impacto de los Presupuestos sobre Cada Actividades. ....	94
Tabla 23. Probabilidad e Impacto de la Maquinaria y Equipo sobre Cada Actividades. ....	95
Tabla 24. Probabilidad e Impacto de la Mano de Obra y Ausentismo sobre Cada Actividad. ....	96
Tabla 25. Cantidad Aprendida en función del Tiempo.....	97
Tabla 26. Impacto del Nivel de Aprendizaje sobre la Motivación y Sobre Cada Actividad. ....	97
Tabla 27. Nivel de Fatiga y su Impacto sobre la Motivación, el Aprendizaje. ....	98
Tabla 28. Efecto de la Discrepancia sobre el Nivel de Motivación. ....	98
Tabla 29. Efecto del Nivel de Motivación sobre Aprendizaje y sobre Cada Actividad. ....	98

## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

Tabla 30. Aplicación de Incentivos en Función de la Discrepancia. ....	98
Tabla 31. Efecto de los Incentivos Sobre el Nivel de Motivación. ....	98
Tabla 32. Presentación Variables Independientes.....	99
Tabla 33. Estudio y Jerarquización de las Estrategias Investigadas. ....	101
Tabla 34. Tabla de Resultados Validación del Modelo. ....	133
Tabla 35. Ajuste Intervalo de Confianza. ....	134
Tabla 36. Cálculo del número de Repeticiones.....	135
Tabla 37. Resultados NET y CTP por experimento.....	137
Tabla 38. Tabla Duración Total del Proyecto. ....	138
Tabla 39. Costo Total del Proyecto. ....	138
Tabla 40. Resultado de las Tres Mejores Estrategias a Partir del Número de Ensayos para la Duración del Proyecto. ....	139
Tabla 41. Resultado de las Tres Mejores Estrategias a Partir del Número de Ensayos para la Duración del Proyecto. ....	140
Tabla 42. Resultados del Nivel de Ejecución del Proyecto con Mejor Estrategia (Frecuencia de control 14 días Tolerancia del 1%). ....	141
Tabla 43. Resultados del Costo Total del Proyecto con Mejor Estrategia (Frecuencia de control 14 días Tolerancia del 1%).....	142
Tabla 44. Presentación de los Sobrecostos Comparando el Escenario Sin Estrategia y Con Estrategia. ....	144
Tabla 45. Tasa Incremento de la Discrepancia, Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sin Estrategia de Control. ....	146
Tabla 46. Tasa Incremento de la Discrepancia, Aprendizaje, Fatiga y Motivación Con Estrategia de Control. ....	146
Tabla 47. Nivel de la Discrepancia, Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sin Estrategia de Control. ....	148
Tabla 48. Nivel de Discrepancia, Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sin Estrategia de Control.....	148
Tabla 49. Impacto del Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sobre la Ejecución de las Actividades Sin Estrategia de Control.....	150
Tabla 50. Impacto del Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sobre la Ejecución de las Actividades Con Estrategia de Control.....	150

**FIGURAS**

Fig. 1 Proyecciones del PIB de edificaciones. ....14

Fig. 2 Variación anual de las cadenas de insumos del ICCV. ....16

Fig. 3 Participación de los segmentos de insumos en la edificación de una vivienda (%). ....17

Fig. 4 Variación anual de los costos asociados a cimentación y estructuras, mampostería y el resto de insumos. ....18

Fig. 5 ICCV Total (variación anual) y Utilización de la Capacidad Instalada en las industrias proveedoras de insumos del sector edificador (%). ....18

Fig. 6 Utilización de la Capacidad Instalada en las Industrias que producen cemento, hierro y ladrillos (%). ....19

Fig. 7 Las etapas del ciclo de vida de un proyecto, y las partes interesadas en cada etapa. ....25

Fig. 8 El alcance del éxito dentro del ciclo de vida del proyecto .....26

Fig. 9 Triangulo de acero. ....27

Fig. 10 Square Route. ....28

Fig. 11 Representación gráfica de los criterios y factores aplicados al éxito del proyecto. ....29

Fig. 12 Bloques de construcción de ciclo de vida del proyecto. ....30

Fig. 13 Punto de vista macro de éxito del proyecto. ....30

Fig. 14 Punto de vista micro de éxito del proyecto .....31

Fig. 15 Representación de la actividad en el diagrama de Forrester. ....36

Fig. 16 Flujos de información de las actividades precedentes. ....36

Fig. 17 Flujos de información de la norma técnica y de su ejecución. ....37

Fig. 18 Flujos de reproceso para una actividad definida. ....38

Fig. 19 Representación de la relación de las variables Exógenas sobre la ENT y sobre la TEA. ....39

Fig. 20 Representación de la relación de variables Endógenas sobre la ENT y TEA. ....40

Fig. 21 Representación de la Estructura del nivel de recursos renovables. ....41

Fig. 22 Representación de la tasa utilización del recurso renovable (RR). ....42

Fig. 23 Modelo de nivel de recursos renovables. ....42

Fig. 24 Generación del indicador del nivel de ejecución del proyecto. ....46

Fig. 25 Representación dinámica de la discrepancia (Control del proyecto). ....47

Fig. 26 Bucle de retroalimentación negativa. ....48

Fig. 27 Representación de la red de actividades AON en un diagrama de Forrester. ....49

## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

Fig. 28 Modelo dinámico de programación y control de proyectos con multimodo. ....	49
Fig. 29 Interrelación de los modelos de diseño y planificación de la construcción. ....	51
Fig. 30 Impactos de costos de re trabajo reportados en varios estudios. ....	55
Fig. 31 Proyectar Estrategias de aceleración .....	55
Fig. 32 Diagrama de flujo del proceso de análisis de retraso. ....	56
Fig. 33 Reglas de comportamiento del agente. ....	57
Fig. 34 Análisis del impacto de los cambios de diseño. ....	58
Fig. 35 Procesos de retroalimentación causados por errores y cambios.....	59
Fig. 36 Un modelo de flujo de trabajo del proyecto. ....	60
Fig. 37 Marco de la cadena de suministro de la construcción. ....	61
Fig. 38 Flujo de información en el modelo de cadena de suministro. ....	62
Fig. 39 Variables de entrada y su secuencia en el módulo SIG. ....	63
Fig. 40 Principales riesgos, las partes interesadas y el ciclo de vida del proyecto. ....	68
Fig. 41. Evaluación del modelo Fuzzy. ....	69
Fig. 42 Estructura jerárquica de los riesgos. ....	70
Fig. 43 Esquema de la aplicación de la teoría de la fiabilidad del sistema para cuantificar la calidad del proyecto. ....	71
Fig. 44. Estructura de una actividad en la red de ejecución. ....	73
Fig. 45 Acumulación de costos de control. ....	75
Fig. 46 Diagrama causal factor Aprendizaje. ....	77
Fig. 47 Diagrama causal factor Fatiga y Horas Extras. ....	78
Fig. 48 Diagrama causal factor Motivación. ....	78
Fig. 49 Metodología para el Desarrollo del Proyecto. ....	81
Fig. 50 (Continuación) Metodología para el Desarrollo del Proyecto. ....	82
Fig. 51 Ficha Técnica del Proyecto en Estudio .....	84
Fig. 52 Diagrama de Redes del Proyecto. ....	100
Fig. 53 Diagrama Causal Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sobre la Ejecución de Actividades. ....	103
Fig. 54 Diagrama Causal Modo 1. ....	104
Fig. 55 Diagrama Causal Modo 2. ....	104
Fig. 56 Diagrama Casual Modo 3. ....	105
Fig. 57 Estructura del Modelo. ....	106
Fig. 58 Ejemplo Modelo de NEA. ....	107



## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

Fig. 59 Red de Actividades Modelada a Partir de Dinámica de Sistemas. ....	108
Fig. 60 Modelo de Cálculo del Peso de Participación en la Tasa de Ejecución del Proyecto Presupuestada. ....	109
Fig. 61 Modelo de Cálculo de Nivel de Ejecución Total Presupuestado .....	110
Fig. 62 Modelo de Cálculo Duración Presupuestada de la Ruta Crítica. ....	111
Fig. 63 Modelo de Cálculo Costo Total del Presupuesto.....	112
Fig. 64 Modelo de Cálculo Tasa de Ejecución Mano de Obra Presupuestada. ....	113
Fig. 65 Modelo de Cálculo del Nivel de Ejecución de la Actividad Ejecutado. ....	114
Fig. 66 Esquema de Captura de Tablas Probabilidad de Ocurrencia de Eventos e Impactos sobre las Variables .....	115
Fig. 67 Nivel de Asignación de Números Aleatorios. ....	116
Fig. 68 Asignación de Números Aleatorios Requeridos para las Variables Exógenas y Endógenas. ....	116
Fig. 69 Modelo de Cálculo del Impacto del Clima Sobre la Ejecución de las Actividades. ....	117
Fig. 70 Ejemplo Modelo de Cálculo del Impacto de Una Variable Exógena Sobre la Ejecución de las Actividades.....	118
Fig. 71 Consolidación Modelos de Cálculo del Impacto de las Variables Exógenas Sobre la Ejecución de las Actividades.....	118
Fig. 72 Consolidación Modelos de Cálculo del Impacto de las Variables Endógenas Sobre la Ejecución de las Actividades.....	119
Fig. 73 Modelos de Cálculo del NRR y el Ausentismo.....	120
Fig. 74 Modelo de Cálculo de la Discrepancia. ....	121
Fig. 75 Modelación Modos de ejecución de las Estrategias de Control.....	121
Fig. 76 Modelación ejecución de Horas Extras en el Modo2. ....	122
Fig. 77 Modelo de Cálculo del Nivel de Fatiga. ....	124
Fig. 78 Modelo de Cálculo Nivel de Motivación. ....	126
Fig. 79 Modelo de Cálculo Nivel de Aprendizaje. ....	126
Fig. 80 Cálculo Variabilidad de la Actividad 10. ....	127
Fig. 81 Modelo de Cálculo para el Nivel de Ejecución Total Ejecutado y El Tiempo Total Ejecutado....	129
Fig. 82 Modelo Cálculo de la Duración de la Ruta Crítica. ....	129
Fig. 83 Modelo Cálculo del Nivel del Costo ejecutado del Proyecto.....	130
Fig. 84 Costo Total Ejecutado del Proyecto. ....	131

Fig. 85 Modelo de Cálculo Para la Tasa de Mano de Obra Ejecutada .....132

**GRAFICAS**

Gráfica 1. Medición del Volumen de Lluvias en mm (Promedio de los últimos 10 años) .....89

Gráfica 2. Intervalos de Confianza y NET Real. ....134

Gráfica 3. Comparativo NEP Presupuestado, sin Estrategia, Control Cada 14 días Tolerancia del 1%.  
.....142

Gráfica 4. Comparativo CTP Presupuestado, sin Estrategia, Control Cada 14 días Tolerancia del 1%.  
.....143

Gráfica 5. Comparativo del Sobrecosto Acumulado Con Estrategia y Sin Estrategia. ....145

Gráfica 6. Comparativo Entre el las horas Extras y las Tasas de Incremento del Aprendizaje, la Fatiga y la Motivación Sin y Con Estrategia de Control. ....147

Gráfica 7. Comparativo Entre el Nivel de Discrepancia y El Nivel de Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sin y Con Estrategia de Control. ....149

Gráfica 8. Impacto del Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sobre la Ejecución de las Actividades Sin y Con Estrategia de Control. ....151

A Dios, que todo lo puede.  
A mis padres, por ser modelo de constancia y perseverancia.  
A Isabel, por el apoyo incondicional y comprensión.  
A los Directivos de la Pontetresa SAS, por creer.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

**DESIGN OF A INTEGRAL CONTROL STRATEGY APPLIED TO CONSTRUCTION PROCESS.**

**Resumen**

Este trabajo presenta una metodología para el control de procesos en el sector de la construcción, para las etapas de cimentación y estructura, la cual integra tres herramientas conceptuales: logística, gestión de proyectos y dinámica de sistemas. Esta metodología permite realizar un análisis integral de los efectos de tres modos de ejecución propuestos y sus combinaciones, partiendo de la caracterización del proceso como una sucesión de actividades, en los que, para cada actividad se analizan las variables exógenas y endógenas que afectan la ejecución de dichas actividades, los recursos renovables y no renovables y sus interacciones desde una perspectiva sistémica; esta integración se soporta en la dinámica de sistemas como herramienta cuantitativa de análisis. La metodología propuesta apoya la toma de decisiones a nivel gerencial y operativo a fin mejorar los indicadores de respuesta del proyecto como son tiempo de ejecución y costo.

*Palabras Clave: Construcción, Cimentación, Estructura, Dinámica de Sistemas, Gestión de Proyectos, Simulación, Discrepancia, Multimodo.*

**Abstract**

The following study shows a methodology for process control in the construction industry, for its stages of foundation and structure integrating three conceptual tools: logistics, project management and system dynamics. This methodology enables to do an integral analysis from the impact of three different implementation methods and their combinations, starting from the process characterization as a series of activities, in which for each activity, the exogenous and endogenous variables affecting the implementation are analyzed, renewable and non-renewable resources and their interactions from a systemic perspective; such integration is based on the system dynamics as a quantitative analysis tool. The proposed methodology supports decision making at management and operational level, in order to improve the project's response indicators such as implementation time and cost.

*Keywords: Construction, Foundation, Structure, System Dynamics, Project Management, Simulation, Discrepancy, Multimode.*

**CAPITULO 0. INTRODUCCION JUSTIFICACION Y OBJETIVOS.**

**1. INTRODUCCION.**

El sector de la construcción en los últimos años, según informe de (CAMACOL, n.d.), ha sido una industria clave para el desarrollo económico del país, debido a su gran dinamismo y se constituye como uno de los sectores más importantes y de mayor incidencia en el desarrollo industrial. Cabe mencionar que el sector de la construcción no se ha basado en el desarrollo de infraestructuras básicas únicamente, sino que también ha generado un desarrollo en obras de edificación residencial que ha sido una clave importante dentro del desarrollo económico y social del país.

El sector de la construcción es sin duda uno de los más importantes del país y se subdivide en: edificaciones y obras civiles, que representan actualmente el 6.1% del Producto Interno Bruto nacional (Fig. 1).

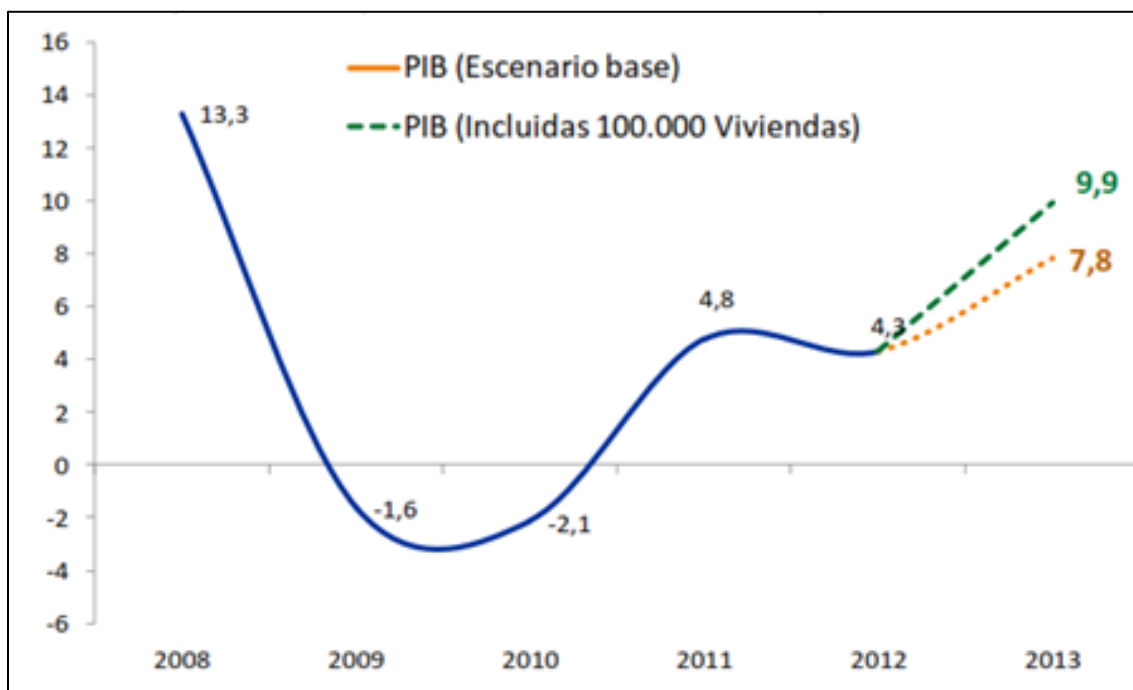


Fig. 1 Proyecciones del PIB de edificaciones.  
Fuente: CAMACOL-DANE 2012

Asimismo, se trata de uno de los mayores generadores de empleo ya que reporta el 24% del total generado en el último año a nivel nacional. A esto se le suma un importante incremento del 12.2 por ciento de 2010 al primer semestre de 2011, que genera 1.096.053 de empleos, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane).

## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

Aunque la mayoría de ellos son informales, cerca del 58 por ciento del total, el 42 por ciento restante es exigente por tratarse de uno de los sectores más dinámicos de la economía nacional, ya que se constituye a partir de proyectos a plazos definidos (Tabla 1).

Para incrementar la formalidad en el país, la Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol), impulsa la vinculación entre la empresa privada y las universidades para fortalecer el desarrollo tecnológico en busca del crecimiento, tanto técnico como profesional.

Tabla 1. Ocupación por ramas de actividad abril-junio 2011-2012.

Posición Ocupacional (miles)	Abr-Jun			
	2010	2012	Participación 2012	Variación % 2010/2012
Ocupados Total Nacional	19.103	20.778	100	8,77
No informa	9	7	0,0	-22,22
Agricultura, pesca, ganadería, caza y silvicultura	3.516	3.515	16,9	-0,03
Explotación de minas y canteras	232	279	1,3	20,26
Industria manufacturera	2.444	2.738	13,2	12,03
Suministro de electricidad, gas y agua	90	97	0,5	7,78
Construcción	970	1.221	5,9	25,88
Comercio, hoteles y restaurantes	5.008	5.579	26,9	11,40
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	1.567	1.684	8,1	7,47
Intermediación financiera	245	249	1,2	1,63
Actividades inmobiliarias	1.231	1.343	6,5	9,10
Servicios, comunales, sociales y personales	3.791	4.064	19,6	7,20

Fuente: DANE 2012

## **2. JUSTIFICACION**

Según el Dane, en los últimos años, el área nueva para construcción registró un decrecimiento de 3,1 por ciento al pasar de 14'177.670 metros cuadrados en el 2011 a 13'733.375 metros el año pasado. Sin embargo el sector de la construcción la construcción volvió a mostrar señales de recuperación; en el último trimestre de 2012, el área total censada registró un crecimiento de 2,3 % con respecto al tercer trimestre del 2012. Por su parte, el área culminada presentó un crecimiento del 11,7% en relación con el trimestre anterior.

Sin embargo, los proyectos en proceso presentaron una disminución de 0,3 %. Al tener en cuenta el destino de las edificaciones, entre el tercero y el cuarto trimestre del 2012, el principal decrecimiento se registró en apartamentos y casas. Esta actividad se concentró en los estratos 4 y 3.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Las perspectivas de la economía colombiana apuntan hacia mayores niveles de crecimiento, aunque se deben monitorear varios factores que pueden incidir en la dinámica nacional. Sin embargo considerando la incertidumbre de los precios de los materiales de construcción los cuales cada día aumentan y es cada vez más difícil lograr una estabilidad para mantener estabilidad en los costos directos de los proyectos construcción (Fig. 2).

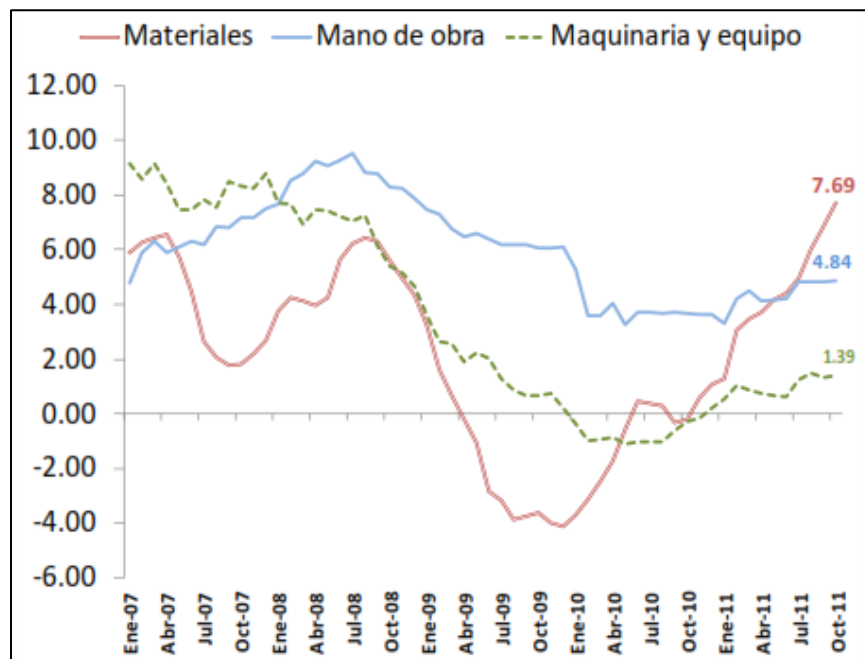


Fig. 2 Variación anual de las cadenas de insumos del ICCV.  
Fuente: DANE – CAMACOL 2011

De acuerdo con el DANE, el ICCV está compuesto por tres grandes grupos de costos: materiales de construcción, mano de obra y maquinaria y equipo. La canasta general del ICCV comprende además 19 subgrupos de costos, 120 insumos básicos y 274 artículos y variedades en total. En la Tabla 2 se indica cómo se estructura esta canasta de acuerdo al grupo de costos y los 19 subgrupos con su respectiva ponderación.

Los grupos de materiales que tienen mayor incidencia en la estructura de costos de los proyectos son los asociados a la cimentación y las estructuras con el 32% y mampostería con 14%. Como se puede ver en la Fig. 3 el resto de grupos de materiales de construcción representa cada uno menos del 10%.

El conjunto de materiales de cimentación y estructuras representan conjuntamente el 32% del ICCV, y estos dos componentes de insumos están creciendo a una tasa anual de 11% en lo corrido del 2011, mientras que el resto de insumos lo hace al 2% (Fig. 4). Estas cifras en conjunto indican que los componentes que tienen mayor importancia en la edificación son además los que están presentando el mayor aumento de precios.



## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Teniendo en cuenta el criterio anterior este proyecto se enfocara en el desarrollo de la metodología del control integral para estas dos actividades.

Tabla 2. Grupos y subgrupos de insumos del ICCV

GRUPOS	SUBGRUPOS	PONDERACIÓN
MATERIALES	Materiales Para Cimentación y Estructuras	20.95%
	Aparatos Sanitarios	2.68%
	Materiales Para instalaciones Hidráulicas y Sanitarias	3.48%
	Materiales Para instalaciones Eléctricas y de Gas	5.09%
	Materiales Para Mampostería	9.1%
	Materiales Para Cubierta	1.97%
	Materiales Para Pisos y Enchapes	6.79%
	Materiales Para Carpintería de Madera	3.63%
	Materiales Para Carpintería Metálica	3.35%
	Materiales Para Cerraduras, Vidrios, Espejos y Herrajes	1.22%
	Materiales Para Pintura	2.71%
	Materiales Para Obras Exteriores	0.71%
	Materiales Varios	0.99%
	Instalaciones Especiales	3.37%
<b>TOTAL MATERIALES</b>		<b>66.05%</b>
MANO DE OBRA	Maestro	1.16%
	Oficial	15.45%
	Ayudante	11.89%
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>		<b>28.51%</b>
MAQUINARIA Y EQUIPO	Maquinaria y equipos de construcción	4.39%
	Equipo de transporte	1.05%
<b>TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO</b>		<b>5.44%</b>

Fuente: DANE – CAMACOL 2011

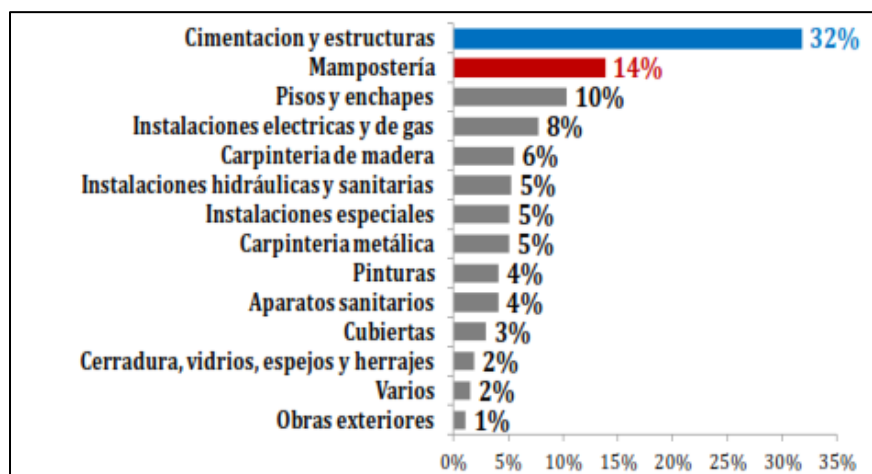


Fig. 3 Participación de los segmentos de insumos en la edificación de una vivienda (%).

Fuente: DANE – CAMACOL 2011

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

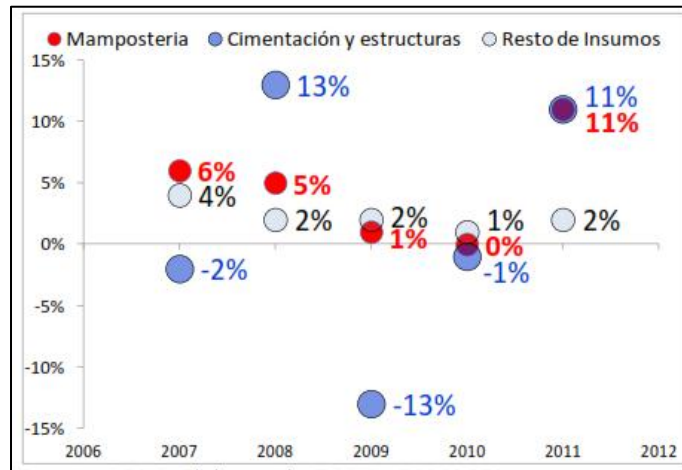


Fig. 4 Variación anual de los costos asociados a cimentación y estructuras, mampostería y el resto de insumos.  
Fuente: DANE – CAMACOL 2011

Con respecto a los costos de edificación, se evidencia que existe una correlación positiva entre el ICCV y la utilización de la capacidad instalada de los productores de insumos del sector (Fig. 5). Es decir, que aumentos de la utilización de la capacidad instalada se reflejan en aumentos de los costos de edificación. Teóricamente se argumenta que aumentos en la demanda llevan a un aumento en la utilización de la capacidad instalada de las industrias productoras (Fig. 6). Este mayor aumento genera presiones.

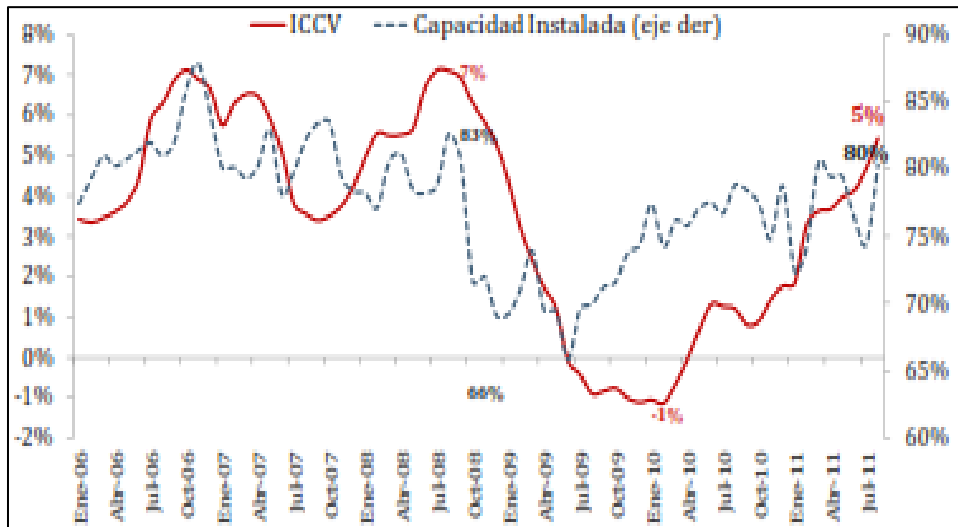


Fig. 5 ICCV Total (variación anual) y Utilización de la Capacidad Instalada en las industrias proveedoras de insumos del sector edificador (%).  
Fuente: DANE – CAMACOL 2011

No solo la incertidumbre de los incrementos de los insumos juega un papel fundamental en el control de proyectos, el sobrecosto que puede llegar a

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

producir los retrasos en el tiempo ejecución mínimo para ejecutar el proyecto, es fundamental en el sistema de gestión. Estos retrasos son producidos por variables externas e internas como el estado del tiempo, imprevistos del método constructivo, cambios de diseño, ausentismo del personal, incumplimiento de contratistas y los reprocesos de actividades que no cumplen los estándares de diseño ni la calidad requerida.

Para superar estos síntomas crónicos, enormes esfuerzos se han dedicado a los aspectos de planificación y control de gestión de la construcción. Un enfoque ampliamente adoptado para la planificación y el control en la industria es el uso de herramientas basadas en la red de actividades, tales como el Método Ruta Crítica (CPM) y el Programa de Evaluación y Técnica de Revisión (PERT), y el Método Valor Ganado (EVM). Sin embargo, debido a que estas herramientas utilizan inherentemente un enfoque estático, pueden proporcionar a los usuarios unas estimaciones poco realistas, pueden ignorar múltiples procesos de retroalimentación que prevalecen y las relaciones no lineales de un proyecto o ser inadecuada para el desafío de proyectos dinámicos de hoy en día (S. H. Lee, Peña-Mora, & Park, 2006).

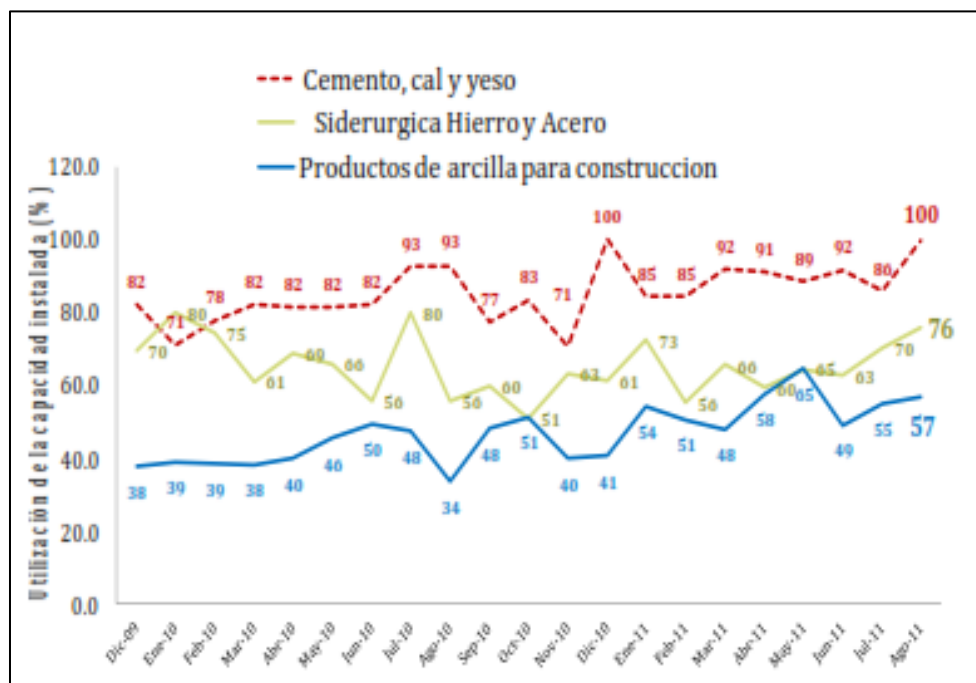


Fig. 6 Utilización de la Capacidad Instalada en las Industrias que producen cemento, hierro y ladrillos (%).

Fuente: DANE – CAMACOL 2011

Las herramientas basadas en la simulación se han desarrollado para hacer frente a las características inciertas de la construcción. Un enfoque importante aplicado a herramientas basadas en la simulación es la simulación de eventos discretos, que se centra principalmente en los aspectos operativos de los proyectos de construcción, mediante la introducción de procesos de gestión de colas estocásticas. Aunque hay ejemplos en los que las herramientas basadas

en la simulación se han utilizado con eficacia para resolver problemas operacionales en la construcción, tienen limitada la aplicación, experimentado solo en los aspectos estratégicos de la gestión de la construcción. Las posibles explicaciones para esta adopción limitada podrían deberse a que su proceso de desarrollo difícil y centrar la atención en el nivel operativo (S. H. Lee et al., 2006).

Por lo anterior, el desarrollo de los proyectos de viviendas tiene que controlarse de una manera dinámica y continua y se requiere la búsqueda de modelos prácticos de fácil entendimiento que involucren las variables que afectan los objetivos del proyecto.

(Rozenes, Vitner, & Spraggett, 2006) propone que un sistema de control objetivo del proyecto, el cual consiste en minimizar la brecha entre la planificación y la ejecución del proyecto con el fin de lograr los objetivos del proyecto, es decir, lograr cumplir las expectativas de costo, tiempo y contenido; justificando la importancia de buscar herramientas actuales de control de proyectos y técnicas.

El objetivo final de esta línea de trabajo es permitir maneras efectivas de manejar y tomar decisiones sobre la ejecución y control de los proyectos de construcción basadas en la comprensión y la teoría basada en modelos de dinámica de sistemas, proponiendo una nueva una estrategia de control integral aplicada a procesos de construcción donde se analicen el efecto de las variables que influyen tanto en los costos directos de ejecución del proyecto como en los tiempos de ejecución de estos.

En las siguientes secciones se describe un acercamiento de la metodología para desarrollar dicha estrategia basada en modelos y herramientas requeridas que serán definidos durante la caracterización del sistema y la aplicación de la herramienta más adecuada para desarrollar dicho modelo.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En vista de que el sector de la construcción en Colombia ha afrontado un alza considerable en los costos de los materiales de construcción en los últimos meses y que adicionalmente, y que los tiempos de ejecución de dichos proyectos se ven afectados por la influencia de variables controlables y no controlables afectado los resultados esperados de los proyectos de construcción, por otro lado teniendo en cuenta lo enunciado por (Eden, Williams, & Ackermann, 2005), donde el análisis forense de los proyectos fallidos se convierte a menudo en la intención de identificar las razones específicas y asignar la culpa por los costos excesivos y la entrega tardía de un proyecto.

Por otro lado (T. Williams, 2005) manifiesta que la experiencia muestra que algunos proyectos presentan un gasto considerablemente excesivo, recientemente la investigación de la modelación sistémica en el comportamiento de los grandes proyectos, explica porque se gasta más de lo debido por los efectos de las variables del sistema y el efecto (a veces contradictorio) de las acciones de gestión. Sin embargo, aunque este trabajo es cada vez más conocido, la incorporación de las lecciones del proyecto de gestión de la práctica no es sencilla.

A partir de lo enunciado anteriormente surge la pregunta de investigación ¿Cómo minimizar la discrepancia entre la planificación y la ejecución de un proyecto de construcción con el fin de lograr los objetivos propuestos, es decir, lograr cumplir las expectativas de costo, tiempo y contenido; justificando la importancia de buscar herramientas y técnicas actuales de control de proyectos?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 General**

Diseñar una metodología de control integral y dinámica que apoye la toma de decisiones durante la ejecución de un proyecto de construcción considerando los factores de incertidumbre que intervienen durante el desarrollo de este.

### **4.2 Específicos**

Describir la relación de las variables de incertidumbre y su efecto en el costo total y duración del proyecto.

Comprender como las variables de incertidumbre del sistema afecta su comportamiento, determinando las acciones de mejora necesarias.

Minimizar el efecto entre el costo presupuestado y el costo ejecutado mediante la formulación de un método de control.

## **CAPITULO 1. MARCO TEORICO.**

### **5. MARCO TEORICO.**

#### **5.1 Logística.**

(Feres, 1998) define un sistema logístico como un sistema que tiene como función fundamental proveer medios a un proceso de negocio para que este alcance su identidad (misión, visión, políticas y estrategias) y los medios se concretan en energía, materia e información, es decir, las tres cantidades fundamentales del universo.

Esta definición es compatible con el enfoque sistémico en logística propuesto por el mismo autor (Feres, 1998) y adoptado por esta metodología, el cual explica la organización como un macrosistema conformado por un sistema central y por un conjunto de sistemas de apoyo, conocido como sistema logístico, el cual debe proveer los medios necesarios, para el funcionamiento del sistema central y de los demás sistemas de apoyo. Con este propósito desarrolla un conjunto de actividades estructurado conocido como ciclo logístico.

El ciclo logístico está compuesto por tres niveles, el primer nivel, determinación de necesidades, define las necesidades de los medios logísticos (material, personal y servicios) que es preciso satisfacer para llevar a cabo una acción estratégica u operativa. El segundo nivel, obtención de recursos, consiste en la obtención de los medios reales que den satisfacción a dicha necesidad y por último el tercer nivel, distribución u operación del sistema, hace llegar los recursos al consumidor final (Dusko Kalenatic, 2011).

En la búsqueda de la política "óptima" empresarial se recomienda partir de la identificación de la estructura organizacional del sistema, utilizando la misma estructura o una modificación de esta, en la definición de los planes y estrategias de la empresa, en función de realización de políticas empresariales. Ello se logra, si se realiza la simulación de los resultados futuros que se pueda lograr, tanto bajo influencia de los diferentes comportamientos de los factores más significativos como de las diversas políticas y estrategias reguladoras del funcionamiento de la empresa como sistema dinámico. (Dusko Kalenatic, 2000)

Así mismo la herramienta propuesta sirve de apoyo en el proceso de toma de decisiones sobre el macrosistema como parte integral del ciclo logístico logrando así la consecución del objetivo primordial del sistema.

#### **5.2 Control y Gestión por Procesos.**

Según (Muñiz, 2003) el control, se define como aquella situación en que se dispone de conocimientos ciertos y reales de lo que está pasando en la empresa, tanto internamente como en su entorno y permite planificar en cierta

manera lo que pasará en el futuro. El control es necesario y surge como una necesidad para poder valorar evaluar y mejorar la gestión de la misma en toda su amplitud.

También define el control de gestión como el proceso que mide el aprovechamiento eficaz y permanente de los recursos que posee una empresa para el logro de los objetivos; se llama Gestión o administración por procesos a la metodología corporativa cuyo objetivo es mejorar el desempeño (Eficiencia y Eficacia) de la Organización a través del diseño, modelamiento, organización, documentación y optimización de forma continua.

Por otro lado (Rueda Velasco, González Rodríguez, & Moreno, 2012) cita, que los sistemas de control se usan en la ejecución de proyectos con el fin de intervenir las diferentes actividades , cuando las discrepancias entre lo programado y lo ejecutado realmente en el proyecto así lo exijan; el monitoreo de dichas actividades se pueden desarrollar de forma continua o periódica.

### **5.3 Naturaleza del Control de Proyectos.**

La planificación, medición, monitoreo y tomar medidas correctivas generalmente están incluidos en el ciclo de control. Por lo general, los proyectos utilizan un sistema de control, que supervisa la diferencia o la brecha entre las variables de la planificación y los resultados reales; estos sistemas indican la dirección del cambio en las variables de planificación preliminares en comparación con el desempeño real.

El desempeño exitoso de un proyecto depende de una apropiada planificación. La ejecución del proyecto según el plan del proyecto predefinido, puede lograrse a través de una metodología de control. En consecuencia, el control del proyecto es un problema importante durante el ciclo de vida del proyecto.

El diseño de un sistema de control de proyectos es una parte importante de los esfuerzos de gestión de proyecto, Además, es ampliamente reconocido que la planificación y supervisión desempeña un papel importante como causa de fracasos del proyecto. A pesar de la continua evolución en el campo de la gestión de proyectos, parece evidente que los enfoques tradicionales todavía muestran una falta de metodologías apropiadas para el control del proyecto.

### **5.4 Análisis de Fallos de Proyecto.**

Otra forma de abordar el tema de la importancia de control es examinando fracasos del proyecto con el fin de identificar las reglas de control de proyecto más eficaces. Por ejemplo, para una encuesta realizada entre 1.450 empresas en los sectores público y privado (Whittaker, 1999) la principal conclusión fue que la falta de gestión de riesgos era el factor más altamente ordenado contribuyendo al fracaso del proyecto. Otros contribuyentes de referencia fueron la falta de conocimientos del equipo necesario y la falta de control.

Por otro lado los investigadores encuestaron a proyectos de construcción en Jordania con el objetivo de identificar las principales causas de retraso en la industria de la construcción (Odeh & Battaineh, 2002). Los resultados indicaron que la interferencia del propietario, constructor inadecuada experiencia, financiamiento y pagos, productividad en el trabajo, lenta toma de decisiones, inadecuada planificación y subcontratistas fueron entre los top 10 más importantes causas por retraso.

### **5.5 Programación y Gestión de Proyectos.**

(Muñiz, 2003) define que un proyecto como el acto necesario para conseguir un objetivo (o producto final) mediante las tareas planificadas, coordinadas y supervisadas mediante la utilización de unos recursos limitados.

(Rueda Velasco et al., 2012) propone una definición de proyecto sin olvidar que las tareas o actividades que intervienen en la ejecución de un proyecto llevan asociadas relaciones de precedencia y medidas de desempeño; toda actividad es un albor que consume tiempo y recursos y sus principales características son: La duración, los requerimientos de recursos, la fecha de inicio y entrega, la posibilidad de interrumpir y el modo de ejecución.

Por ende la gestión de proyectos consiste en la planificación, monitoreo y control; con éxito, ésta, asegura la terminación del proyecto en el tiempo, dentro del presupuesto, y las especificaciones del proyecto. Se puede definir como el proceso de control de la consecución de los objetivos del proyecto y se orienta a la planificación y control del mismo; también tiene que ver con la entrega a tiempo, los gastos dentro del presupuesto y normas de funcionamiento apropiado. Existe un método, conocido como el método de la ruta crítica (CPM) la cual es una técnica cuantitativa fundamental desarrollada para la gestión de proyectos y determina el tiempo mínimo necesario para completar el proyecto. Para realizar un control por medio de este método, inicialmente se deben identificar todas las actividades que se involucran en el proyecto, determinando relaciones de precedencia, luego se construye una red con base en las actividades identificadas y finalmente se identifica la ruta crítica que compone el proyecto.

Un proyecto puede ser considerado como el logro de un objetivo específico, que consiste en una serie de actividades y tareas que consumen recursos; este tiene que ser completado dentro de una especificación de conjunto, con fechas de inicio y final definidos; también se refiere a la definición y selección de una tarea que será de beneficio general a la empresa; este beneficio puede ser financiero, de marketing y técnico, pero esto tiende a ser de naturaleza a largo plazo, orientada a la vida total del proyecto terminado. Los parámetros más importantes dentro de los objetivos del proyecto son, el retorno de la inversión, la rentabilidad, la competencia y la capacidad de mercado. (Morris & Hugh, 1986) expone que el éxito de un proyecto depende de: una meta realista y definida, la competencia, la satisfacción del cliente, disponibilidad en el mercado, proceso de implementación y la percepción del valor del proyecto.



## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

En la gestión de proyectos, hay factores que influyen en la no realización de la misma, siendo estos, una base inadecuada para el proyecto, persona equivocada como gerente del proyecto, falta de apoyo de alta dirección, falta de técnicas de gestión de proyectos, gestión de las técnicas mal utilizadas y al falta de compromiso con el proyecto. El éxito del proyecto puede ser evaluado utilizando tres criterios de evaluación basados no sólo en las técnicas de gestión de proyectos, sino en otros criterios externos que son importantes para la implementación exitosa de los proyectos, desde la concepción hasta el desarrollo y uso y el cierre.

El papel de la gestión de proyectos es utilizar los recursos disponibles con eficacia para lograr un objetivo fijado dentro de ciertos criterios y tiene que ser colocado en el contexto de un proyecto más amplio.

Todo proyecto tiene un ciclo de vida desde el momento en que surge la idea de realizarlo (Munns & Bjeirmi, 1996). La Fig. 7 muestra un modelo de las etapas de la vida de un proyecto, siendo estas: a. Fase de concepción de la idea del proyecto, se da luz dentro de la organización del cliente y su viabilidad determinada, b. Fase de planificación del método para lograr la idea original que se planifica y diseña, c. Producción: los planes se convierten en realidad física, d. Entrega el proyecto terminado que se entrega al cliente para su uso, e. Utilización, el cliente hace uso del proyecto acabado, f. Terminación, el proyecto se desmonta y se dispone el final de su vida útil.

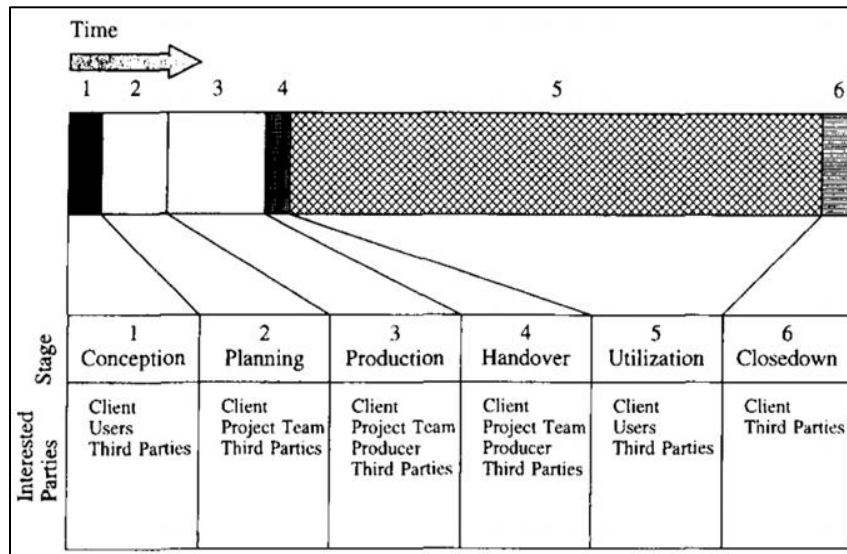


Fig. 7 Las etapas del ciclo de vida de un proyecto, y las partes interesadas en cada etapa.

Fuente. (Munns & Bjeirmi, 1996)

El diagrama ilustra cómo cada una de las partes previamente identificadas interactúa con el proyecto durante esta vida. El equipo del proyecto estará

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

involucrado con las etapas 2-4, mientras que el cliente está interesado en las etapas 1-6.

Durante del ciclo de vida del proyecto, el equipo se centra en la tarea de llegar con éxito al final de la etapa 4, en la que señalan que terminarán su participación y progreso en el próximo proyecto. El alcance de éxito dentro del proyecto se muestra la Fig. 8, es cuando el cliente hace frente con el resultado, que debe ser utilizado de manera efectiva hasta que se llega a la última etapa. A lo largo de este proceso, el desempeño del proyecto puede ser evaluado en una de tres maneras: la primera, la aplicación, esta se realiza en etapas 2-4 y se ocupa de las técnicas de gestión de proyectos y su ejecución, la segunda, los valores de percepción, esta es la opinión de los usuarios que van a interactuar con el proyecto durante la fase de utilización y por último, la satisfacción del cliente, en el cierre del proyecto cuando el cliente puede examinar todos los factores que influyen en el proyecto y hacer una evaluación en cuanto a la satisfacción de las metas originales.

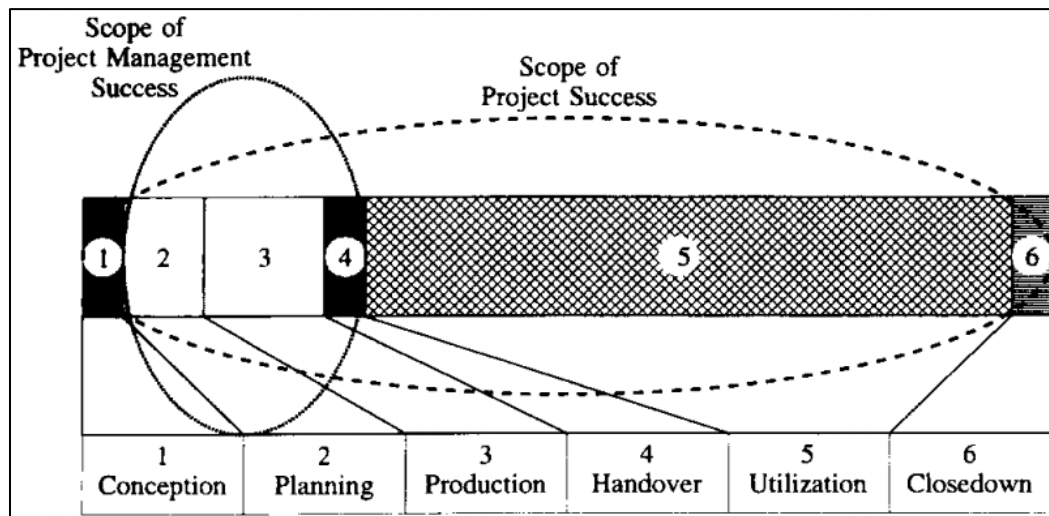


Fig. 8 El alcance del éxito dentro del ciclo de vida del proyecto  
Fuente. (Munns & Bjeirmi, 1996)

Según lo descrito por (Ballestín, 2002) el problema de programación o secuenciación de proyectos PSP (Project Scheduling Problem), busca determinar el tiempo de iniciación y finalización de cada actividad que pertenece al proyecto, buscando el mejor desempeño posible en términos de una o varias funciones de evaluación, respetando los tiempos de ejecución de cada actividad, las precedencias lógicas entre actividades, y la disponibilidad de medios para su ejecución. Cuando la información cuantitativa relacionada con la duración de las actividades de un proyecto está determinada de forma exacta a priori se define el proyecto como determinista, en caso contrario se conoce como probabilístico, aleatorio o estocástico.

La gestión del cambio dinámico se centra en la captura de los procesos de retroalimentación causadas por cambios en la construcción y la minimización

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

---

de su impacto. Para hacer realidad este concepto, se identifican diferentes características y patrones de comportamiento de cambio de la construcción, y se analiza el impacto del cambio en el rendimiento de la construcción de acuerdo para cambiar las características y al estado de la detección y el tiempo.

(P E D Love, Holt, Shen, Li, & Irani, 2002) sugieren que la gestión de proyectos podría clasificarse de la siguiente manera: Nivel 1: Consideración dada a las interacciones de un proyecto específico con el resto de la empresa contratista. La consideración más importante en este caso es si los objetivos del proyecto son compatibles con los objetivos generales de la empresa. Nivel 2: La gestión se ocupa principalmente de las alternativas estratégicas de un proyecto individual. Por ejemplo, ¿cuáles son los principales objetivos (hitos) y la forma de la estructura organizacional? Nivel 3: aquí, los detalles específicos de los objetivos de un proyecto, cronogramas de actividades, la asignación de mano de obra, etc., son considerados. Herramientas de CPM tradicionales y técnicas son adecuadas para hacer frente a aspectos específicos en el nivel 3, pero son incapaces de abordar plenamente las cuestiones de los niveles 1 y 2. Aquí es donde se puede utilizar la dinámica de sistemas, para tener una visión integral del proceso de gestión de proyectos. Las principales dinámicas asistidas de un sistema de gestión de proyectos incluyen: toma de decisiones, técnicas y tecnologías, respuestas conductuales y estructura del proyecto.

Como apoyo a nuestra pregunta investigación (Rozenes et al., 2006) argumenta que un sistema de control de proyecto pretende mini-minimizar la brecha entre la planificación de proyectos y ejecución de proyectos con el fin de alcanzar objetivos del proyecto, es decir, costo, tiempo.

Para efectos prácticos en el gremio de la construcción, después de 50 años, parece que las definiciones de la gestión de proyectos siguen incluyendo un conjunto limitado de criterios de éxito, es decir, el llamado Triángulo de Hierro, costo, tiempo y calidad (Fig. 9). Según (Atkinson, 1999) el tiempo finito es posiblemente la característica que diferencia a la gestión de proyectos de la mayoría de otros tipos de gestión.

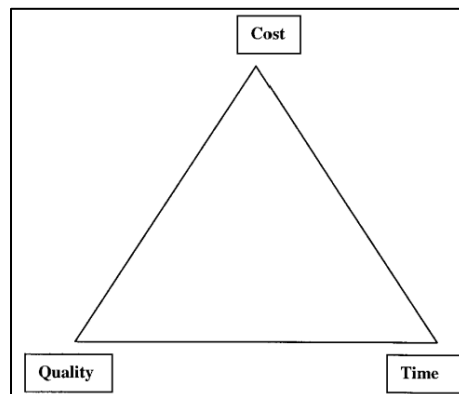


Fig. 9 Triangulo de acero.  
Fuente. (Atkinson, 1999)

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

The Square Route, se representa con tres categorías para comprender los criterios de éxito de la gestión de proyectos, esta ruta se observa en la Fig. 10 y consiste en integrar el triángulo de acero, el sistema de información del proyecto, los beneficios para la organización y los beneficios que trae el proyecto para la comunidad de partes interesadas en este.

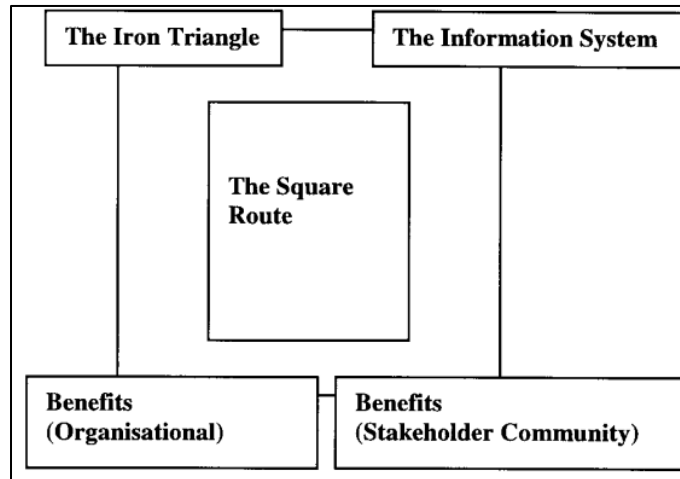


Fig. 10 Square Route.  
Fuente. Fuente. (Atkinson, 1999)

Para comprender los criterios de éxito se utiliza la ruta Square, anteriormente mencionada y se comprenden en la Tabla 3.

Tabla 3. Ruta Square para comprender los criterios de éxito.

<b>Triángulo de Hierro</b>	<b>El sistema de información</b>	<b>Beneficios (organización)</b>	<b>Beneficios (comunidad de partes interesadas)</b>
Costo	Sostenibilidad	Mejora de la eficiencia	Beneficios (comunidad de partes interesadas)
Calidad	Confiabilidad	Mejora de la eficacia	Impacto social y ambiental
Tiempo	Validez	El aumento de las ganancias	Desarrollo personal
	Información - Calidad de uso	Las metas estratégicas	Aprendizaje profesional
		Aprendizaje organizacional	Utilidades de los contratistas
		Reducción de residuos	Proveedores de capitales, el contenido del equipo del proyecto, el impacto económico de la comunidad circundante.

Fuente. (Atkinson, 1999)

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Para (Lim & Mohamed, 1999) los criterios son el conjunto de principios o normas (estrategias) por las que se realizó el juicio, mientras que los factores son el conjunto de circunstancias, hechos o influencias que contribuyen al resultado (variables).

Los proyectos de ingeniería y construcción por lo general algún tipo de compromiso social y por ende afectará todos los elementos de la sociedad; siendo ese el caso, el éxito del proyecto se debe ver desde las diferentes perspectivas del individuo, propietario, promotor, contratista, el usuario, al público en general, y así sucesivamente. El punto de vista macro de éxito del proyecto se dirigirá a la pregunta: ¿se logra el concepto original del proyecto? Si es así, el proyecto tiene éxito. Si no lo es, el proyecto es menos exitoso, o un fracaso. El punto de vista micro del éxito del proyecto se ocupará de los logros del proyecto en los niveles de los componentes más pequeños.

En el camino hay conjuntos de factores que impiden la disponibilidad para cada fase. Los factores o variables pueden incluir estudios de viabilidad, estudios de mercado, datos de diversos tipos, la experiencia, las condiciones del lugar, el clima, las inundaciones, la escasez, el desperdicio, los errores, la mano de obra, daños, robos, autorizaciones, los cambios, la supervisión, la logística, la interconexión, y así sucesivamente.

La fase de construcción es en la que todos los objetivos del proyecto, como tiempo, costo, rendimiento, calidad, seguridad, y así sucesivamente de las partes contractuales se establecen y se ponen a prueba. Los factores que influyen en los criterios de satisfacción podrían incluir la comodidad, la ubicación, el prestigio, el aparcamiento, el costo, y así sucesivamente.

Cuando aplicamos la definición de éxito del proyecto a los criterios y factores del éxito del proyecto, se obtiene una representación gráfica dada en la Fig. 11.

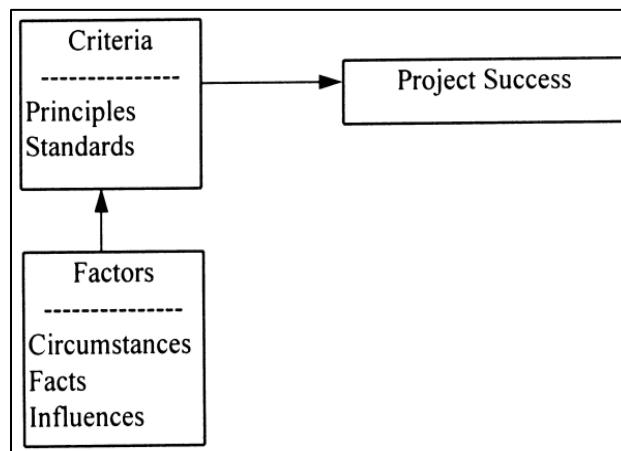


Fig. 11 Representación gráfica de los criterios y factores aplicados al éxito del proyecto.

Fuente. (Lim & Mohamed, 1999)

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

La Fig. 12 representa un modelo de los bloques de construcción de todo el ciclo de vida del proyecto mostrando su progreso desde la fase conceptual hasta la fase de operación.

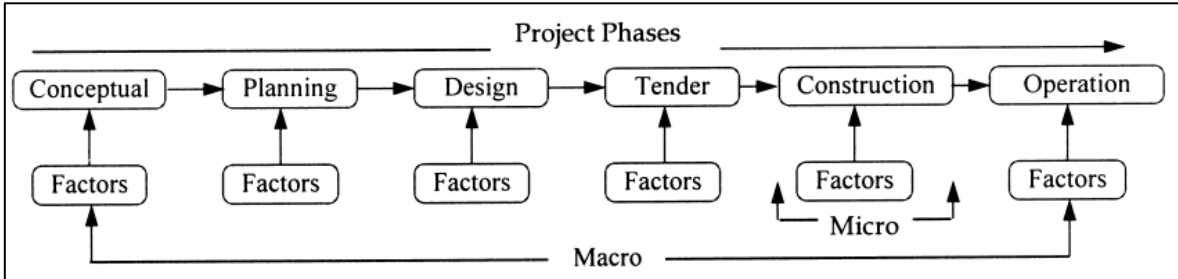


Fig. 12 Bloques de construcción de ciclo de vida del proyecto.  
Fuente. (Lim & Mohamed, 1999)

La Fig. 13 representa un marco para el punto de vista del éxito del proyecto. Se podría observar que el primer criterio para el éxito del proyecto es la terminación. Una vez que el proyecto se ha completado, se debe entonces satisfacer el segundo criterio: la satisfacción. La condición en este caso es el factor tiempo.

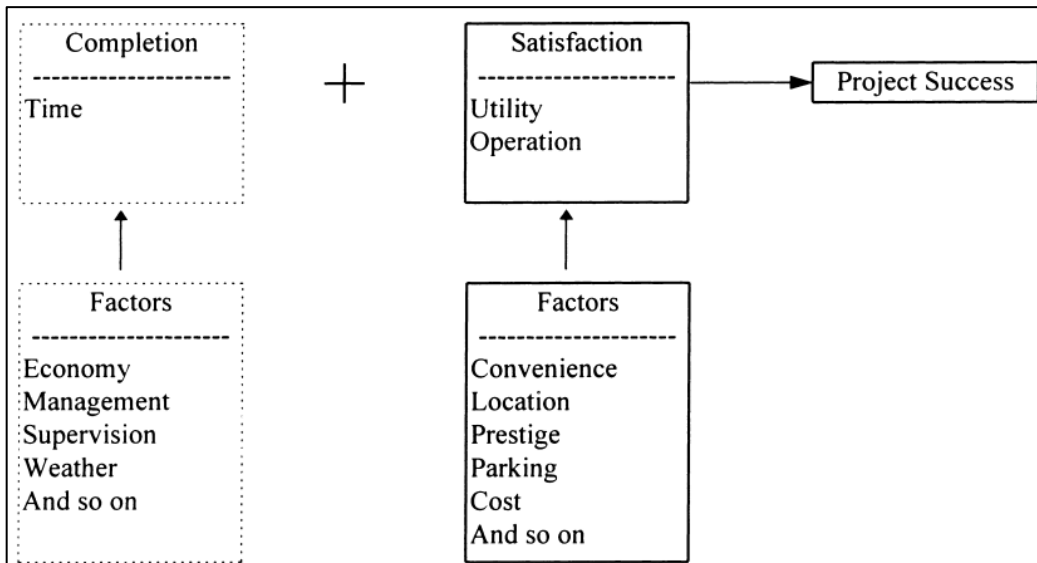


Fig. 13 Punto de vista macro de éxito del proyecto.  
Fuente. (Lim & Mohamed, 1999)

Si el proyecto es bien aceptado por los usuarios, el proyecto se percibe como un éxito. La Fig. 14 representa un marco para el punto de vista micro de éxito del proyecto. En general, el desarrollador (no operadores) y el contratista son los grupos de personas que se verá en el éxito del proyecto desde el punto de vista micro.

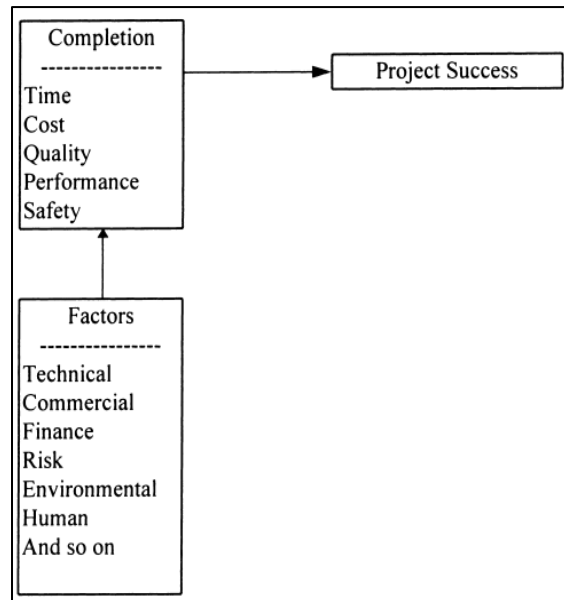


Fig. 14 Punto de vista micro de éxito del proyecto  
Fuente. (Lim & Mohamed, 1999)

### **5.5.1 Control de Objetivos Unidimensionales y Multidimensionales.**

Los sistemas de control unidimensionales son aquellos con un solo objetivo o medida de control, tal como el tiempo de ejecución del proyecto, el presupuesto, el desempeño o los proveedores (J. W. Forrester, 1961), (K. G. Cooper, 1980) ,(Wolstenholme, 1990).

Por otro lado hay que tener en cuenta la ayuda de objetivos multidimensionales, (Turner & Keegan, 2000) estos investigadores observaron que los gerentes deben reconocer que las organizaciones son esencialmente multidimensionales. Tales características multidimensionales incluyen: (a) jerarquía vinculada a los altos directivos; (b) modelos de control operacional y altos directivos; y (c) elementos de control operativo, es decir, gestión clientes, insumos, procesos y salidas.

Los sistemas de control multidimensionales utilizan una combinación de varios objetivos comúnmente tiempo y costo, los cuales se monitorean por medio de indicadores como los costos presupuestado y real del trabajo programado y los costos presupuestado y real del trabajo realizado (Anbari, 2003), (Raby, 2000), (J. Pajares, 2011).

Según (Rueda Velasco et al., 2012), el monitoreo de las actividades se puede desarrollar de forma continua o periódica A través de estos indicadores se definen acciones para atenuar los efectos de las desviaciones. El método de control multidimensional más común es el de gerencia del valor ganado (Earned Value Management).

## **5.6 Gestión de Control de Costos.**

La gestión de costos es el proceso por el cual las empresas controlan y planifican los costos de hacer negocios. No existe una única definición aceptada de este término, porque tiene amplias aplicaciones y posibles estrategias. Cuando se implementa correctamente, la gestión de costos se traducirá en menores costos de producción para los productos y servicios, así como mayor valor el cual se transfiere al cliente.

Para que una empresa sea eficaz en general, la gestión de costos debe ser un elemento integral de la misma. Es más fácil entender este concepto si se explica en el contexto de un solo proyecto. Por ejemplo, antes de que se inicie un proyecto, los costos anticipados deben ser identificados y medidos. Estos gastos, luego deben ser aprobados antes de cualquier compra se produzca. Durante el proceso de completar un proyecto, todos los gastos deben anotarse y guardarse en un registro de algún tipo, para ayudar a asegurar que los costos están controlados y se mantienen en línea con las expectativas iniciales, en la medida en que ello sea posible.

El sistema de ABC surgió en los años 60 aunque su gran desarrollo se da desde 1980 (R. Cooper & Kaplan, 1998), por las dificultades que presentan los métodos tradicionales de cálculos de costo (1870 - 1920) que priorizan la mano de obra y no dan importancia a los costos indirectos en los procesos productivos (Tucto, 2008)

En los últimos años los principales cambios que han incidido en la evolución del sistema ABC son: Los avances tecnológicos, el incremento de la competitividad y evitar que en los centros de costos existan actividades que no generan valor.

El ABC es una metodología usada para medir costos y desempeño de una empresa; se basa en actividades que se desarrollan para producir un determinado producto o servicio. A diferencia de los sistemas tradicionales, este método trata todos los costos fijos y directos como si fueran variables y no realiza distribuciones basadas en volúmenes de producción, porcentajes de costos u otro cualquier criterio de distribución.

En los proyectos de construcción usualmente se utiliza el método ABC, este sistema de costeo permite realizar un seguimiento detallado del flujo de actividades en la organización mediante la creación de vínculos entre las actividades y los objetos de costo y por ende el objetivo principal es Gestionar Integralmente la empresa conociendo las actividades que intervienen dentro de la fabricación y venta de los productos, consumo de recursos y como se incorporan los costos a dichos productos.

## **5.7 Dinámica de Sistemas.**



La dinámica de sistemas surgió como un enfoque de modelado para analizar las interacciones de los diversos componentes de sistemas socioeconómicos complejos (J. W. Forrester, 1961). La aplicación de dinámica de sistemas en gestión de proyectos la inicia con (K. G. Cooper, 1980) en este primer enfoque de carácter estratégico, es complementado por diferentes autores durante las dos últimas décadas del siglo XX (D. Kalenatic, López, & González, 2010), (Wolstenholme, 1990), (Abdel-Hamid & S. Madnick, 1991), (Terry Williams, Eden, Ackermann, & Tait, 1995), (A. Rodrigues & Bowers., 1996) basa su aplicación en una forma holística de ver el proceso de gestión, centrándose en los procesos de retroalimentación que tienen lugar en el sistema proyectos.

Según (Sterman, 2000) un diagrama de círculo causal es un diagrama causal que ayuda a visualizar cómo interrelacionadas las variables se afectan mutuamente. El diagrama consta de un conjunto de nodos que representan las variables conectados entre sí. Las relaciones entre estas variables, representada por las flechas, pueden ser etiquetadas como positivas o negativas.

- Relación causal positiva significa que el cambio de los dos nodos es en la misma dirección, es decir, si el nodo en el que el enlace se inicia disminuye, el otro nodo también disminuye. De manera similar, si el nodo en el que el enlace se inicia aumenta, aumenta el otro nodo.
- Relación causal negativa significa que el cambio de los dos nodos es en direcciones opuestas, es decir, si el nodo en el que el enlace se inicia aumenta, entonces se presentan disminuciones en el otro nodo y viceversa.

La estrategia de control propuesta se realizó usando dinámica de sistemas, el objetivo de este análisis es llegar a comprender cómo la estructura del sistema afecta su comportamiento, determinando las acciones de mejora que sean necesarias. La estructura está compuesta por procesos realimentados con polaridad positiva o negativa, los cuales presentan demoras estructurales, y se analizan a través de la construcción de modelos en los que se identifican sus elementos y relaciones causales (Dusko Kalenatic, 2011).

### **5.8 Control Dinámico de Proyectos.**

El enfoque clásico CPM (critical path method) (Kelley., 1969) inicio con el análisis de proyectos deterministas bajo la concepción precedencias estrictas y duraciones fijas para las actividades (Elmaghraby & Kambarowski, 1992). En lo que respecta a redes probabilísticas el caso más común y estudiado es cuando se asume la duración de las actividades y como consecuencia del proyecto como una variable aleatoria (Aristizábal & Zárate., 2006).

La técnica más utilizada y estudiada para proyectos probabilísticos se conoce como PERT (Program Evaluation and Review Technique), fue desarrollada por la marina de los Estados Unidos de América para gestionar el programa de desarrollo del misil submarino Polaris (Kazan., 2005) en PERT la distribución de

probabilidad de la duración cada actividad se trata como el valor esperado de una variable aleatoria tipo beta, cuyo valor se calcula por medio de una transformación lineal que se alimenta de tres estimaciones del tiempo de ejecución de la actividad: la optimista, la más probable, y la pesimista (Keefer & Verdini., 1993), esta característica facilita los cálculos, pero genera cierto grado de error en la estimación de la distribución de probabilidad del proyecto como lo reconocen diferentes autores diferentes autores (MacCrimmon & Ryavec, 1964)y (Hartley & Wortham., 1966).

Por otra parte los desarrollos de la dinámica de sistemas iniciados y fundamentados en los escritos de (J. W. Forrester, 1961) y (J. Forrester, 1968), basados en la aplicación de la teoría del control al análisis de sistemas sociales, son actualmente utilizados para modelar matemáticamente diferentes comportamientos estructurales de los sistemas sociales llamados arquetipos (Senge, 1992) y han sido aplicados en diversos campos tales como el empresarial, ambiental, económico y comportamental, entre otros (Sterman, 2000) y (Hannon, Ruth, & Meadows., 2001).

Los fundamentos conceptuales de Forrester, unidos a los principios conceptuales de CPM y PERT son integrados por (L. Gonzalez, Kalenatic, & Lopez, 2009) en una metodología para desarrollar modelos dinámicos para redes CPM y PERT, basados en una representación AON( actividad en el nodo), inicialmente se explican los fundamentos conceptuales utilizados como soporte de la metodología, posteriormente se presenta la metodología, junto con unos modelos prototipo de redes CPM y PERT. Los modelos prototipo inicialmente se desarrollan bajo los supuestos de CPM y PERT con el fin de validarlos, y seguidamente son modificados y utilizados para realizar una simulación del proyecto bajo condiciones de incertidumbre, esto con el fin de mostrar las ventajas de representación que genera su utilización en estos ambientes. Finalmente se proponen usos futuros para esta nueva forma representación.

A continuación se muestran los diferentes pasos y elementos necesarios para lograr dicha representación según (L. Gonzalez, Kalenatic, & Lopez, 2009):

- a. Definir las características del proyecto, Consiste en definir los elementos básicos del proyecto tales como objetivos actividades, tecnologías, estructura, entre otros.
- b. Definición del objetivo del proyecto, definición de la tecnología del proyecto(Análisis de estructura), que consiste en determina la tecnología a utilizar en la ejecución del proyecto
- c. El conjunto de actividades que lo componen el orden lógico en términos de la precedencia y sucedencia de cada una de las actividades, a partir de la tecnología seleccionada para la ejecución del mismo.

- d. Determinar las variables controlables y no controlables que afectan la duración de cada una de las actividades y su impacto en la ejecución de cada una de ellas.
- e. Determinar si la duración de cada actividad es susceptible de ser representada como un parámetro o como función de variables internas y externas del proyecto.
- f. Definir una tasa de ejecución de la actividad para cada uno de los niveles de ejecución de la actividad. Esta tasa define, en términos porcentuales, el ritmo al que se ejecuta la actividad en función de la norma técnica de la actividad, y la duración conforme a la ejecución estándar de la norma técnica de la actividad.
- g. Definir la norma técnica de la actividad. La norma técnica de la actividad NTA es la duración estándar de la actividad para una tecnología particular y un nivel de asignación de recursos específico.
- h. Determinar la ejecución de la norma técnica ENT corresponde a la ejecución estándar de la norma técnica, para una calidad particular de los recursos

### **5.8.1 Representación de Redes CPM.**

Definido el nivel como grado de ejecución de la actividad en términos porcentuales, en función del tiempo (Ver Fig. 15), así, el Nivel de Ejecución de la Actividad (NEA) se define en términos porcentuales (0-100%) y varía en el tiempo en función de TEA (Ver Ecuación 1).

$$NEAk = NEAj + TEAjk dt$$

Ecuación 1

Donde la tasa de ejecución de la actividad (TEA) define el ritmo, en términos porcentuales, al que se ejecuta la actividad.

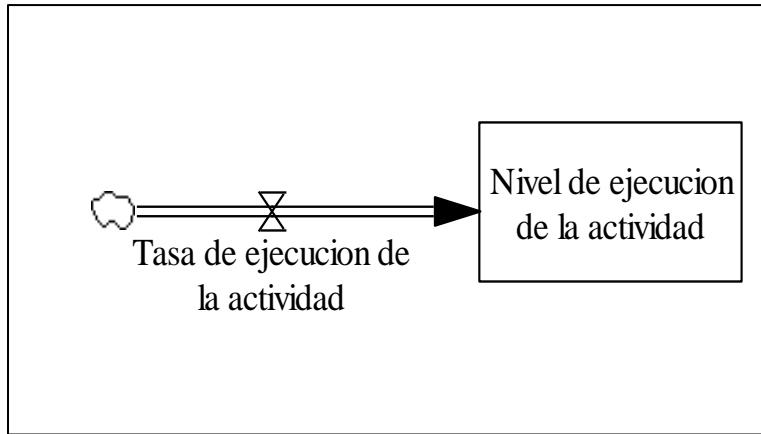


Fig. 15 Representación de la actividad en el diagrama de Forrester.  
Fuente. (L. Gonzalez, Kalenatic, & Lopez, 2009)

Como consecuencia de la utilización de este enfoque, se consideró como más adecuada la representación PDM (Modelo de diagrama de precedencias) del proyecto en el diagrama de Forrester, donde las actividades se representan como niveles (nodos) con su respectiva tasa de ejecución, y sus relaciones de precedencia se indican como flujos de información entre los niveles de las actividades precedentes y las tasas de las actividades sucesdentes. Aquí se toman las decisiones de iniciación de acuerdo a la estructura del proyecto seleccionada (ver Fig. 16), y las decisiones de ejecución o interrupción de las actividades de acuerdo a la disponibilidad de los recursos en un momento del tiempo y la decisión de finalización a partir de la información del nivel de ejecución de la actividad.

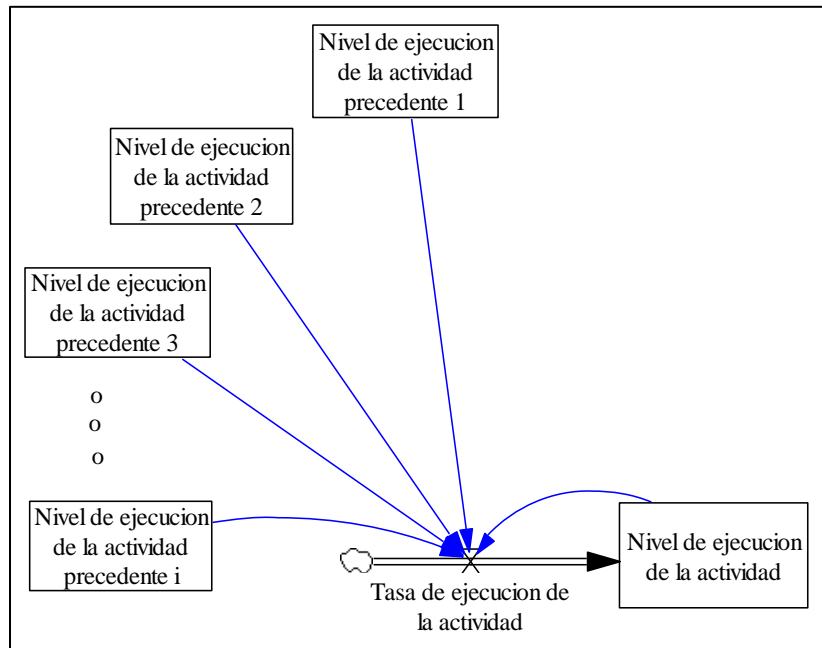


Fig. 16 Flujos de información de las actividades precedentes.  
Fuente. (L. Gonzalez, Kalenatic, & Lopez, 2009)

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Así solo si NEA es igual a 100% para toda actividad i precedente TEA j puede asumir valores mayores a cero, para tener en cuenta las precedencia de las actividades.

En el modelo la tasa de ejecución de la actividad se definió en función de la norma técnica (Ver Ecuación 2)

$$TEA_{jk} = 100/NTA$$

Ecuación 2

El modelo puede ser ampliado definiendo la norma técnica de la actividad en función de las combinaciones tecnología-modo de ejecución de la misma, introduciendo el concepto de Ejecución de la Norma Técnica (ENT) que corresponde a la ejecución estándar de la norma técnica para una calidad particular de los recursos (Ver Fig. 17).

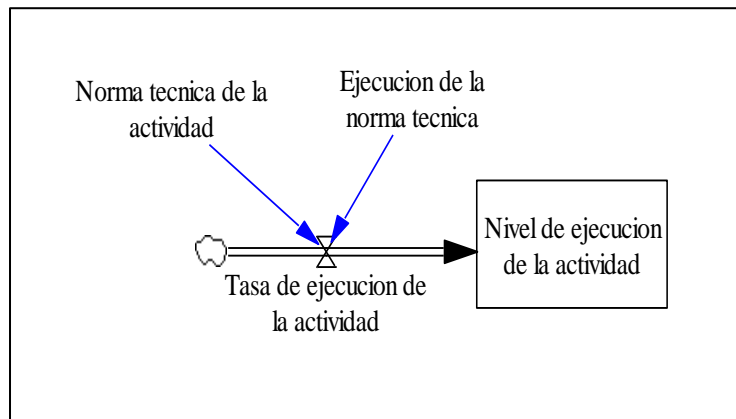


Fig. 17 Flujos de información de la norma técnica y de su ejecución.  
Fuente. (L. Gonzalez, Kalenatic, & Lopez, 2009)

Entonces teniendo en cuenta la ENT, la tasa de ejecución de la actividad dada en la Ecuación 2, se modificaría al agregar la ejecución de la norma técnica como un multiplicador (Ver Ecuación 3).

$$TEA_{jk} = (100/NTA) * ENT$$

Ecuación 3

Como habíamos visto anteriormente la tasa de ejecución de la actividad (TEA) define el ritmo, ahora esta tasa se representa en función de la norma técnica NTA (programada) y de la Ejecución de dicha norma (ENT) lo cual, como lo vamos a ver en el desarrollo del modelo no es más que la ejecución bajo el efecto de la variabilidad.

En este contexto NTA es la duración estándar de la actividad para una tecnología particular y un nivel de asignación de recursos específico o modo de ejecución.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Complementariamente ENT, trabaja como un multiplicador que permite enlazar variables exógenas, endógenas y modos con la velocidad de ejecución de la actividad. Así el multiplicador asume valores entre 0 y 1 dependiendo del modo que se esté utilizando (Ver Ecuación 4).

$$TEA_{jk} = \text{if } (NEA \leq 100) \text{ then } (100/NTA) * ENT \text{ else } 0$$

Ecuación 4

Donde ENT es igual a 1 si la calidad de los recursos permite ejecutar la actividad conforme a la norma, es menor que 1 si se presenta un rendimiento inferior de los recursos, y es mayor que 1 si se ejecuta la actividad superando lo establecido en la norma.

El trabajar ENT como un multiplicador permite asociar a la ejecución del proyecto características tales como calidad del material, rendimiento de los equipos y motivación del personal, entre otros. Además permite supeditar la realización o no de la actividad a la disponibilidad de los recursos necesarios para la ejecución de la misma, así si la actividad a ejecutar corresponde a un único modo el multiplicador asume el valor de cero si no se cuenta con el recurso requerido para ejecutarla o por el contrario toma el valor de 1 si se dispone de la totalidad del mismo. Si la actividad analizada tiene múltiples modos de ejecución el multiplicador toma valores entre cero y uno dependiendo del grado de disponibilidad del recurso y del avance que dicha disponibilidad permita para la ejecución de la actividad.

Con el fin de representar los reprocesos que se ejecutan dentro de cada actividad del proyecto y teniendo en cuenta que estos afectan directamente el desarrollo normal de la actividad, para cada una de estas se determina un flujo de salida el cual afecta directamente el nivel de ejecución de dicha actividad (Ver Fig. 18); el valor de esta tasa asume valores de 0 a 1 de acuerdo a su impacto sobre el nivel de ejecución.

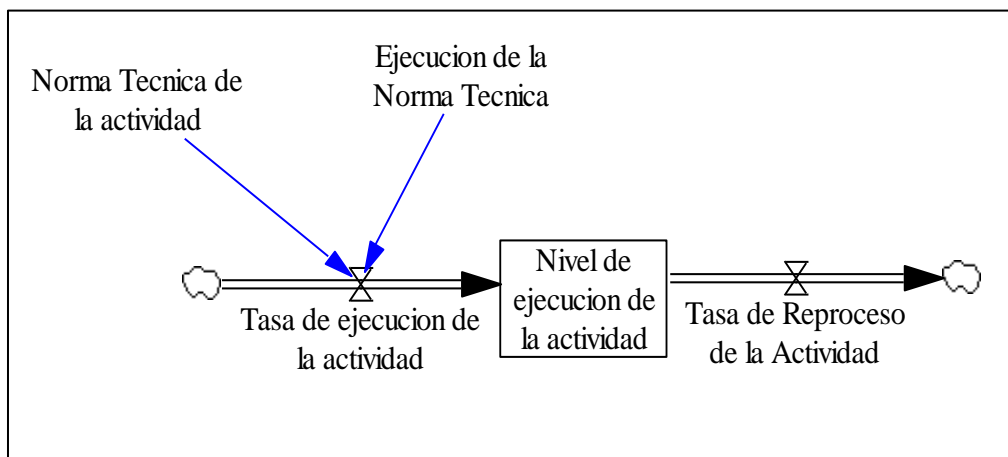


Fig. 18 Flujos de reproceso para una actividad definida.  
Fuente. (L. J. Gonzalez et al., 2012)

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Así, el nivel (NEA) se define en términos porcentuales (0-100%) y varía en el tiempo en función de TEA y de la tasa de reproceso TRA como se observa en la Ecuación 5:

$$NEA_k = NEA_j + (TEA_{jk} - TRA_{jk}) * dt$$

Ecuación 5

### 5.8.2 Variables Exógenas

Posteriormente para representar de la variabilidad asociada al desarrollo del proyecto, se crea una red de ejecución, que además, de los elementos anteriores incluye el efecto de variables exógenas como el clima, factores ambientales, sociales y económicos las cuales afectan directamente la tasa de ejecución de la actividad asociada a cada actividad por medio de la Ejecución de la Norma técnica de cada una de estas (Ver Fig. 19).

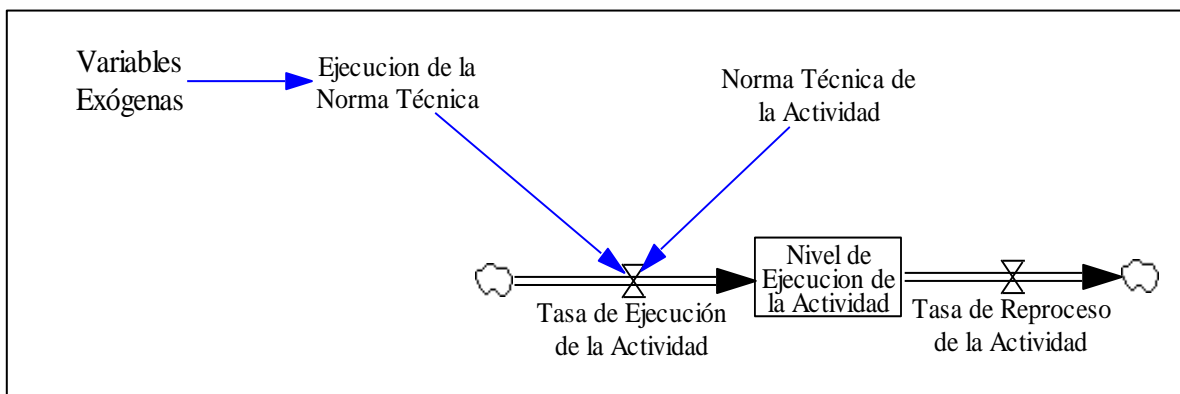


Fig. 19 Representación de la relación de las variables Exógenas sobre la ENT y sobre la TEA.

Fuente. (Universidad de la Sabana, Asignatura "Control Dinámico de Proyectos" 2013 I)

### 5.8.3 Variables Endógenas, Recursos No Renovables y Renovables.

Como hemos visto anteriormente en la modelación de proyectos, uno de los grandes objetivos es minimizar el tiempo de ejecución de las actividades y en esta búsqueda es de gran importancia el análisis de factores como la precedencia de las actividades y la disponibilidad de los recursos, las cuales están muy relacionados, ya que la primera puede verse seriamente afectada por la segunda generando fuertes inconvenientes en la el tiempo de ejecución total del proyecto.

Los recursos que intervienen en la ejecución de cada una de las actividades de un proyecto pueden ser clasificados de acuerdo a categorías, según su disponibilidad a lo largo del proyecto (R. Bey, R. Doersch, 1981) como: Recursos renovables, usando su disponibilidad es constante para cada unidad de tiempo, por lo que su utilización o no, no afecta la disponibilidad del recurso en unidades de tiempo posteriores; no renovable cuando la disponibilidad en el horizonte de planeación del proyecto es limitada, pero no está restringida en

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

cada periodo, por lo que la disponibilidad de recurso, depende de su utilización en unidades de tiempo anteriores; los recursos doblemente restringidos, están limitados tanto sobre el horizonte del proyecto como sobre cada periodo de tiempo; los recursos parcialmente renovables, definen la disponibilidad de un recurso para subconjuntos de periodos (Ballestín, 2002).

Cada una de las actividades de un proyecto de construcción requiere de una cantidad de recurso renovable (RR) y/o no renovable (RNR) para su ejecución, en el caso de los recursos renovables su cantidad disponible se renueva periodo a periodo y sólo la cantidad total utilizada en cada instante está limitada (mano de obra), por otro lado, los recursos no renovables asociados a una actividad se consumen cuando la actividad se ejecuta y no se puede contar con ellos nuevamente (presupuesto).

Estas variables endógenas asociadas a los recursos como rendimiento del personal, materiales y equipos asignados al desarrollo de las actividades las cuales afectan directamente la tasa de ejecución de la actividad asociada, por medio de la Ejecución de la Norma técnica de cada actividad (Ver Fig. 20).

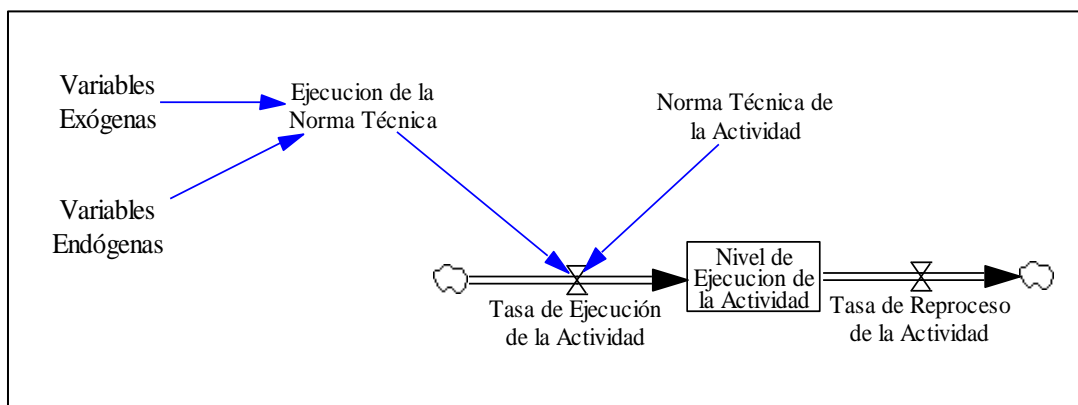


Fig. 20 Representación de la relación de variables Endógenas sobre la ENT y TEA.

Fuente. (Universidad de la Sabana, Asignatura "Control Dinámico de Proyectos" 2013 I)

Los recursos no renovables se representan por medio de variables de nivel alimentadas con tasas relacionadas con las entregas programadas del recurso (tablas de ingresos) en determinadas ocasiones dependen del Nivel de ejecución del Proyecto (NETP), y cuyas tasas de salida están relacionadas con la utilización del mismo (tablas de utilización) (Ver Fig. 21).

Finalmente con el fin de generar los indicadores de cumplimiento antes mencionados, el modelo contempla incluir el costo unitario del RR con el fin de calcular el costo total del proyecto (Ver Fig. 21).



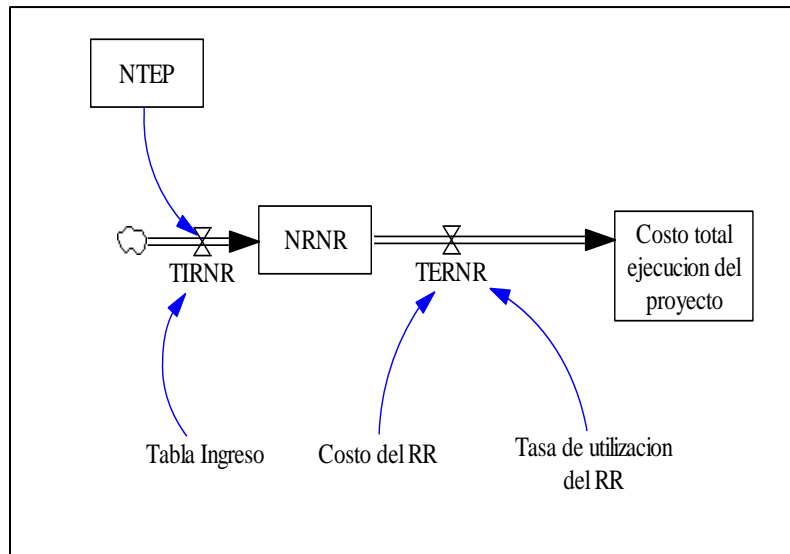


Fig. 21 Representación de la Estructura del nivel de recursos renovables.  
Fuente. (Universidad de la Sabana, Asignatura "Control Dinámico de Proyectos" 2013 I)

Las tablas que se representan como variables son los datos estadísticos que alimentan las variables que intervienen en el sistema y que definen la modelación del sistema como un proceso real según probabilidades de ocurrencia de las variables definidas o modos de ejecución de la actividad que afectan la variable definida.

El presupuesto total del proyecto y los inventarios de materiales son los ejemplos más comunes de recursos no renovables y son fundamentales para el desarrollo de un proyecto de construcción. Sin la disponibilidad de un presupuesto ninguna de las actividades del proyecto se podrían llevar a cabo.

En el caso de los recursos renovable en proyectos de construcción los más comúnmente utilizados son la mano de obra y la maquinaria, lo que hace suponer que situaciones como el Ausentismo del personal y/o falla o mantenimiento de equipos, entre otros, le imparten gran variabilidad al desarrollo del proyecto.

Como primera medida de debe establecer la tasa de utilización del recurso renovable (TURR) la cual depende de la tasa de ejecución de las actividad (TEAn) donde interviene dicho recurso; y la tasa de uso de los recursos renovables disponibles con sus respectivas tablas de uso (Ver Fig. 22).

Con el fin de observar el impacto de la disponibilidad de los recursos renovables en la Ejecución de la Norma Técnica de Cada Actividad (ENTn) se incorpora el modelo dinámico que representa el Nivel de Recurso Renovable Disponible (NRRDisp) para la ejecución del proyecto (Ver Fig. 23)

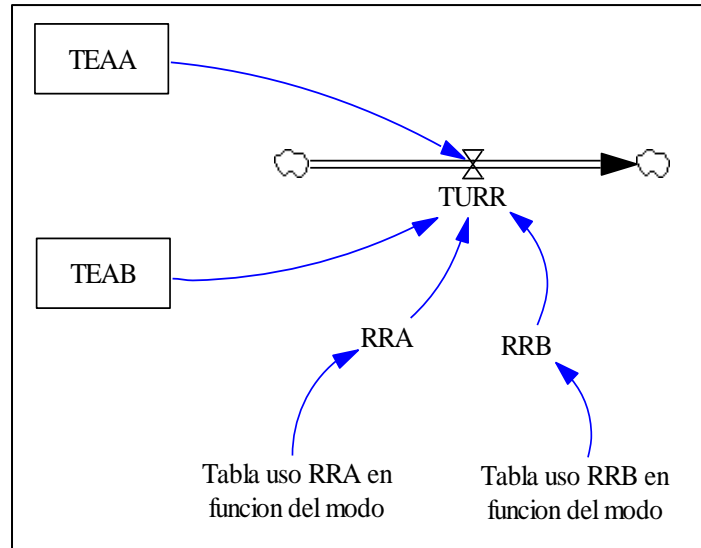


Fig. 22 Representación de la tasa utilización del recurso renovable (RR).  
Fuente. (Universidad de la Sabana, Asignatura "Control Dinámico de Proyectos" 2013 I)

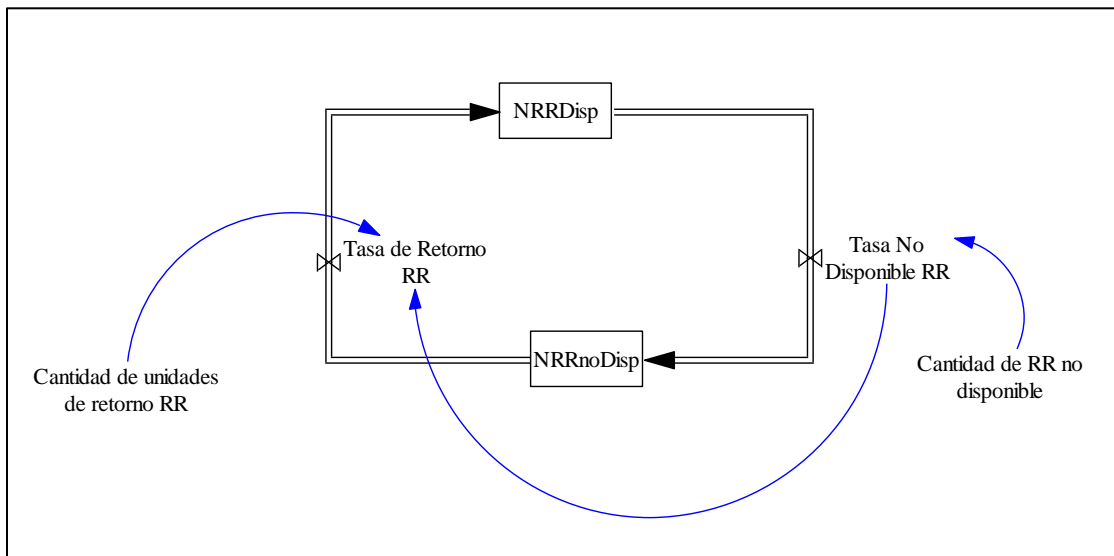


Fig. 23 Modelo de nivel de recursos renovables.  
Fuente. (Universidad de la Sabana, Asignatura "Control Dinámico de Proyectos" 2013 I)

### 5.9 Metodología Integral y Dinámica.

Dada la naturaleza dinámica de los proyectos este enfoque ha sido aplicado a la comprensión y mejoramiento del comportamiento de proyectos complejos (Lyneis, Cooper, & Els., 2001), (A. G. Rodrigues, 1999) propone la combinación de las técnicas clásicas PERT-CPM con dinámica de sistemas para abordar el problema de gestión de proyectos, los cuales, al encontrar coincidencias entre los ciclos de control de proyectos y los bucles de

realimentación negativa de dinámica de sistemas, (Choi & Bae., 2009) y (S. Lee, Mora, & Park, 2006) han planteado propuestas en las que se combinan herramientas estáticas de planeación y la dinámica de sistemas para el control de proyectos este último en proyectos de construcción.

Sin embargo en la literatura revisada no se propone una metodología para el modelado y representación de redes de actividad en el problema PSP multimodo, aplicando dinámica de sistemas, ni se integran estos conceptos en el contexto del control de proyectos de construcción.

La metodología integral y dinámica según (D. Kalenatic, González, López, & Arias., 2009) parte de la hipótesis de la complementariedad entre las técnicas analíticas y numéricas, las primeras representadas por programación matemática, y en general por las técnicas de optimización, además de las heurísticas, y las segundas por la dinámica de sistemas (simulación continua) con todos sus elementos, estructuras y soporte matemático, así como por la simulación discreta, y las meta heurísticas.

La Metodología Integral y Dinámica propuesta por (L. J. Gonzalez, Kalenatic, & Moreno, 2012) comprende dos fases: la técnica y la organizacional: La fase técnica tiene como finalidad definir claramente la relación entre el sistema objeto de estudio, los problemas asociados al mismo, así como las técnicas analíticas y numéricas utilizadas para su abordaje, y a partir de esto busca definir posibles combinaciones de técnicas que permitan enfrentar de la mejor forma los problemas identificados o si es posible un nuevo conjunto de problemas, comprende seis etapas básicas:

- a. Definir el sistema: Consiste en determinar los elementos, interacciones, objetivos y límites del sistema. Esta etapa comprende la identificación de variables controlables y no controlables ligadas al sistema, sus interacciones y relación con la complejidad y variabilidad del sistema, así como el análisis de los paradigmas asociados al estudio del sistema, es decir la caracterización de los supuestos y simplificaciones utilizados.
- b. Identificación de problemas ligados al sistema: Consiste en identificar los problemas que hasta ahora han sido asociados con el estudio del sistema, y como se relacionan los mismos con los diferentes supuestos, variables, interacciones y límites del sistema.
- c. Identificación de técnicas clásicas: En esta etapa se determina el conjunto de técnicas analíticas y numéricas hasta ahora utilizadas para resolver los problemas ligados al sistema, así como sus contribuciones individuales y conjuntas a la resolución del mismo.
- d. Análisis de complementariedad de técnicas analíticas y numéricas: En esta etapa se pretende aprovechar las ventajas de cada una de las técnicas al ser utilizadas de manera conjunta para el estudio y solución

de un problema particular del sistema. En esencia esta etapa busca determinar que técnicas analíticas y numéricas son susceptibles de ser combinadas, en que forma, y que ventajas presenta su combinación con respecto a la aplicación clásica de las técnicas en diferentes términos, tales como: obtención de una visión más amplia o integral de la situación, posibilidad de abordar casos de mayor complejidad y variabilidad ligados al sistema, mayor representatividad, etc.

- e. Definición de problemas y prioridades: Esta etapa busca por una parte, identificar el conjunto de problemas que es posible abordar con las diferentes combinaciones de técnicas propuestas en la etapa anterior y cuáles de estos se pueden catalogar como nuevos o no clásicos, y por otra establecer prioridades para su solución, con respecto a las necesidades y objetivos sociales y organizacionales a corto, mediano o largo plazo.
- f. Evaluación de combinaciones y elección de técnicas: Evaluar si en conjunto y de forma retroalimentada, las diferentes combinaciones de técnicas analíticas y numéricas permiten obtener mejores resultados que al ser utilizadas por separado para la resolución de problemas prioritarios, y elegir la mejor combinación, hay que tener en cuenta que el cambio de modo de ejecución de las actividades lo cual consiste en la alteración de la combinación de recursos, con el fin de lograr modificar la duración de la actividad en ejecución, hay que tener en cuenta las variables de salida y el efecto del modo de ejecución en el resultado de estas.

La fase organizacional de la Metodología Integral y Dinámica busca la adecuada aplicación de la fase técnica, en un contexto organizacional. La importancia de esta fase radica en la asociación del problema particular con el nivel organizativo del sistema social en el cual se aplica la metodología y con la fase técnica de la misma. Consta de las siguientes etapas:

- a. Determinar el problema concreto a resolver.
- b. Determinar el nivel organizativo actual de la empresa.
- c. Traducir el problema al lenguaje de los diferentes miembros del equipo implicado.
- d. Determinar la información disponible como base para solución del problema.
- e. Determinar alcances en relación a la solución del problema a corto, mediano y largo plazo, como consecuencia de la información disponible en relación al nivel organizativo.
- f. Aplicación de la fase técnica de la metodología.

- g. Implementación de las soluciones obtenidas.
- h. Retroalimentación técnica y organizacional a partir de los resultados obtenidos.

### **5.10 Metodología Integral y Dinámica Aplicada al Control de Proyectos.**

La metodología integral y dinámica de (D. Kalenatic et al., 2009) parte de la hipótesis de la complementariedad entre las técnicas analíticas y numéricas, las primeras representadas por programación matemática, y en general por las técnicas de optimización, además de las heurísticas, y las segundas por la dinámica de sistemas (simulación continua) con todos sus elementos, estructuras y soporte matemático, así como por la simulación discreta, y las meta heurísticas.

Para aplicar esta metodología en el control de proyectos (L. J. Gonzalez et al., 2012) combinan los conceptos de CPM y Dinámica de sistemas, con el fin de crear una red de programación, que indica los momentos de inicio y de finalización esperados para cada una de las actividades y del proyecto, trabajando en los modos base.

#### **5.10.1 Nivel de Ejecución Total del Proyecto (NTEP)**

Con el fin de generar indicadores de cumplimiento del proyecto y facilitar su control, el modelo se complementa con la agregación de las tasas de ejecución y las tasas de reproceso de cada una de las actividades en una variable, denominada tasa de ejecución del proyecto TEP, la que se asocia al nivel de ejecución del proyecto NEP, (Ver Fig. 24).

Para este cometido la agregación se puede realizar de forma simple o ponderada. La forma simple que presupone un igual peso de cada actividad en la ejecución total del proyecto (Ver Ecuación 6).

$$TEP = \sum_i^n TEA_i - TRA_i/n$$

Ecuación 6

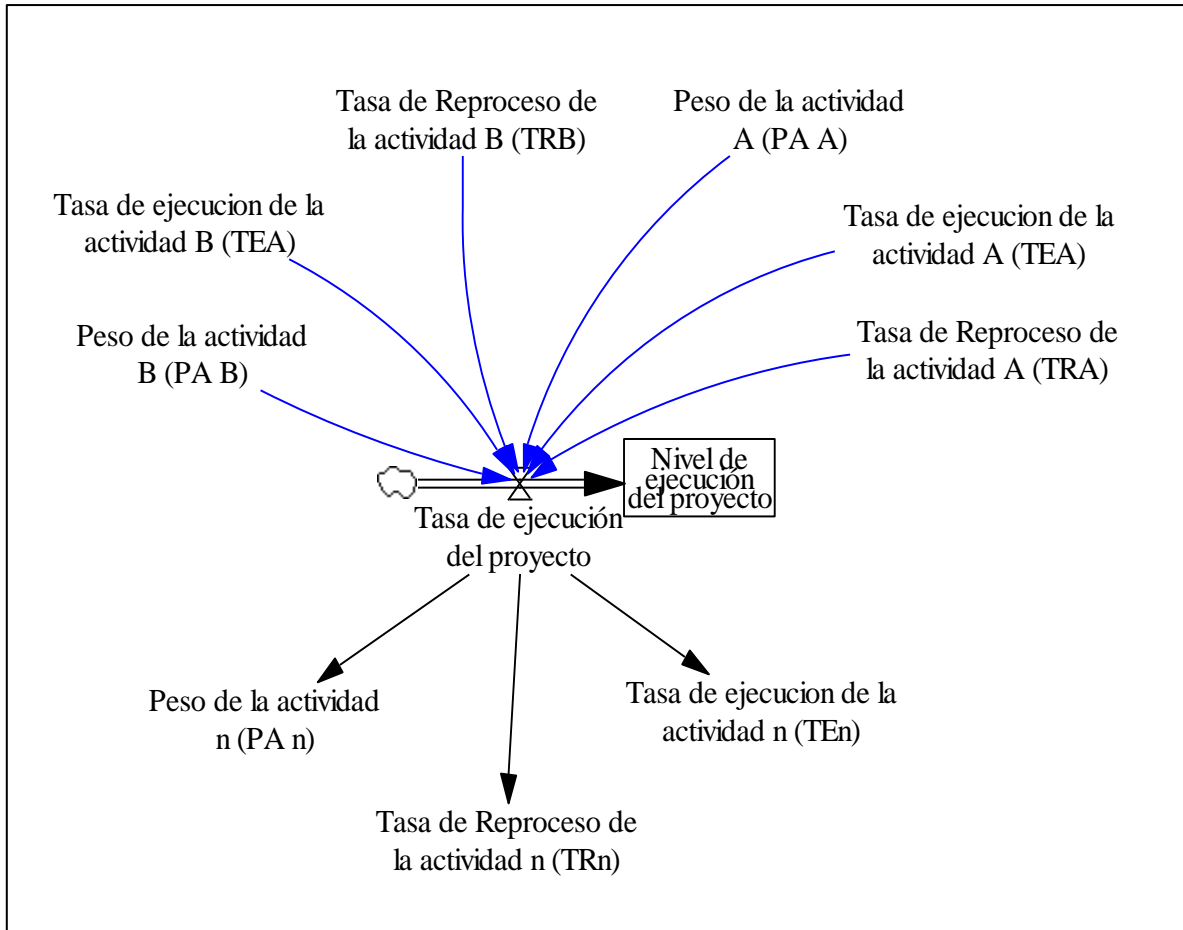


Fig. 24 Generación del indicador del nivel de ejecución del proyecto.  
Fuente. (L. J. Gonzalez et al., 2012)

A su vez la forma ponderada de agregar las tasas supone un aporte no equitativo de cada actividad a la ejecución del proyecto  $W$  (Ver Ecuación 7):

$$TEP = \sum_i^n W_i * (TEA_i - TRA_i) \text{ Donde } \sum_i^n W_i = 1$$

Ecuación 7

A partir del nivel de ejecución del proyecto podemos determinar mediante acumuladores de tiempo el tiempo total de ejecución del proyecto y así determinar la ruta críticas del proyecto; al usar estos acumuladores se debe tener en cuenta la sumatoria de tiempos ocioso o demoras de cada actividad.

### 5.10.2 Discrepancia Entre lo Programado y lo Ejecutado

Tanto en (Rueda, González, Kalenatic, & Lopez., 2011) como en (Moreno & González., 2011) se entiende y calcula la discrepancia como la desviación de la duración real con respecto a la duración real estimada, tal como se muestra en la Fig. 25.

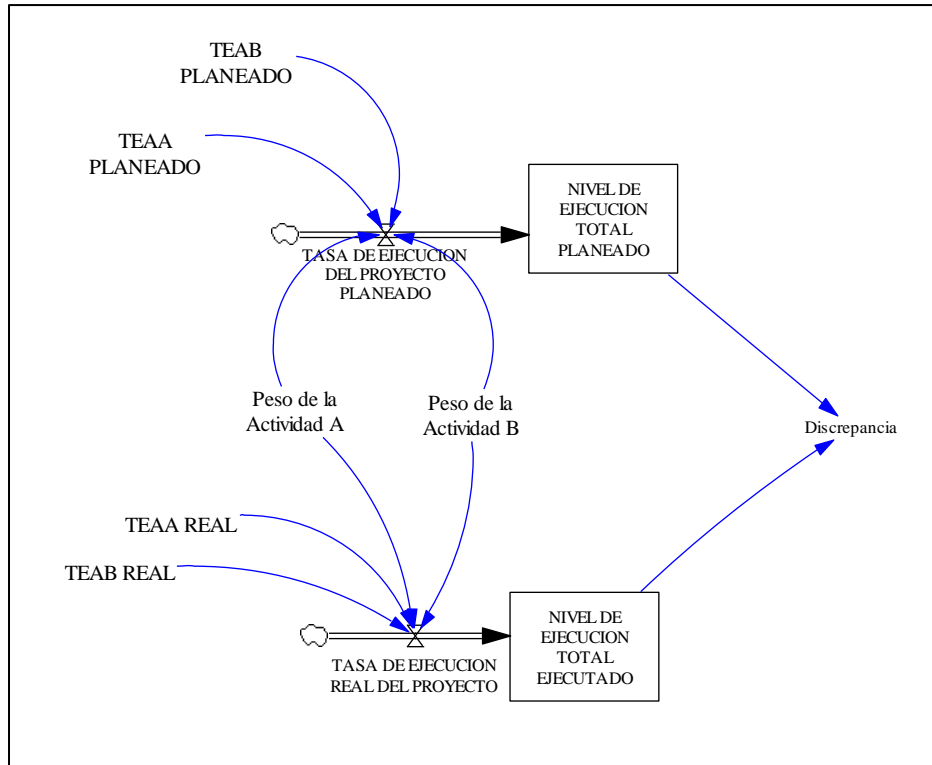


Fig. 25 Representación dinámica de la discrepancia (Control del proyecto).  
 Fuente. (Universidad de la Sabana, Asignatura "Control Dinámico de Proyectos" 2013 I)

Las ecuaciones que rigen el cálculo de la discrepancia se muestra en la Ecuación 8.

$$DISCRP = (NETP) / NETR$$

Ecuación 8

### 5.10.3 Acciones Multimodo Para la Ejecución de Actividades.

Uno de los objetivos primordiales de la metodología integral y dinámica aplicada al control de proyectos es apoyar la respuesta de potenciales desviaciones respecto a lo programado, adicionando el concepto de multimodo, inmerso en un bucle de control, que integra la estructura de un bucle de retroalimentación negativa (Ver Fig. 26).

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

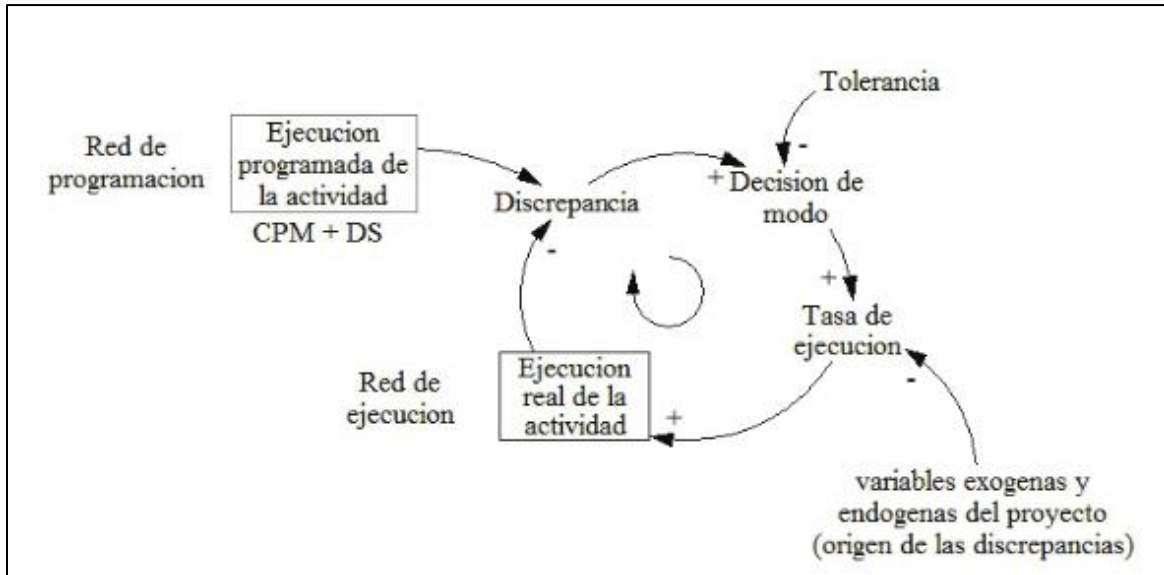


Fig. 26 Bucle de retroalimentación negativa.

Fuente. (L. J. Gonzalez et al., 2012)

Así cuando el proyecto se aleja del nivel de ejecución programado en una proporción mayor a la tolerancia fijada (discrepancia) (ver figura 3), se genera un cambio de modo en la ejecución de las actividades que permite acelerar la ejecución de las mismas y cumplir así con las expectativas de los gestores del proyecto (L. J. Gonzalez et al., 2012).

Aquí se toman las decisiones de iniciación de acuerdo a la estructura del proyecto, y las decisiones de cambio de modo de las actividades como respuesta a la desviación y tolerancias fijadas para el proyecto.

Para operacionalizar la propuesta e involucrar todos los aspectos descritos anteriormente, se utiliza una representación del proyecto AON o PDM (Modelo de diagrama de precedencias) combinada con diagramas de Forrester, generando así la red de programación y la red de ejecución (Ver Fig. 27). Aquí las actividades se representan como niveles (nodos) con su respectivas tasas de ejecución y reproceso, las relaciones de precedencia se indican con flujos de información entre los niveles de las actividades precedentes y las tasas de ejecución de las actividades sucedientes (TEA), mediando entre ellas una variable auxiliar: la ejecución de la norma técnica de la actividad (ENT), que funciona como un multiplicador que permite vincular las variables endógenas y exógenas a la ejecución de la actividad.



## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

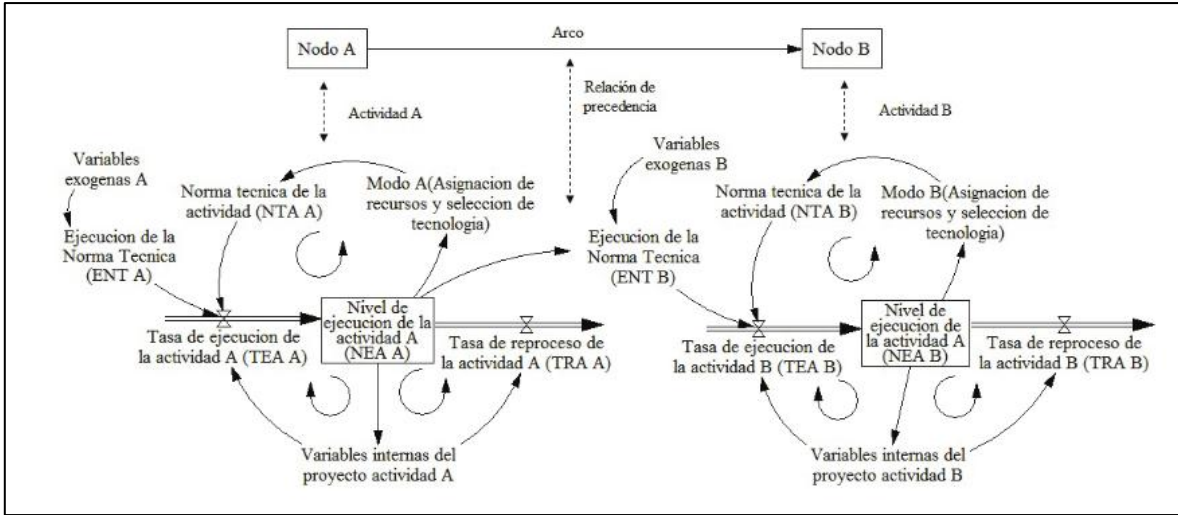


Fig. 27 Representación de la red de actividades AON en un diagrama de Forrester.

Fuente. (L. J. Gonzalez et al., 2012)

Al unir la totalidad de estos elementos se obtiene un modelo dinámico que combina CPM, dinámica de sistemas, decisiones de modo, redes de actividad y un sistema de control como se puede observar en la Fig. 28.

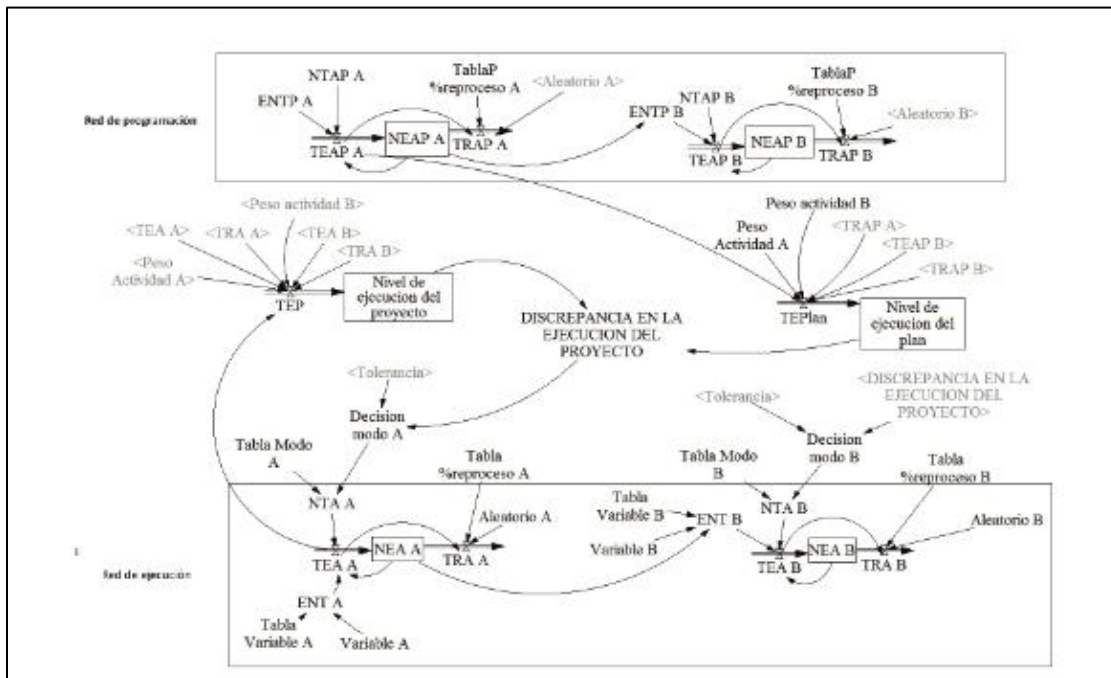


Fig. 28 Modelo dinámico de programación y control de proyectos con multimodo.

Fuente. (L. J. Gonzalez et al., 2012)

### **5.11 Estrategias de Control en Gestión de Proyectos.**

La gestión de proyectos de construcción se puede dividir en dos grandes enfoques en cuanto a la concentración principal de la gestión; la gestión estratégica de proyectos y la gestión operacional de proyectos (S. H. Lee et al., 2006).

La gestión estratégica de proyectos (SPM) se refiere principalmente a la forma de lograr resultados deseables del proyecto en el contexto de los objetivos estratégicos de la compañía, mientras que, la gestión operacional de proyectos (OPM) se centra en los pasos necesarios para lograr los objetivos del proyecto. Así, la SPM puede ser definida como las acciones a nivel macro de gestión que establecen las directrices, orientaciones y políticas que proporcionan patrones generalizados (estrategias), el presupuesto y la asignación de recursos (A. Rodrigues & Bowers, 1996); y por otro lado, la OPM se puede definir como las acciones de manejo a nivel micro que proporcionan un análisis detallado para cada decisión individual.

La gestión estratégica permite a los administradores del proyecto ver no sólo las relaciones de los diferentes equipos de trabajo y las secuencias de trabajo en su totalidad, sino también el impacto de cómo un acontecimiento o decisión podría afectar al rendimiento global del proyecto. Esta gestión toma las decisiones durante la fase de diseño y luego guía a las decisiones operativas consiguientes. Una de las principales diferencias entre la gestión estratégica y operativa del proyecto es que la gestión operativa no incluye cambiar el objetivo. La aplicación de gestión estratégica de proyectos ayuda a un director de proyecto a tomar buenas decisiones en el comportamiento del rendimiento global y el patrón de un proyecto, mientras que la gestión estratégica carece de la capacidad para cuantificar los impactos detallados.

Específicamente para proyectos de construcción se cuenta con una planificación determinada para llevar a cabo todas sus etapas y lograr finalizarlo con éxito, según la investigación realizada por (Sarker, Egbelu, Liao, & Yu, 2012); en su estudio, estos autores manifiestan que los modelos de diseño para la gestión de la planificación y la construcción deben incluir además de otros factores la gestión del tiempo-costo-calidad y la entrega de materiales de construcción.

También argumentan que las interrelaciones entre los modelos de planificación y diseño se presentan en la Fig. 29, son fundamentales para el éxito de los proyectos.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

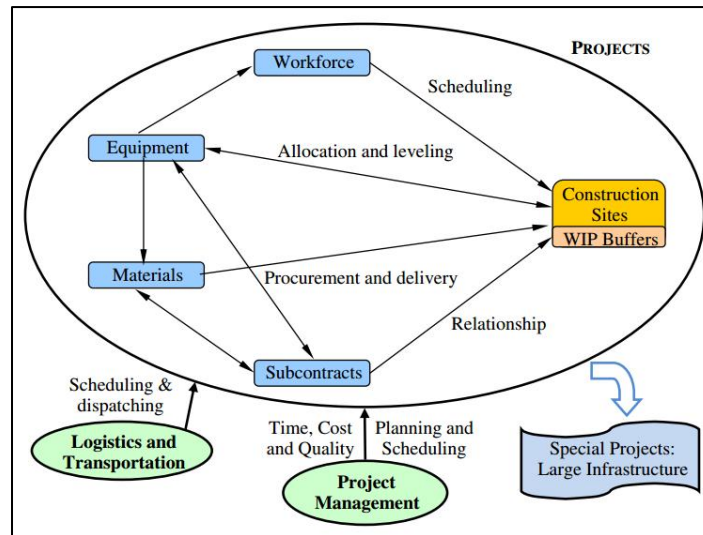


Fig. 29 Interrelación de los modelos de diseño y planificación de la construcción.  
Fuente. (Sarker et al., 2012)

Finalmente, como conclusión a su estudio (Sarker et al., 2012) presentan las aplicaciones y perspectivas de solución de los modelos de planificación y diseño dentro de los proyectos de construcción (Ver Tabla 4), elementos que serán usados en nuestro modelo como parte de la metodología de definición de estrategias que intervienen en la reducción de la discrepancia.

Tabla 4. Aplicaciones y perspectivas de solución de los modelos de planificación y diseño.

Planificación y diseño de perspectivas		Perspectivas de aplicación		Perspectivas de modelado		Tipo de solución	
		Alcance	Aplicaciones	Tipo de modelo	Metodología	Optima	Heurística
1	Programación y despacho	Despacho espacio	Camiones RMC	La cadena de suministro, la minimización de tiempo y el equilibrio de los recursos	Algoritmos	Si	-
2	La asignación de recursos y la nivelación	Todos los proyectos	Equipos, balance de la mano de obra	Programación, el equilibrio de los recursos	Programación matemática	Si	Si
3	Existencias reguladoras	Los sitios del proyecto, la contratación	WIP, reducción del flujo de trabajo, tiempo de ciclo	Saldos de bienes, almacenamiento, flujo, minimización de costos	Programación Integral	Si	-
4	La producción y la inspección	El sitio del proyecto, la contratación	Trabajo en el tiempo	Justo a tiempo, el costo y el tiempo de minimización	Optimización	Si	Si
5	Espesor del	Edificio	Carga	Espesor del	Optimización	Si	Si

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

	aislamiento	comercial, residencial y pública	térmica, conductividad térmica y emisiones	aislamiento, la minimización de costes			
6	Proyectos lineales	Carreteras y caminos de construcción	Programación, operaciones transversales, cálculo de costos	Minimización de costos, planificación de los recursos	Gestión de proyectos	Si	Si
7	El tiempo y la estimación de costos	Todos los proyectos	La gestión de riesgos, control de calidad, IP	El tiempo y la minimización de costos	Modelación matemática	Si	-
8	Infraestructura	Proyecto de construcción pública, puentes y carreteras	Factores de aumento de los costos	Modelos basados en costo y tiempo	Gestión de proyectos	-	Si
9	Contratista y sub-contratista	Todos los proyectos	La participación en beneficios, el coste laboral	La maximización del beneficio, minimización de costos	Optimización	Si	-
10	La entrega de material	En sitio	Retardo, tiempo de entrega, relación de variación de la demanda	Minimización de costos, reducción al mínimo espacio	Optimización	Si	Si

Fuente. (Sarker et al., 2012)

(Wang & Yuan, 2011) presenta una forma de identificar algunos factores críticos para ayudar a los contratistas a ser más certeros, y maximizar el uso de recursos limitados tales como el dinero, mano de obra, tiempo y esfuerzos de gestión. En este estudio, se identificaron 26 factores con el potencial de afectar las actitudes de riesgo de los contratistas en proyectos de construcción, los cuáles se clasifican en función de sus puntuaciones medias. De esos 26 factores, se destacan 16 fundamentales (Ver Tabla 5) para influir en las actitudes de riesgo de un proyecto.

Tabla 5. Descripciones de los factores en el cuestionario.

Factores	Media	Desviación estándar	Clasificación
F20 Consecuencias de la toma de decisiones	0.867	0.626	1
F02 Experiencia	0.859	0.625	2
F22 Integridad de la información del proyecto	0.828	0.617	3
F16 Sensibilidad a la información externa	0.789	0.591	4
F12 Decisión motivación	0.781	0.583	5
F04 Conocimiento profesional	0.773	0.646	6
F01 Fondo de la educación	0.766	0.699	7
F05 Alcance del conocimiento	0.758	0.678	8

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

F09 Audacia	0.750	0.678	9
F14 Capacidad de juicio	0.742	0.694	10
F23 Fuerza económica de la Compañía	0.711	0.732	11
F03 Experiencia social	0.672	0.660	12
F10 Valores	0.672	0.704	13
F13 Interés en la ingeniería	0.664	0.628	14
F19 El deseo de los objetivos de decisiones	0.664	0.635	15
F24 Entorno económico externo	0.641	0.745	16

Fuente. (Wang & Yuan, 2011)

Con un estudio adicional, basado en los 16 factores críticos, empleando un método de análisis factorial, se determina que estos factores se clasifican además en cuatro grupos: a. el conocimiento y la experiencia, b. carácter de los contratistas, c. la percepción personal y d. el entorno económico. Los anteriores resultados, brindan apoyo a los contratistas en la toma de decisiones, profundizando la comprensión de los factores críticos que afectan sus actitudes ante el riesgo. Por otro lado, estos resultados son útiles para los clientes, al momento de seleccionar a los contratistas con las actitudes de riesgo de acuerdo a los requisitos correspondientes de los diferentes proyectos de construcción.

(Wang & Yuan, 2011) han desarrollado diversidad de métodos para permitir un proceso de gestión de proyectos más objetivo, dentro los cuáles, son comúnmente utilizados el método de decisión de Markov, beneficio esperado y el método de toma valor de la pérdida, el método de diagrama de decisión, el método de decisión de la matriz, el método de decisión marginal y el método de decisión bayesiana. En la

Tabla 6 se observa una descripción detallada de éstos métodos.

Tabla 6. Descripciones de toma de decisiones basada en el riesgo.

No.	Métodos	Las descripciones y los criterios de decisión
I	Método de toma valor de pérdidas y ganancias prevista	Esquema con valor beneficio esperado valor máximo o mínimo de pérdida será identificado como el mejor
II	Diagrama / método del árbol de decisiones	El proceso de toma de decisiones se expresa y se describe en los diagramas/árboles, lo que hace que el proceso sea más legible y fácil de calcular. El criterio de decisión es la misma
III	Método de matriz decisión	Hasta cierto punto, este método es una extensión de I. sin embargo, es más útil cuando se trata de problemas de gran complejidad. En este método, los valores de ganancia o pérdidas se presentan a través de la matriz de decisión.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

IV	Método de decisión Marginal	Esquema con valor máximo esperado beneficio marginal o valor mínimo la pérdida marginal será identificado como el mejor.
V	Método de decisión bayesiana	En este método, en primer lugar, parte de la información se obtiene por medio de experimentos, investigaciones y análisis estadísticos. A continuación, se calcula la probabilidad posterior basada en los principios bayesianos. Finalmente los esquemas alternativos relacionados pueden ser identificados por los tomadores de decisiones.
VI	Método de decisión de Markov	Este método se puede utilizar para ayudar en la toma de decisiones mediante la predicción de estado probable del objetivo, de acuerdo a su estado actual y las tendencias. La herramienta básica para el pronóstico y la toma de decisiones es la matriz de probabilidad de transición.

Fuente. (Wang & Yuan, 2011)

Para analizar el impacto de la sincronización y la cantidad de reprocesos que generan retrasos en el programa existen pocas investigaciones (Hegazy, Said, & Kassab, 2011), por lo tanto, (Hegazy et al., 2011) presenta una investigación con un mecanismo cuantitativo para analizar el tiempo considerando la reanudación de las labores. Este mecanismo consta de tres aspectos: primero, un nuevo programa de representación de magnitud re trabajo como porcentaje negativo completo de las actividades afectadas, documentados en la fecha en la que se detecta el re trabajo, segundo un análisis de demora diario modificado para repartir retrasos en los proyectos entre las partes responsables, por ultimo una técnica de optimización para determinar la estrategia de acción correctiva menos costosa que recupera retrasos en los proyectos. Esta investigación sirve como prueba de concepto y amplia experimentación en los proyectos de la vida real, sin embargo se necesita más investigación para mejorar la programación en términos de visualización, incorporar funciones de gestión y determinar los factores externos que llevan a cabo una repetición en el programa.

Los reprocesos juegan un papel importante en el costo y retrasos de la programación. Las principales causas de reproceso son: errores, omisiones, daños, mal liderazgo, falta de comunicación y la toma de decisiones ineficaces. Un resumen del costo re trabajo reportado en varios estudios se muestra en la Fig. 30.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

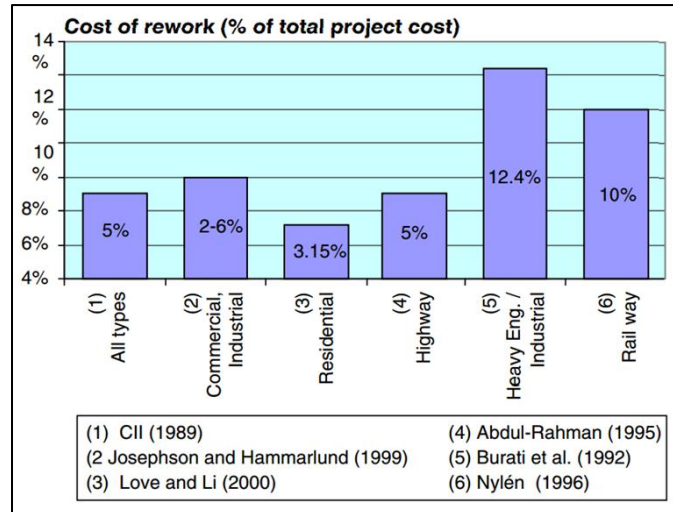


Fig. 30 Impactos de costos de re trabajo reportados en varios estudios.  
Fuente. (Hegazy et al., 2011)

(P.E.D. Love, Edwards, Watson, & Davis, 2010) utilizó una encuesta de 115 proyectos de infraestructura civil, el cual reveló que los cinco factores significativos que representan el 25% de la variación en el costo total de la reanudación: a. el uso ineficaz de tecnologías de la información, b. la participación excesiva del cliente en el proyecto, c. la falta de procedimientos de trabajo claramente definidas, d. cambios hechos a petición del cliente, e. cambios insuficientes iniciados por el contratista para mejorar la calidad.

(Hegazy et al., 2011) propone tres tipos de estrategias para acelerar las actividades (Ver Fig. 31); la primera, cambiar las relaciones lógicas entre las actividades (es decir, tener más actividades en paralelo, en lugar de secuencial, las relaciones de ahorrar tiempo); la segunda, acelerar la entrega de materiales a largo plazo con el fin de evitar desabastecimientos y por último la selección de los métodos de construcción más productivas (con horas extras o más recursos) en las actividades críticas del proyecto para reducir la duración del proyecto.

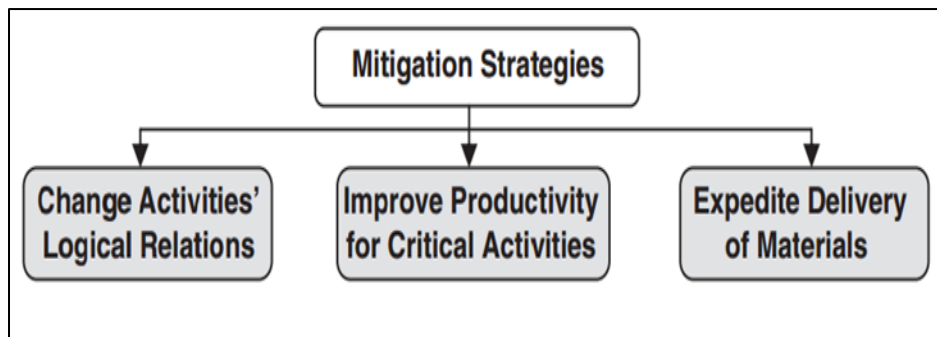


Fig. 31 Proyectar Estrategias de aceleración  
Fuente. (Hegazy et al., 2011)

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Para este fin es importante registrar con precisión y analizar todos los eventos de progreso antes de determinar un plan de acción correctivo.

Con base en el análisis descrito anteriormente, en la Fig. 32 los investigadores presentan un diagrama de flujo de un proceso del análisis sistemático para realizar el análisis de las causas de retraso.

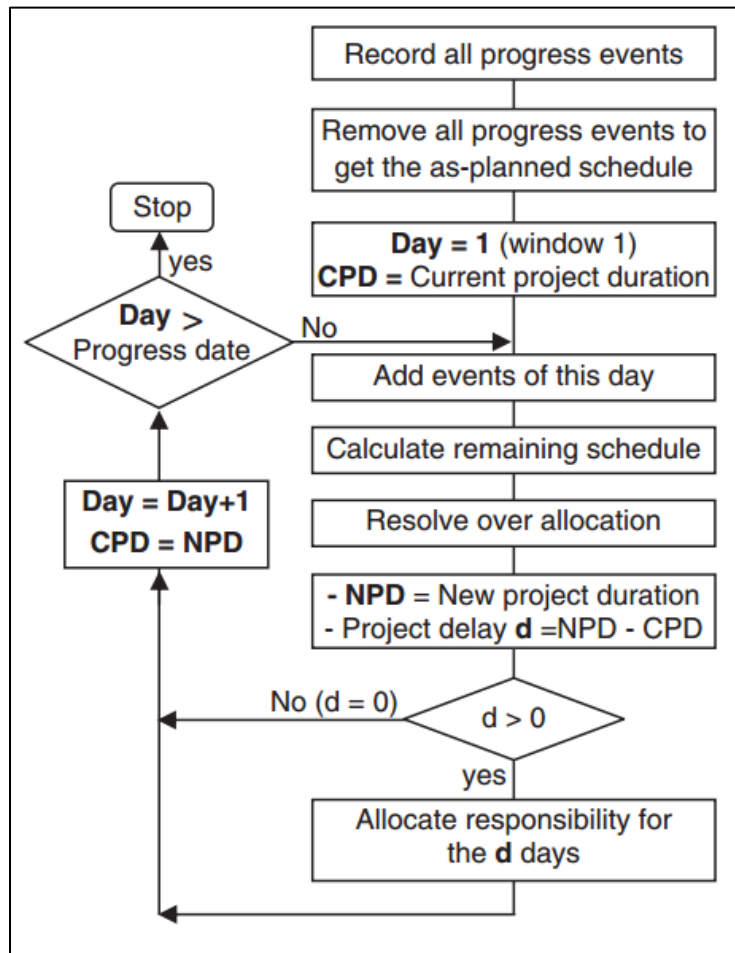


Fig. 32 Diagrama de flujo del proceso de análisis de retraso.

Fuente. (Hegazy et al., 2011)

Retomando lo descrito en el numeral 1.2.3 sobre la falencia de los recursos renovables, en todo proyecto de construcción se presentan demoras y atrasos en su desarrollo, debido a diversos factores, en los que se incluye el ausentismo de las personas encargadas de darle desarrollo al proyecto.

Para tal analizar tal efectos, (Ahn, Asce, Lee, Asce, & Steel, 2013) desarrollaron el modelo llamado ABM (Agent-based modeling), cuyo objetivo es disminuir la ausencia del trabajador aprovechando los hallazgos teóricos y empíricos de la literatura; con este modelo se demostró que: a. La alta adaptación social puede funcionar como una fuerza para aumentar o disminuir el ausentismo de los trabajadores, b. cuando existe una estricta



## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

autorregulación entre los trabajadores, la alta adaptación social puede conducir al desarrollo de una positiva norma social en el lugar de trabajo y c. cuando la alta adaptación social refuerza las reglas formales, esta reduce la necesidad de un control formal adicional de comportamiento de los trabajadores.

Un conjunto de reglas de comportamiento del personal, que se construye mediante la personalización de funciones en el sistema de autorregulación en el caso el comportamiento ausencia, se resume en la Fig. 33.

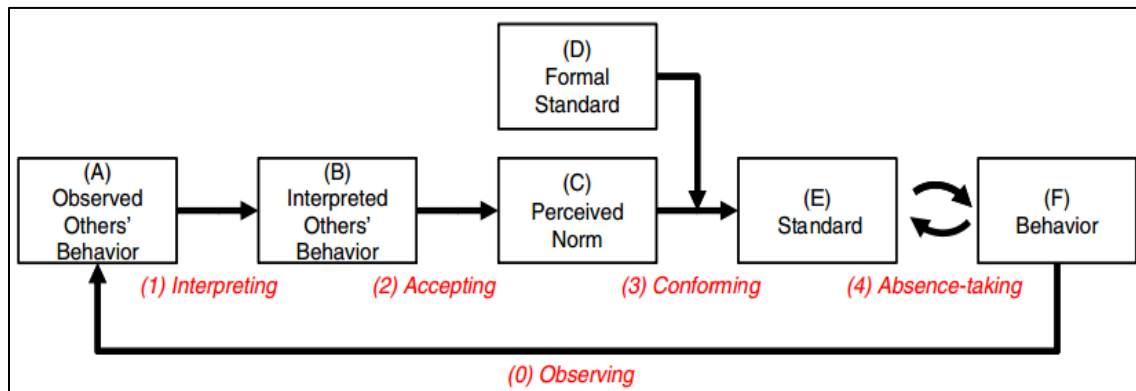


Fig. 33 Reglas de comportamiento del agente.  
Fuente. (Ahn et al., 2013)

Los cambios de diseños generan demoras y retrasos en el desarrollo del proyecto, ya que con cada cambio realizado, aumenta el tiempo estimado y el costo presupuestado para la realización del mismo. (Isaac & Navon, 2013) crean un modelo grafico para analizar y minimizar los impactos de los cambios de diseño dentro del proyecto.

El uso de algoritmos basados en gráficos, demuestra que se puede prevenir las situaciones en las que el gran volumen de datos agobia a los miembros del equipo de trabajo, en el análisis de dichos datos, lo que resulta en una desviación inesperada de los objetivos propuestos dentro del proyecto. El nombre dado a este modelo gráfico es, Project Connectivity Model (PCM), dado que éste se centra en las relaciones que conectan diferentes elementos del proyecto, por ejemplo la relación entre un componente de diseño y un requisito en el programa de construcción que satisface al componente.

El modelo gráfico basado en los algoritmos, proporciona una representación sencilla pero informativa de la topología de los proyectos de construcción. El PCM permite realizar una evaluación precisa, aunque la implementación de ésta herramienta requiere el desarrollo de una interfaz de usuario y un programa informático que extraiga e integre todos los datos del proyecto.

La Fig. 34 muestra la estructura utilizada para realizar el análisis del impacto que producen los cambios de diseño en la realización de un proyecto.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

El análisis empieza con la definición del PCM, luego se ajusta de acuerdo al cambio que se da en el diseño del proyecto, se identifica el impacto directo dentro del proyecto y luego el impacto que afecta indirectamente, por ultimo si existe un cambio adicional se debe volver a ajustar el PCM según este cambio y si no, se finaliza el análisis.

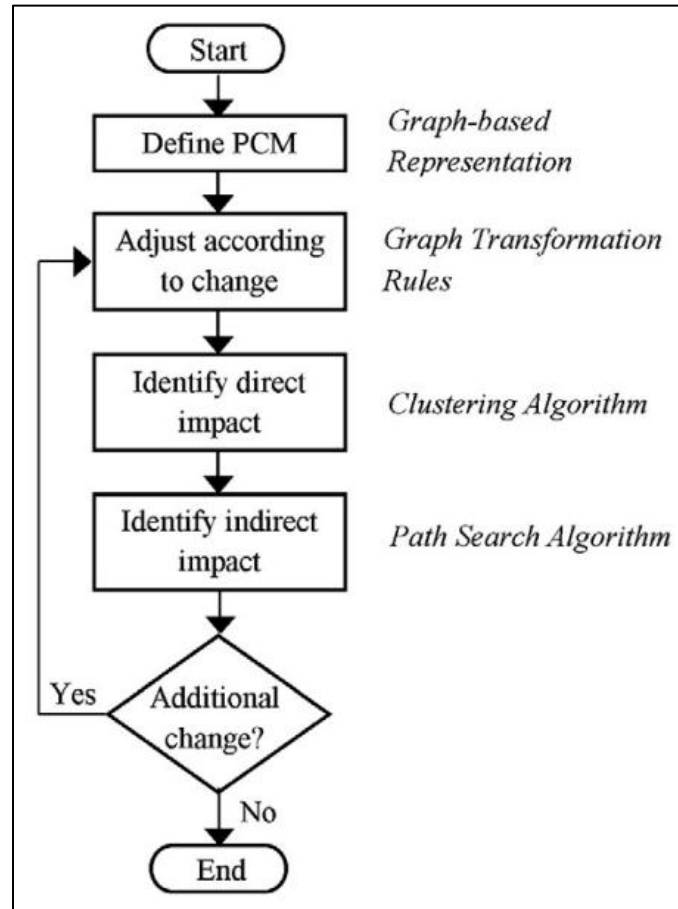


Fig. 34 Análisis del impacto de los cambios de diseño.  
Fuente. (Isaac & Navon, 2013)

Los proyectos de construcción son inciertos y complejos, a menudo debido a los ciclos iterativos causados por errores o cambios. Estos errores y cambios afectan el desempeño del proyecto y en consecuencia provocan frecuentes cambios en los tiempos y costos excesivos (Sanghyun Lee, Asce, Peña-mora, & Park, 2006).

Según lo manifestado por (Sterman, 2000), hay dos tipos de procesos de retroalimentación en el sistema: refuerzo que amplifica lo que está sucediendo en el sistema y el equilibrio que contrarresta y se opone a cambiar. Todas las dinámicas surgen de la interacción de estos dos tipos de proceso de retroalimentación entre los componentes del sistema, no de la complejidad de

los propios componentes, la Fig. 35 ilustra cómo los errores y los cambios generan estos procesos de retroalimentación durante la ejecución real.

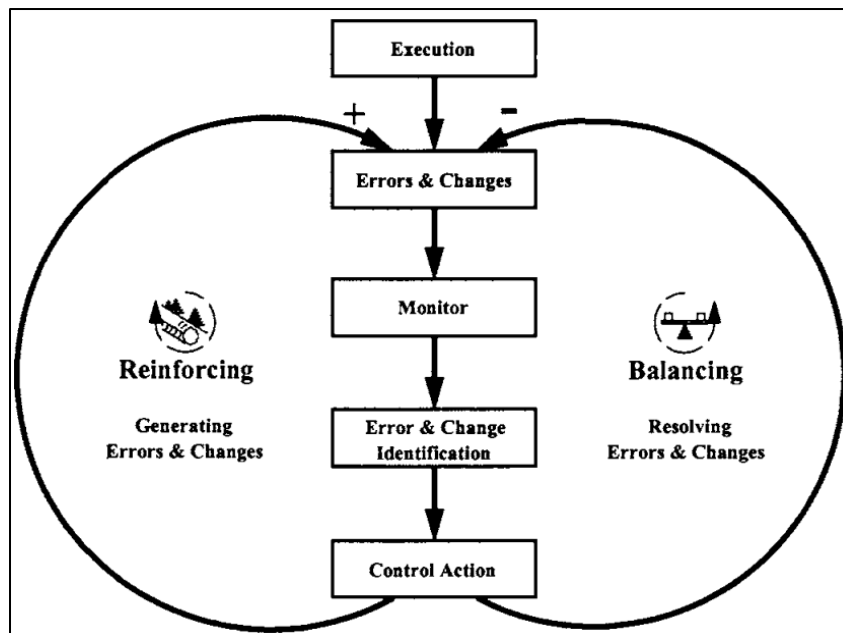


Fig. 35 Procesos de retroalimentación causados por errores y cambios.  
Fuente. (Sanghyun Lee et al., 2006)

Los ciclos iterativos son más perjudiciales cuando el diseño y la construcción son concurrentes y con frecuencia obligan a las actividades a llevarse a cabo con información incompleta. Como hemos visto la planeación dinámica y la metodología de control DPM proporcionan un mecanismo que analiza el impacto de los ciclos iterativos negativos sobre el desempeño en proyectos de construcción. La aplicación de la DPM basado en web desarrollado por (Sanghyun Lee et al., 2006), manifiesta que cuando se introduce una cantidad de trabajo adicional causado por los errores y cambios, los planes diseñados originalmente necesitan ser mejorados y proponen ciertas políticas que se pueden adaptar para mejorar la utilización de la capacidad, primero la adición de la capacidad de servicio por ejemplo, la contratación de trabajadores adicionales, segundo el aumento de las semanas de trabajo por ejemplo, la aplicación de las horas extras, tercero pasar menos tiempo en cada tarea por ejemplo, trabajar más rápido; por último la reducción de la tasa de llegada de nuevas tareas o cancelar algunas tareas pendientes que no sean críticas para el desarrollo del proyecto y reasignar dichos recursos a las actividades críticas.

Minimizar el tiempo es fundamental para el éxito en muchos proyectos de desarrollo. Políticas de asignación de recursos durante este tipo de proyectos determinan las fracciones de los recursos que van a ser asignados a tareas constituyentes. Según (Z. W. Lee, Ford, & Joglekar, 2007) la elección de una política de asignación puede influir fuertemente duración de los proyectos, pero las políticas para reducir la duración de los proyectos son difíciles de diseñar y de poner en práctica, debido a las corrientes de circuito cerrado de trabajo que

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

generan los patrones de demanda dinámica y los retrasos en la transferencia de recursos entre actividades.

La estructura de flujo de trabajo estudiado por (Z. W. Lee et al., 2007) se muestra en la Fig. 36.

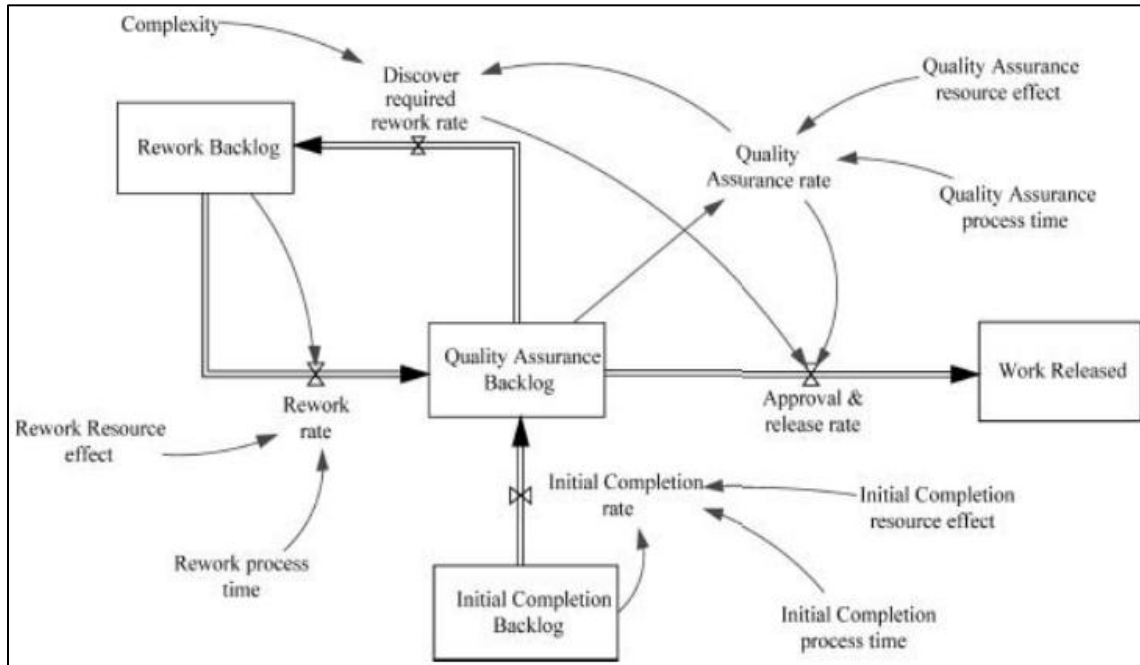


Fig. 36 Un modelo de flujo de trabajo del proyecto.  
Fuente. (Z. W. Lee et al., 2007)

Según (Irizarry, Karan, & Jalaei, 2013) las investigaciones realizadas en los últimos años se han centrado en la aplicación de la tecnología de la información (TI) para la mejora en el proceso de integración de la Gestión de la Cadena de Suministro de Construcción (CSCM), en la que se integra el Modelado de la Información de Construcción (BIM) y los Sistemas de Información Geográfica (GIS) en un único sistema, permitiendo así el seguimiento del estado de la cadena de suministro y proporcionando señales de alerta para garantizar la entrega de los materiales. El objetivo de integrar el BIM y el GIS en un único sistema, aprovechando la riqueza de los datos y capacidades de visualización, es aumentar la sensibilización del CSCM. El GIS se utiliza para mapear todo el proceso de la cadena de suministro ofreciendo una óptima solución para administrar los costos de logística de la cadena de suministro, luego se identifica la disponibilidad de materiales en forma de mapas proporcionando una solución que minimice los costos de logística, órdenes, almacenamiento y transporte. Finalmente, este método permite a los miembros de trabajo identificar cuáles son las causas fundamentales de la entrega tardía de los materiales.

En la Fig. 37 (Irizarry et al., 2013) muestra el modelo de la estructura del SIG, que se describe de la siguiente manera: En la fase de pre-diseño, se evalúa la disponibilidad de los recursos y la distribución de proveedores,

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

posteriormente en el abastecimiento se realiza la búsqueda de proveedores, el precio de los bienes y los horarios del proveedor para el abastecimiento del proyecto de construcción determinado, en tercera instancia la logística involucra la integración de la información, transporte, inventario, almacenamiento y manejo de materiales, luego en la gestión del desempeño se proporciona la visibilidad de los indicadores clave de rendimiento (KPI) en toda la cadena de suministro, y finalmente en el seguimiento y la inspección, se precisa el estado del material en diferentes etapas dentro de la oferta de la construcción.

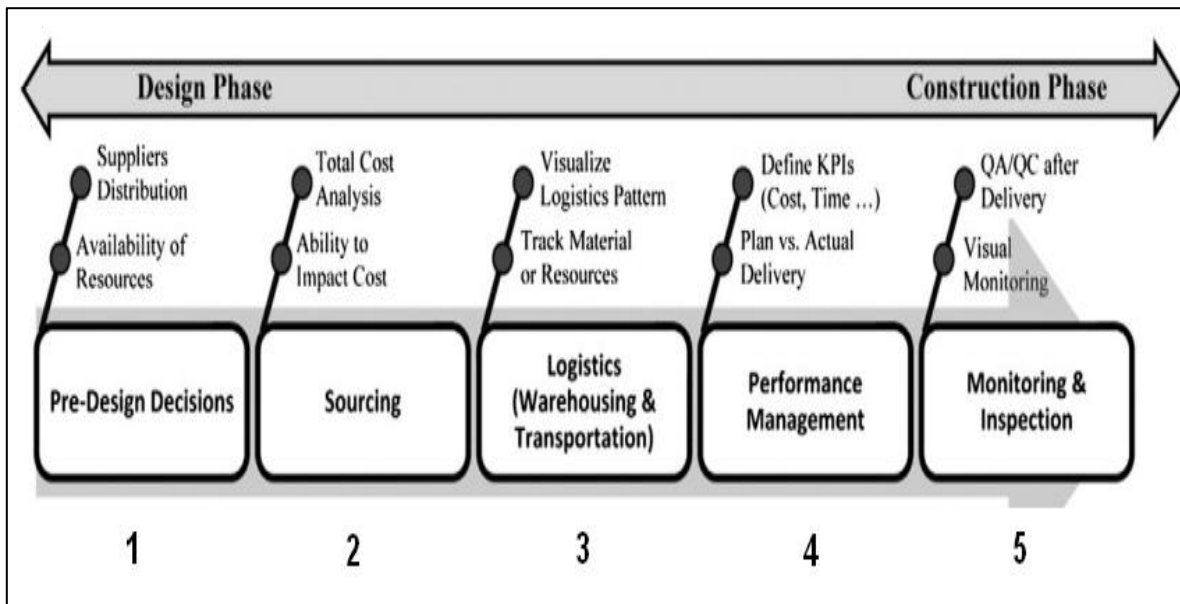


Fig. 37 Marco de la cadena de suministro de la construcción.

Fuente. (Irizarry et al., 2013)

La visión general del flujo de información CSCM en el sistema propuesto se muestra en la Fig. 38, iniciando con el módulo BIM donde se definen los elementos de construcción y sus propiedades, luego se une el BIM y el GIS para desarrollar el modelo visual que representa la disponibilidad de materiales, seguido a esto, en el módulo GIS se realiza el análisis del costo total, incluyendo las variables de entrada que se usan para calcular el tiempo de transporte y el costo mostrados en la Fig. 39, luego se visualiza el modelo logístico y finalmente con el módulo BIM se hace la supervisión y representación gráfica de la situación de los materiales o recursos.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

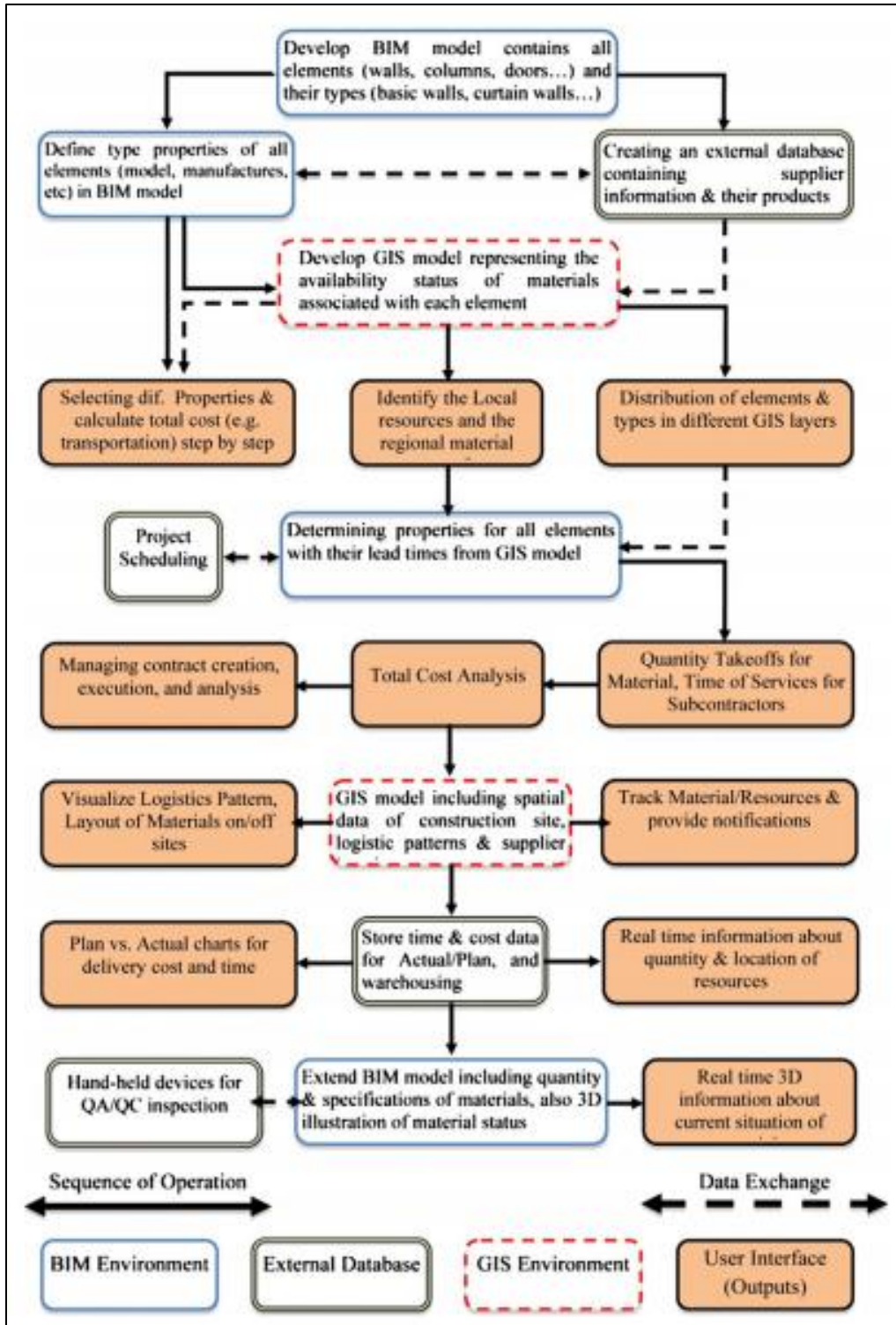


Fig. 38 Flujo de información en el modelo de cadena de suministro. Fuente. Fuente. (Irizarry et al., 2013)

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

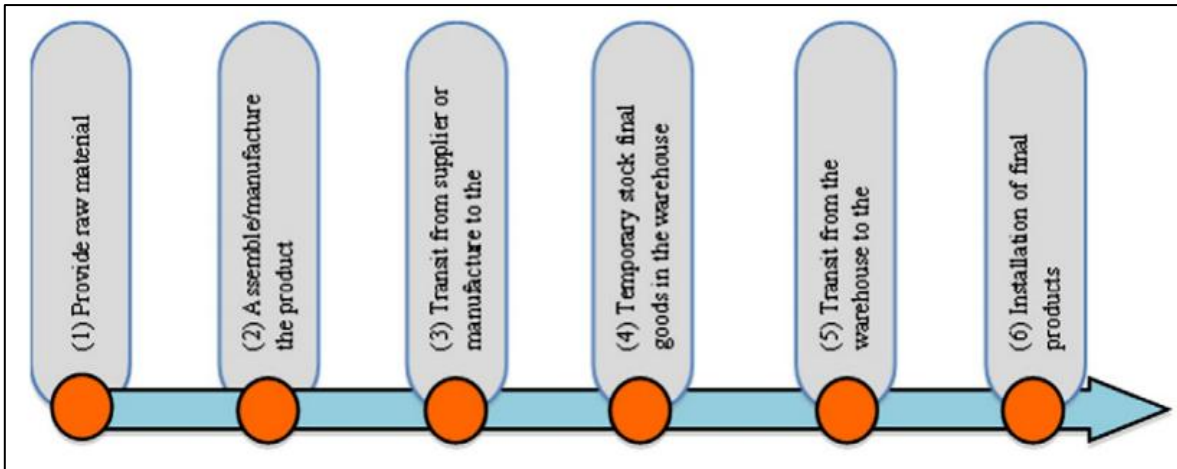


Fig. 39 Variables de entrada y su secuencia en el módulo SIG.  
Fuente. Fuente. (Irizarry et al., 2013)

En todo proyecto de construcción hay riesgos que hacen que el tiempo proyectado para su realización se vea afectado de manera negativa, en cuanto que se generan retrasos y se elevan los costos (Akintoye & MacLeod, 1997). Estos riesgos generalmente son percibidos como eventos que influyen en los objetivos del proyecto de costo, calidad y tiempo.

(Perry & Hayes, 1985), (Mustafa & AI-Bahar, 1991) han identificado algunos riesgos fuentes centrales de las actividades de construcción; entre ellos, riesgos físicos, ambientales, de diseño, logísticos, financieros, legales, políticos y los riesgos propios del gremio y de la operación.

Como estas fuentes de riesgo influyen en el rendimiento de proyectos de construcción en términos de tiempo, costo y calidad, estos se evalúan de forma individual y se le da un valor de riesgo a cada uno de ellos. Una estrategia del valor de riesgo, que se utiliza a menudo en los proyectos de construcción es el subsidio de contingencia. (Dey, Tabucanon, & Ogunlana, 1994) produce un catálogo de riesgos y asignación de contingencia en proyecto de construcción petroquímica y en su estudio describe un procedimiento sistemático para el análisis de riesgos de los proyectos desde la perspectiva de la construcción. El valor se coloca en cada una de las fuentes de riesgo que puede depender de la exposición a los riesgos que enfrentan las empresas individuales, la probabilidad de ocurrencia, la experiencia de la firma en el trato con el tipo particular de riesgo, la actitud de la empresa al arriesgar, el alcance del impacto que representa las fuentes, etc. Se realizó una encuesta y se pidió que indicaran el grado de valor que sus organizaciones aplican a cada fuente de riesgo. Las respuestas se resumen en la Tabla 7.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

Tabla 7. Las percepciones del valor colocado en el riesgo (% de los encuestados).

	Contratistas					Las prácticas de gestión de proyectos				
	4	3	2	1	0	4	3	2	1	0
Ambiental (Ej. El clima)	0	8	33	33	26	8	30	48	14	0
Política, social y económico (Ej. La inflación)	0	17	66	0	17	10	41	26	14	9
Acuerdo contractual (Ej. Responsabilidades)	62	31	7	0	0	55	30	10	4	0
Financiero	46	38	0	0	16	55	41	0	4	0
Construcción (Productividad, lesiones, seguridad)	17	25	42	8	8	17	62	17	4	0
Mercado / Industria (Disponibilidad de carga de trabajo)	31	38	31	0	0	11	62	17	4	0
Compañía (La empresa)	8	38	46	0	8	18	29	31	18	4
Desarrollo en TI	0	8	25	25	42	0	18	39	29	14
Proyecto (Información de diseño)	34	42	8	8	8	3	66	24	7	0

Alcance del riesgo: 4 alto, 3 bastante alto, 2 bajo, 1 bastante bajo, 0 indiferente.

Fuente. (Akintoye & MacLeod, 1997)

La tabla muestra que los resultados tanto de los contratistas como de los directores de proyectos son muy similares en el orden de importancia que se concede a las fuentes de riesgo. Se observa que los riesgos financieros y contractuales son los más importantes por tener la mayoría de las consecuencias adversas de la finalización con éxito del proyecto de construcción, el segundo se ocupan de las relaciones entre las partes en el contrato y la asignación de riesgos.

Un estudio sobre los proyectos de construcción en china realizado por (P. X. W. Zou, Zhang, & Wang, 2007) muestra que los riesgos únicos, incluidos problema de la financiación del proyecto, falta de capacidad de gestión de contratistas, dificultades en el reembolso, falta de voluntad para comprar un seguro y falta de conciencia de seguridad en la construcción y la contaminación, etc. Son considerados como riesgos genéricos y únicos que influyen en el logro de los objetivos del proyecto de construcción en esta región del mundo.

Los riesgos reconocidos están relacionados principalmente con los contratistas, seguidos por los clientes, los diseñadores, los proveedores y agencias gubernamentales, estos se producen principalmente en la fase de construcción, seguido por fase de viabilidad y diseño. Los clientes, diseñadores y agencias gubernamentales deben trabajar en cooperación desde la fase de viabilidad para gestionar los riesgos potenciales con eficacia y en el tiempo, los contratistas y subcontratistas con una construcción robusta, el conocimiento y las habilidades de gestión para minimizar los riesgos de construcción y realizar una buena preparación para llevar a cabo las actividades de construcción segura, eficiente y de calidad.



## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

La retroalimentación encuesta incluye dos grupos de datos, la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo y su magnitud de la consecuencia de los objetivos del proyecto en términos de costo, tiempo, calidad, medio ambiente y seguridad. Todos los riesgos observados en la Tabla 8 pueden suceder a cualquier proyecto constructivo, por la importancia objetiva que tiene cada uno de ellos y se le asigna una puntuación del índice de significación, teniendo en cuenta que 1 es el valor que se le da si es de un riesgo alto, y 0 de un riesgo bajo. Con los reiterados riesgos, se filtraron un total de 25 factores, siendo éstos los principales riesgos de afectar la entrega de un proyecto.

Tabla 8. Riesgos clave por su importancia objetiva en cada proyecto.

Principales riesgos	Puntuaciones del índice de significación
<i>Riesgos relacionados con el costo</i>	
Variaciones por el cliente	0.57
La inflación de precios de materiales de construcción	0.56
Variaciones de diseño	0.47
Cronograma del proyecto	0.46
Los problemas de financiación del proyecto	0.44
Dificultad del contratista en el reembolso	0.42
Estimación incompleta o inexacta del costo	0.41
Poca capacidad de gestión de los contratistas	0.40
Inadecuada información del sitio (análisis de suelo y el informe de la encuesta)	0.37
Inadecuada programación de las emisiones	0.36
La burocracia del gobierno	0.36
Procedimientos excesivos de aprobaciones gubernamentales	0.36
<i>Riesgos relacionados con el tiempo</i>	
Los problemas de financiación del proyecto	0.58
Variaciones por el cliente	0.58
Inadecuada programación de las emisiones	0.53
Dificultad del contratista en el reembolso	0.51
Variaciones de diseño	0.48
Cronograma del proyecto	0.46
Poca capacidad de gestión de los contratistas	0.44
Procedimientos excesivos de aprobaciones gubernamentales	0.44
La inflación de precios de materiales de construcción	0.43
Incompetencia de proveedores en la entrega de materiales al tiempo	0.39
<i>Riesgos relacionados con la calidad</i>	
Cronograma del proyecto	0.44
Poca capacidad de gestión de los contratistas	0.43
La no disponibilidad de una cantidad suficiente de mano de obra calificada	0.41
Falta de disponibilidad de profesionales y directivos suficientes	0.41
Pobre competencia de mano de obra	0.40
Dificultad del contratista en el reembolso	0.38
Variaciones por el cliente	0.37
Los problemas de financiación del proyecto	0.36
Baja capacidad de gestión de los subcontratistas	0.35
Variaciones de diseño	0.34

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Inadecuada información del sitio (análisis de suelo y el informe de la encuesta)	0.34
<i>Riesgos relacionados con el medio ambiente</i>	
Contaminación acústica grave causada por la construcción	0.40
Contaminación del agua causada por la construcción	0.32
Cronograma del proyecto	0.32
Los problemas de financiación del proyecto	0.27
Variaciones por el cliente	0.27
Grave contaminación del aire debido a las actividades de construcción	0.25
Poca capacidad de gestión de los contratistas	0.24
Dificultad del contratista en el reembolso	0.24
Fiscalía debido a la eliminación ilegal de residuos de la construcción	0.24
La burocracia del gobierno	0.23
<i>Riesgos relacionados con la seguridad</i>	
Los empleados no compran seguro de la seguridad	0.46
Cronograma del proyecto	0.45
Los problemas de financiación del proyecto	0.38
Medidas de seguridad inadecuadas u operaciones inseguras	0.38
Poca capacidad de gestión de los contratistas	0.38
No comprar un seguro para el equipo principal	0.36
Falta de disponibilidad de profesionales y directivos suficientes	0.33
Dificultad del contratista en el reembolso	0.33
La falta de servicios fácilmente disponibles en el sitio	0.31
Pobre competencia de mano de obra	0.30

Fuente. (P. X. W. Zou et al., 2007)

Estos riesgos, junto con sus impactos se muestran en la Tabla 9. El análisis de los principales riesgos destaca la importancia de los roles interesados en la gestión del proyecto, el tiempo, la calidad, la seguridad y la sostenibilidad ambiental en la industria de la construcción.

Tabla 9. Los principales riesgos que influyen en los objetivos del proyecto y sus siglas.

Categoría de riesgo	Los 25 principales riesgos identificados	Siglas	Con impacto significativo en				
			Costo	Tiempo	Calidad	Seguridad	Medio ambiente
Los riesgos relacionados con los clientes	Cronograma del proyecto	TPS	X	X	X	X	X
	Los problemas de financiación del proyecto	PFP	X	X	X	X	X
	Variaciones por el cliente	VC	X	X	X		X
Los riesgos relacionados con los diseñadores	Variaciones de diseño	DV	X	X	X		
	Programación de las emisiones inadecuada	IPS	X	X			
	Sitio inadecuado información (análisis de suelo y el informe de la encuesta)	ISI	X		X		
	Estimación incompleta o inexacta costo	ICE	X				

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

<b>Los riesgos relacionados con los contratistas</b>	Poca capacidad de gestión de los contratistas	CPMA	X	X	X	X	X
	Dificultades en el reembolso de los contratistas	CDR	X	X	X	X	X
	Pobre competencia del trabajador	PCL			X	X	
	Falta de disponibilidad de profesionales y directivos suficientes	UPM			X	X	
	Sin comprar un seguro para el equipo principal	CaI				X	
	Sin comprar un seguro de seguridad para los empleados	WSIE				X	
	Medidas de seguridad inadecuadas u operaciones inseguras	ISM				X	
	La falta de servicios fácilmente disponibles en el sitio	LAU				X	
	La no disponibilidad de una cantidad suficiente de obrero cualificado	USL			X		
	Fiscalía debido a la eliminación ilegal de residuos de la construcción	PUDW					X
	Grave contaminación del aire debido a las actividades de construcción	SAP					X
	Contaminación acústica grave causada por la construcción	SNP					X
La contaminación del agua causada por la construcción	WP					X	
<b>Los riesgos relacionados con los subcontratistas / proveedores</b>	Baja capacidad de gestión de los subcontratistas	LMCS			X		
	Incompetencia de proveedores para entregar los materiales a tiempo	SIDM		X			
<b>Los riesgos relacionados con los organismos gubernamentales</b>	La burocracia del gobierno	BG	X				X
	Procedimientos excesivos de aprobaciones gubernamentales	EPGA	X	X			
<b>Cuestiones externas</b>	La inflación de precios de materiales de construcción	PICM	X	X			

Fuente. (P. X. W. Zou et al., 2007)

Es importante destacar que riesgos, pueden surgir en las diferentes fases del ciclo del proyecto, y en la Fig. 40 se presenta un ejemplo de las múltiples conexiones de los principales riesgos en relación con el marco de gestión de riesgos desarrollada por (P. Zou, Zhang, & Wang, 2006)

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

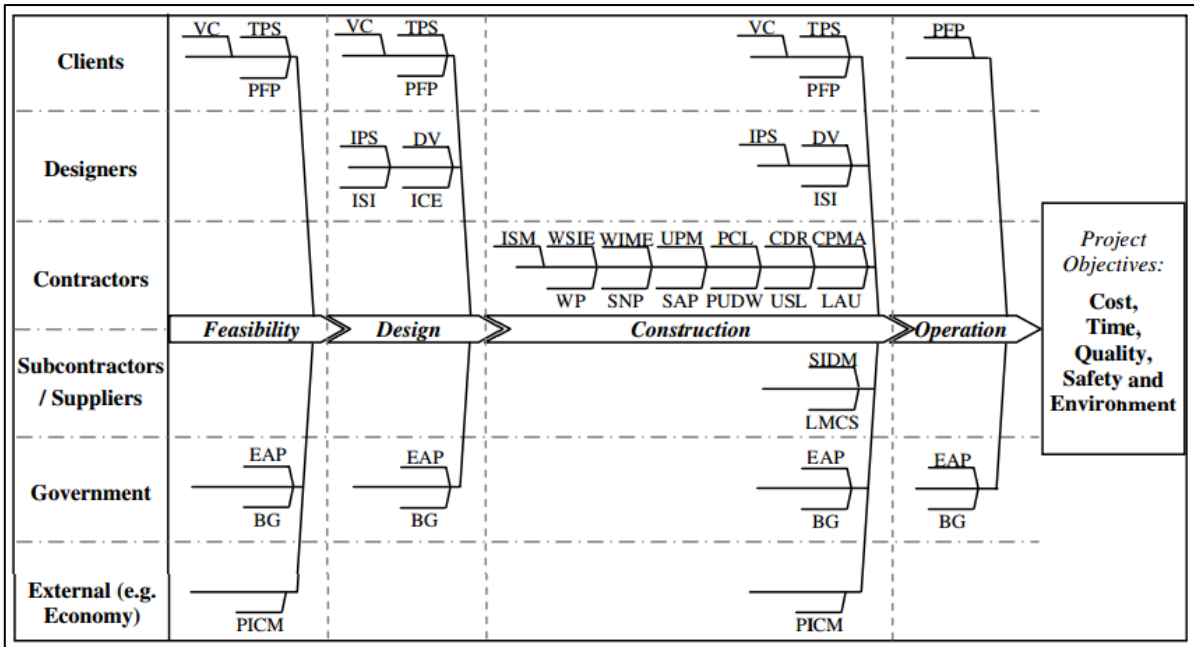


Fig. 40 Principales riesgos, las partes interesadas y el ciclo de vida del proyecto.

Fuente. (P. X. W. Zou et al., 2007)

Para el equipo de trabajo del proyecto es una tarea necesaria comprender la gestión de riesgos y de esta manera comprender también los factores subyacentes que contribuyen a los riesgos del proyecto que a menudo son los mismos de la naturaleza del proyecto. Para realizar la evaluación del riesgo, el primer paso es identificar los riesgos que pueden afectar el proyecto, luego se realiza un análisis para identificar la probabilidad de que sucedan estos riesgos, se clasifican para proporcionar un plan para hacer frente a todos los riesgos posibles en cada etapa del proyecto; finalmente teniendo asignado un valor de factor de riesgo a cada uno de ellos, el equipo cuenta con un plan de trabajo para minimizar el riesgo de los proyectos mediante un plan de contingencia únicamente para las tareas que tienen el factor de riesgo más alto.

Una nueva metodología para el análisis de riesgos permite a los miembros del grupo de trabajo hacer juicios a través de términos lingüísticos en vez de números reales, siendo estos términos matemáticamente no operables, por lo que cada término se asocia con un número difuso trapezoidal, que representa el significado de cada termino verbal. Para facilitar la aplicación de ésta metodología (Nieto-Morote & Ruz-Vila, 2011) desarrolla un método de ponderación la cual incluye un algoritmo para reducir la inconsistencia del juicio comparativo y el juicio de preferencia obtenido directamente de los miembros del grupo de evaluación de riesgos. Finalmente, esta metodología desarrollada es aplicable al problema de la evaluación del riesgo difusa general, donde se requiere una clasificación de los riesgos.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Se propone un modelo de evaluación de riesgo con base en el razonamiento difuso que consta de tres pasos: paso preliminar, definición de la función del factor de riesgo y la medición de las variables de paso y paso de inferencia difusa. En la Fig. 41 se muestran los tres pasos detallados del modelo de evaluación de riesgo.

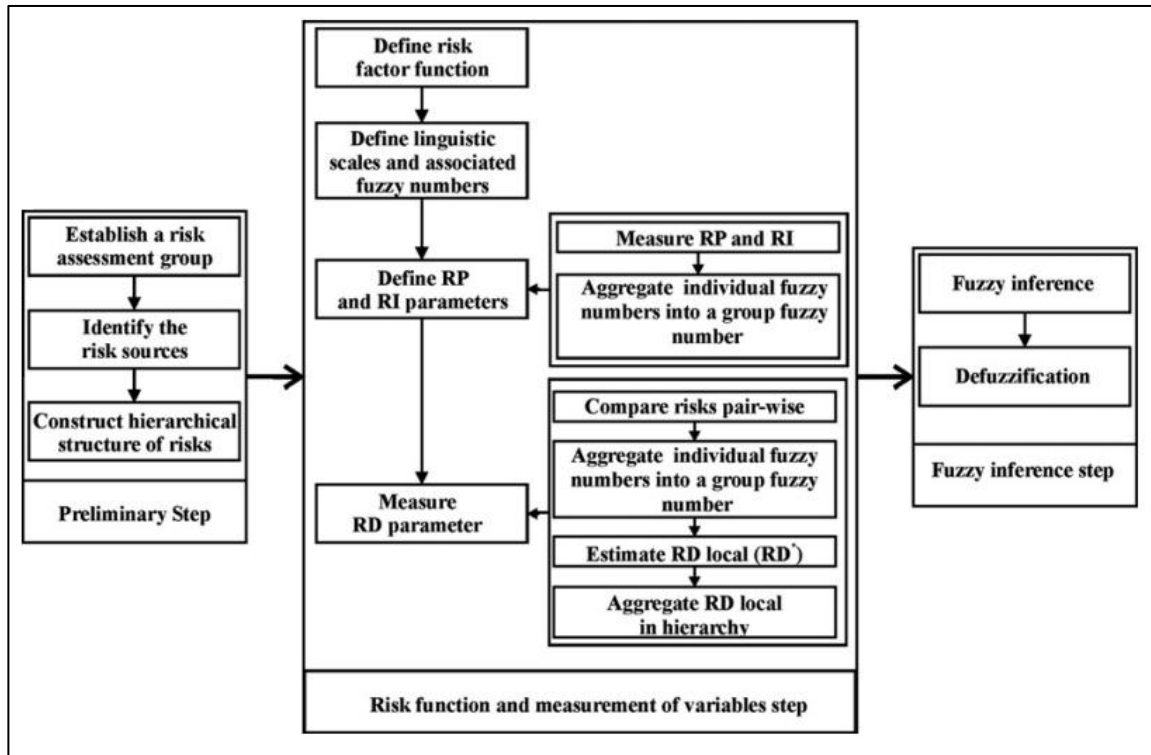


Fig. 41. Evaluación del modelo Fuzzy.  
Fuente. (Nieto-Morote & Ruz-Vila, 2011)

El grupo de evaluación de riesgos, basado en su experiencia, identifica los riesgos y construyen una jerarquía de riesgos como se observa en la Fig. 42. Esta jerarquía consiste en cuatro grupos que son: a. riesgos de gestión de proyectos, b. riesgos de ingeniería, c. riesgos de ejecución y d. riesgos de los proveedores. Dentro de estos riesgos, encontramos: En el a. la falta de un proceso adecuado, la falta de recursos, la inexperiencia del grupo de trabajo, y la falta de actitud en la motivación; en el b. los errores de diseño y los cambios de diseño; en el c. los errores de construcción, baja productividad, falta de experiencia previa y accidentes; finalmente en el e. problemas técnicos, retrasos en el suministro y escasez de calidad.

El tiempo, el costo, la calidad y la seguridad, son los cuatro principales elementos de control para la gestión de proyectos. La mejor solución para un proyecto es lograr una alta calidad con un bajo coste en el plazo adecuado y sin accidente seguro (Tao & Tam, 2013). Sobre el enunciado anterior, (Tao & Tam, 2013) crean un modelo de optimización multi-objetivo, que puede equilibrar las variables tiempo-costo-calidad-seguridad sistemáticamente en

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

diferentes niveles de riesgo con el fin de evaluar los objetivos más satisfactorios o varios planes como alternativas de mejoramiento.

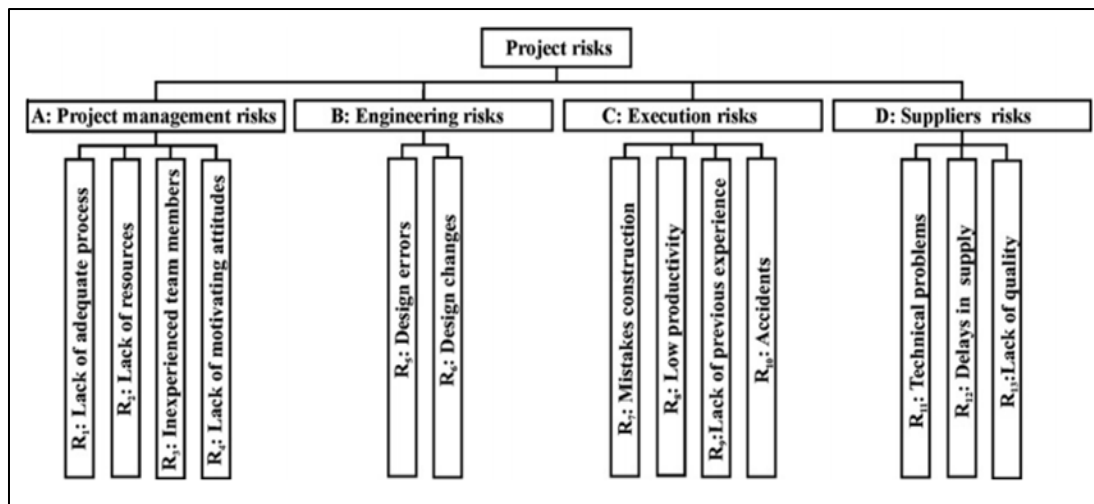


Fig. 42 Estructura jerárquica de los riesgos.

Fuente. (Nieto-Morote & Ruz-Vila, 2011)

Estudio realizado para desarrollar una teoría de la fiabilidad del sistema con soporte en el modelo de optimización de objetivos múltiples (MOO) y ayudar a los tomadores de decisiones (DM) para seleccionar e identificar la solución de equilibrio óptimo costo-calidad para proyectos de construcción; obteniendo resultados de alta eficacia y eficiencia en la solución de todos los problemas. Este estudio demostró buenos aportes, como lo son, la introducción del concepto de fiabilidad y la aplicación de SRO en la optimización de costos de calidad, la aplicación de la función de la fiabilidad para cuantificar el rendimiento de calidad de cada paquete de trabajo y agregarlos como la calidad general del proyecto y que el modelo propuesto puede ser computarizado por el software disponible en el mercado y es una herramienta fácil de usar.

Con el fin de lograr ahorros en los costos, para mejorar la calidad de los productos y lograr más ganancias, las acciones apropiadas deben ser adoptadas para minimizar el costo total de la construcción (TCC) y aumentar al máximo nivel la calidad del proyecto. Estas acciones, se refieren a la optimización de la fiabilidad del sistema (SRO) para reducir al mínimo el consumo de recursos y maximizar la fiabilidad del sistema para lograr el mejor producto final. Tal como se muestra en la Fig. 43, la teoría de la fiabilidad del sistema se emplea para cuantificar la calidad del proyecto, de tal manera que el MOO incluya la minimización del TCC y el sistema de maximización de fiabilidad, pueda llevarse a cabo generando soluciones costo-calidad mediante la aplicación de la optimización de la fiabilidad del sistema (SRO).

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

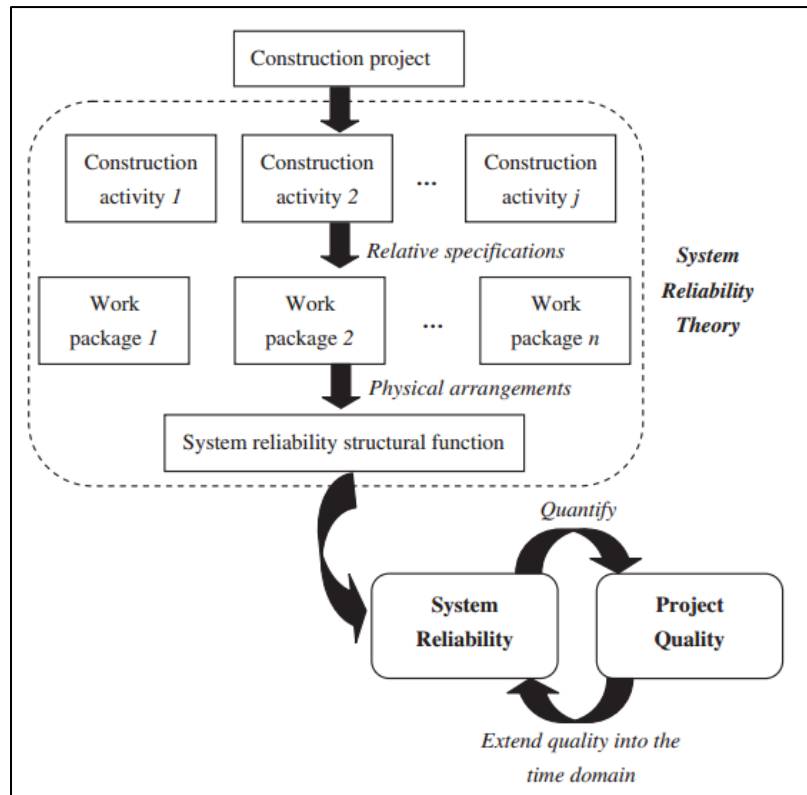


Fig. 43 Esquema de la aplicación de la teoría de la fiabilidad del sistema para cuantificar la calidad del proyecto.

Fuente. (Tao & Tam, 2013)

El método más aceptado para determinar los costes de calidad de la construcción es el modelo tradicional de la prevención-evaluación de fallos (PAF) (Peter E.D. Love & Irani, 2003), estos autores clasifican los costos de la siguiente manera: Prevención: Todos los montos gastados o invertidos para prevenir o reducir los errores o defectos, es decir, para financiar actividades encaminadas a eliminar las causas de los defectos; Evaluación: La detección de errores o defectos, midiendo la conformidad con el nivel de calidad requerido: emisión planos arquitectónicos y estructurales, trabajos en curso, la inspección material entrante y terminado; Internos: Debido a la chatarra o reelaboración producto defectuoso o compensación por retrasos en la entrega, y Fallos externos: Después de la entrega de un producto al cliente: costes de reparaciones, devoluciones, que se ocupan de las quejas y compensación.

En particular, los costes de calidad pueden dar cuenta de 8 a 15% de los costos totales de construcción (Lam, 1994). La Junta de Desarrollo de la Industria de Construcción (CIDB) en Singapur, por ejemplo, declaró que un contratista promedio se estimó en el 5-10% de los costos del proyecto a hacer las cosas mal y rectificarlas (Peter E.D. Love & Irani, 2003).

Estos últimos llegaron a la conclusión de que una gestión de calidad eficaz costaría alrededor de 0,1 a 0,5% del costo total de la construcción y producir

## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

un ahorro de al menos el 3% del costo total del proyecto (unas cinco veces la inversión inicial).

Los estudios han demostrado que más del 25% de los costos se puede cortar a través del uso de un programa de calidad efectiva (R.D. Hart, 1994). Esto apunta claramente a la importancia de saber cómo prevenir la recurrencia, no sólo beneficia al contratista, sino también el cliente y los usuarios finales. (Roberts, 1991) encontró que por el gasto de un 1% más en la prevención, los costes de fallos podrían reducirse por un factor de 5%.

En la Tabla 10. Ejemplos de prevención y técnicas de evaluación en la construcción. Se observan ejemplos de técnicas de prevención y evaluación, utilizados en los proyectos de construcción. Algunos de los costos de calidad se pueden estimar con un alto grado de precisión, mientras que otros solo pueden ser estimados.

Tabla 10. Ejemplos de prevención y técnicas de evaluación en la construcción.

<b>Las actividades de prevención y evaluación</b>	<b>Descripción</b>
Los sistemas de calidad	El desarrollo de programas de mejora de calidad, estándares y metas. La recolección de datos, análisis y presentación de informes
Homologación de proveedores	La evaluación de la capacidad de los proveedores, vendedores, contratistas y subcontratistas, para realizar competentemente. El desarrollo de un sistema de certificación y la compilación de las puntuaciones de calificación para medir el desempeño de los proveedores
Capacitación de personal, pruebas y capacitación	Prueba de la capacidad del personal para realizar el trabajo de acuerdo a las normas especificadas. Certificación Artesanía y formación para las actividades de control de calidad / control
Agilización	Actividades antes de la entrega para garantizar la entrega programada de todos los materiales comprados, equipos, servicios y tercero la información de ingeniería partido
Opinión de factibilidad	Actividades para asegurar que el diseño más eficiente y los métodos de construcción planificadas se utilizan para maximizar la posibilidad de construir unas instalaciones perfectas. Estudios Obras: diseño, estudios de-riego, estudios de prefabricación, etc.
Operatividad, seguridad y valor opinión	Determinar si el diseño cumple con el cliente, la industria y los requisitos gubernamentales en cuanto a la operatividad, seguridad, ingeniería de valor, análisis de seguridad, los riesgos del proceso, y las revisiones de operatividad, los estudios de ingeniería de valor, etc.
Exámenes, interno	Revisión, verificación, inspección, pruebas y observar los servicios / productos internamente en la organización. Revisión de diseños, redacción y documentación. Los análisis de suelos, pruebas de concreto hidráulico de pruebas de tuberías, etc.
Exámenes, externa	Revisión, verificación, inspección, pruebas y observar los productos / servicios producidos externamente por otros. Inspección de objetos / equipos recibidos, revisiones de documentos de proveedores, etc.

Fuente. (Peter E.D. Love & Irani, 2003)



## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Es importante tener en cuenta que los estudios de (Peter E.D. Love & Irani, 2003) determinaron que la reducción de la calidad debido a las horas extraordinarias es insignificante y no puede exceder de  $2 \pm 3 \%$ , aunque se utilice la cantidad máxima de horas extras.

Estudios en otras áreas diferentes a la construcción, muestran que las estrategias de control se usan en la ejecución de proyectos con el fin de intervenir las diferentes actividades, cuando las discrepancias entre lo programado y lo ejecutado realmente en el proyecto así lo exijan (Rozenes, Vitner, & Spraggett, 2004)

Recientes avances presentados en la recapitulación teórica anterior y presentados por (L. J. Gonzalez et al., 2012) se han enfocado en encontrar políticas de cuya aplicación recursiva permitan disminuir los retrasos potenciales de los proyectos con respecto a los estimados iniciales.

Con base en los cálculos de la discrepancia de la ejecución real del proyecto con respecto a la ejecución ideal del proyecto se han presentado diferentes políticas de control las cuales priorizan el cambio del modo de ejecución de las actividades críticas al detectar la discrepancias con respecto a los estimados iniciales, esto quiere decir cambiar la combinación particular de tiempo, recursos y tecnología, de tal forma que la tasa de ejecución de la actividades críticas retrasadas se acelere. La descripción de esta política se describe en el diagrama de Forrester de la Fig. 44.

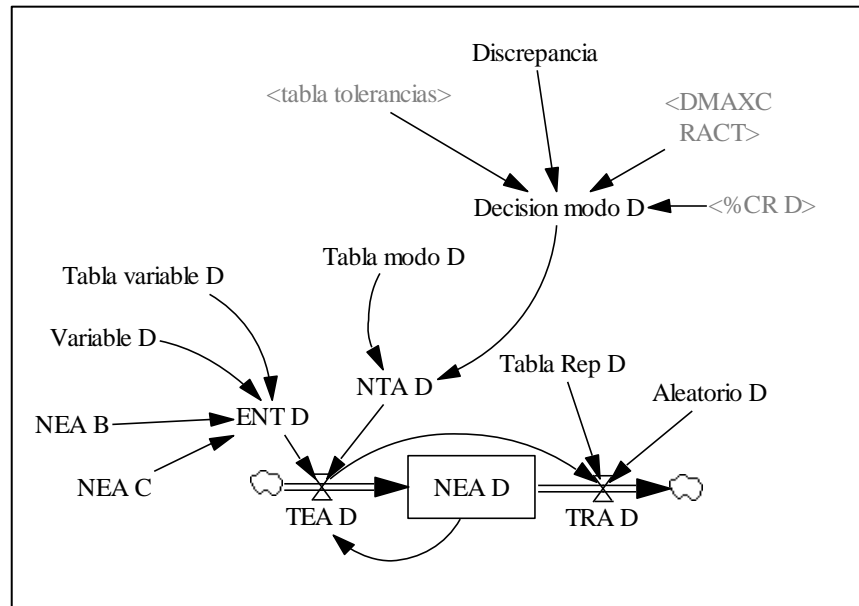


Fig. 44. Estructura de una actividad en la red de ejecución.  
Fuente. (Rueda Velasco et al., 2012)

Por su parte (Rueda et al., 2011) presenta dos políticas de control alternativas, la primera enfocada a acelerar las actividades críticas en proporción a la discrepancia, mediante la asignación de mayor cantidad de recursos NRA (Ver

Ecuación 9) y la segunda con miras a atacar la variabilidad de los recursos  $DvstR1_j$  reduciendo esta última en proporción a la discrepancia a través de técnicas de mantenimiento productivo total (Ahuja & Khamba, 2008), siendo esta última la causa identificada de las desviaciones (Ver Ecuación 10).

$$Pol1A = (1 + DISCR)^{NRA}$$

Ecuación 9

$$DvstR1_k = DvstR1_j * DISCR_j$$

Ecuación 10

La aplicación de estas políticas redundará en una reducción de los tiempos reales de ejecución del proyecto, principalmente mediante la reducción de la discrepancia total, cuyos resultados pueden apreciarse directamente en (Moreno & González., 2011) (Rueda et al., 2011).

La aplicación recursiva de los modelos anteriores emplea políticas de revisión continua, en donde las discrepancias son calculadas en cada intervalo de la simulación, lo que implica un sistema que este en capacidad de detectar las discrepancias en tiempo real y reaccionar a ellas en tiempo mínimo. Este supuesto no se cumple directamente en la práctica, ya que los sistemas de control se aproximan más a sistemas de revisión periódica, en donde se ejecutan hitos o puntos de control en periodos fijos de tiempo (Rueda Velasco et al., 2012).

En (Raz & Erdal., 2000)(K. G. Cooper, 1980) se describe que al aumentar el número de puntos de control, acercándose a un sistema de revisión periódica, se obtiene una mayor cantidad de información y por lo tanto una mejor reacción ante las discrepancias.

En el proceso de ejecución de proyectos, los sistemas de control se utilizan para monitorear el estado de cumplimiento de los objetivos, con el fin de determinar las discrepancias entre la planeación y la ejecución del mismo y generar acciones correctivas encaminadas a disminuir estas diferencias, sin embargo, en la actualidad, Dado lo anterior, (Valenzuela Riaño, 2013) propone un método que contribuye a mejorar el proceso de la localización de puntos de control en proyectos, utilizando dinámica de sistemas como una herramienta modelación. Se probaron políticas de priorización de actividades las cuales contemplaban aspectos como duración, recursos, variabilidad, sucesores y combinaciones de estas características, los cuales fueron comparados con el método de la ruta crítica, ampliamente utilizado, en los problemas de secuenciación de proyectos.

Debido a esto, se buscó comparar el desempeño dinámico del cambio de los periodos de revisión por medio de dinámica de sistemas, lo que es equivalente a controlar las actividades en periodos fijos, de tal manera que al hacer más pequeño el tiempo de control aumenta proporcionalmente el número de controles ejecutados.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Es importante tener en cuenta que los controles generan costos, por lo tanto el análisis de los resultados obtenidos de las estrategias debe incluir los cálculos de costos asociados al control y debe ser comparados con los costos asociados al retraso, para no tomar acción si estos costos no justifican una mejora sustancial en los objetivos del proyecto. Los costos de control se acumulan realizando el conteo de controles ejecutados sobre cada actividad y multiplicándolos por un el costo unitario del control, como lo muestra la Fig. 45 y la Ecuación 11.

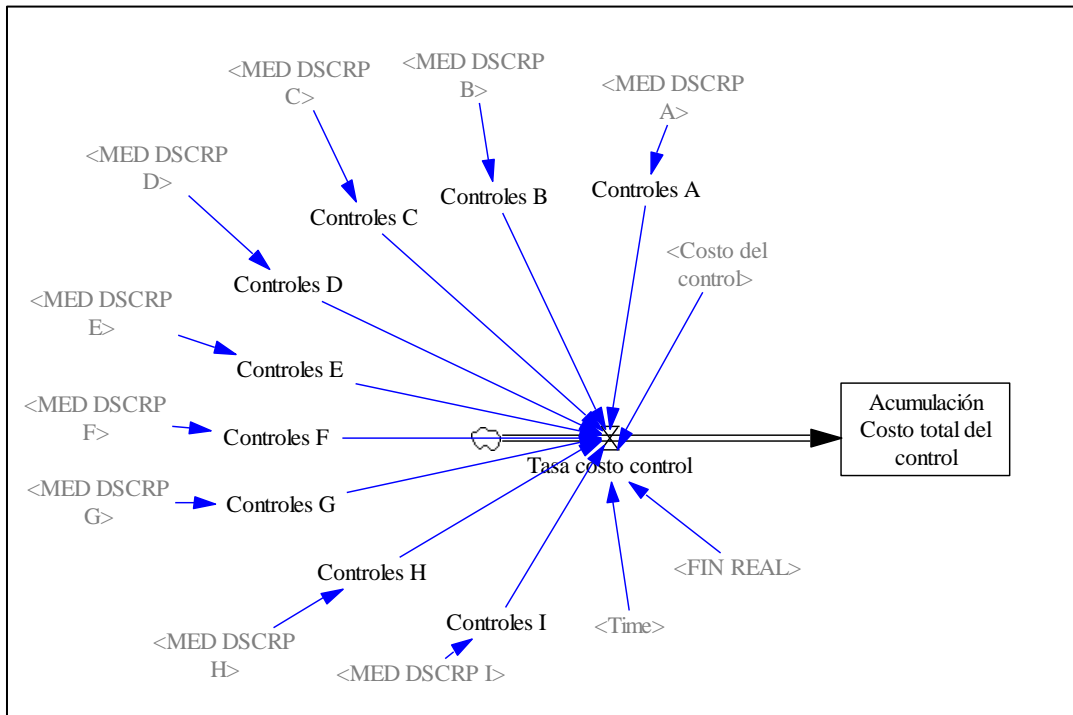


Fig. 45 Acumulación de costos de control.  
Fuente. (Rueda Velasco et al., 2012)

$$\text{Costo total del control} = \text{Costo del control} * \sum \text{control actividad}_i$$

Ecuación 11

Por su parte, los costos asociados al retraso se evalúan por medio de la diferencia entre el fin real del proyecto y el fin planeado, dicha diferencia se multiplica por un costo unitario de penalización. Ver Ecuación 12.

$$\text{Costo total retraso} = \text{Costo unitario del retraso} * (\text{fin real} - \text{fin planeado})$$

Ecuación 12

Según (Rueda Velasco et al., 2012), existe una relación directa entre el periodo de revisión y la duración del proyecto, en donde a medida que los periodos de control se hacen más pequeños, las desviaciones de la duración del proyecto con respecto a los estimados iniciales, se hacen también más pequeñas.

De esta manera el impacto de la variabilidad de los recursos se reducen acorde con el grado de "conciencia" que se tenga sobre el estado del sistema. Entendiendo como conciencia la medición y reacción ante las variables críticas del mismo, para este caso las desviaciones con respecto a los estimados iniciales.

Es en este punto en donde interactúan las políticas de control cuya combinación con un periodo de revisión adecuado, conlleven a una minimización de los retrasos agregados de la duración del proyecto.

Por su parte los costos del retraso se incrementan en la medida que el periodo de control se hace más largo, sin embargo tiende a estabilizarse permitiendo hacer evidente que el punto de inicio de la acción de cualquier política de control es inefectiva por causa de su periodo de aplicación.

Teniendo en cuenta que uno de los factores más importantes en el desarrollo de los proyectos es el manejo del recurso humano, un recurso renovable al cual se le pueden aplicar estrategias con el único fin de mejorar los indicadores de desempeño de una actividad, se analizan desde el punto de vista de la dinámica de sistemas tres aspectos primordiales: aprendizaje, fatiga y motivación.

Estos aspectos se dan en cualquier proyecto sin importar su índole, ya que son características inherentes al ser humano.

a. Aprendizaje: reducir el tiempo de la curva de aprendizaje del personal que interviene en un proyecto o que ejecuta una actividad determinada es indispensable para lograr la ejecución más rápida de dichas actividades y está relacionado directamente con la experiencia que tenga y desarrolle el recurso para realizar la actividad.

En la Fig. 46 se observa el diagrama causal de este factor, el cual afecta proporcionalmente la ENT, reduciendo el tiempo de ejecución a medida que el recurso mejora el conocimiento en la ejecución de la actividad.

Se debe tener en cuenta que personal con mayor número de experiencia usualmente requiere costos de contratación mayor, de allí que al contratar a personal más experimentado se espere que la ejecución del proyecto se de en un tiempo menor pero hay que cuidar que los costos no sobrepasen la relación costo beneficio y afecten así el costo total del proyecto.

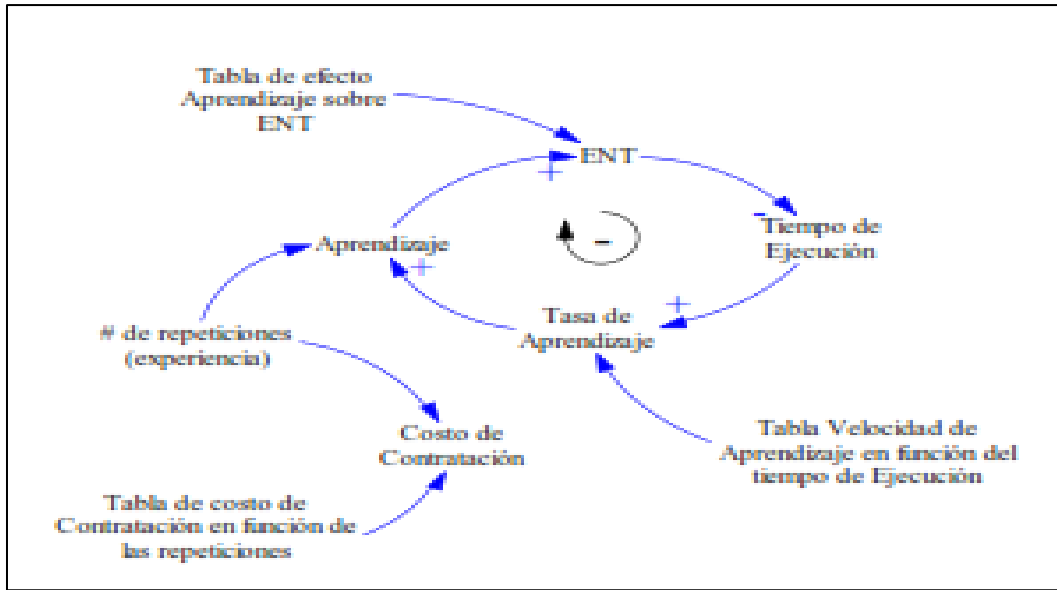


Fig. 46 Diagrama causal factor Aprendizaje.

Fuente. (Universidad de la Sabana, Asignatura "Control Dinámico de Proyectos" 2013 I)

b. Fatiga y Jornadas Adicionales: La fatiga es un factor inversamente proporcional a la Tasa de ejecución de la actividad (TEA y está relacionado a atrasos en la ejecución del proyecto.

Cuando un proyecto sufre retrasos es común que los gestores utilicen sus recursos humanos horas extras adicionales a la jornada normal del trabajo para recuperar el trabajo retrasado, es allí, en este trabajo adicional donde el personal empieza a reducir su capacidad productiva por efectos del cansancio acumulado o la fatiga.

En la Fig. 47 se observa el diagrama causal representando este efecto sobre la ejecución de la norma técnica de la actividad (ENT).

Se debe tener en cuenta que personal con mayor número de experiencia usualmente requiere costos de contratación mayor, de allí que al contratar a personal más experimentado se espere que la ejecución del proyecto se de en un tiempo menor pero hay que cuidar que los costos no sobrepasen la relación costo beneficio y afecten así el costo total del proyecto.

Hay que tener en cuenta que la necesidad de ejecutar horas extras y jornadas adicional parte de la detección de la discrepancia entre lo planeado y lo ejecutado lo cual genera un aumento en la cantidad de recurso renovable disponible para la actividad, sin embargo la fatiga surge como un ciclo externo al anteriormente mencionado que reduce la ejecución la tasa de ejecución de la actividad y reduce también la capacidad de aprendizaje del personal.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

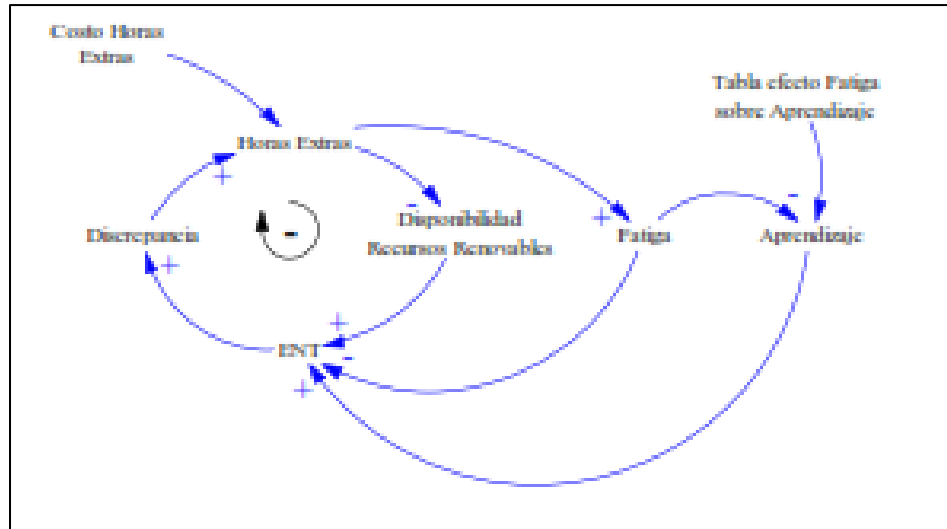


Fig. 47 Diagrama causal factor Fatiga y Horas Extras.

Fuente. (Universidad de la Sabana, Asignatura "Control Dinámico de Proyectos" 2013 I)

c. Motivación: Por último, otro factor importante para la ejecución de un proyecto es la motivación, la cual está relacionada a aspectos como aprendizaje, horas extras, retrasos (discrepancia) y/o impactos económicos.

En la Fig. 48 se observa como este factor puede incrementarse dependiendo de aspectos positivos como los incentivos económicos o nivel de aprendizaje o disminuir a partir de factores como la discrepancia o retraso en el proyecto y la fatiga de los trabajadores. En el diagrama causal se muestran estos aspectos en tasas de motivación y desmotivación que suman o restan al nivel del factor en estudio.

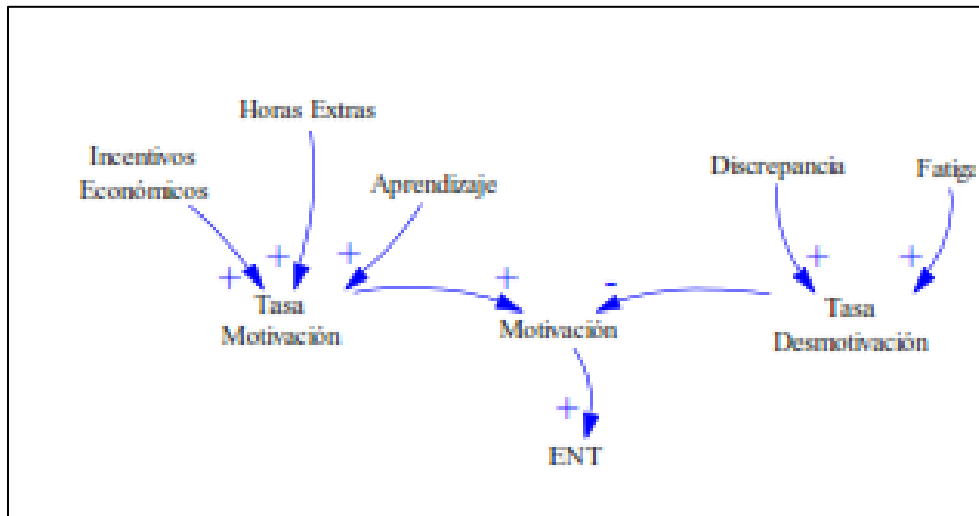


Fig. 48 Diagrama causal factor Motivación.

Fuente. (Universidad de la Sabana, Asignatura "Control Dinámico de Proyectos" 2013 I)

### **5.12 Simulación.**

Según (Law & Kelton, 2000) la simulación es una técnica para el tratamiento de problemas complejos que se apoya en la potencia de los equipos informáticos y en software específico para el desarrollo de modelos de los sistemas estudiados. Los modelos permiten evaluar el comportamiento del sistema en diferentes situaciones, de manera que las modificaciones se realizan sobre el modelo y no sobre el propio sistema. Esto permite reducir el riesgo y los costos de dichos ensayos. La simulación discreta es especialmente útil en sistemas complejos con procesos de carácter estocástico, para los cuales no resulta adecuada la utilización de modelos de optimización exactos. La simulación se ha aplicado a un amplio abanico de problemas, que pueden consistir tanto en el diseño de sistemas (plantas de producción, líneas de montaje, "call centers", etc.) como para el estudio de modificaciones de sistemas existentes.

Igualmente se han realizado estudios de simulación en numerosos sectores: fabricación, distribución física, transporte de personas y mercancías, servicios sanitarios, procesos administrativos, etc.

Con la simulación se pretende integrar la logística, la dinámica de sistemas y la programación de proyectos, dado que se simula la interacción de las actividades del sistema central y de los sistemas de apoyo necesarias para la realización del proyecto, utilizando un modelo dinámico que identifica las demoras, originadas por la asignación inadecuada de los recursos e integra la ejecución multimodal de dos estrategias para mejorar los resultados obtenidos cuando la discrepancia del modelo supera los límites de tolerancia establecidos.

La Simulación es una herramienta universalmente aceptada por diversas razones.

1. Es un proceso relativamente eficiente y flexible.
2. Puede ser usada para analizar y sintetizar una compleja y extensa situación real, pero no puede ser empleada para solucionar un modelo de análisis cuantitativo convencional.
3. En algunos casos la simulación es el único método disponible.
4. Los modelos de simulación se estructuran y nos resuelve en general problemas trascendentes.
5. Los directivos requieren conocer cómo se avanza y que opciones son atractivas; el directivo con la ayuda del computador puede obtener varias opciones de decisión.
6. La simulación no interfiere en sistemas del mundo real.

7. La simulación permite estudiar los efectos interactivos de los componentes individuales o variables para determinar las más importantes.

8. La simulación permite la inclusión de complicaciones del mundo real.

Desventajas:

1. Un buen modelo de simulación puede resultar bastante costoso; a menudo el proceso de desarrollar un modelo es largo y complicado.

2. La simulación no genera soluciones óptimas a problemas de análisis cuantitativos, en técnicas como cantidad económica de pedido, programación lineal o PERT. Por ensayo y error se producen diferentes resultados en repetidas corridas en el computador.

3. Los directivos generan todas las condiciones y restricciones para analizar las soluciones. El modelo de simulación no produce respuestas por sí mismo.

4. Cada modelo de simulación es único. Las soluciones e inferencias no son usualmente transferibles a otros problemas.

5. Siempre quedarán variables por fuera y esas variables (si hay mala suerte) pueden cambiar completamente los resultados en la vida real que la simulación no previa en resumen se "minimizan riesgos, no se evitan".



**CAPITULO 2. METODOLOGIA**

La metodología propuesta para el desarrollo del proyecto de investigación tuvo como base la metodología de planeación logística basada en gestión de proyectos y dinámica de sistemas en empresas prestadoras de servicios propuesta por y la Metodología integral y dinámica aplicada a la programación y control de proyectos de (L. J. Gonzalez et al., 2012).

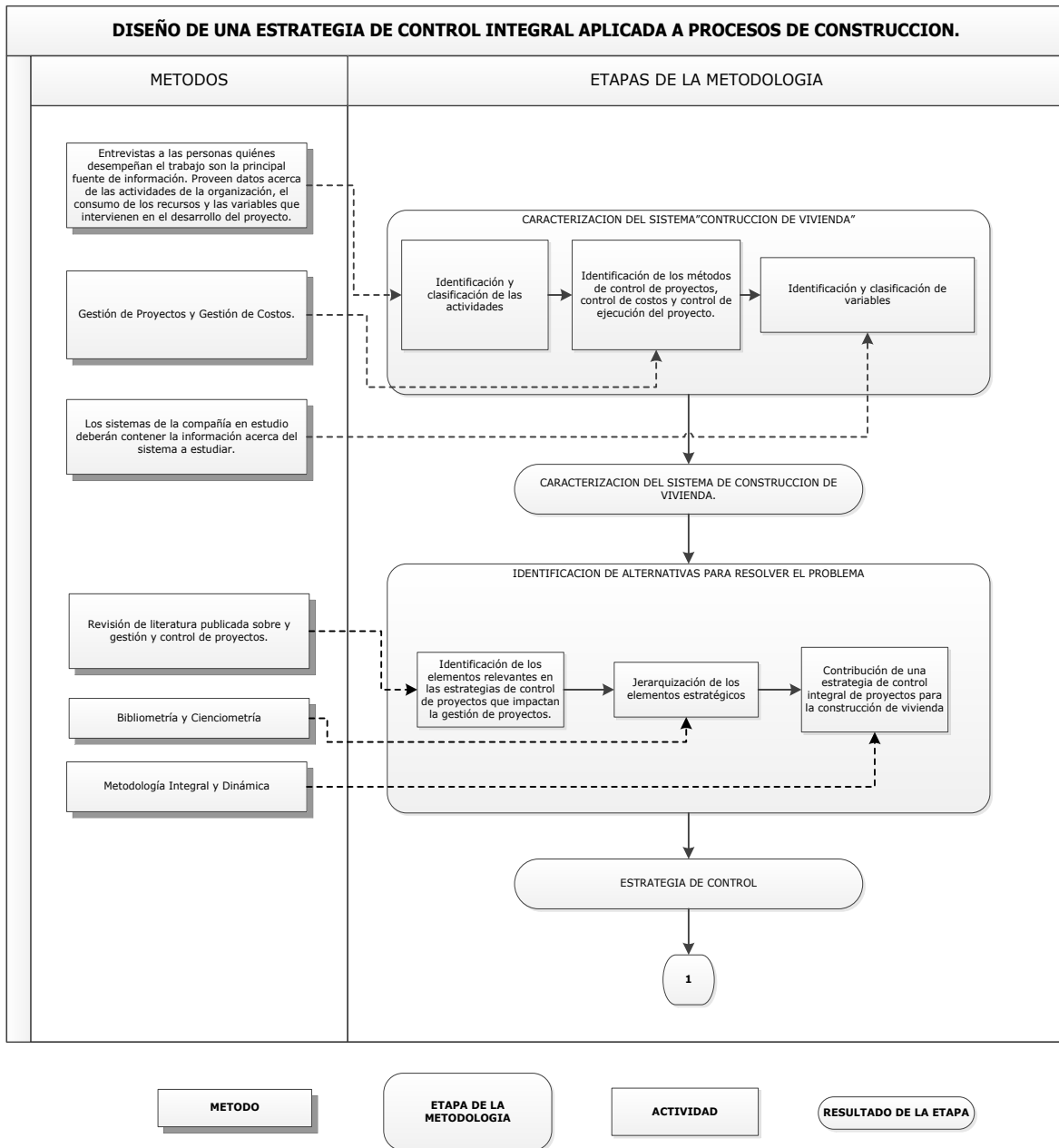


Fig. 49 Metodología para el Desarrollo del Proyecto.  
Fuente. Propia.

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

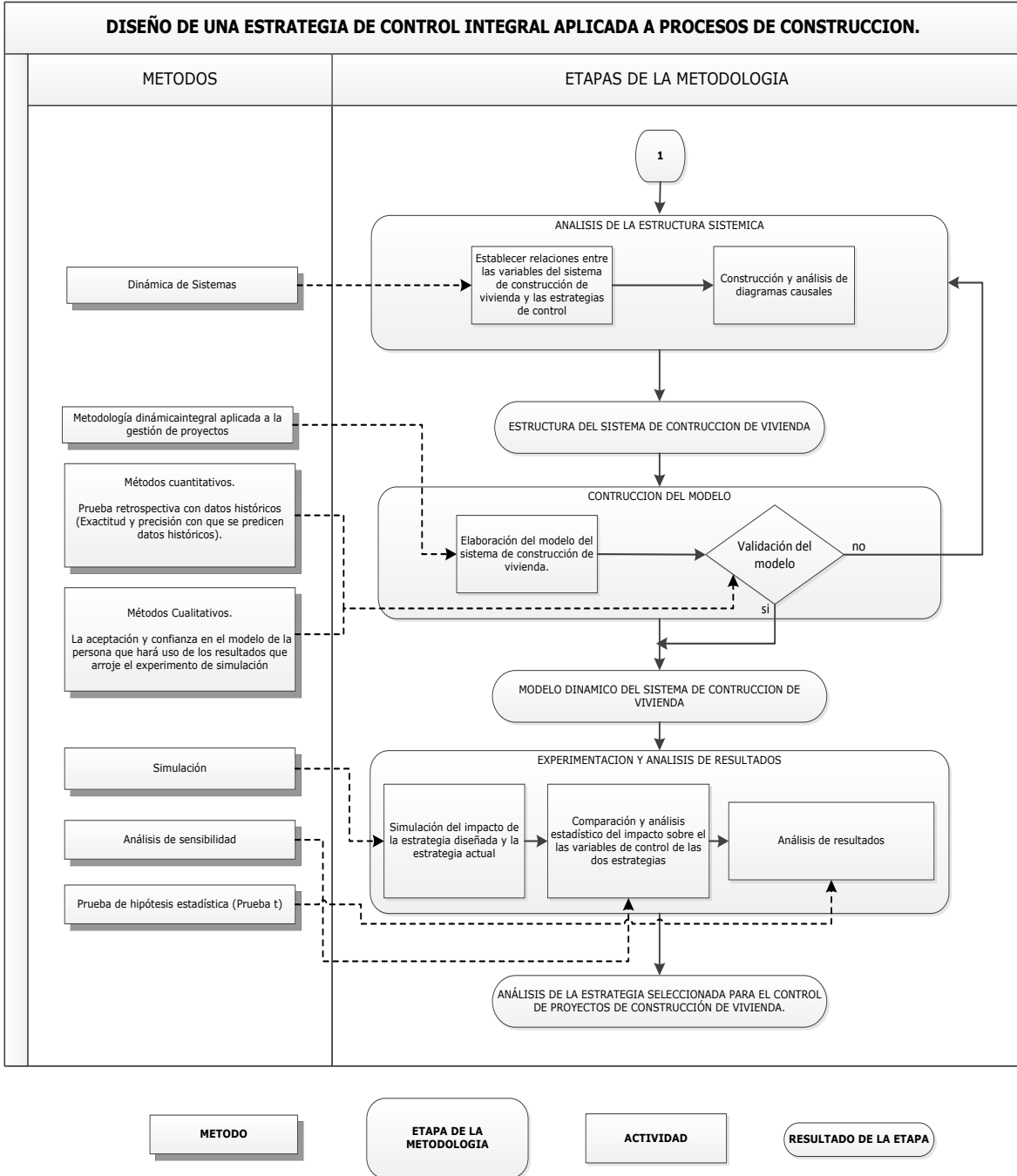


Fig. 50 (Continuación) Metodología para el Desarrollo del Proyecto.  
Fuente. Propia.

Los estudios de (Dusko Kalenatic, 2011) aporta la metodología de análisis integral de las actividades, partiendo del análisis de las variables controlables (endógenas) y no controlables (exógenas) y los recursos renovables y no renovables y sus interacciones con las actividades del proyecto en estudio desde una perspectiva sistémica; esta integración se soporta en la dinámica de sistemas como herramienta cuantitativa de análisis para las estrategias que se definirán para lograr el objetivo principal del proyecto.

Al igual que en la metodología de Dusko Kalenatic, 2011) la metodología propuesta en el presente trabajo, apoya la toma de decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo.

Por último (L. J. Gonzalez et al., 2012) presenta la aplicación de la metodología integral y dinámica en la programación y control dinámico de proyectos, etiología adoptada para el desarrollo de una red de programación y una red de ejecución que interactúan a través de un bucle de control.

Ambas metodologías permiten el desarrollo del presente trabajo combinando diversas herramientas, que unidas a la metodología propuesta permiten abordar problemas de programación y control de proyectos de mayor variabilidad y complejidad en el sector de la construcción con mayor efectividad.

## **6. CARACTERIZACION DEL SISTEMA**

### **6.1 Identificación de las Actividades.**

El proyecto en estudio es un proyecto de vivienda multifamiliar cuya ficha técnica se detalla a continuación.

La identificación de actividades consiste en determinar el conjunto de actividades bajo estudio que componen el proyecto en su etapa de cimentación y estructura, su dependencia a partir de las actividades predecesoras y el tiempo de duración de cada una de estas.

Dichas actividades fueron tomadas directamente de la "Programación General de Obra" (Ver Anexo 1. Programa Proyecto en Estudio) y validadas por la Empresa encargada de la Interventoría del proyecto (Ver Anexo 2. Identificación de Actividades).

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

FICHA TECNICA DEL PROYECTO			
UBICACIÓN	ASPECTOS GENERALES Y ESPACIOS APARTAMENTOS		INFORMACION ECONOMICA
<b>Barrio:</b> LOS CEDROS	<b>Estrato:</b> 4		<b>Precio / m2 aprox:</b> \$ 4.072.628,54
<b>Ciudad:</b> BOGOTA / CUNDINAMARCA	<b>Año de Construcción:</b> 2013		<b>Valor impuesto predial:</b> Sin Definir
<b>Ubicación:</b> -	<b>Tipo de Inmueble:</b> Apartamento		<b>Valor cuota de administración:</b> Sin Definir
<b>Nombre Edificio:</b> PONTETRESA	<b>Característica del Inmueble:</b> Vivienda Unifamiliar		<b>Reglamento de propiedad Horizontal:</b> SI
<b>Area Terreno:</b> 797 m2	<b>Área Construida:</b> 58,93 m2		<b>Servicio de Agua y Alcantarillado:</b> SI
	<b>Via de Acceso:</b> Vehicular Pavimentada		<b>Servicio de Luz:</b> SI
<b>ZONAS COMUNES</b>	<b>Sala:</b> SI		<b>Línea telefonica:</b> SI (según requerimiento del propietario)
	<b>Comedor:</b> Barra Tipo Americana		
<b>Pisos</b> 1 sotano, 1 lobi, 7 pisos habitacionales, y 1 cubierta con Zona Social	<b>Cocina:</b> SI		
<b>Antejardín:</b> SI	<b>Baños:</b> 2		
<b>Ascensor:</b> SI (Capacidad 8 personas)	<b>Alcobas:</b> 1		
<b>Salón social:</b> SI	<b>Estudio:</b> SI		
<b>Portería:</b> SI	<b>Terraza:</b> SI aptos segundo piso y 8 vo piso (Area Común de uso Exclusivo)		
<b>Terraza BBQ:</b> SI	<b>Patio de ropas:</b> SI		
<b>Cinema:</b> SI (8 Sillas)	<b>Parqueadero:</b> SI		
<b>Gymnasio:</b> SI (2 maquinas y 1 TV)	<b>Deposito:</b> SI		
<b>Zona Infantil:</b> SI			
<b>EQUIPOS ESPECIALES</b>			
EQUIPO HIDRONEUMATICO PARA SUMINISTRO DE AGUA POTABLE, EVACUACION DE AGUAS NEGRAS Y RED CONTRA INCENDIO SEGÚN DISEÑO			
SISTEMA INTERNO DE GAS NATURAL PARA ESTUFAS, CALENTADORES Y CHIMENEAS A GAS SEGÚN DISEÑO			
VENTANERIA EN ALUMINIO			
SHUT DE BASURAS			
RED CONTRA INCENDIO (GABINETES, REGADERA EN PRIMER PISO)			

Fig. 51 Ficha Técnica del Proyecto en Estudio  
Fuente. Empresa Objeto de Estudio.

### 6.2 Identificación de los Recursos Asociados a las Actividades.

Paso seguido se identificaron y asignaron a cada actividad los recursos renovables y no renovables requeridos para el modelo.

La mano de obra requerida (Recurso Renovable) de cada actividad se asignó a partir del "Programa Manejo de Personal de Obra" (Ver Anexo 3. Programa Manejo de Personal de Obra) suministrado por el área de Dirección del Proyecto (Ver Anexo 4. Asignación de Recursos Renovables y No Renovables por Actividad).

La mano de obra requerida para las actividades en estudio (Cimentación y Estructura) es mano de obra polivalente debido a la homogeneidad de tareas desarrolladas en esta etapa del proyecto, las cuales son manejo de hierro y concreto.

Por otro lado el valor del presupuesto por actividad (Recurso No Renovable) se extractó directamente del informe "Estado General del Proyecto x Actividad" (Ver Anexo 5. Estado General del Proyecto por Actividad), vale la pena mencionar que el presupuesto desarrollo por la Empresa en estudio es basado en un metodología de costeo ABC (Activity Based Cost) lo cual facilitó el

manejo y asignación del presupuesto a cada actividad (Ver Anexo 4. Asignación de Recursos Renovables y No Renovables por Actividad).

### **6.3 Identificación de las Variables Asociadas a Cada Actividad.**

Para la identificación, asociación y caracterización de las variables a cada actividad se contó con la participación del área de calidad de una compañía aliada la cual es una empresa constructora con más de 10 años en el sector, especializada en la estructuración, montaje, promoción y construcción de proyectos inmobiliarios y urbanísticos; ha desarrollado importantes proyectos en estrato medio y vivienda de interés social en la ciudad de Bogotá, Villavicencio y Funza, actualmente está ejecutando 3 proyectos de vivienda en Bogotá y 3 en Funza C/marca.

Cuenta con una planta administrativa y operativa de aproximadamente 100 personas contratadas directamente y bajo la modalidad de subcontratación de mano de obra para los proyectos un promedio de 180-200 trabajadores operativos por proyecto en el punto máximo de la curva de ejecución.

Adicionalmente se tuvo en cuenta el "Estudio de caso: demoras en la construcción de un proyecto en México" (González, Solís, & Alcudia, 2010) el cual aporta información valiosa de las variables para el modelo.

Según lo establecido por la metodología de investigación de (Namakforoosh, 2000) se estableció una distribución analítica de variables dependientes e independientes, así como una clasificación de las variables dependientes como variables endógenas las cuales podemos controlar o estimar su probabilidad de ocurrencia y variables exógenas las cuales escapan de nuestro control y es difícil predecir, por último la variables de Control (de respuesta).

A continuación se presentan las Variables Evaluadas:

#### **6.3.1 Variables de Control.**

Para determinar las variables de respuesta y control del modelo se tuvo en cuenta los argumentos de diversos estudios los cuales se recopilan en la Tabla 11.

Tabla 11. Estudios Sobre Variables de Control en Gestión de Proyectos.

<b>Fuente</b>	<b>Descripción</b>
(J. W. Forrester, 1961)	Estudian los sistemas de control unidimensionales los cuales son aquellos con un solo objetivo o medida de control, tal como el <b>tiempo de ejecución del proyecto, el cumplimiento del presupuesto (Costos)</b> , el desempeño o los proveedores.
(K. Cooper, 1980)	
(Wolstenholme, 1990).	
(Lam, 1994)	En particular estudia el impacto de los costos de calidad sobre los costos totales de construcción.
(Akintoye & MacLeod, 1997)	En todo proyecto de construcción hay riesgos que hacen que el <b>tiempo proyectado para su realización</b> se vea afectado de manera negativa, en cuanto que se generan retrasos y se elevan los <b>costos</b> .
(Atkinson, 1999)	Para efectos prácticos en el gremio de la construcción, después de 50 años, parece que las definiciones de la gestión de proyectos siguen incluyendo un

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

	conjunto limitado de criterios de éxito, es decir, <b>el costo, tiempo y calidad</b> . <b>El tiempo</b> finito es posiblemente la característica que diferencia a la <u>gestión de proyectos</u> de la mayoría de otros tipos de gestión.
(Raby, 2000)	Aseguran en sus estudios que los sistemas de control multidimensionales utilizan una combinación de varios objetivos comúnmente <b>tiempo y costo</b> , los cuales se monitorean por medio de indicadores como los costos presupuestado y real del trabajo programado y los costos presupuestado y real del trabajo realizado.
(Anbari, 2003)	Realiza un estudio de la participación del costo por hacer las cosas mal sobre los <b>costos del proyecto</b> .
(Love & Irani, 2003)	Los proyectos de construcción son inciertos y complejos, a menudo debido a los ciclos iterativos causados por errores o cambios. Estos errores y cambios afectan el desempeño del proyecto y en consecuencia provocan frecuentes cambios en los <b>tiempos y costos excesivos</b> .
(S. H. Lee et al., 2006)	Un sistema de control de proyecto pretende mini-minimizar la brecha entre la planificación de proyectos y ejecución de proyectos con el fin de alcanzar objetivos del proyecto, es decir, <b>costo, tiempo</b> .
(Rozenes, Vitner, & Spraggett, 2006)	Los sistemas de control multidimensionales utilizan una combinación de varios objetivos comúnmente <b>tiempo y costo</b> , los cuales se monitorean por medio de indicadores como los costos presupuestado y real del trabajo programado y los costos presupuestado y real del trabajo realizado.
(J. Pajares, 2011).	Minimizar el <b>tiempo</b> es fundamental para el éxito en muchos proyectos de desarrollo. La elección de una política de asignación puede influir fuertemente duración de los proyectos, pero las políticas para reducir la <u>duración de los proyectos son difíciles de diseñar y de poner en práctica</u> .
(Lee, Ford, & Joglekar, 2007)	Presenta una forma de identificar algunos factores críticos para ayudar a los contratistas a ser más certeros, y maximizar el uso de recursos limitados tales como <b>el dinero</b> , mano de obra, <b>tiempo</b> y esfuerzos de gestión
(Wang & Yuan, 2011)	Específicamente para proyectos de construcción se cuenta con una planificación determinada para llevar a cabo todas sus etapas y lograr finalizarlo con éxito, estos autores manifiestan que los modelos de diseño para la gestión de la planificación y la construcción deben incluir además de otros factores la gestión del <b>tiempo-costo-calidad</b> y la entrega de materiales de construcción.
(Sarker, Egbelu, Liao, & Yu, 2012)	Emplea políticas de revisión continua, en donde las discrepancias son calculadas en cada intervalo de la simulación, lo que implica un sistema que este en capacidad de detectar las discrepancias en tiempo real y reaccionar a ellas en <b>tiempo</b> mínimo. Por su parte los <b>costos</b> del retraso se incrementan en la medida que el periodo de control se hace más largo, sin embargo tiende a estabilizarse permitiendo hacer evidente que el punto de inicio de la acción de cualquier política de control es inefectiva por causa de su periodo de aplicación.
(Rueda Velasco et al., 2012)	<b>El tiempo, el costo</b> , la calidad y la seguridad, son los cuatro principales elementos de control para la gestión de proyectos. La mejor solución para un proyecto es lograr una alta calidad con un bajo coste en el plazo adecuado y sin accidente seguro
(Tao & Tam, 2013)	

Fuente. Propia.

Basado en lo anterior las variables de Control de modelo es el Tiempo de Ejecución del Proyecto (TEP) y Costo Total del Proyecto (CTP).

Variables Dependientes:

Durante el proceso investigativo tan solo el 27% (23 de 85 referencias) de los documentos consultados hace referencia directa a las variables que afectan los sistemas de control de proyectos, a continuación se muestran los datos obtenidos con el fin de determinar las variables que se estudiaron durante el desarrollo del modelo.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Los criterios que se establecieron para la evaluación de estas variables se apoyaron en revisión bibliográfica y por medio de entrevistas, seguimientos y revisión de documentos de control de las actividades referenciados por el área de calidad de la Empresa constructora aliada.

### 6.3.2 Variables Exógenas.

A continuación se relacionan las variables exógenas aceptadas para el modelo (Ver Tabla 12).

Tabla 12. Presentación Variables Exógenas.

Variable Exógena	Autor	% de participación por autores	Variable que Impacta	
			TEP	CTP
Clima	(Akintoye & MacLeod, 1997)	13,04%	1	0
	(Lim & Mohamed, 1999)			
	(Garcia Modesto, 2010)			
Medio ambiente y Contaminación	(Akintoye & MacLeod, 1997)	13,04%	1	0
	(P. X. W. Zou et al., 2007)			
	(Garcia Modesto, 2010)			
Índice de Precios	(Akintoye & MacLeod, 1997)	13,04%	0	1
	(Lim & Mohamed, 1999)			
	(P. X. W. Zou et al., 2007)			
Cadena de suministro	(Lim & Mohamed, 1999)	26,09%	1	0
	(P. X. W. Zou et al., 2007)			
	(Garcia Modesto, 2010)			
	(Nieto-Morote & Ruz-Vila, 2011)			
	(Sarker, Egbelu, Liao, & Yu, 2012)			
	(Irizarry, Karan, & Jalaei, 2013)			
Imprevistos , Entornos sociales y Seguridad	(Akintoye & MacLeod, 1997)	21,74%	1	0
	(P. X. W. Zou et al., 2007)			
	(Garcia Modesto, 2010)			
	(Wang & Yuan, 2011)			
	(Tao & Tam, 2013)			

Fuente. Propia.

#### **Clima: (Variable de Respuesta que impacta: TEP)**

Las actividades de construcción estudiadas en el modelo están directamente expuestas a las condiciones climáticas, variables y extremas según la época del año.

El frío y calor crean unas condiciones en las obras de las cuales es necesario protegerse ya que con el tiempo una exposición prolongada a las mismas

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

puede llegar a afectar a la salud de los trabajadores, adicionalmente la lluvia aumenta las áreas deslizantes y pone en riesgo el trabajo en altura.

Además las características geotécnicas del terreno que habrá de prever pueden variar con el clima, debido principalmente a las condiciones meteorológicas (lluvias, ciclos humedad sequedad, heladas, etc....) que en algunas ocasiones provocan que los materiales pierdan su cohesión y por lo tanto, se precipiten dando lugar al riesgo de colapso estructural.

Por lo descrito anteriormente el clima influye directamente sobre cualquier actividad que involucre excavación manual o mecánica y fundición con concreto.

Con el fin de obtener los datos de probabilidad de ocurrencia y medir su impacto sobre las actividades se realizó un análisis de del clima de últimos 10 años en la ciudad de Bogotá (Amazon, 2013) obteniendo los siguientes datos:

Tabla 13. Datos análisis de Datos de Lluvias de los Últimos 10 Años en Bogotá.

MES	Media	Días	mm	Días sin Precipitaciones	Días Con Lluvia	Días con Lloviznas	Periodo	% de lluvias	Días del periodo sin lluvia	% de días sin lluvia	Días del periodo con lluvias	% días con lluvias	Días del periodo con lloviznas	% días con llovizna
DICIEMBRE	73,31	31,00	46,18	25	5	1	Seco	5,25%	132	72,47%	31,55	17,33%	19	10,20%
ENERO	73,31	31,00	15,78	27	3	1	Seco	1,79%						
FEBRERO	73,31	28,00	67,30	19	6	3	Seco	7,65%						
JUNIO	73,31	30,00	45,37	20	6	3	Seco	5,16%						
JULIO	73,31	31,00	43,57	20	7	4	Seco	4,95%						
AGOSTO	73,31	31,00	24,84	21	5	5	Seco	2,82%						
Total días temporada seca		182,00	243,03	132				27,63%						
MARZO	73,31	31,00	80,09	23	5	3	Lluvioso	9,10%	120	65,71%	43,58	23,81%	19	10,48%
ABRIL	73,31	30,00	93,51	20	8	2	Lluvioso	10,63%						
MAYO	73,31	31,00	164,01	18	9	4	Lluvioso	18,64%						
SEPTIEMBRE	73,31	30,00	82,36	20	6	4	Lluvioso	9,36%						
OCTUBRE	73,31	31,00	122,21	21	7	3	Lluvioso	13,89%						
NOVIEMBRE	73,31	30,00	94,48	18	9	3	Lluvioso	10,74%						
Total días temporada lluviosa		183,00	636,66	120				72,37%						
Gran Total		365,00	879,69	252										

Fuente. Propia.

A partir de los datos obtenidos se identificaron los períodos de lluvia y periodos secos durante el año; se determinó que los periodos de lluvia son aquellos en que el volumen de lluvia es superior a la media de los datos y los períodos secos serán aquellos que el nivel de lluvias es inferior a dicha media (Ver Gráfica 1).



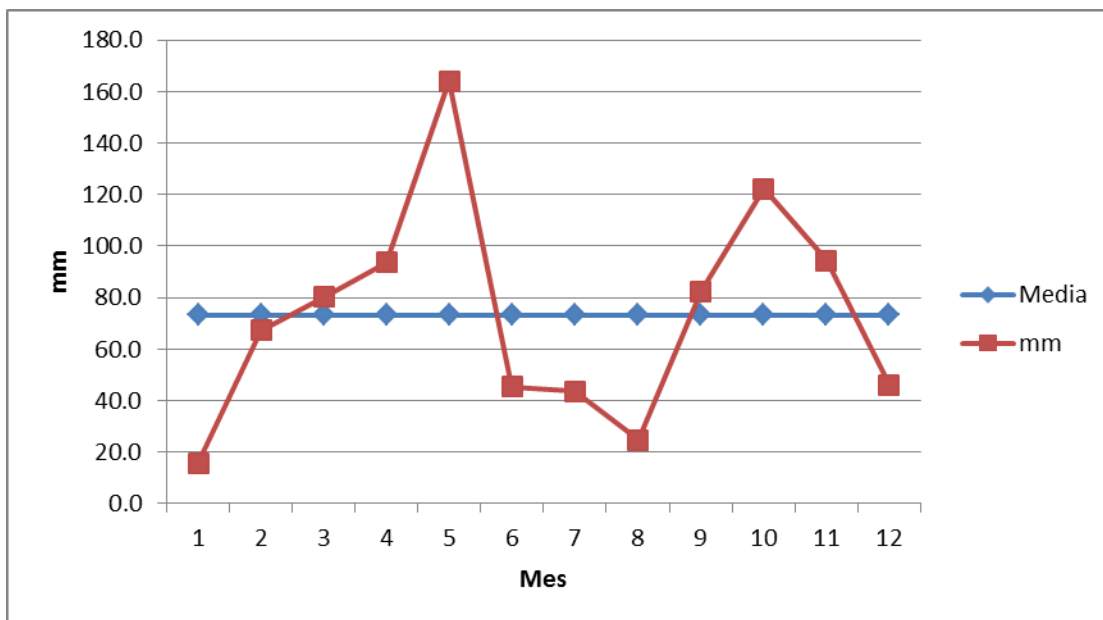
## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

A partir de la gráfica anterior se determinaron los días de duración de cada periodo climático (Ver Tabla 14).

Tabla 14. Duración de los Periodos Climáticos Durante el Año.

Periodos de Lluvia	id	Inicio	Fin	Duración (Días)	Acumulado (Días)
Primer seco	1	Diciembre	Febrero	90	90
Primera lluvioso	2	Marzo	Mayo	92	182
Segundo seco	3	Junio	Agosto	92	274
Segundo lluvioso	4	Septiembre	Noviembre	91	365
Tercer seco	5	Diciembre	Febrero	90	455
Tercer lluvioso	6	Marzo	Mayo	92	547

Fuente. Propia.



Gráfica 1. Medición del Volumen de Lluvias en mm (Promedio de los últimos 10 años)

Fuente. Propia.

Por otro lado, teniendo en cuenta los datos suministrados por la empresa y a partir de la Tabla 5 se presentan los datos de probabilidad de ocurrencia e impacto sobre las actividades para la variable clima (Ver Tabla 15 ).

Tabla 15. Probabilidad e Impacto del Clima sobre las Actividades

Evento seca	Temporada	id	Probabilidad de ocurrencia	Acumulada	Efecto sobre ENTA
No lluvia		1	0,730	0,730	0,000
Llovizna		2	0,170	0,900	0,040
Aguaceros		3	0,100	1,000	0,110

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

<b>Evento lluvia</b>	<b>Temporada</b>	<b>id</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Efecto sobre ENTA</b>
No lluvia		4	0,660	0,660	0,000
Llovizna		5	0,240	0,900	0,050
Aguaceros		7	0,100	1,000	0,220

Fuente. Propia.

**Medio Ambiente y Contaminación: (Variable de Respuesta que impacta: TEP)**

En el marco de los compromisos ambientales internacionales, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible contempla varias metas nacionales, entre ellas la "incorporación de la variable ambiental en los sectores productivos", dentro de la cual fijó el establecimiento de criterios de habitabilidad, ambientales, bioclimáticos, de salud, de calidad de vida y confort para vivienda con fines de optimización energética y minimización de impacto ambiental.

En tal sentido, para la identificación de estos criterios ambientales, se hace necesario el análisis de algunas variables que intervienen en el proceso de producción de vivienda, con el fin de establecer su situación actual, en el contexto nacional y mundial. Para el presente estudio se analizó los impactos sobre el agua, de suelo urbano, de materiales y de ruido, por ser estas variables fundamentales en la actividad de la construcción, toda vez que los recursos agua y suelo se impactan de manera directa en el proceso, y el uso de materiales, entre otras, constituyen algunas de las propuestas de sostenibilidad ambiental para este sector. Los proyectos de construcción cuentan con programas de salud ocupacional que mitigan los impactos y favorecen la probabilidad de ocurrencia de los impactos ambientales (Ver Tabla 16).

Tabla 16. Probabilidad e Impacto del Clima sobre las Actividades

<b>Evento</b>	<b>id</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Efecto sobre ENTA</b>
Ningún efecto ambiental	1	0,716	0,716	0,000
Programa 1 Manejo de residuos	2	0,025	0,741	0,100
Programa 2 Manejo de Materiales de obra	3	0,018	0,759	0,200
Programa 3 Gestión del recurso hídrico	4	0,025	0,784	0,150
Programa 4 Programa de emisiones de ruido	5	0,016	0,800	0,150
Programa 5 Orden de aseo	6	0,200	1,000	0,200

Fuente. Propia.

**Índice de Precios: (Variable de Respuesta que impacta: CTP)**

Considerando la incertidumbre de los precios de los materiales de construcción los cuales cada día aumentan y es cada vez más difícil lograr una estabilidad para mantener estabilidad en los costos directos de los proyectos construcción los grupos de materiales que tienen mayor incidencia en la estructura de

## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

costos de los proyectos son los asociados a la cimentación y las estructuras (Hierro y Concreto) con el 32% (Ver Capitulo 0).

Analizando las causas y efectos se observó que negociaciones anticipadas por volumen provocan estabilidad en los precios por largos periodos de tiempo bajando así la probabilidad de ocurrencia de incrementos durante el periodo de duración del proyecto (Ver Tabla 17).

Tabla 17. Probabilidad e Impacto del Índice de Precios sobre las Actividades.

<b>Evento</b>	<b>id</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Efecto sobre RNRA</b>
Ningún Incremento	1	0,985	0,985	0,000
Incrementos no contemplados	2	0,010	0,995	1,005
Descuentos obtenidos	3	0,005	1,000	0,991

Fuente. Propia.

### **Cadena de Suministro: (Variable de Respuesta que impacta: TEP)**

Dentro de las obras de construcción se realizan una serie de actividades que no están relacionadas directamente con la actividad constructiva de las unidades de obra, pero que resultan necesarias para el desarrollo de la misma y la materialización del proyecto. Una de estas actividades, es el suministro de los materiales y productos que conforman las unidades de obra o que son necesarios para la ejecución de las mismas y de los equipos auxiliares y equipos de trabajo necesarios para la ejecución de obra, la manipulación y acopio en obra hasta su utilización de estos materiales y equipos, así como la carga de los sobrantes para su retirada de la obra.

Problemas en la cadena de suministro de dichos materiales impactan la duración de las actividades (Ver Tabla 18).

Tabla 18. Probabilidad e Impacto de la Cadena de Suministro sobre las Actividades.

<b>Evento</b>	<b>id</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Efecto sobre ENTA</b>
Ninguna	1	0,910	0,910	0,000
Baja (1 día)	2	0,050	0,960	0,050
Media (2-4 días)	3	0,030	0,990	0,100
Alta (>5 días)	4	0,010	1,000	0,180

Fuente. Propia.

### **Imprevistos, Entornos Sociales y Seguridad: (Variable de Respuesta que impacta: TEP)**

A cada nivel o etapa de un planeamiento económico de un proyecto corresponde un nivel de riesgo. Los imprevistos en construcción deben confiarse a aquellas acciones que quedan fuera del alcance y control del

## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

constructor y que la previsión de ellas no pudo hacerse con la información disponible.

En las obras de construcción, como en cualquier otro sector productivo, se encuentran presentes riesgos derivados del desarrollo de la actividad que pueden afectar a la seguridad y salud de los trabajadores y ocasionar accidentes de trabajo, enfermedades profesionales, daños materiales e interrupciones indeseadas del proceso productivo.

Por estos motivos, se cuentan con medidas y pautas (programas de HESQ y la política de cero accidentes) oportunas para contribuir a la reducción o eliminación de estos riesgos dentro del ámbito de actuación del desarrollo de una obra, desde la creación de una organización preventiva a la planificación de las actividades.

Como tercer punto se analizó los entornos sociales que afectan la disponibilidad de material y o la disponibilidad de los Recursos Renovables en el proyecto, como son decisiones gubernamentales en la movilidad de transporte de carga, huelgas, manifestaciones etc.

Las probabilidades e impactos de estos tres aspectos sobre la ejecución de las actividades se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Probabilidad e Impacto de los Imprevistos, Entorno Social y Seguridad sobre las Actividades.

<b>Evento</b>	<b>id</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Efecto sobre ENTA</b>
Ningún incidente	1	0,910	0,910	0,000
Incidentes menores	2	0,080	0,990	0,050
Accidentes	3	0,010	1,000	0,150

Fuente. Propia.

### **Impacto de las Variables Exógenas sobre las Actividades.**

Se solicitó a la constructora y a las personas responsables de la dirección del proyecto que identificara cada variable exógena y si impacta o no en cada actividad, los resultados se observan en el Anexo 6. Impacto de las Variables Exógenas Sobre Cada Actividades).

### **6.3.3 Variables Endógenas.**

De igual modo se relacionan las variables endógenas aceptadas para el modelo (Ver Tabla 20).

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

Tabla 20. Presentación Variables Endógenas.

Variable Tratada	Autores	% de participación por autores	Variable que Impacta	
			TEP	CTP
Reprocesos mala calidad por	(Lim & Mohamed, 1999)	34,78%	1	1
	(Atkinson, 1999)			
	(Love & Irani, 2003)			
	(Garcia Modesto, 2010)			
	(Hegazy, Said, & Kassab, 2011)			
	(Nieto-Morote & Ruz-Vila, 2011)			
	(Sarker, Egbelu, Liao, & Yu, 2012)			
(Tao & Tam, 2013)				
Financiero	(Akintoye & MacLeod, 1997)	8,70%	0	1
	(P. X. W. Zou et al., 2007)			
Demoras debidos a Maquinarias y equipos	(P. X. W. Zou et al., 2007)	8,70%	1	0
	(Garcia Modesto, 2010)			
Mano de obra y ausentismo	(Lim & Mohamed, 1999)	17,39%	1	0
	(P. X. W. Zou et al., 2007)			
	(Garcia Modesto, 2010)			
	(Wang & Yuan, 2011)			
Incentivos motivación personal y al	(Wang & Yuan, 2011)	8,70%	1	0
	(Nieto-Morote & Ruz-Vila, 2011)			
Experiencia del personal	(P. X. W. Zou et al., 2007)	13,04%	1	0
	(Wang & Yuan, 2011)			
	(Nieto-Morote & Ruz-Vila, 2011)			
Fatiga del personal	(Wang & Yuan, 2011)	4,35%	1	0

Fuente. Propia.

**Reprocesos por Mala Calidad: (Variable de Respuesta que impacta: TEP y CTP)**

Con la presión que ejercen y las exigencias del mercado, y los costos que generan los problemas de calidad en los proyectos de construcción las empresas en el sector de la construcción se preocupan por ser más competitivas, por lo tanto han adoptado mecanismos para garantizar minimizar estos efectos en los proyectos (Calidad en la Construcción, n.d.).

- a. Crear una cultura ética de trabajo, donde cada empleado y contratista asume la responsabilidad del costo y recursos invertidos para lograr la calidad y las especificaciones establecidas.
- b. Desarrollar un ambiente disciplinado orientado al trabajo en equipo motivando a cada persona para hacer su máximo esfuerzo.
- c. Medir causales de incumplimiento en términos de calidad.
- d. Capacitar y entrenar al personal en cultura de calidad.

Los principales problemas de calidad que se dan en las etapas de cimentación y estructura son el Hormigoneo del concreto en columnas, resultados no

## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

satisfactorios en resistencia del concreto y malas prácticas en el trabajo de amarre de hierro.

Para lograr mitigar este impacto las empresas recurren a mecanismos de interventora y control lo cual reduce la probabilidad de ocurrencia y el impacto sobre la ejecución de las actividades que impactan (Ver Tabla 21).

Tabla 21. Probabilidad e Impacto de los Reprocesos por Mala Calidad.

<b>Evento</b>	<b>id</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Efecto sobre ENTA</b>	<b>Efecto sobre RNRA</b>
Ningún	1	0,991	0,991	0,000	0,000
Menores	2	0,007	0,998	0,020	0,001
Parciales Constructivo	3	0,001	0,999	0,050	0,003
Constructivo Total	4	0,001	1,000	0,080	0,005

Fuente. Propia.

### **Financieros: (Variable de Respuesta que impacta: CTP)**

La importancia del presupuesto de obra de un proyecto de construcción es muy considerable por ser el documento básico que establece el marco económico para la ejecución de las obras. De los valores conseguidos, saldrán los precios que competirán con otros licitantes y harán, ganar o perder la adjudicación y en el peor de los casos, causar pérdidas económicas en la ejecución de la obra.

Su redacción ha de ser clara, concisa y muy cuidada, con gran exactitud de las mediciones y adaptado a los precios del mercado local y actual.

Por la falta de rigurosidad del presupuesto salen la mayor parte de los problemas que aparecen en obra.

Las diferencias entre el presupuesto de un proyecto y las ofertas económicas resultantes de la licitación de las obras deberán ser pequeñas y en caso de presentarse, provenir de variaciones en los rendimientos previstos en la ejecución de unidades de obra, en el beneficio del contratista o en los gastos generales.

Evitar que las diferencias se deban a errores en las mediciones, precios mal justificados o anticuados, no adecuados al lugar y condiciones de ejecución inadecuadas, los efectos de dichas diferencias sobre le CTP se presentan la Tabla 22.

Tabla 22. Probabilidad e Impacto de los Presupuestos sobre Cada Actividades.

<b>Evento</b>	<b>id</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Efecto sobre RNRA</b>
Ninguno	1	0,970	0,970	0,000
Errores en el presupuesto	3	0,010	1,000	0,004

Fuente. Propia.

**Demoras debidos a Maquinarias y Equipos: (Variable de Respuesta que impacta: TEP)**

Una de las partes vitales de los proyectos de construcción es la relacionando con la correcta selección y utilización de la Maquinaria y los equipos de construcción.

Los factores más importantes al momento de hacer la selección del equipo son la operación del equipo y su mantenimiento, es decir se debe escoger el equipo que pueda hacer el trabajo con el menor impacto en las actividades debido a fallas mecánicas.

Hay ocasiones que el equipo no es idóneo para el trabajo a realizar y hay situaciones que provocan impactos en las actividades y demoras en la ejecución de las actividades, tales eventos fueron consignados en la Tabla 23.

Tabla 23. Probabilidad e Impacto de la Maquinaria y Equipo sobre Cada Actividades.

<b>Evento</b>	<b>id</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Efecto sobre ENTA</b>
Ninguna	1	0,900	0,900	0,000
Retraso en llegado de equipos	2	0,050	0,950	0,900
Fallas Mecánicas en Maquinaria y equipo	3	0,050	1,000	0,100

Fuente. Propia.

**Mano de Obra y Ausentismo: (Variable de Respuesta que impacta: TEP)**

El ausentismo laboral es uno de los problemas más difíciles de abordar por su complejidad; es un fenómeno endémico; se da tanto en las empresas privadas como en las públicas. No respeta las barreras del sexo, raza, religión ni nacionalidad; es costoso, tanto para la organización como para el individuo, está influenciado por diferentes factores interrelacionados entre sí, y asociado a un número importante de consecuencias, tanto positivas como negativas.

La relación entre ausentismo y conocimiento del oficio, adaptación, cooperación, interés por mejorar, rendimiento y alcoholismo; hacen que sea más frecuente el ausentismo mientras más conductas negativas estén presentes en los trabajadores.

Debido a lo anterior y para contrarrestar el efecto del ausentismo sobre el proyecto se ha generado una medida contractual con los contratistas para reponer el número de trabajadores ausentes y su impacto en las actividades, sin embargo, hay cierta probabilidad y nivel de ausentismo, debido a que el contratista no siempre cumple con lo acordado y la velocidad de reacción de este no es siempre la adecuada.

## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

La probabilidad de ocurrencia del ausento según si nivel se presenta en la Tabla 24.

Tabla 24. Probabilidad e Impacto de la Mano de Obra y Ausentismo sobre Cada Actividad.

<b>Evento</b>	<b>id</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Media de días de ausentismo de acuerdo a la criticidad</b>	<b>Media de empleados de ausentismo de acuerdo a la criticidad</b>
Ninguno	1	0,910	0,910	0	0
Bajos	2	0,050	0,960	1	1
Medio	3	0,020	0,980	3	2
Alto	4	0,020	1,000	6	2

Fuente. Propia.

### **Aprendizaje, Fatiga y Motivación: (Variable de Respuesta que impacta: TEP)**

Cada vez más actores del ámbito de la educación basan sus enfoques pedagógicos en la motivación del estudiante, variable considerada como la mejor garantía de eficacia en el aprendizaje.

La motivación estimula la atención y la asiduidad, favorece la memorización y la consolidación de los conocimientos adquiridos. En su libro "To Want To Learn" , (Kytlye, 2004) doctor en Psicología Social de la Universidad de Columbia en Nueva York, analiza estos vínculos estrechos entre aprendizaje y motivación bajo un ángulo psicológico. (Kytlye, 2004) atrae nuestra atención sobre dos grandes formas de motivación que él considera indispensables para un aprendizaje con éxito: el compromiso social y la implicación psicológica.

El compromiso social se refiere a todas las formas que implican un profundo compromiso personal en la vida, como por ejemplo el matrimonio, la convicción política, religiosa, progresar en la práctica de un deporte, la búsqueda de un mejor empleo, o incluso las ganas de aprender.

La implicación psicológica se describe en el libro como un "estado de atención permanente, focalizado y acompañado por un muy buen ánimo". En otras palabras: sentirse dentro y disfrutar de ello.

"Seguir motivado ante la distracción y la fatiga es un desafío cotidiano", nos explica (Kytlye, 2004) con buen criterio. Desgraciadamente, la gran mayoría de las situaciones de aprendizaje ignora por completo esta incapacidad del espíritu humano de permanecer concentrado; no basta, entonces, con permitir el acceso a la escuela, a la formación, a los recursos pedagógicos; es necesario además adaptarse a la capacidad del estudiante de permanecer concentrado y



## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

motivado. Ahora bien, esta capacidad es limitada, dado que la naturaleza humana es así.

El aprendizaje como establecimiento de nuevas relaciones temporales entre un ser y su medio ambiental ha sido objeto de diversos estudios empíricos, realizados tanto en animales como en el hombre. Midiendo los progresos conseguidos en cierto tiempo se obtienen las curvas de aprendizaje, que muestran la importancia de la repetición de algunas predisposiciones fisiológicas, de «los ensayos y errores», de los períodos de reposo tras los cuales se aceleran los progresos, dichos progresos originan o modifican una actividad respondiendo a una situación siempre que los cambios no puedan ser atribuidos al crecimiento o al estado temporal del organismo (como la fatiga o bajo el efecto de las drogas).

### **Aprendizaje. (Variable de Respuesta que impacta: Nivel de Motivación y TEP)**

Al tomar un periodo de 90 días, como periodo de prueba al trabajador, se determinan 5 niveles de aprendizaje los cuales definen el impacto que el aprendizaje tiene sobre la motivación y también sobre la ejecución de las actividades (Ver Tabla 25 y Tabla 26).

Tabla 25. Cantidad Aprendida en función del Tiempo.

<b>Duración del proyecto</b>	<b>id</b>	<b>Cantidad Aprendida</b>
día 1 al día 30	1	60%
día 31 al día 60	2	30%
día 61 al día 90	3	8%
día 90 al días 120	4	2%
> 120 días	5	0%

Fuente. Propia.

Tabla 26. Impacto del Nivel de Aprendizaje sobre la Motivación y Sobre Cada Actividad.

<b>Nivel de aprendizaje</b>	<b>Impacto sobre la Motivación</b>	<b>Efecto sobre ENTA</b>
0%	1.000	0.870
25%	1.050	0.930
50%	1.073	0.945
75%	1.120	0.970
100%	1.180	1.000

Fuente. Propia.

### **Fatiga (Variable de Respuesta que impacta: Nivel de Aprendizaje, Nivel de Motivación y TEP)**

Como hemos visto la fatiga Impacta el nivel de Aprendizaje, el Nivel de Motivación y ejecución de las actividades, tales efectos se observan en la Tabla 27.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

Tabla 27. Nivel de Fatiga y su Impacto sobre la Motivación, el Aprendizaje.

Nivel de Fatiga	id	Impacto sobre el Nivel de Aprendizaje	Impacto Sobre el Nivel de Desmotivación	Efecto sobre ENTA
Bajo	1	1,000	0,000	1,000
Medio	2	0,630	1,200	0,040
Alto	3	0,220	1,600	0,110

Fuente. Propia.

**Motivación (Variable de Respuesta que impacta: Nivel de Aprendizaje y TEP)**

Para estudiar el nivel de motivación sobre la ejecución del proyecto se tuvieron en cuenta varios factores, el primero el nivel de motivación tiene relación directa sobre el nivel de atraso del proyecto (Ver Tabla 28), en segundo lugar el efecto que tiene el nivel de motivación sobre el aprendizaje y sobre la ejecución de las actividades (Ver Tabla 29).

Tabla 28. Efecto de la Discrepancia sobre el Nivel de Motivación.

Nivel de Discrepancia (Días)	id	Efecto Sobre el Nivel de Motivación
0	1	1.000
2	2	1.000
4	3	0.950
6	4	0.870
>10	5	0.810

Fuente. Propia.

Tabla 29. Efecto del Nivel de Motivación sobre Aprendizaje y sobre Cada Actividad.

Id Nivel de Motivación	Efecto Sobre el Nivel Aprendizaje	Efecto sobre ENTA
0	0,890	0,910
25	0,950	0,960
50	0,000	1,000
75	1,100	1,050
100	1,160	1,110

Fuente. Propia.

Por último el efecto que tienen los programas de incentivos sobre la motivación (Ver Tabla 30 y Tabla 31)

Tabla 30. Aplicación de Incentivos en Función de la Discrepancia.

Nivel de Discrepancia	Aplica Incentivos
<5%	1
>5%	0

Fuente. Propia.

Tabla 31. Efecto de los Incentivos Sobre el Nivel de Motivación.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Incentivos	Aplica	Efecto Sobre el Nivel de Motivación
0	No	0.000
1	Si	1.18

Fuente. Propia.

### Impacto de las Variables Exógenas sobre las Actividades.

Nuevamente se solicitó a la constructora y a las personas responsables de la dirección del proyecto que identificara cada variable endógena y si impacta o no en cada actividad, los resultados se observan en el Anexo 7. (Impacto de las Variables Endógenas Sobre Cada Actividades).

### 6.3.4 Variables Independientes.

Las variables Independientes requeridas para el modelo son:

Tabla 32. Presentación Variables Independientes.

VARIABLES	Valor	Observaciones
Valor Medio Hora extra (en pesos).	\$ 5.625,00	Es importante tener en cuenta que los estudios de (Peter E.D. Love & Irani, 2003) determinaron que la reducción de la calidad debido a las horas extraordinarias es insignificante, aunque se utilice la cantidad máxima de horas extras.
Valor del costo administrativo del proyecto por día de atraso (en millones de pesos).	\$ 0,35	Basado en los costos directos del proyecto y lo determinado a partir de los costos administrativos fijos del proyecto y posibles sanaciones de los clientes, el valor del costo diario de atraso es de
Saldo Inicial de RNR en millones de pesos.	\$ 600,00	2do desembolso
Valor Desembolso RNR al día 100 (en millones de pesos).	\$ 500,00	1 er desembolso
Valor Desembolso RNR al día 200 (en millones de pesos).	\$ 650,00	2 do desembolso
Valor Desembolso RNR al día 300 (en millones de pesos).	\$ 600,00	Ultimo desembolso
Tolerancia permitida en la discrepancia (NEA).	5,00%	Según Informe Mensual de Interventoría Ver Anexo 4.
Política Frecuencia de Controles	Cada 28 días	

Fuente. Propia.

**6.4 Estructura de la Red de Actividades.**

La estructura de la red de actividades es fundamental para el diseño del modelo por lo tanto y de acuerdo a la relación de precedencia de la Tabla 11 se desarrolló dicha red (Ver Fig. 52).

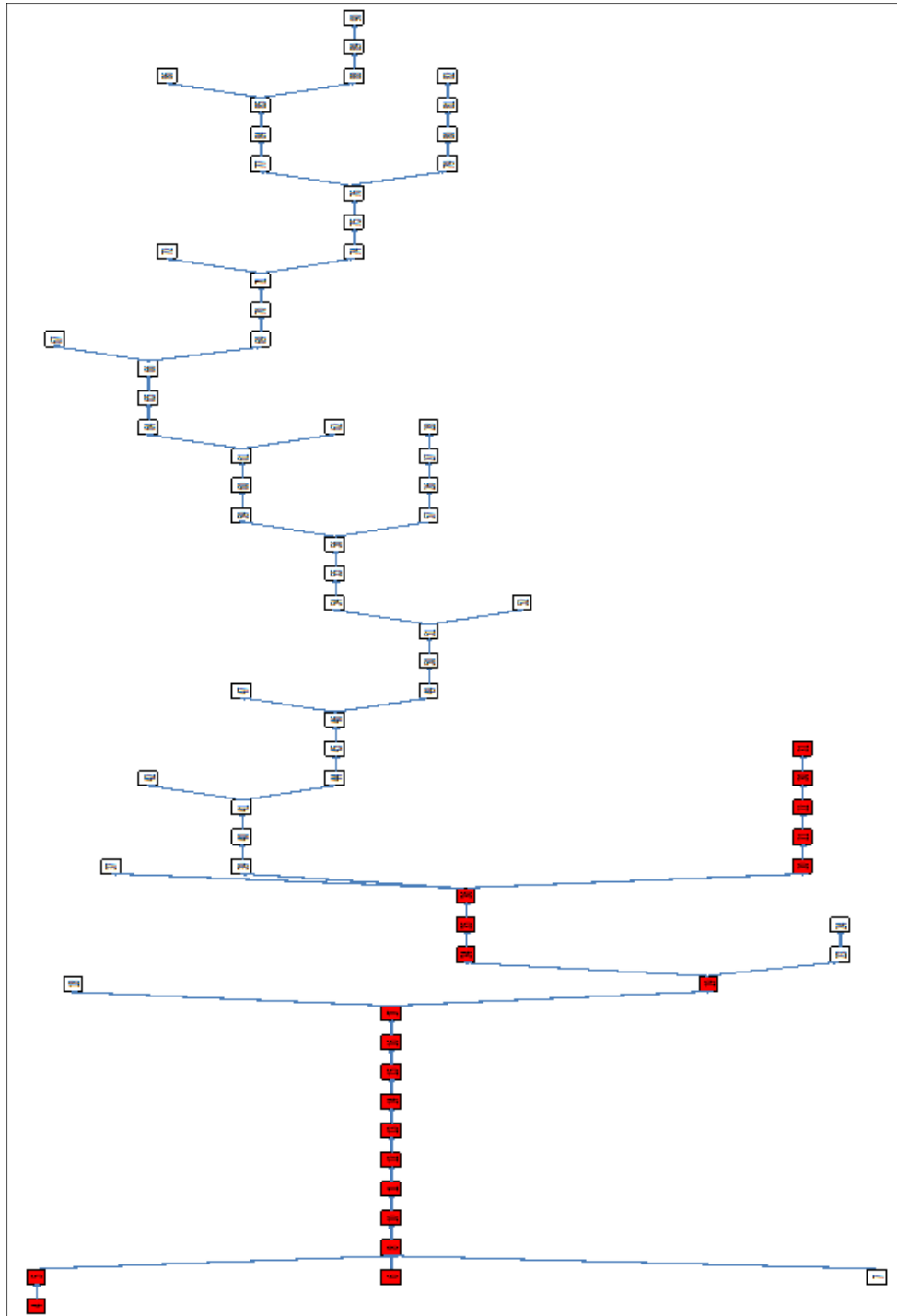


Fig. 52 Diagrama de Redes del Proyecto.  
Fuente. Propia.

## **6.5 Selección de Estrategias Para el Control de Proyectos en Construcción.**

### **6.5.1 Estrategias de Control y Jerarquización.**

Basados en la revisión bibliográfica se identificaron las diversas estrategias estudiadas y aplicadas actualmente en el control de proyectos en la construcción, paso seguido se presentó a los profesionales involucrados en el control del proyecto y se solicitó que evaluaran la aplicabilidad de cada uno de estas estrategias y métodos y su uso en el sector, los resultados de esta estudio se presentan a continuación:

Tabla 33. Estudio y Jerarquización de las Estrategias Investigadas.

<b>ID</b>	<b>Estrategia</b>	<b>Autor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplica</b>	<b>Uso</b>
1	Manejo de mano de obra y mayor número de recursos (Horas Extras) a partir de indicadores de gestión.	(Rueda et al., 2011)	El monitoreo de las actividades se puede desarrollar de forma continua o periódica; a través de indicadores se definen acciones para atenuar los efectos de las desviaciones.	1	Alta
		(Wang & Yuan, 2011)	Desarrolló diversidad de métodos para permitir un proceso de gestión de proyectos más objetivo.		
		(Hegazy, Said, & Kassab, 2011)	Presenta una investigación con un mecanismo cuantitativo para analizar el tiempo considerando la reanudación de las labores. Propone una técnica de optimización para determinar la estrategia de acción correctiva menos costosa que recupera retrasos en los proyectos.		
		(Lee, Asce, Peña-mora, & Park, 2006)	Desarrolla un modelo llamado ABM (Agent-based modeling), cuyo objetivo es disminuir la ausencia del trabajador aprovechando los hallazgos teóricos y empíricos de la literatura.		
2	Motivación y Entrenamiento	(Wang & Yuan, 2011)	Presenta una forma de identificar algunos factores críticos para ayudar a los contratistas a ser más certeros, y maximizar el uso de recursos limitados tales como el dinero, mano de obra, tiempo y esfuerzos de gestión.	1	Alta
3	Ausentismo y factor social del personal	(Ahn, Asce, Lee, Asce, & Steel, 2013)	Presenta los factores sociales y la adaptabilidad de los trabajadores a estos, cuando la alta adaptación social refuerza las reglas formales, esta reduce la necesidad de un control formal adicional de comportamiento de los trabajadores y reduce el ausentismo.	1	Alta
4	Revisión Continua	(Raz & Erdal., 2000)	Describe que al aumentar el número de puntos de control, acercándose a un sistema de revisión periódica, se obtiene una mayor cantidad de información y por lo tanto una mejor reacción ante las discrepancias.	1	Alta
		(K. G. Cooper, 1980)	Manifiesta que al aumentar el número de puntos de control, acercándose a un sistema de revisión periódica, se obtiene una mayor cantidad de información y por lo tanto una mejor reacción ante las discrepancias.		
		(Valenzuela Riaño, 2013)	Probó políticas de priorización de actividades las cuales contemplaban aspectos como duración, recursos, variabilidad, sucesores y combinaciones de estas características, los cuales fueron comparados con el método de la ruta crítica,		

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

			ampliamente utilizado, en los problemas de secuenciación de proyectos.		
5	Mejora de la cadena de suministro	(Irizarry, Karan, & Jalaeei, 2013)	Las investigaciones realizadas en los últimos años se han centrado en la aplicación de la tecnología de la información (TI) para la mejora en el proceso de integración de la Gestión de la Cadena de Suministro de Construcción (CSCM), en la que se integra el Modelado de la Información de Construcción (BIM) y los Sistemas de Información Geográfica (GIS) en un único sistema, permitiendo así el seguimiento del estado de la cadena de suministro y proporcionando señales de alerta para garantizar la entrega de los materiales.	1	Baja
6	Asignación eficiente de recursos	(Lee, Ford, & Joglekar, 2007)	Análisis la elección de una política de asignación puede influir fuertemente duración de los proyectos, pero las políticas para reducir la duración de los proyectos son difíciles de diseñar y de poner en práctica, debido a las corrientes de circuito cerrado de trabajo que generan los patrones de demanda dinámica y los retrasos en la transferencia de recursos entre actividades.	1	Baja
7	Técnica de Mantenimiento productiva	(Ahuja & Khamba, 2008)	Analiza la variabilidad de los recursos reduciendo esta última en proporción a la discrepancia a través de técnicas de mantenimiento productivo total.	0	Baja
8	Wrap layer	(Lee, S. et al 2006)	Adopta la dinámica de sistemas como un motor de núcleo de simulación para la gestión de proyectos estratégicos y herramientas basadas en la red como una wrap layer para la gestión de proyectos en funcionamiento.	0	Baja
9	DPM (Diversified Project Management)	(Lee, S. et al 2006)	Asegura que cuando se introduce una cantidad de trabajo adicional causado por los errores y cambios, los planes diseñados originalmente necesitan ser mejorados y proponen ciertas políticas que se pueden adaptar para mejorar la utilización de la capacidad.	0	Baja
10	Priorización de actividades	(Moreno & González., 2011)	Analiza la aplicación de políticas en una reducción de los tiempos reales de ejecución del proyecto, principalmente mediante la reducción de la discrepancia total, cuyos resultados pueden apreciarse directamente.	0	Baja
11	Valor neto actual	(R. Bey, R. Doersch, J. P, 1981)	Los recursos que intervienen en la ejecución de cada una de las actividades de un proyecto pueden ser clasificados de acuerdo a categorías, según su disponibilidad a lo largo del proyecto.	0	Baja
12	Análisis de factores de fracaso	(Whittaker, B, 1999)	Examina fracasos del proyecto con el fin de identificar las reglas de control de proyecto más eficaces.	0	Baja
13	PCM	(Isaac & Navon, 2013)	Crea un modelo gráfico para analizar y minimizar los impactos de los cambios de diseño dentro del proyecto.	0	Baja
14	Aumento de la calidad, mínimo de recursos y maximizar fiabilidad	(Tao & Tam, 2013)	La mejor solución para un proyecto es lograr una alta calidad con un bajo coste en el plazo adecuado y sin accidente seguro. Presentan un modelo de optimización multi-objetivo, que puede equilibrar las variables tiempo-costo-calidad-seguridad.	0	Baja
15	Gestión de Calidad Eficaz	(Love & Irani, 2003)	El método más aceptado para determinar los costes de calidad de la construcción es el modelo tradicional de la prevención-evaluación de fallos (PAF).	0	Baja
		(Lam, 1994)	Análisis los costos de calidad suministrando datos del impacto de estos sobre el costo total del proyecto.		

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

	(R.D. Hart, 1994)	Comprobó que los costos se pueden bajar a través del uso de un programa de calidad efectiva. Esto apunta claramente a la importancia de saber cómo prevenir la recurrencia, no sólo beneficia al contratista, sino también el cliente y los usuarios finales.	
	(Roberts, 1991)	Demostró que por el gasto de un 1% más en la prevención, los costes de fallos podrían reducirse por un factor de 5%.	

Fuente. Propia.

### 6.6 Selección de Estrategias para el Modelo de Control.

Como se observó en la Tabla 33, el interés se centró en el modos de ejecución donde intervenga el factor humano, como parte fundamental del proceso de ejecución de las actividades y su relación con el Aprendizaje Fatiga y Motivación, factores claves en el manejo del Recurso Renovable (Ver Fig. 53)

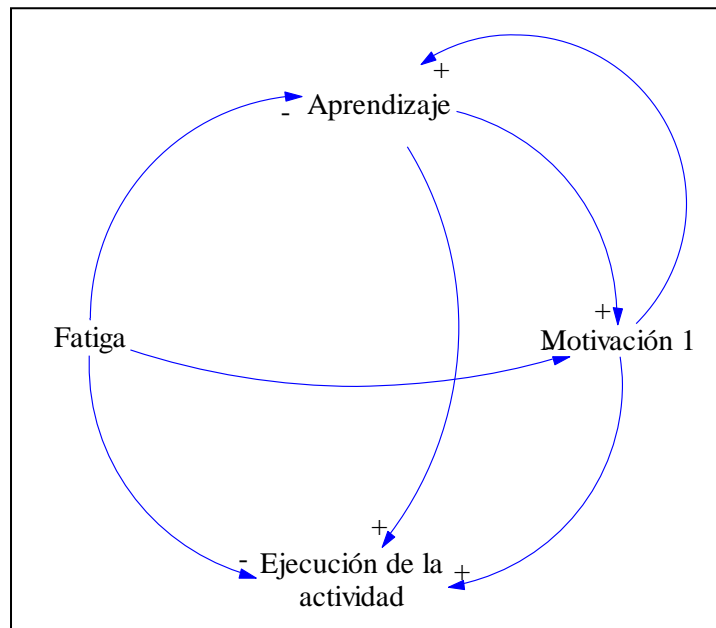


Fig. 53 Diagrama Causal Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sobre la Ejecución de Actividades.

Fuente. Propia.

A partir de lo anterior se determinaron 3 estrategias (modos) de interés para evaluar las cuales son:

Modo 1: Método de asignación de mayor numero de recursos a partir de la asignación de horas extras cuando las actividades superan el tiempo de ejecución presupuestado (Discrepancia > Tolerancia permitida) (Ver Fig. 54).

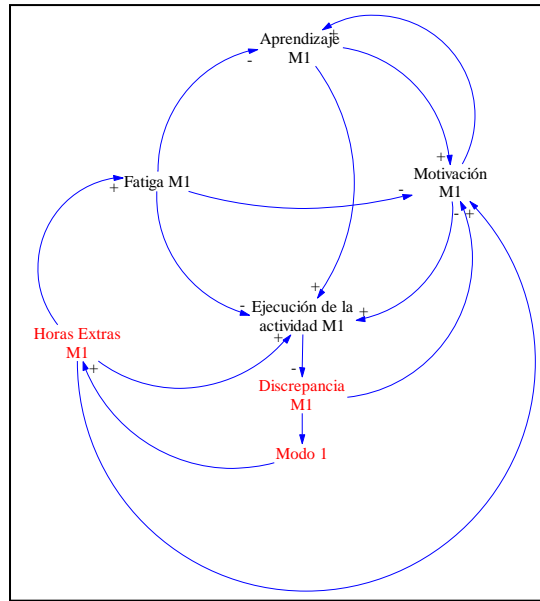


Fig. 54 Diagrama Causal Modo 1.  
Fuente. Propia.

Modo 2: Método de asignación de mayor número de recursos (horas extras) combinado con el método de revisión continua, se determinara a partir de un control periódico la necesidad de asignación de horas extras durante el periodo de tiempo al próximo control con el fin de ajustar las discrepancias en el tiempo de ejecución de las actividades (Ver Fig. 55).

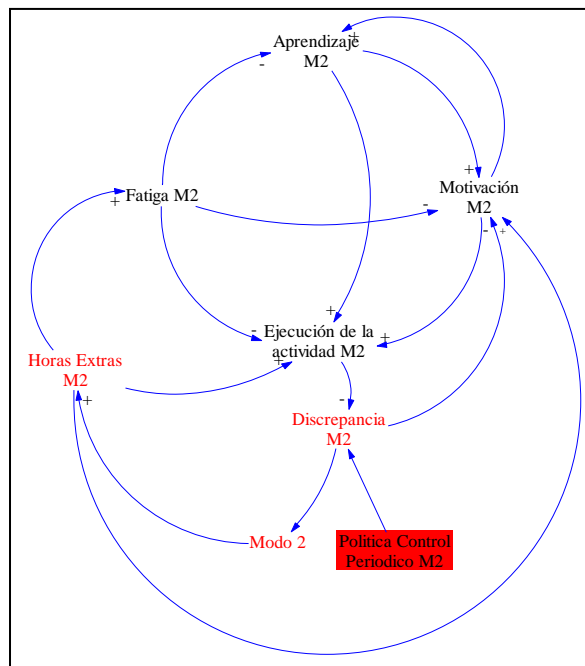


Fig. 55 Diagrama Causal Modo 2.  
Fuente. Propia.



## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Modo 3: Método de asignación de mayor número de recursos (horas extras) combinado con el método de revisión continua, se determinara a partir de un control periódico la necesidad de asignación de horas extras durante el periodo de tiempo al próximo control, adicionalmente se incluyó una política de incentivos con el fin de incrementar la motivación del personal durante la ejecución de las actividades (Ver Fig. 56).

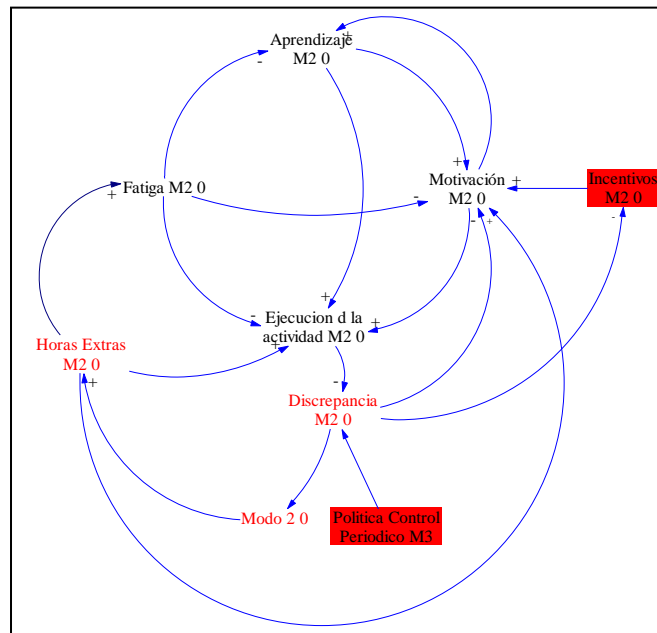


Fig. 56 Diagrama Casual Modo 3.  
Fuente. Propia.

Por política solo se aplicara horas extras a las actividades cuya NTA sea superior a 4 días (Ver Anexo 8. Actividades a las Cuales Aplicara el Modo de Ejecución).

### 6.7 Análisis de la Estructura Sistémica y Construcción del Modelo de Control.

Para desarrollar el modelo fue indispensable definir los siguientes conjuntos referenciales:

- i: Id asignado a la actividad.
- j: Unidad de tiempo anterior
- k: Unidad de tiempo actual
- m: Variable Exógena
- n: Numero entero
- p: Variable Endógena

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

q: Variables asociadas al costo del proyecto.

Debido a la complejidad del modelo y a todos los conceptos que involucra fue necesario el desarrolló la estructura del modelo (Ver Fig. 57)

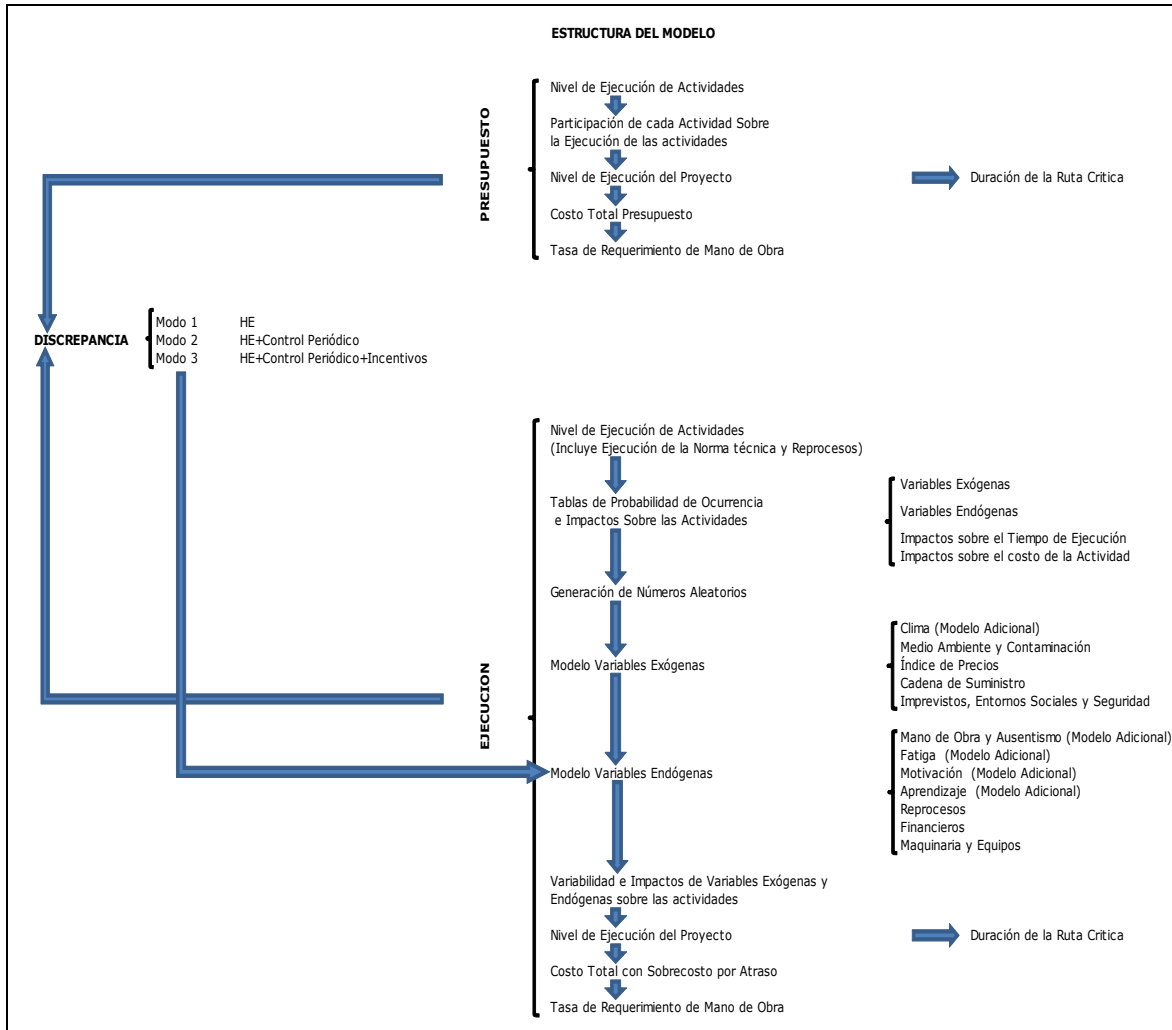


Fig. 57 Estructura del Modelo.  
Fuente. Propia.

A partir de lo desarrollado en el Capítulo 1, los conceptos adquiridos en dinámica de sistemas y los datos obtenidos en la caracterización del sistema y con base en la estructura diseñada, se generó el modelo de simulación del presupuesto para el proyecto, para esto se tuvieron en cuenta los siguientes desarrollos:

**6.7.1 Presupuesto.**

**Nivel de Ejecución de las Actividades (NEAi).**

Teniendo en cuenta la NTAi y la ENTi la cual es función del NRNRi del presupuesto, el R Ri de la actividad y el NRR también presupuestado (Ver Fig. 58).

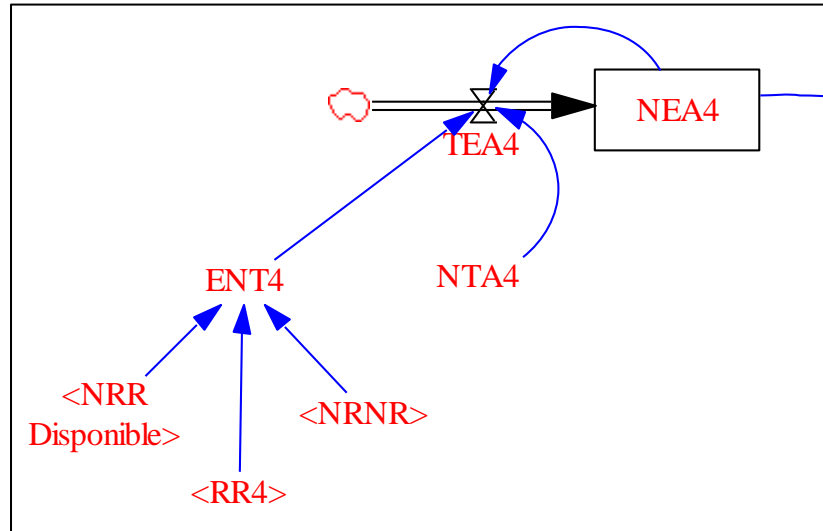


Fig. 58 Ejemplo Modelo de NEA.  
Fuente. Propia.

A continuación se relacionan las fórmulas desarrolladas en esta etapa:

$$NEA_{ik} = NEA_{ij} + TEA_{ijk} * dt \quad : \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 13

$$TEA_{ijk} = \frac{100}{NTA_i} \quad : \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 14

$$TEA_{ijk} = IF \ THEN \ ELSE \ (NEA_{ik} < 100, ENT_{ijk} * 100 / NTA_i, 0) \quad : \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 15

$$ENT_{ijk} = IF \ THEN \ ELSE \ (NRNR_{jk} > 0, 1, 0) * IF \ THEN \ ELSE \ (NRR_{jk} \text{ Disponible} \geq R_{Ri}, 1, 0) \quad : \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 16

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Basado en la red de actividades elaboradas en el numeral 1.2 se modeló la red de actividades del presupuesto a partir de dinámica de sistemas (Ver Fig. 59)

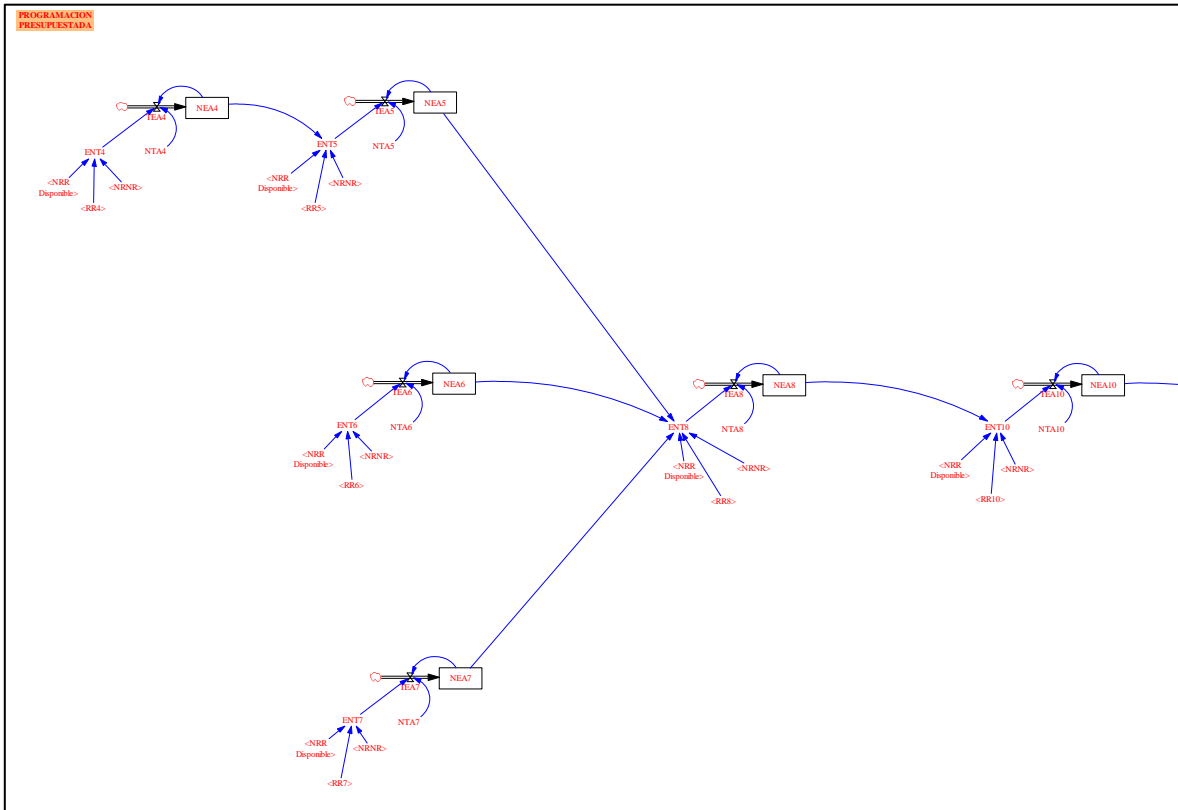


Fig. 59 Red de Actividades Modelada a Partir de Dinámica de Sistemas.  
Fuente. Propia.

Se desarrolló el cálculo del Peso de cada actividad ( $W_i$ ) en función de la  $NTA_i$  (Ver E1) con el fin de calcular el Nivel de Ejecución Total ( $NET_i$ ) en función de un nivel de 0 a 100% (Ver Fig. 60).

A continuación se relaciona la formula desarrollada para esta variable:

$$W_i = NTA_i / \sum_i^n NTA_i \quad : \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 17

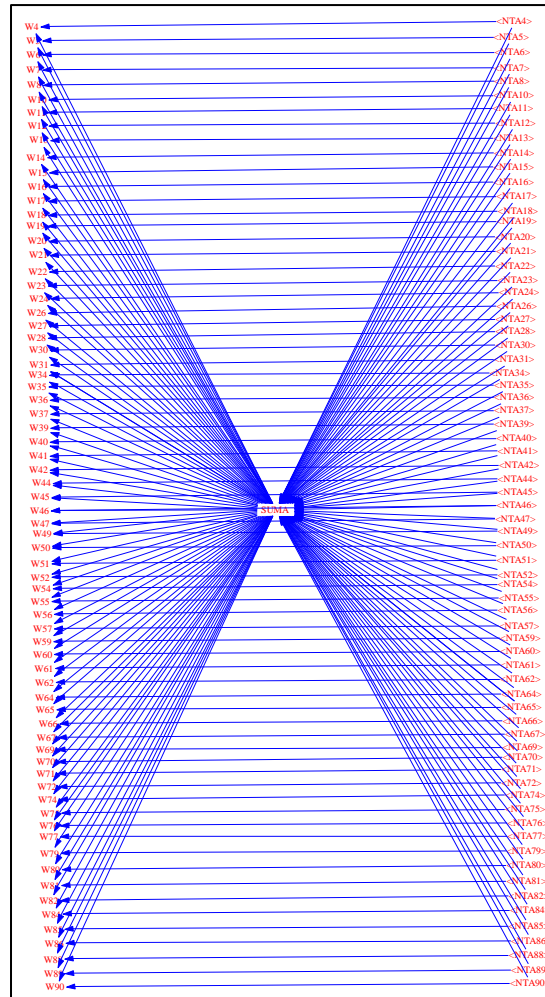


Fig. 60 Modelo de Cálculo del Peso de Participación en la Tasa de Ejecución del Proyecto Presupuestada.  
Fuente. Propia.

**Tasa de Ejecución del Presupuesto (TEP PRESUPUESTADO) y Nivel de Ejecución del Proyecto Presupuestado (NET PRESUPUESTADO).**

Se modelaron estas variables teniendo en cuenta la TEA<sub>i</sub> de cada actividad así como el peso (W<sub>i</sub>) con el fin de obtener el Nivel de Ejecución del Presupuesto (Ver Fig. 61).

A continuación se relacionan las fórmulas desarrolladas en esta etapa:

$$TEP\ PRESUPUESTADO_{jk} = \sum_{i=1}^n TEA_{ijk} * W_i$$

Ecuación 18

$$NET\ PRESUPUESTADO_k = NET\ PRESUPUESTADO_j + TEP\ PRESUPUESTADO_{jk} * dt$$

Ecuación 19

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

$$TASA\ EJECUCION\ PRESUPUESTADA_{jk} = IF\ THEN\ ELSE(TEPT\ PRESUPUESTADO_{jk} > 0 : OR:(NET\ PRESUPUESTADO_j > 0\ AND:\ NET\ PRESUPUESTADO_j < 100),1,0)$$

Ecuación 20

$$TIEMPO\ DE\ EJECUCION\ PRESUPUESTADO_k = TIEMPO\ DE\ EJECUCION\ PRESUPUESTADO_j + TASA\ EJECUCION\ PRESUPUESTADA_{jk} * dT$$

Ecuación 21

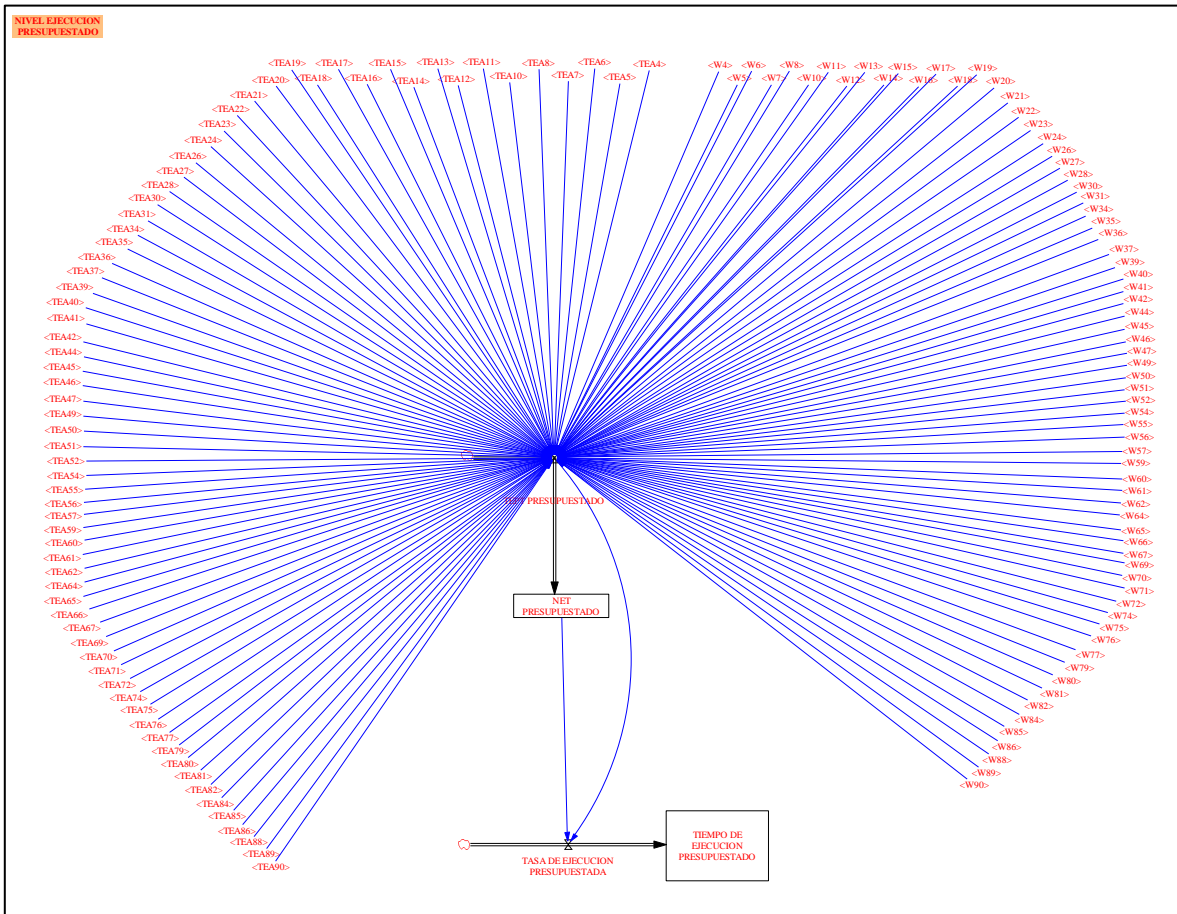


Fig. 61 Modelo de Cálculo de Nivel de Ejecución Total Presupuestado  
Fuente. Propia.

Adicionalmente se tuvo en cuenta como indicador secundario la Duración de la Ruta Crítica, en los proyectos de construcción es indispensable hacer seguimiento a esta, esta ruta crítica se identificó en la red de actividades (Ver Fig. 62) y viene especificada en el programa de ejecución del proyecto.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

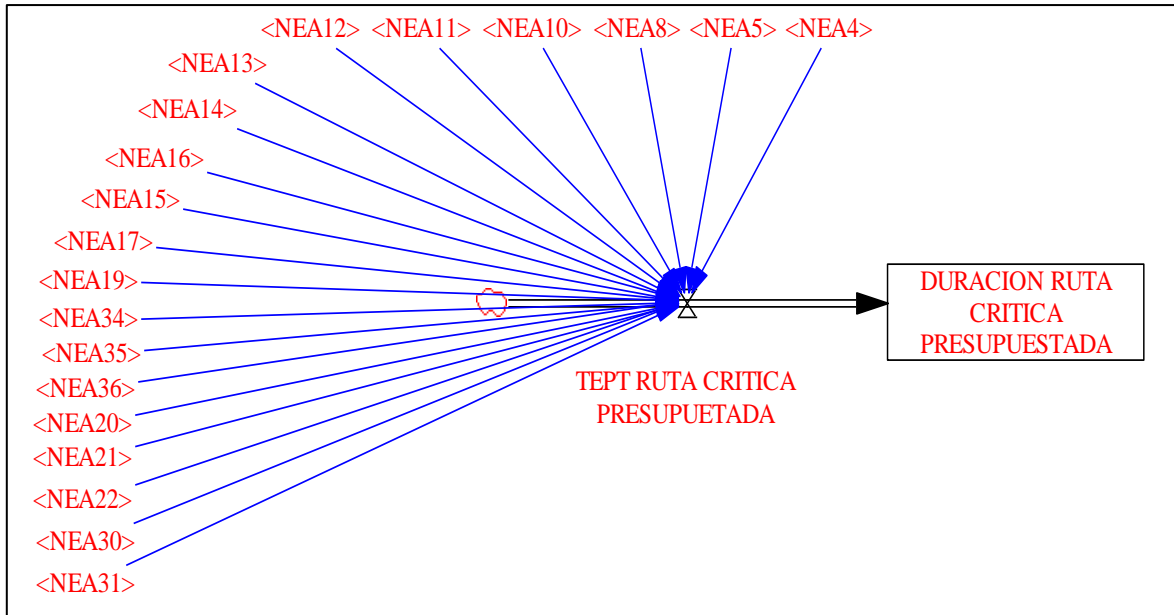


Fig. 62 Modelo de Cálculo Duración Presupuestada de la Ruta Crítica.  
Fuente. Propia.

Para tal fin se ejecutaron las siguientes ecuaciones:

$$TEPT RUTA CRITICA PRESUPUESTADA_{jk} = \sum_{i=1}^n IF THEN ELSE (NEA_{ij} > 0 : AND : NEA_{ij} < 100, 1, 0) \text{ para } i \in \text{Ruta Crítica}$$

Ecuación 22

$$DURACION DE LA RUTA CRITICA PRESUPUESTADA = NEA_j + TEPT RUTA CRITICA PRESUPUESTADA_{jk} dT$$

Ecuación 23

**Costo Total Presupuestado.**

En esta etapa se relacionaron La Tasa de Desembolsos para el proyecto, la tasa de Ejecución de las Actividades así como el valor del RNR de cada actividad con el fin de determinar la Tasa de Ejecución del Presupuesto y el respectivo Costo Total del Presupuesto mediante el modelo desarrollado en la Fig. 63.

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

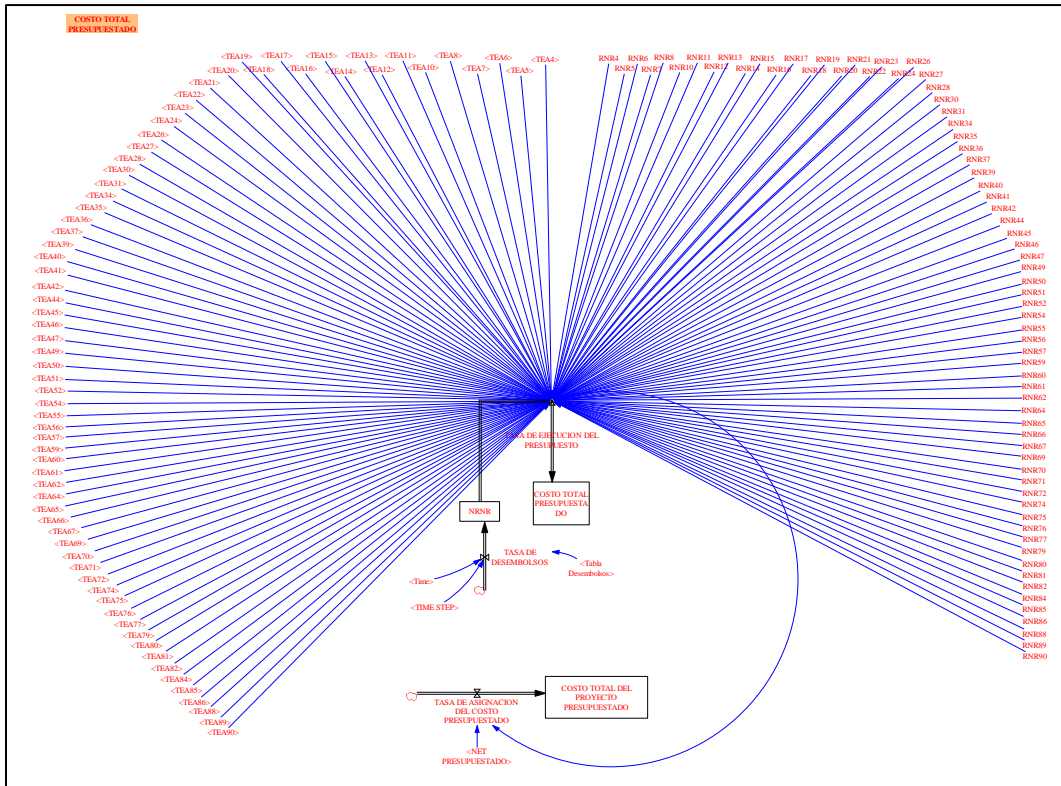


Fig. 63 Modelo de Cálculo Costo Total del Presupuesto.  
Fuente. Propia.

A continuación se relacionan las fórmulas desarrollada para esta variable:

$$TASA DE DESEMBOLSOS_{jk} = \frac{Tabla Desembolsos Time}{TIME STEP}$$

Ecuación 24

$$NRNRk = NRNRj + (TASA DE DESEMBOLSOS_{jk} - TASA DE EJECUCION DEL PRESUPUESTO_{jk}) * dt$$

Ecuación 25

$$TASA DE EJECUCION DEL PRESUPUESTO_{jk} = \sum_{i=1}^n (IF THEN ELSE (TEA_{ijk} > 0, TEA_{ijk} * NRNR_{ij}/100, 0))$$

Ecuación 26

$$COSTO TOTAL PRESUPUESTADO_k = COSTO TOTAL PRESUPUESTADO_j + TASA DE EJECUCION DEL PRESUPUESTO_{jk} * dt$$

Ecuación 27

## Tasa de Disponibilidad e Mano de Obra Presupuestada.

En esta etapa se relaciona la Tasa de Ejecución de Cada Actividad con el requerimiento de RR con el fin de tener la disponibilidad de mano de obra requerida durante la ejecución del proyecto (Ver Fig. 64).



# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

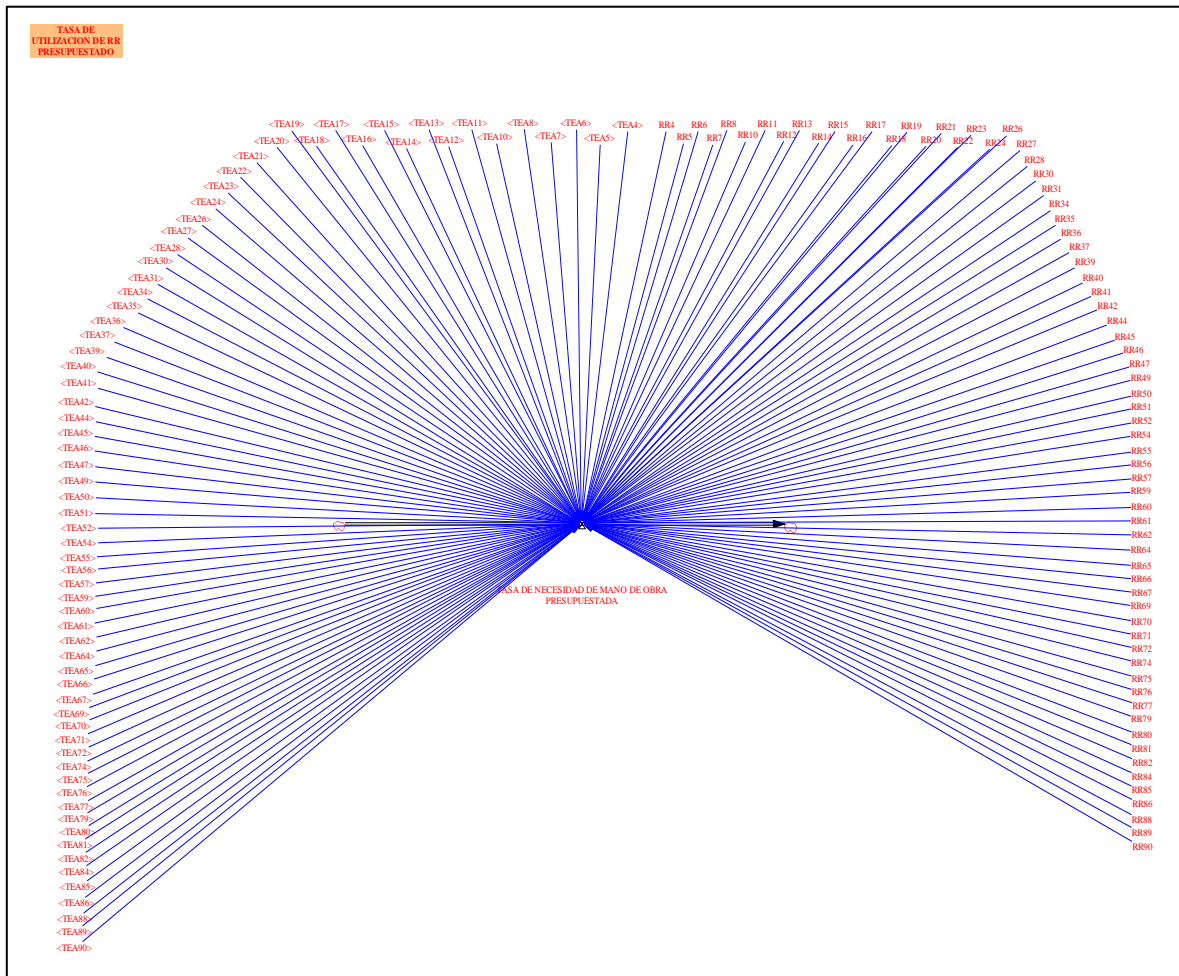


Fig. 64 Modelo de Cálculo Tasa de Ejecución Mano de Obra Presupuestada. Fuente. Propia.

La ecuación para tal fin se presenta a continuación:

$$TASA DE NECESIDAD DE MANO DE OBRA PRESUPUESTADA_{jk} = \sum_{i=1}^n (IF THEN ELSE (TEA_{ijk} > 0, RR_i, 0))$$

Ecuación 28

### 6.7.2 Ejecución.

Paso seguido y siguiendo la estructura del modelo desarrollado (Ver Fig. 3) se modeló la etapa de Ejecución del Modelo:

#### Nivel de Ejecución de las Actividades.

Se Modeló el Nivel de Ejecución de cada Actividad Ejecutado relacionando la Tasa de Reprocesos y la Ejecución de la Norma Técnica, esta última relacionada con la variabilidad y los impactos que tiene cada variable, tanto

exógena como endógena sobre la Tasa de Ejecución de la Actividad (Ver Fig. 65).

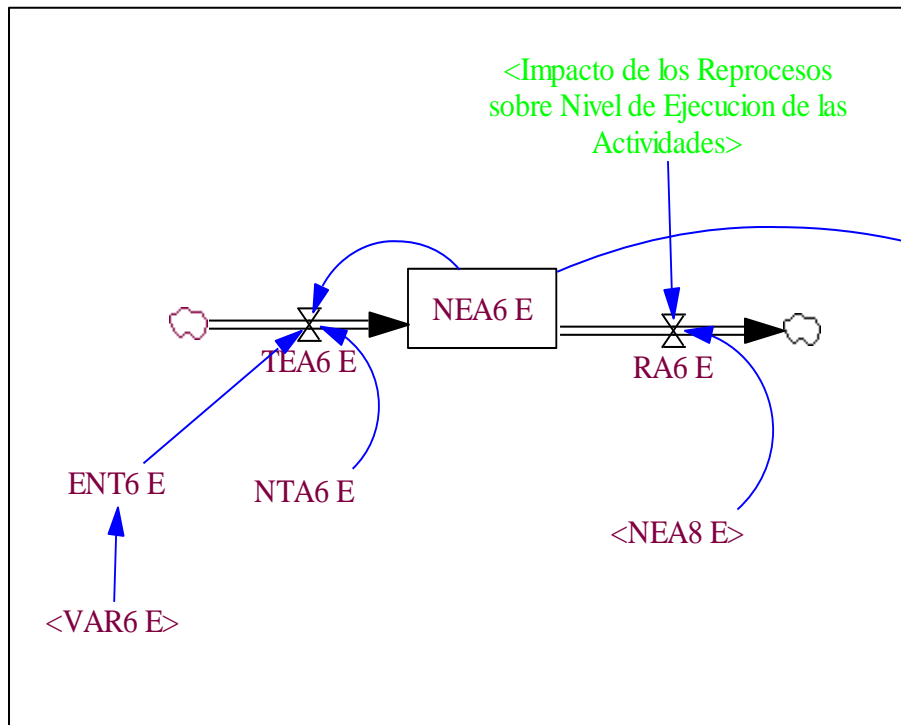


Fig. 65 Modelo de Cálculo del Nivel de Ejecución de la Actividad Ejecutado.  
Fuente. Propia.

Para esta etapa se usaron las siguientes Ecuaciones:

$$NEAiEk = NEAiEj + TEAiEjk * dt \quad : \text{para todo } i = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 29

$$TEAiEjk = 100/NTAiE \quad : \text{para todo } i = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 30

$$ENTiEk = VARiEk \quad : \text{para todo } i = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 31

$$RAiEjk = IF THEN ELSE(NEAiEj > 0, 0, \text{Impacto de los Reprocesos sobre Nivel de Ejecución de las Actividades})$$

: para todo  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Ecuación 32

**Tablas de Probabilidad de Ocurrencia e Impactos sobre las Actividades.**

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Con el Fin de desarrollar la Ejecución de Norma Técnica de cada Actividad es indispensable capturar la información de probabilidades de ocurrencia e impactos sobre las actividades, obtenida en el numeral 6.3, ordenando dichos datos en columnas (Variables Exógenas y Endógenas) y filas (la Variable de Respuesta que Impacta Tiempo o costo de ejecución (Ver Fig. 66).

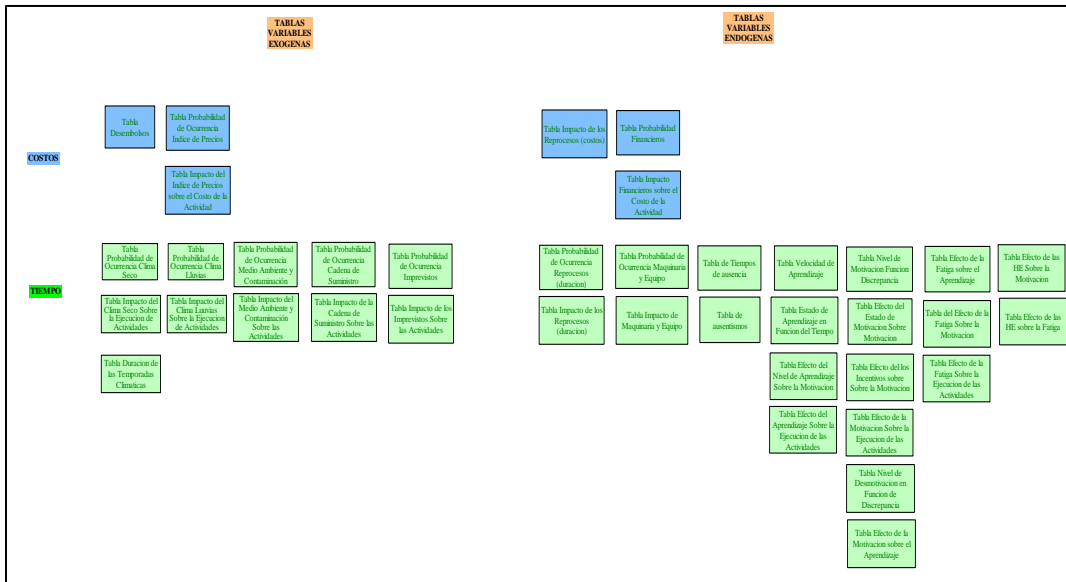


Fig. 66 Esquema de Captura de Tablas Probabilidad de Ocurrencia de Eventos e Impactos sobre las Variables  
Fuente. Propia.

### Asignación de Números Aleatorios.

Para efectos de la simulación es indispensable la asignación de números aleatorios para todas las variables, por esta razón se modeló el Nivel de asignación de números aleatorios (Ver Fig. 67 y Fig. 68), a continuación las fórmulas utilizadas para ejecutar dicho nivel:

$$\text{Numero Aleatorio } mk = \text{RANDOM UNIFORM}(0,1, \text{Semilla}) : \text{para todo } m = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 33

$$\begin{aligned} & \text{Tasa de Asignación de Números } mjk = \\ & \text{IF THEN ELSE}(\text{Nivel de Acumulación de Tiempo } jk \geq 1, \text{Numero Aleatorio } mjk / \\ & \text{TIME STEP}, 0) + \text{IF THEN ELSE}(\text{Time} = 0, \text{Numero Aleatorio } mjk / \text{TIME STEP}, 0) : \\ & \text{para todo } m = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Ecuación 34

$$\begin{aligned} \text{Salida Numero para } mjk &= \text{DELAY FIXED}(\text{Tasa de Asignación de Numeros } mjk, 1, 0) \\ & : \text{para todo } m = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Ecuación 35

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

$$\text{Nivel de numero aleatorio para } m_k = \text{Nivel de numero aleatorio para } m + (\text{Tasa de Asigancion de Numeros } m_{jk} - \text{Salida Numero para } m_{jk}) * dt \quad : \text{ para todo } m = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 36

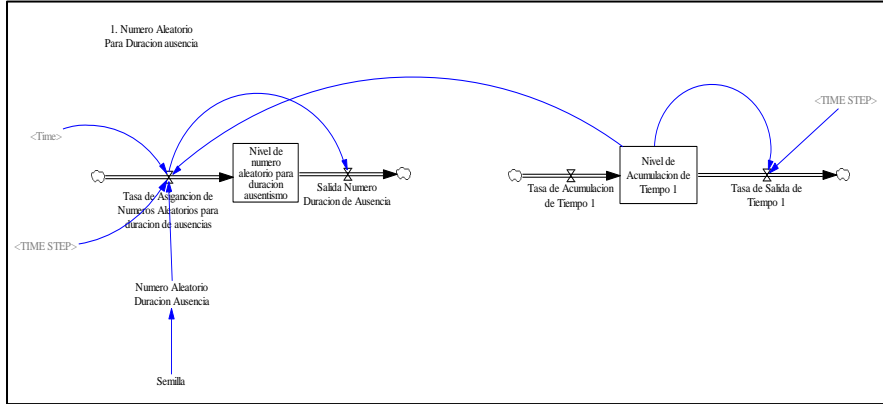


Fig. 67 Nivel de Asignación de Números Aleatorios.  
Fuente. Propia.

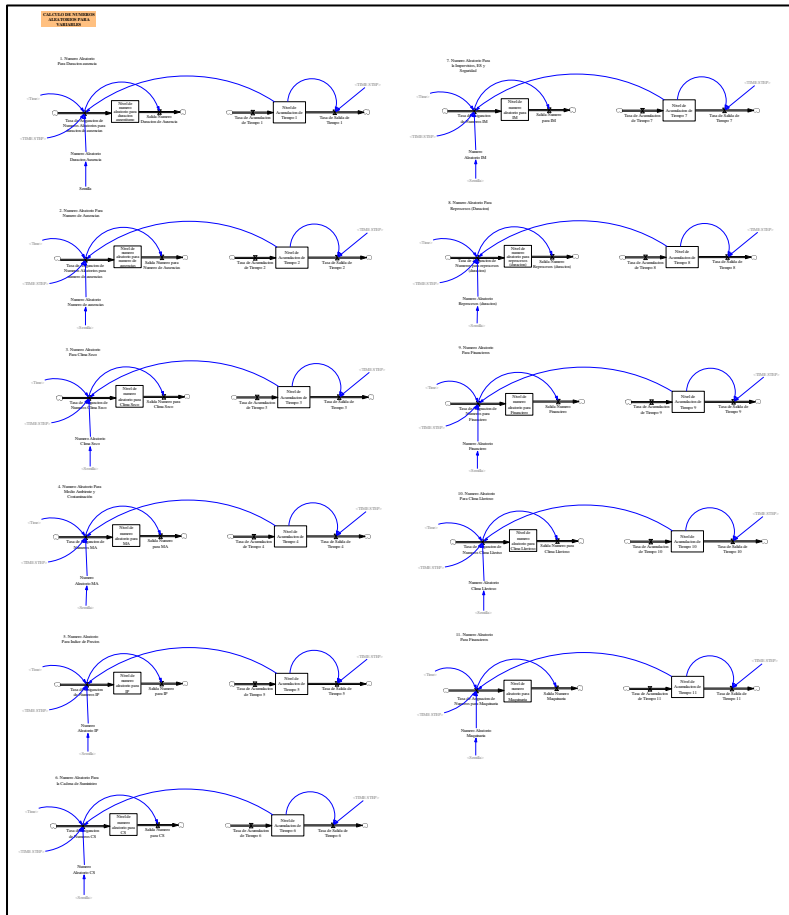


Fig. 68 Asignación de Números Aleatorios Requeridos para las Variables Exógenas y Endógenas.  
Fuente. Propia.

**Variables Exógenas.**

Para el clima se tomó de referencia el estudio presentado en el numeral 6.3.2, se modeló el impacto que tiene el clima sobre las actividades teniendo en cuenta que es una función de la temporada climática dependiendo de la temporada del año al igual que el nivel de lluvia dependiendo de dicha temporada, el modelo se presenta en la Fig. 69.

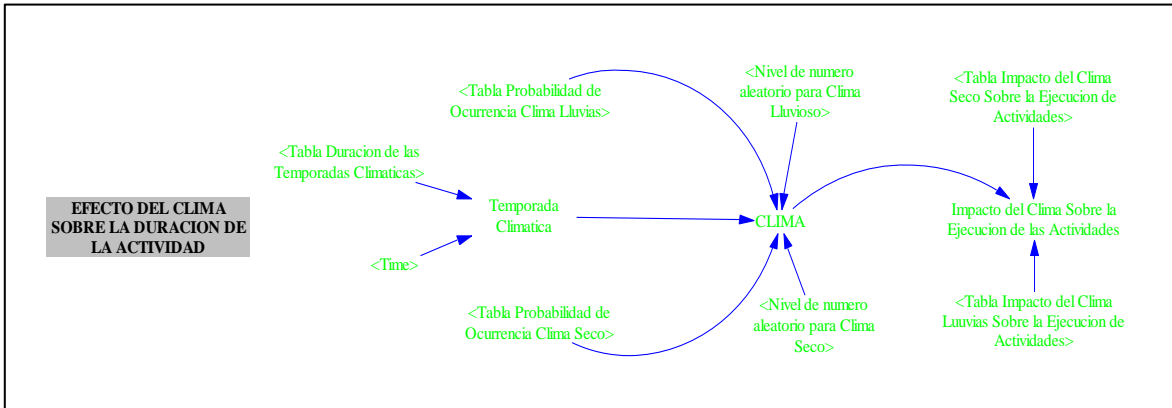


Fig. 69 Modelo de Cálculo del Impacto del Clima Sobre la Ejecución de las Actividades.  
Fuente. Propia.

Las fórmulas usadas para esta modelación se presentan a continuación:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Temporada Climática} = \\
 & (IF THEN ELSE(\textit{Tabla Duración de las Temporadas Climáticas}(\textit{Time}) = \\
 & 1,0, IF THEN ELSE(\textit{Tabla Duración de las Temporadas Climáticas}(\textit{Time}) = \\
 & 2,1, IF THEN ELSE(\textit{Tabla Duración de las Temporadas Climáticas}(\textit{Time}) = \\
 & 3,0, IF THEN ELSE(\textit{Tabla Duración de las Temporadas Climáticas}(\textit{Time}) = \\
 & 4,1, IF THEN ELSE(\textit{Tabla Duración de las Temporadas Climáticas}(\textit{Time}) = 5,0,1) ) ) ) ) ) ) \\
 & \text{Ecuación 37}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \textit{Impacto del Clima Sobre la Ejecucion de las Actividades} & = IF THEN ELSE(\textit{CLIMAK} \leq \\
 & 3, \textit{Tabla Impacto del Clima Seco Sobre la Ejecucion de Actividades}(\textit{CLIMAK}), \\
 & \textit{Tabla Impacto del Clima Luuvias Sobre la Ejecucion de Actividades}(\textit{CLIMAK}) ) \\
 & \text{Ecuación 38}
 \end{aligned}$$

Para las demás variables exógenas se tomó el mismo esquema de modelación; la variable a modelar en función de los datos de probabilidad de ocurrencia de la variable y la datos del impacto de la variable sobre la tasa de ejecución de las actividades (Ver Fig. 70 y Fig. 71).

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

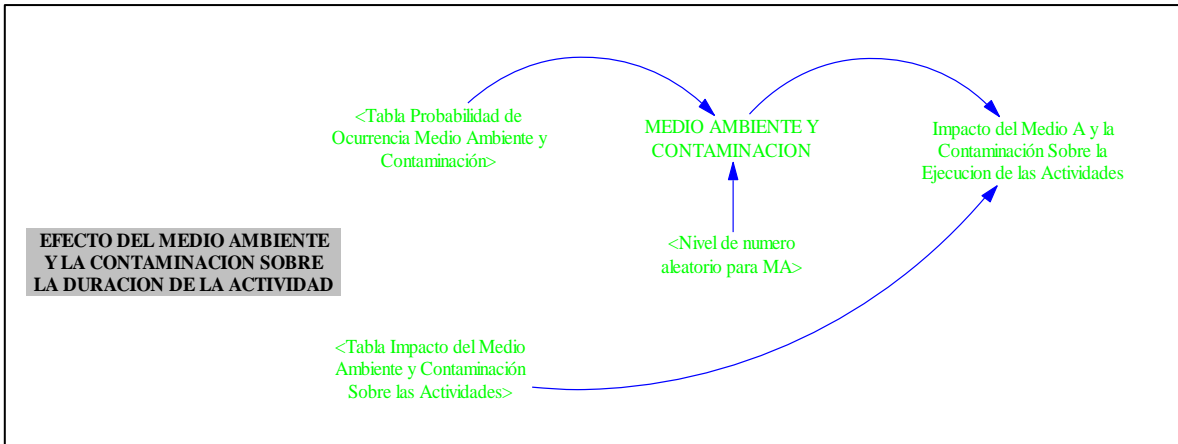


Fig. 70 Ejemplo Modelo de Cálculo del Impacto de Una Variable Exógena Sobre la Ejecución de las Actividades.  
Fuente. Propia.

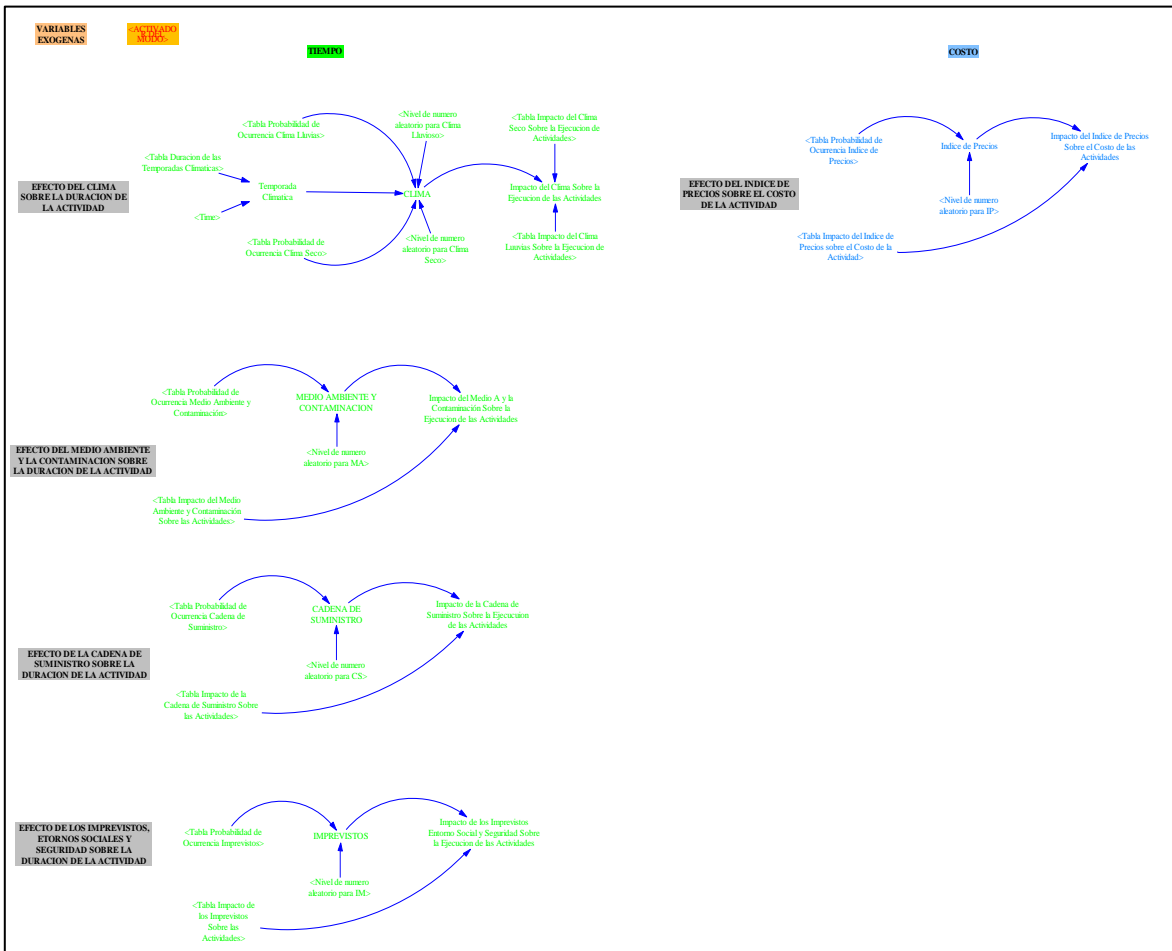


Fig. 71 Consolidación Modelos de Cálculo del Impacto de las Variables Exógenas Sobre la Ejecución de las Actividades.  
Fuente. Propia.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

A continuación se relacionan las fórmulas desarrolladas en esta etapa:

$$\begin{aligned}
 & \text{VARIABLE } mk = \\
 & \text{Tabla Probabilidad de Ocurrencia } mk(\text{Nivel de numero aleatorio para } mk) \\
 & : \text{ para todo } m = 1, 2, \dots, n \\
 & \text{Ecuación 39}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Impacto de } m \text{ sobre la Ejecución de las Actividades } k = \\
 & \text{Tabla Impacto de } m \text{ Sobre las Actividades}(\text{VARIABLE } mk) \\
 & : \text{ para todo } m = 1, 2, \dots, n \\
 & \text{Ecuación 40}
 \end{aligned}$$

### VARIABLES ENDÓGENAS.

Para las variables clasificadas como endógenas, se tomó el mismo esquema de modelación; la variable a modelar en función de los datos de probabilidad de ocurrencia de la variable y la datos del impacto de la variable sobre la tasa de ejecución de las actividades (Ver Fig. 72), a excepción de cuatro casos especiales que se modelaron independientemente, el ausentismo, la fatiga, el aprendizaje y la motivación.

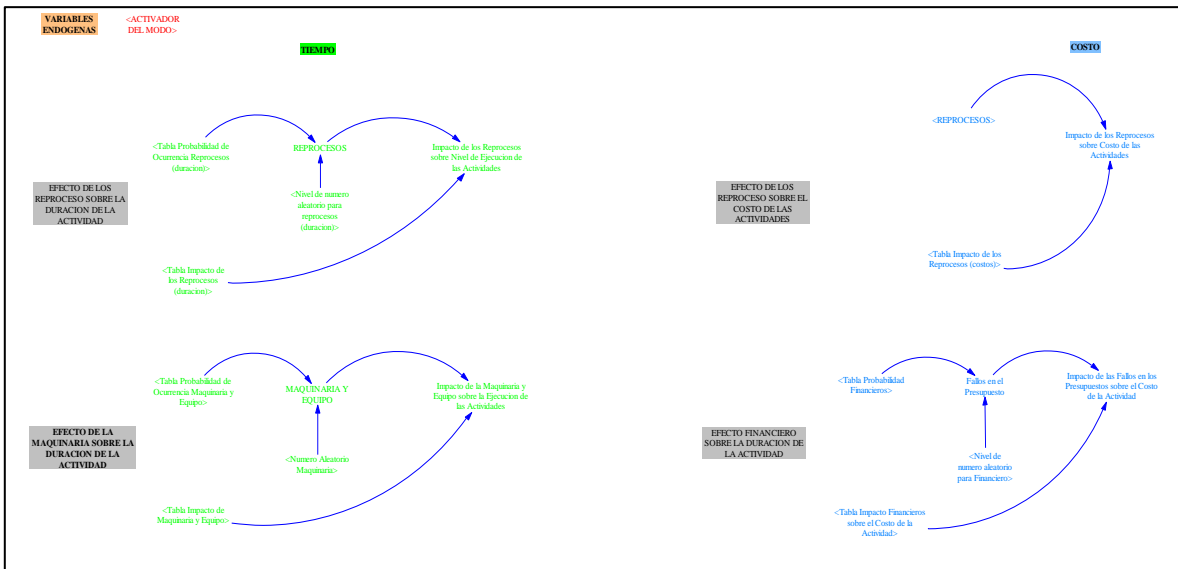


Fig. 72 Consolidación Modelos de Cálculo del Impacto de las Variables Endógenas Sobre la Ejecución de las Actividades.

Fuente. Propia.

Se presentan a continuación las ecuaciones desarrolladas para estas variables:

$$\begin{aligned}
 & \text{VARIABLE } pk \\
 & = \text{Tabla Probabilidad de Ocurrencia } pk(\text{Nivel de numero aleatorio para } pk) \\
 & : \text{ para todo } p = 1, 2, \dots, n. \\
 & \text{Ecuación 41}
 \end{aligned}$$

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

*Impacto de n sobre la Ejecución de las Actividadesk =  
 Tabla Impacto de p Sobre las Actividades(VARIABLE pk)  
 : para todo m = 1,2, ..., n.  
 Ecuación 42*

Para el caso particular del ausentismo se modela la relación entre la Disponibilidad del RR y la No Disponibilidad de este recurso a causa del ausentismo en relación al número de ausencias y el tiempo de ausencia (Ver Fig. 73).

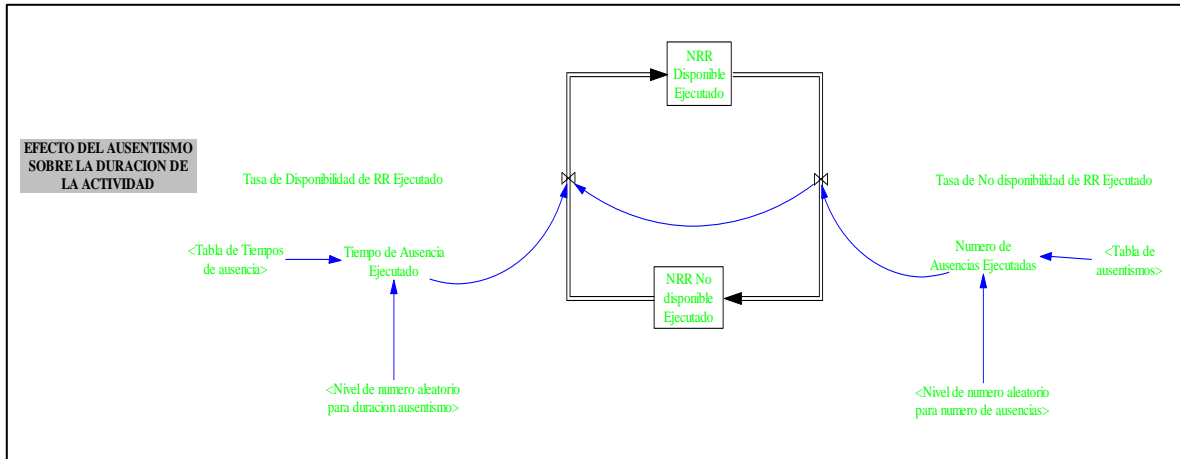


Fig. 73 Modelos de Cálculo del NRR y el Ausentismo.  
 Fuente. Propia.

Para esta sección del modelo se ejecutaron las siguientes ecuaciones

*Tiempo de Ausencia Ejecutadok =  
 Tabla de Tiempos de ausencia(Nivel de numero aleatorio para duracion ausentismok)  
 Ecuación 43*

*Tasa de Disponibilidad de RR Ejecutadok =  
 DELAY FIXED(Tasa de No disponibilidad de RR Ejecutadok, Tiempo de Ausencia Ejecutadok, 0)  
 Ecuación 44*

*Numero de Ausencias Ejecutadask =  
 Tabla de ausentismos(Nivel de numero aleatorio para número de ausenciask)  
 Ecuación 45*

*Tasa de No disponibilidad de RR Ejecutadok = Numero de Ausencias Ejecutadasjk  
 Ecuación 46*

*NRR Disponible Ejecutadok =  
 NRR Disponible Ejecutadok + ( Tasa de Disponibilidad de RR Ejecutadok –  
 Tasa de No disponibilidad de RR Ejecutadok) \* dt  
 Ecuación 47*



## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

$$NRR \text{ No disponible Ejecutado} = NRR \text{ No disponible Ejecutado} + (Tasa \text{ de No disponibilidad de RR Ejecutado} - Tasa \text{ de Disponibilidad de RR Ejecutado}) * dt$$

Ecuación 48

Por otra parte para modelar las variables de Nivel de Fatiga, el Nivel de Aprendizaje y el Nivel de Motivación del RR durante el proyecto es requerido, en primera instancia modelar la discrepancia y las estrategias o modos de control en función de dicha discrepancia y la política de tolerancia para dicha discrepancia (Ver Fig. 74 y Fig. 75).

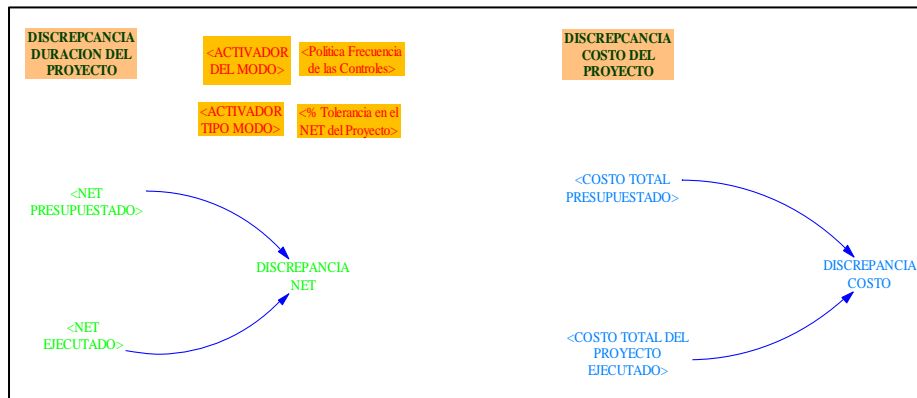


Fig. 74 Modelo de Cálculo de la Discrepancia.  
Fuente. Propia.

Los niveles de discrepancia fueron calculados a partir de las siguientes fórmulas:

$$DISCREPANCIA NET_k = NET PRESUPUESTADO_k - NET EJECUTADO_k$$

Ecuación 49

$$DISCREPANCIA COSTO_k = COSTO TOTAL DEL PROYECTO EJECUTADO_k - COSTO TOTAL PRESUPUESTADO_k$$

Ecuación 50

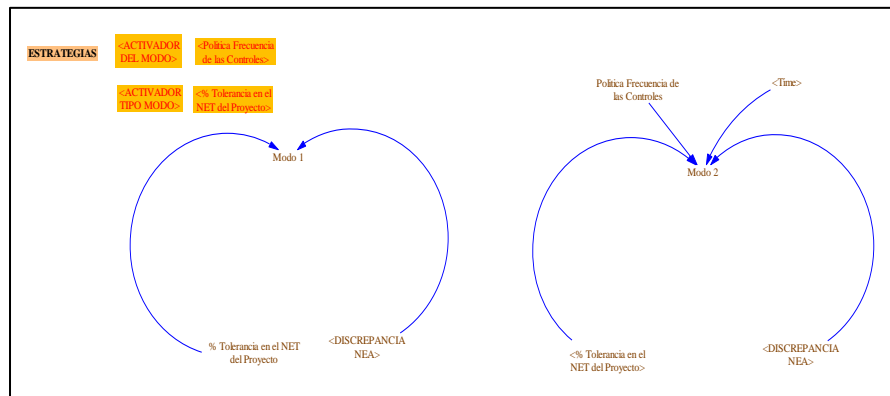


Fig. 75 Modelación Modos de ejecución de las Estrategias de Control.  
Fuente. Propia.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Las ecuaciones para el cálculo de los modos de operación están basadas en una jornada extra máxima de 2 horas por día, teniendo en cuenta este enunciado se formularon las ecuaciones para los modos de operación:

$$\text{Modo } 1k = \text{IF THEN ELSE} (\text{DISCREPANCIA NET}k \geq \text{"\% Tolerancia en el NET del Proyecto"}, 2, 0)$$

Ecuación 51

$$\text{Modo } 2k = \text{IF THEN ELSE} (\text{modulo}(\text{Time}, \text{Política Frecuencia de las Controles}) = 0 : \text{AND: DISCREPANCIA NET}k \geq \text{"\% Tolerancia en el NET del Proyecto"}, 2, 0)$$

Ecuación 52

El modelo para el cálculo de Horas extras para modo 2 se presenta a continuación.

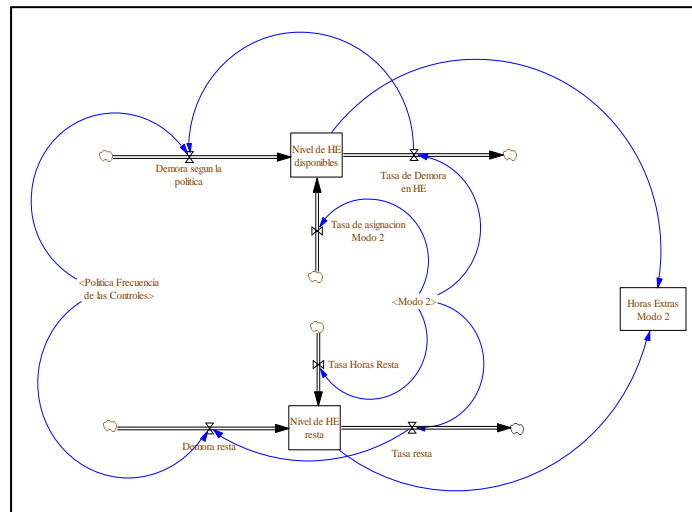


Fig. 76 Modelación ejecución de Horas Extras en el Modo2.  
Fuente. Propia.

Se presentan las ecuaciones para el cálculo de las horas extras en función del modo 2:

$$\text{Demora según la política}jk = \text{DELAY FIXED} (\text{Tasa de Demora en HE}jk, \text{Política Frecuencia de las Controles}, 0)$$

Ecuación 53

$$\text{Tasa de asignación Modo } 2jk = \text{IF THEN ELSE}(\text{Modo } 2j = 2, 1, 0)$$

Ecuación 54

$$\text{Tasa de Demora en HE}jk = \text{IF THEN ELSE}(\text{Modo } 2j = 2, 1, 0)$$

Ecuación 55

$$\text{Nivel de HE disponibles}k = \text{Nivel de HE disponibles}j + (\text{Demora según la política} + \text{Tasa de asignación Modo } 2 - \text{Tasa de Demora en HE})jk * dt$$

Ecuación 56

*Para Nivel de HE disponibles<sub>k</sub>  
Valor inicial de Nivel de HE resta = -2  
Ecuación 57*

*Horas Extras Modo 2<sub>k</sub> = Nivel de HE disponibles<sub>k</sub> - Nivel de HE resta<sub>k</sub>  
Ecuación 58*

Teniendo en cuenta el modo de operación y el nivel de horas extras que se generan de acuerdo al modo, se modeló el nivel de fatiga el cual depende y es función de estas horas extras generadas, adicionalmente se tuvo en cuenta el cálculo del costo de dichas horas extras como indicador del costo del modo de ejecución (Ver Fig. 23) y cuyas ecuaciones se presentan a continuación:

*HORAS EXTRAS<sub>k</sub> = IF THEN ELSE (ACTIVADOR DEL MODO<sub>k</sub> =  
0,0,IF THEN ELSE(ACTIVADOR TIPO MODO<sub>k</sub> =  
1,Modo 1<sub>k</sub>,IF THEN ELSE(ACTIVADOR TIPO MODO<sub>k</sub> = 2,Horas Extras Modo 2<sub>k</sub>,0)))  
Ecuación 59*

*TASA DE INCREMENTO DE LA FATIGA<sub>jk</sub> = IF THEN ELSE(FATIGA<sub>jk</sub> <=  
100,Tabla Efecto de las HE sobre la Fatiga(HORAS EXTRAS<sub>jk</sub>),0)  
Ecuación 60*

*FATIGA<sub>k</sub> = FATIGA<sub>j</sub> + TASA DE INCREMENTO DE LA FATIGA<sub>jk</sub> \* dt  
Ecuación 61*

*Impacto de Fatiga Sobre la Ejecucion de las Actividades<sub>k</sub> =  
Tabla Efecto de la Fatiga Sobre la Ejecucion de las Actividades(FATIGA<sub>k</sub>)  
Ecuación 62*

*"COSTO DE HE EJECUTADO (COSTO DEL MODO)"<sub>k</sub> =  
COSTO DE LA HE \* HORAS EXTRAS<sub>k</sub> \* TASA DE MANO DE OBRA EJECUTADA<sub>k</sub>  
Ecuación 63*

Por último se tuvo en cuenta el impacto que tiene la fatiga sobre la ejecución de las actividades (Ver Fig. 77).

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

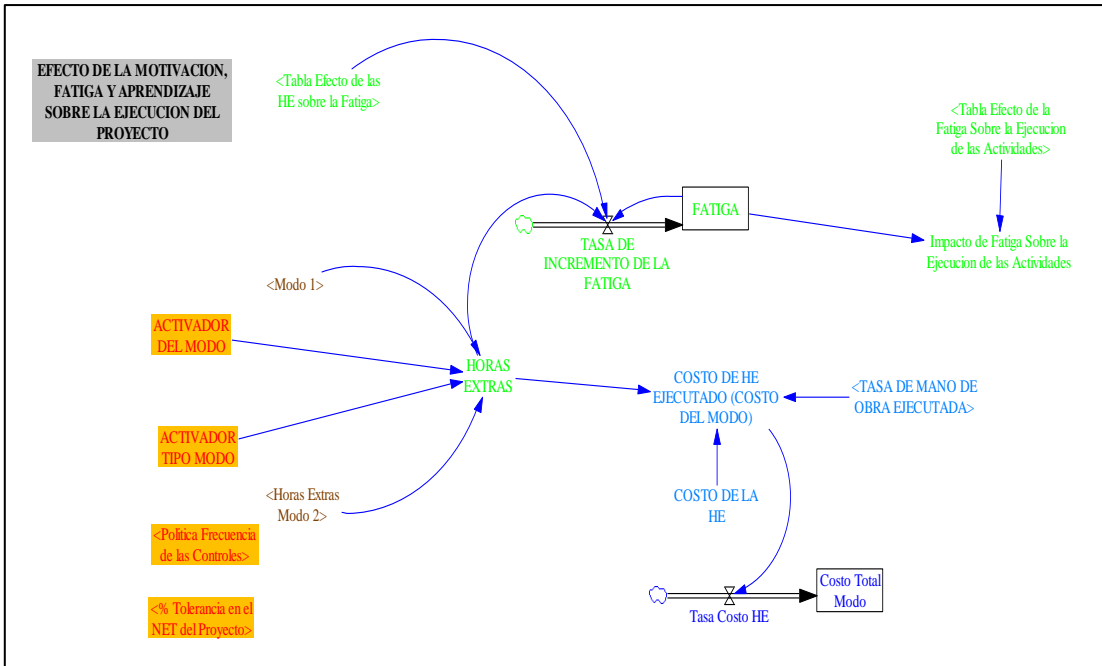


Fig. 77 Modelo de Cálculo del Nivel de Fatiga.  
Fuente. Propia.

El Nivel de Motivación del RR en el proyecto es función del estado de motivación del personal el cual depende a su vez de la discrepancia que existe entre lo presupuestado y lo ejecutado, a menor discrepancia el personal se sentirá motivado y esto subirá el rendimiento de ejecución de las actividades, adicionalmente se tienen en cuenta que la motivación depende también de la política de incentivos que tienen la empresa cuando el nivel de discrepancia es inferior a la tolerancia permitida, al igual, el efecto que tienen las horas extras como ingreso monetario adicional y el efecto de la fatiga como factor de desmotivación de los trabajadores (Ver Fig. 78 ).

Las ecuaciones que enmarcan el nivel de motivación son:

$$\begin{aligned}
 & \text{Política de Incentivos en Función de la Discrepancia} = \\
 & \text{IF THEN ELSE (ACTIVADOR POLITICA DE INCENTIVOS} = \\
 & \quad 0,0, \text{IF THEN ELSE (ACTIVADOR DEL MODO} = \\
 & \quad 0,0, \text{IF THEN ELSE (ACTIVADOR TIPO MODO} = \\
 & \quad 2, \text{IF THEN ELSE (DISCREPANCIA NEA} < \\
 & \quad \text{"\% Tolerancia en el NET del Proyecto", 1 ,0),0)))
 \end{aligned}$$

Ecuación 64

$$\begin{aligned}
 & \text{ESTADO DE MOTIVACION} = \\
 & \text{Tabla Nivel de Motivación Función Discrepancia(DISCREPANCIA NEA)
 \end{aligned}$$

Ecuación 65

$$\begin{aligned}
 TASA\ MOTIVACION_{jk} = & IF\ THEN\ ELSE(NIVEL\ MOTIVACION_j \geq \\
 100, & 0, IF\ THEN\ ELSE(Tabla\ Efecto\ del\ los\ Incentivos\ sobre\ la\ Motivación(Política \\
 & de\ Incentivos\ en\ Función\ de\ la\ Discrepancia) = \\
 & 0, Tabla\ Efecto\ de\ las\ HE\ Sobre\ la\ Motivación(HORAS\ EXTRAS_{jk}) * \\
 & Tabla\ Efecto\ del\ Nivel\ de\ Aprendizaje\ Sobre\ la\ Motivación\ (NIVEL\ DE \\
 & APRENDIZAJE_{jk}) * \\
 & Tabla\ Efecto\ del\ Estado\ de\ Motivación\ Sobre\ Motivación\ (ESTADO\ DE \\
 & MOTIVACION_{jk}), \\
 & Tabla\ Efecto\ de\ las\ HE\ Sobre\ la\ Motivación\ (HORAS\ EXTRAS_{jk}) * \\
 & Tabla\ Efecto\ del\ Nivel\ de\ Aprendizaje\ Sobre\ la\ Motivación\ (NIVEL\ DE \\
 & APRENDIZAJE_{jk}) * \\
 & Tabla\ Efecto\ del\ los\ Incentivos\ sobre\ la\ Motivación(Política\ de\ Incentivos\ en \\
 & Función\ de\ la\ Discrepancia_{jk}) * \\
 & Tabla\ Efecto\ del\ Estado\ de\ Motivación\ Sobre\ Motivación\ (ESTADO\ DE \\
 & MOTIVACION_{jk})) \\
 & Ecuación\ 66
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 TASA\ DESMOTIVACION_{jk} = & IF\ THEN\ ELSE(NIVEL\ MOTIVACION_j < \\
 0, & 0, IF\ THEN\ ELSE(Tabla\ del\ Efecto\ de\ la\ Fatiga\ Sobre\ la\ Motivación(FATIGA_{jk}) = \\
 & 0, Tabla\ Nivel\ de\ Desmotivación\ en\ Función\ de\ Discrepancia(DISCREPANCIA \\
 & NEA_{jk}), Tabla\ del\ Efecto\ de\ la\ Fatiga\ Sobre\ la\ Motivación(FATIGA) * \\
 & Tabla\ Nivel\ de\ Desmotivación\ en\ Función\ de\ Discrepancia(DISCREPANCIA\ NEA_{jk})) \\
 & Ecuación\ 67
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NIVEL\ MOTIVACION_k = \\
 NIVEL\ MOTIVACION_j + (TASA\ MOTIVACION_{jk} - TASA\ DESMOTIVACION_{jk}) * dt \\
 Ecuación\ 68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Impacto\ de\ Motivación\ Sobre\ la\ Ejecución\ de\ las\ Actividades_k = \\
 Tabla\ Efecto\ de\ la\ Motivación\ Sobre\ la\ Ejecución\ de\ las\ Actividades \\
 (NIVEL\ MOTIVACION_k) \\
 Ecuación\ 69
 \end{aligned}$$

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

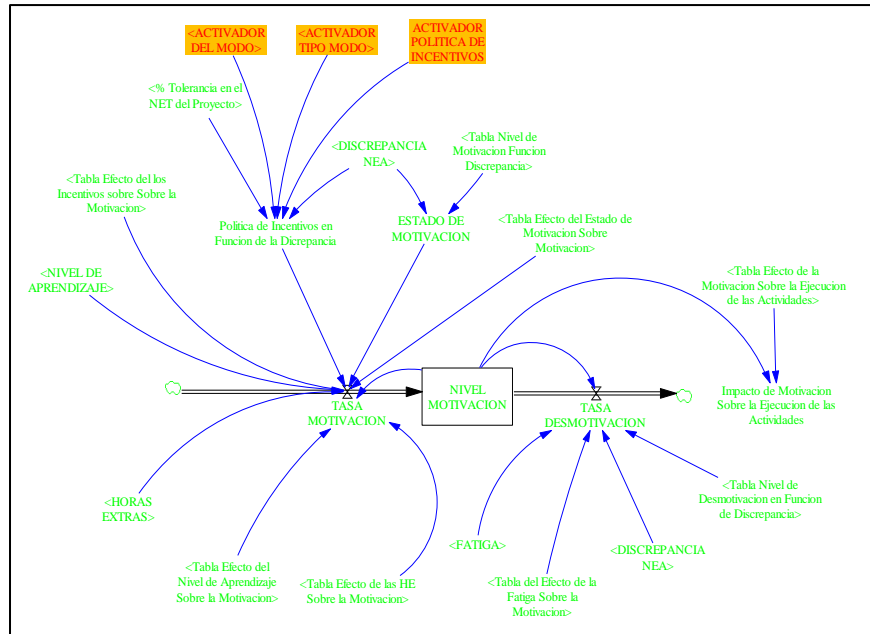


Fig. 78 Modelo de Cálculo Nivel de Motivación.  
Fuente. Propia.

La última de las Variables Endógenas modelada fue el nivel de aprendizaje, cuyo impacto sobre las actividades viene definido por el nivel de fatiga, ya que entre más fatigados se encuentra el personal, su capacidad de aprendizaje se ve mermado. A su vez el nivel de aprendizaje depende del tiempo transcurrido del proyecto, a medida que el proyecto transcurre el personal se siente cómodo con las actividades y su nivel de conocimiento de las mismas se incrementa, provocando que el desarrollo de las actividades se ejecute de manera más rápida. El modelo se puede observar en la Fig. 79.

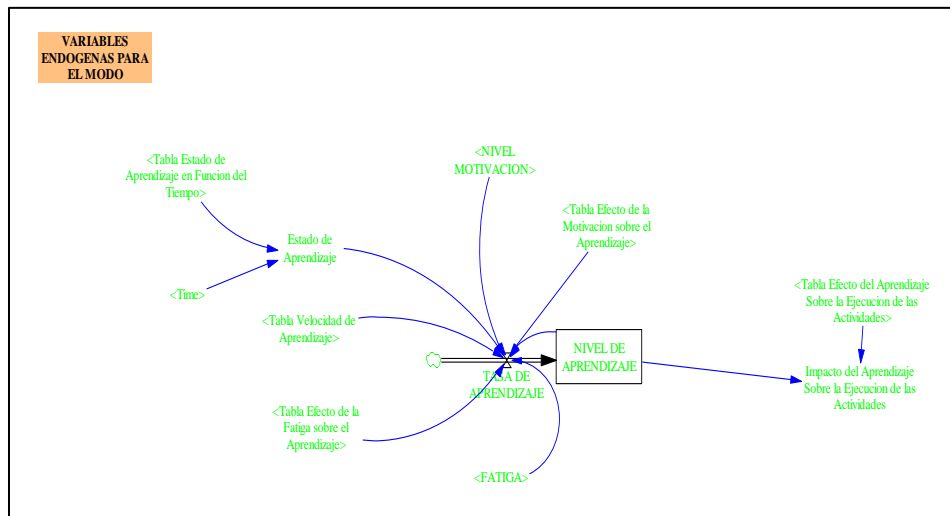


Fig. 79 Modelo de Cálculo Nivel de Aprendizaje.  
Fuente. Propia.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Las fórmulas para el nivel de aprendizaje se contemplan a continuación.

*Estado de Aprendizaje* = *Tabla Estado de Aprendizaje en Función del Tiempo*(Timek)  
Ecuación 70

$TASA\ DE\ APRENDIZAJE_{jk} = IF\ THEN\ ELSE(NIVEL\ DE\ APRENDIZAJE_{jk} \leq 100, Tabla\ Velocidad\ de\ Aprendizaje(Estado\ de\ Aprendizaje_{jk})/30 * Tabla\ Efecto\ de\ la\ Fatiga\ sobre\ el\ Aprendizaje(FATIGA_{jk}) * Tabla\ Efecto\ de\ la\ Motivación\ sobre\ el\ Aprendizaje(NIVEL\ MOTIVACION_{jk}), 0)$   
Ecuación 71

$NIVEL\ DE\ APRENDIZAJE_k = NIVEL\ DE\ APRENDIZAJE_j + TASA\ DE\ APRENDIZAJE_{jk} * dt$   
Ecuación 72

*Impacto del Aprendizaje Sobre la Ejecución de las Actividades* =  
*Tabla Efecto del Aprendizaje Sobre la Ejecución de las Actividades*  
(NIVEL DE APRENDIZAJE<sub>k</sub>)  
Ecuación 73

### Variabilidad, Impacto de las Variables sobre las la ENTAi.

Para esta etapa del modelo se tuvo en cuenta la Tabla 22 y la Tabla 35 donde se referencian el impacto de las variables sobre la diversas actividades del proyecto; se calculó la Variabilidad de cada actividad (VARA<sub>i</sub> E), en función de los impactos definidos en los numerales 6.3.2 y 6.3.3 y en las secciones anteriores, es indispensable recordar que esta variable (VAR<sub>i</sub> E) va asociada a la ENTA<sub>i</sub> (Ver Fig. 80).

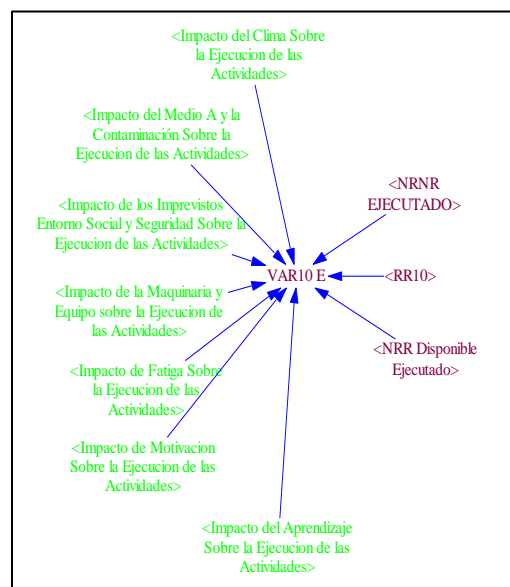


Fig. 80 Cálculo Variabilidad de la Actividad 10.  
Fuente. Propia.

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

$$\begin{aligned}
 VARiEk = & \\
 & IF THEN ELSE(NRRN EJECUTADOk > 0,1,0) * \\
 & IF THEN ELSE(NRR Disponible Ejecutadok \geq R Ri, 1, 0) * \\
 \prod_{m=1}^n IF THEN ELSE(Impacto de m Sobre la Ejecuci3n de las Actividadesk = & \\
 & 0,1, Impacto de m Sobre la Ejecuci3n de las Actividadesk) * \\
 \prod_{p=1}^n IF THEN ELSE(Impacto de p Sobre la Ejecuci3n de las Actividadesk = & \\
 & 0,1, Impacto de p Sobre la Ejecuci3n de las Actividadesk) \\
 & : para todo i = 1,2, \dots, n \\
 & Ecuaci3n 74
 \end{aligned}$$

En el Anexo 9. (Presentaci3n Consolidado de VARi E) se presentan los consolidados ejecutados para la variabilidad de cada actividad.

## Nivel de Ejecuci3n total Ejecutado y Tiempo de Ejecuci3n del Proyecto.

Se model3 el tiempo total ejecutado en funci3n de la TEPT Ejecutada, que a su vez es funci3n de TEAi E y Wi (Ver Fig. 81)

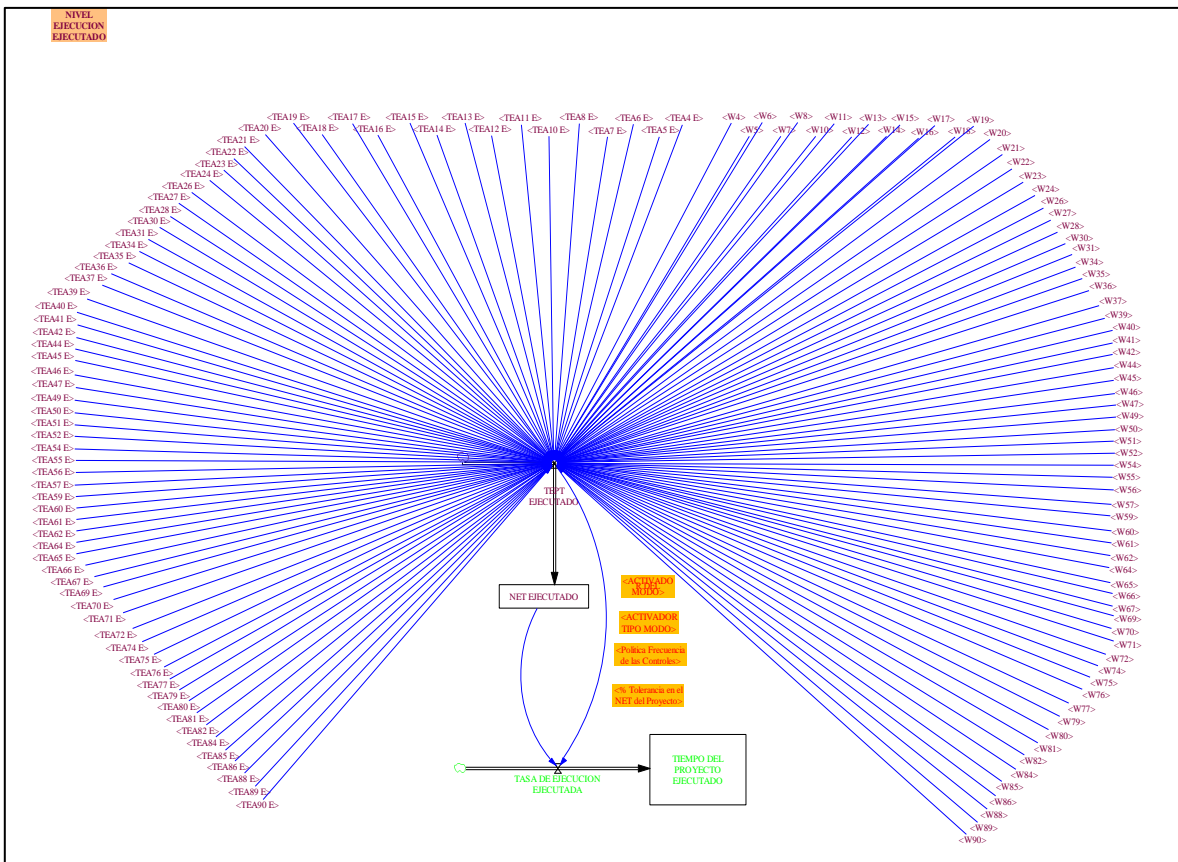




Fig. 81 Modelo de Cálculo para el Nivel de Ejecución Total Ejecutado y El Tiempo Total Ejecutado.

Fuente. Propia.

A continuación se relacionan las ecuaciones desarrolladas en esta etapa:

$$TEPT\ EJECUTADO_{jk} = \sum_{i=1}^n TEA_{iEjk} * W_i$$

Ecuación 75

$$NET\ EJECUTADO_k = NET\ EJECUTADO_j + TEPT\ EJECUTADO_{jk} * dt$$

Ecuación 76

$$TASA\ DE\ EJECUCION\ EJECUTADA_{jk} = IF\ THEN\ ELSE(TEPT\ EJECUTADO_{jk} > 0: OR: (NET\ EJECUTADO_{jk} > 0: AND: NET\ EJECUTADO_{jk} < 100), 1, 0)$$

Ecuación 77

$$TIEMPO\ DEL\ PROYECTO\ EJECUTADO_k = TIEMPO\ DEL\ PROYECTO\ EJECUTADO_j + TASA\ DE\ EJECUCION\ EJECUTADA_{jk} * dt$$

Ecuación 78

**Ruta Crítica Ejecutada.**

Se tuvo en cuenta como Indicador de seguimiento la Duración de la Ruta Crítica Ejecutada (Ver Fig. 82).

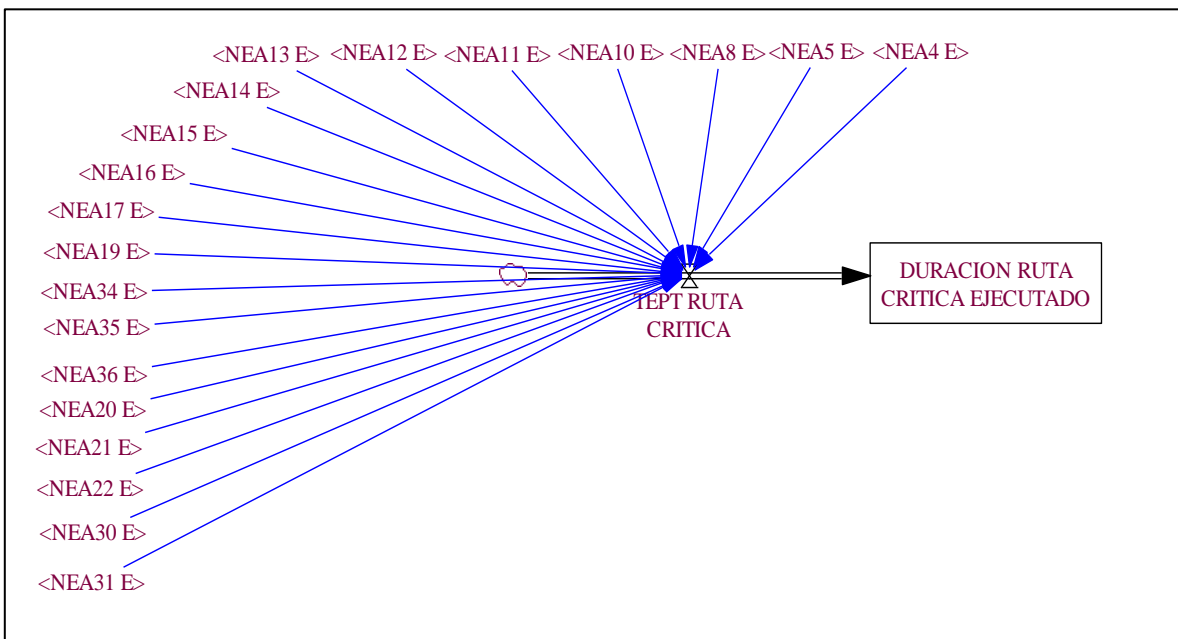


Fig. 82 Modelo Cálculo de la Duración de la Ruta Crítica.

Fuente. Propia.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Las ecuaciones desarrolladas para este indicador son:

$$TEPT RUTA CRITICAjk = \sum_{i=1}^n (IF THEN ELSE(NEAiEj > 0: AND:NEAiEj < 100,1,0))$$

Ecuación 79

$$DURACION RUTA CRITICA EJECUTADOk = DURACION RUTA CRITICA EJECUTADOj + TEPT RUTA CRITICAjk * dt$$

Ecuación 80

### Nivel de Costo Acumulado Ejecutado.

En esta etapa se relacionaron La Tasa de Desembolsos Ejecutados para el proyecto, la tasa de Ejecución de las Actividades así como el valor del RNR de cada actividad con el fin de determinar la Tasa de Ejecución del costo Ejecutado (Ver Fig. 83) y el respectivo Costo Total Ejecutado mediante el modelo desarrollado en la Fig. 84.

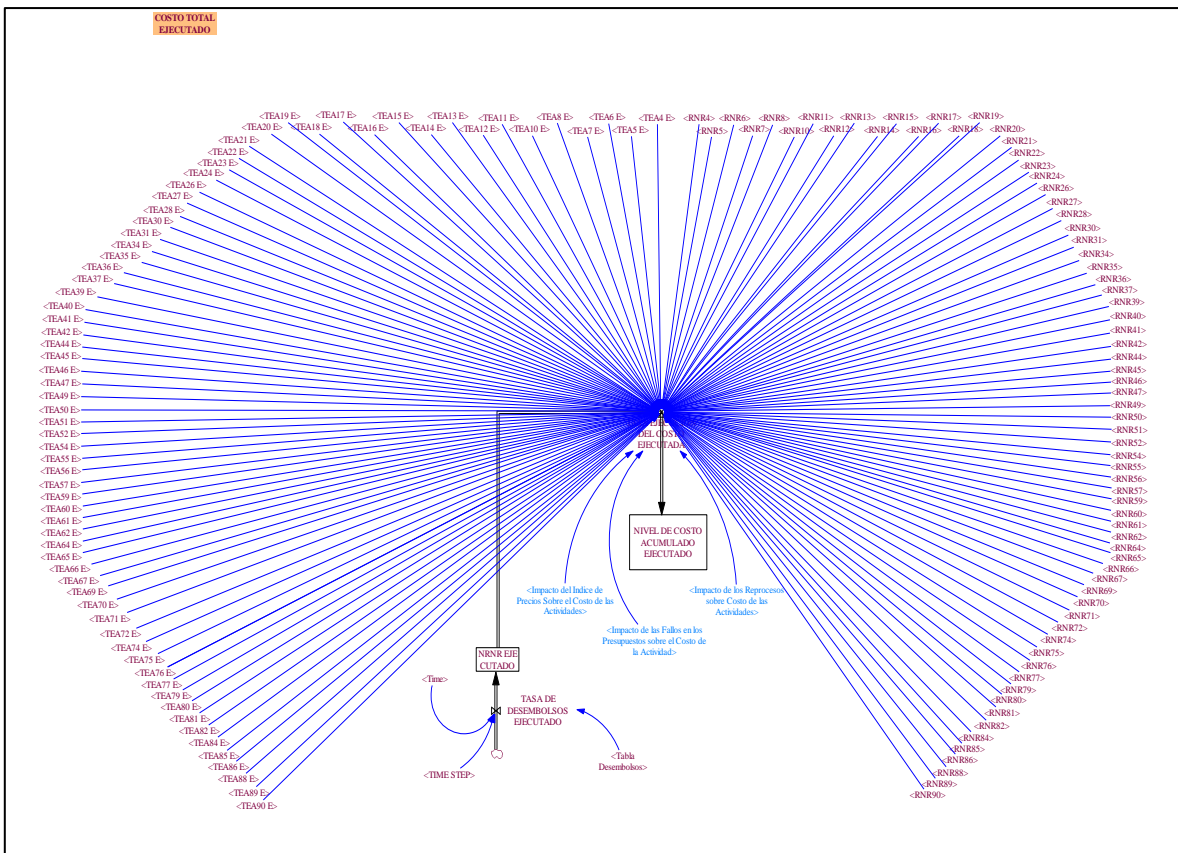


Fig. 83 Modelo Cálculo del Nivel del Costo ejecutado del Proyecto.  
Fuente. Propia.

A continuación se relacionan las ecuaciones desarrollada para esta variable:

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

$$TASA DE DESEMBOLSOS EJECUTADOk = Tabla Desembolsos (Timek) / TIME STEP$$

Ecuación 81

$$NRNR EJECUTADOk = NRNR EJECUTADOj + (TASA DE DESEMBOLSOS EJECUTADOjk - TASA DE EJECUCION DEL COSTO EJECUTADOjk) * dt$$

Ecuación 82

$$TASA EJECUCION DEL COSTO EJECUTADA = \sum_{i=1}^n (IF THEN ELSE (TEAiE > 0, (TEAiE * RNRi * (\prod_{q=1}^n (IF THEN ELSE (Impacto de q Sobre el Costo de las Actividades = 0,1, (Impacto de q Sobre el Costo de las Actividades = 0,1) / 100)), 0))$$

Ecuación 83

$$NIVEL DE COSTO ACUMULADO EJECUTADOk = NIVEL DE COSTO ACUMULADO EJECUTADOj + TASA EJECUCION DEL COSTO EJECUTADA jk * dt$$

Ecuación 84

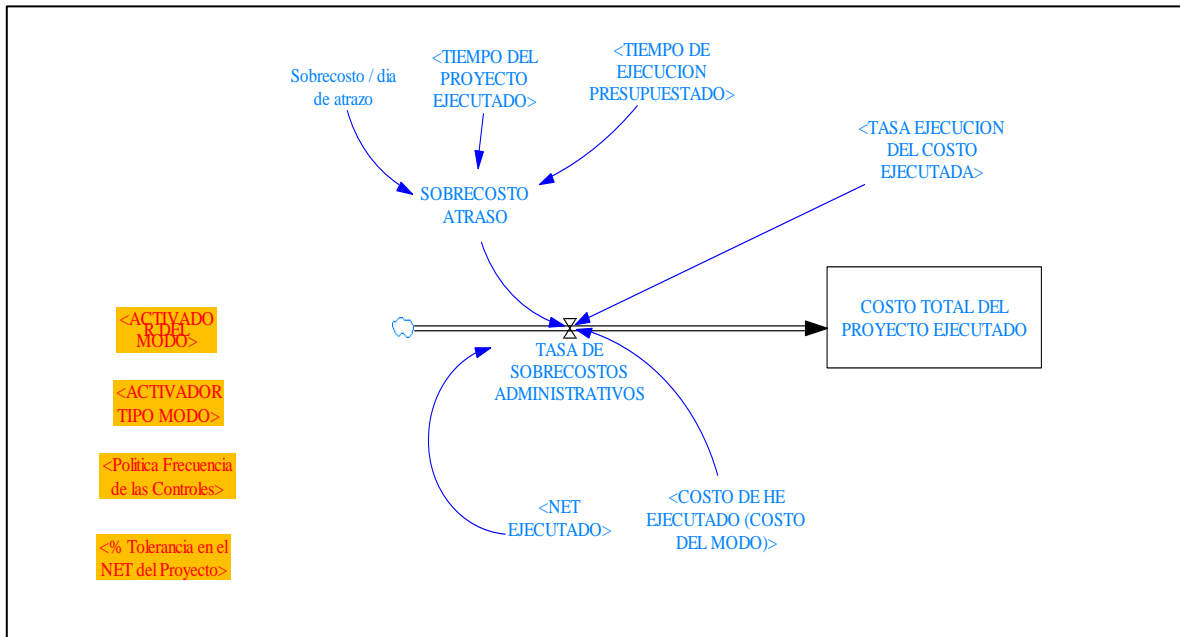


Fig. 84 Costo Total Ejecutado del Proyecto.  
Fuente. Propia.

Las ecuaciones para el cálculo del Costo Total se relacionan a continuación:

$$SOBRECOSTO ATRASOk = IF THEN ELSE ((TIEMPO DEL PROYECTO EJECUTADOk - TIEMPO DE EJECUCION PRESUPUESTADOk) < 0,0, (TIEMPO DEL PROYECTO EJECUTADOk - TIEMPO DE EJECUCION PRESUPUESTADOk) * "Sobrecosto / día de atrazo")$$

Ecuación 85

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

$$TASA DE SOBRECOSTOS ADMINISTRATIVOS_{jk} = IF THEN ELSE(NET EJECUTADO_{jk} > 100,0, SOBRECOSTO ATRASO_{jk} + "COSTO DE HE EJECUTADO (COSTO DEL MODO_{jk})" + TASA EJECUCION DEL COSTO EJECUTADA_{jk})$$

Ecuación 86

$$COSTO TOTAL DEL PROYECTO EJECUTADO_k = COSTO TOTAL DEL PROYECTO EJECUTADO_j + TASA DE SOBRECOSTOS ADMINISTRATIVOS * dt$$

Ecuación 87

**Tasa de Disponibilidad e Mano de Obra Ejecutada.**

Para finalizar el modelo se relaciona la Tasa de Ejecución de Cada Actividad en función con el requerimiento de RR con el fin de tener la Tasa de Obra Ejecutada durante la ejecución del proyecto (Ver Fig. 85).

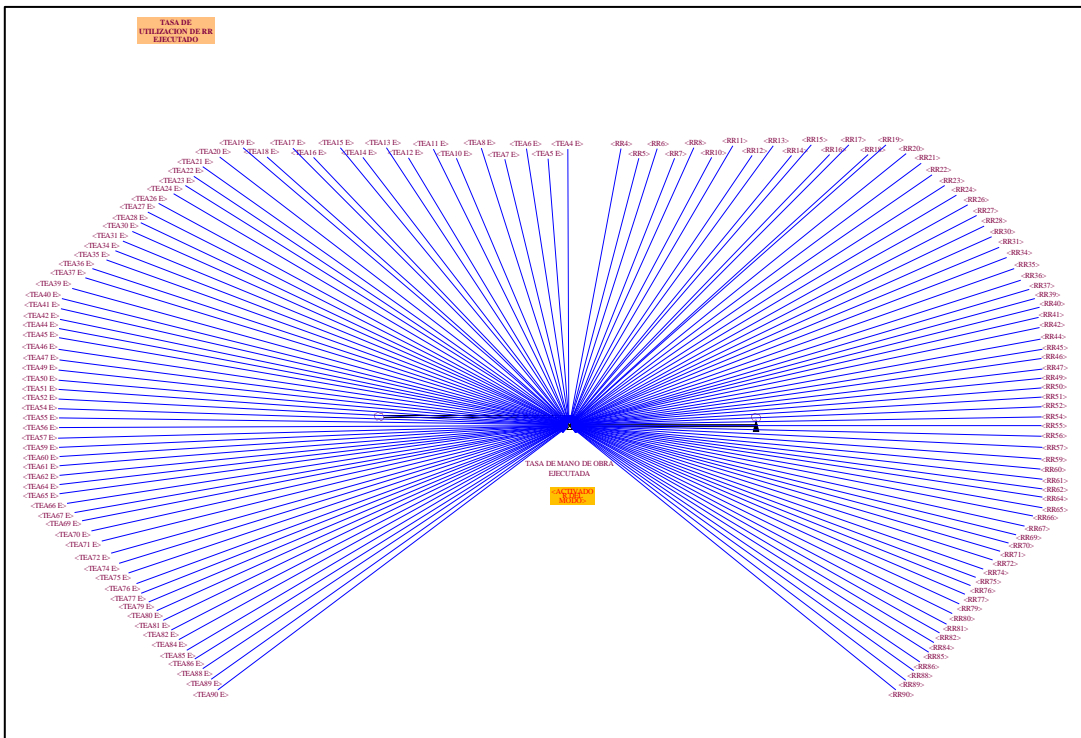


Fig. 85 Modelo de Cálculo Para la Tasa de Mano de Obra Ejecutada.  
Fuente. Propia.

La ecuación para tal fin se presenta a continuación:

$$TASA DE MANO DE OBRA EJECUTADA_{jk} = \sum_{i=1}^n IF THEN ELSE (TEAiE_{jk} > 0, R Ri, 0)$$

Ecuación 88

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

### 6.8 Validación del Modelo.

Para la validación del modelo desarrollado se tomó como base la revisión del nivel de ejecución del proyecto como variable respuesta y la política actual de control cuya frecuencia es de 30 días.

Se hicieron 5 corridas del modelo con valores de semilla de 0, 1000, 2000, 3000, 4000 y a partir del análisis de intervalos de confianza con una confiabilidad del 95% y un  $Z_{\alpha/2}=1.645$ , se calcularon la media de la muestra ( $\mu$ ), la desviación estándar ( $\sigma$ ) y los límites de confianza (Ver Ecuación 89).

$$LC = \mu \pm Z_{\alpha/2} * \sigma/\sqrt{n}$$

Ecuación 89

Obsérvese que el intervalo de confianza viene dado por la media muestral ( $\mu$ )  $\pm$  el producto del valor crítico  $Z_{\alpha/2}$  multiplicado por el error estándar ( $\sigma/\sqrt{n}$ ).

Los valores de NET Real fueron tomados del Reporte mensual de Interventora (Ver Anexo 10. Ejemplo de Informe de Estado de Avance (NEP Ejecutado)) y el consolidado de los datos calculados se presentan en la Tabla 34 y en la Gráfica 2.

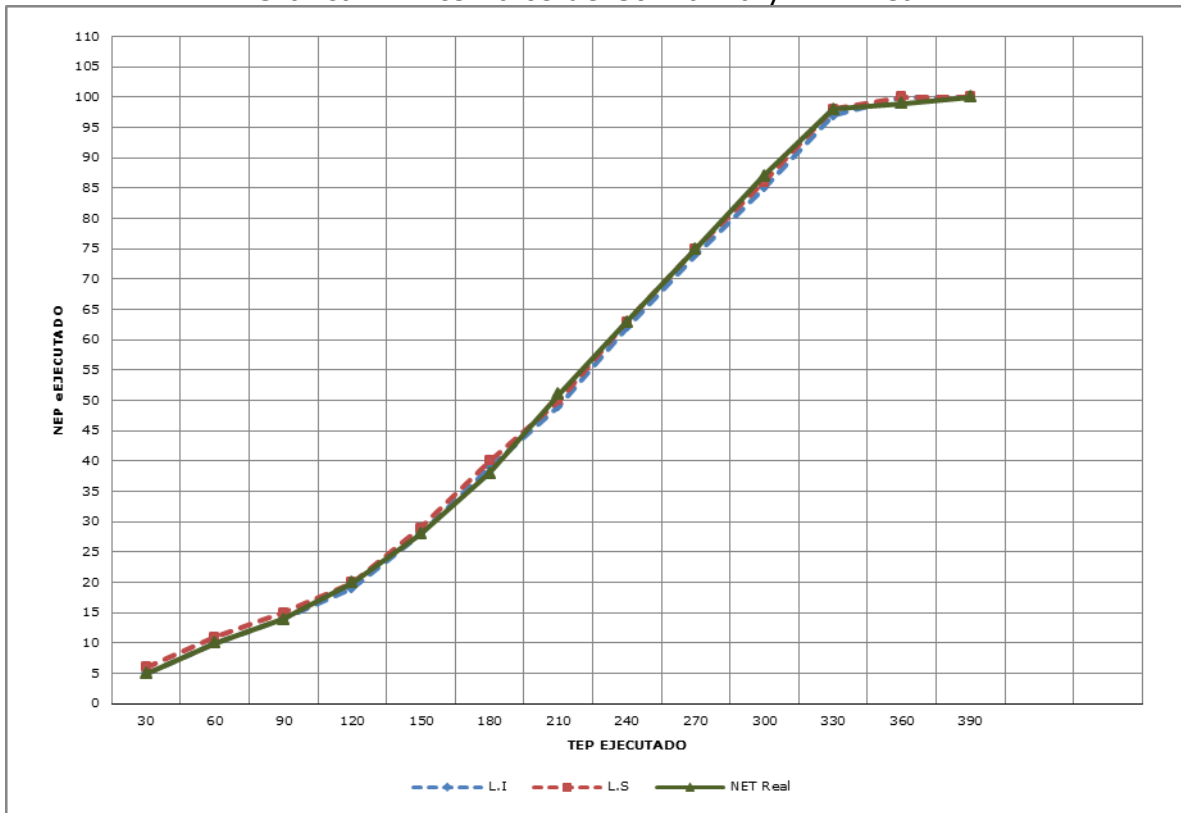
Tabla 34. Tabla de Resultados Validación del Modelo.

TEP Ejecutado	NET PROYECTO									
	Semilla 0	Semilla 1000	Semilla 2000	Semilla 3000	Semilla 4000	$\mu$	$\sigma$	L.I	L.S	NET Real
30	5,957	5,745	5,982	5,976	5,662	5,864	0,150	5,754	5,975	5,000
60	10,281	10,037	10,256	10,309	9,906	10,158	0,177	10,027	10,288	10,000
90	14,599	14,463	14,738	14,607	14,211	14,523	0,200	14,376	14,670	14,000
120	20,545	20,174	20,610	20,282	19,619	20,246	0,394	19,956	20,536	21,000
150	28,614	28,772	28,737	29,026	28,182	28,666	0,309	28,439	28,894	28,000
180	39,186	40,500	39,044	40,579	39,575	39,777	0,723	39,245	40,309	38,000
210	49,941	51,206	49,489	51,198	49,862	50,339	0,806	49,746	50,932	51,000
240	63,531	63,311	62,765	62,997	63,397	63,200	0,313	62,970	63,430	63,000
270	75,645	74,470	74,789	74,130	75,551	74,917	0,665	74,428	75,406	73,000
300	86,397	85,131	85,549	84,952	86,290	85,664	0,658	85,180	86,148	87,000
330	98,550	97,279	97,670	96,940	98,290	97,746	0,674	97,250	98,241	98,000
360	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	0,000	100,000	100,000	99,000
390	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	0,000	100,000	100,000	100,000

Fuente. Propia.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

Gráfica 2. Intervalos de Confianza y NET Real.



Fuente. Propia.

Como los datos reales obtenidos tienen una aproximación sin decimales se ajustaron los intervalos de confianza al decimal inferior y superior respectivamente.

Tabla 35. Ajuste Intervalo de Confianza.

<b>TEP Ejecutado</b>	<b>NET L.I</b>	<b>NET L.S</b>	<b>NET Real</b>
30	5	6	5
60	10	11	10
90	14	15	14
120	19	20	20
150	28	29	28
180	39	40	38
210	49	50	51
240	62	63	63
270	74	75	75
300	85	86	87
330	97	98	98
360	100	100	99
390	100	100	100

Fuente. Propia.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

En la Tabla 35 y en la Gráfica 2 se observa que el 30% de los datos no están dentro del intervalo de confianza esto se debe al nivel de precisión reportado en el informe de interventora no tiene una metodología de cálculo con la precisión suficiente a los decimales requeridos.

Sin embargo ninguno de los datos reales esta desviado un 1% y la tendencia real de ejecución corresponde a la tendencia de ejecución del proyecto modelado eso se ve claramente en los puntos de inflexión a los 120 días y 330 días lo cual hace que el modelo sea válido.

Adicionalmente debemos recordar que la simulación es una representación de la realidad lo cual hace imposible tener en cuenta todos los efectos y todas las variables que afectan los procesos productivos, en el modelo desarrollado se tuvieron se analizaron las variables y efectos más representativos y los que requiere la empresa constructora gestionar.

### 6.9 Simulación del Modelo.

Teniendo en cuenta la muestra presentada en Tabla 34, la media calculada, la desviación estándar hallada, un nivel de confianza del 95%, un  $Z_{\alpha/2}=1.645$  y un error estimado del 1.00 % se calcula el número de repeticiones para llevar a cabo la simulación del modelo de acuerdo a la fórmula:

$$n = (Z_{\alpha/2}) * \sigma / \mu * e)^2$$

Ecuación 91

Tabla 36. Cálculo del número de Repeticiones.

TEP Ejecutado	NET PROYECTO							
	Semilla 0	Semilla 1000	Semilla 2000	Semilla 3000	Semilla 4000	$\mu$	$\sigma$	Numero de Repeticiones (n)
30	5.957	5.745	5.982	5.976	5.662	5.864	0.150	18.000
60	10.281	10.037	10.256	10.309	9.906	10.158	0.177	9.000
90	14.599	14.463	14.738	14.607	14.211	14.523	0.200	6.000
120	20.545	20.174	20.610	20.282	19.619	20.246	0.394	11.000
150	28.614	28.772	28.737	29.026	28.182	28.666	0.309	4.000
180	39.186	40.500	39.044	40.579	39.575	39.777	0.723	9.000
210	49.941	51.206	49.489	51.198	49.862	50.339	0.806	7.000
240	63.531	63.311	62.765	62.997	63.397	63.200	0.313	1.000
270	75.645	74.470	74.789	74.130	75.551	74.917	0.665	3.000
300	86.397	85.131	85.549	84.952	86.290	85.664	0.658	2.000
330	98.550	97.279	97.670	96.940	98.290	97.746	0.674	2.000
360	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	0.000	0.000
390	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	0.000	0.000
420	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	0.000	0.000
450	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	0.000	0.000

Fuente. Propia.

De acuerdo a este cálculo se determinó un número de 18 repeticiones para la etapa de experimentación del modelo.

Se determinaron los experimentos a ejecutar de acuerdo a los tres modos propuestos y las combinaciones posibles entre estos, lo cuales se presentan en el Anexo 11. (Experimentos Diseñados para Ejecutar el Modelo).

Se corrió el modelo según lo calculado y se tomaron los datos requeridos tanto para el NET y el CTP, datos requeridos para el análisis de resultados, ver ejemplos en el Anexo 12. (Resultados para el Experimento 13 (Modo2, Tolerancia 1%, Frecuencia de Control 14 días) Experimentos Diseñados para Ejecutar el Modelo).



**CAPITULO 3. ANALISIS DE RESULTADOS**

Luego de la etapa de simulación se consolidaron los promedios totales para cada experimento y para cada variable de respuesta (total de días de ejecución del proyecto y costo total del proyecto), los cuales se consolidan en la Tabla 37.

Tabla 37. Resultados NET y CTP por experimento.

<b>Experimento</b>	<b>Duración Total del proyecto</b>	<b>Atraso (día)</b>	<b>Costo Total del Proyecto</b>	<b>Costo Adicional</b>
Presupuestado	350,000	0,000	1647,181	0,000
Sin Estrategia	365,000	30,000	1934,840	287,658
Modo 1 (Tol=5%)	340,000	-10,000	1868,074	220,893
Modo 1 (Tol=3%)	336,000	-14,000	1822,239	175,057
Modo 1 (Tol=1%)	330,000	-12,000	1779,278	132,096
Modo 2 (Tol=5% 28 días)	338,000	-12,000	1866,851	219,670
Modo 2 (Tol=5% 14 días)	339,000	-11,000	1867,081	219,900
Modo 2 (Tol=5% 7 días)	339,000	-11,000	1867,627	220,446
Modo 2 (Tol=3% 28 días)	334,000	-16,000	1857,643	210,462
Modo 2 (Tol=3% 14 días)	336,000	-14,000	1848,139	200,958
Modo 2 (Tol=3% 7 días)	335,000	-15,000	1817,786	170,605
Modo 2 (Tol=1% 28 días)	330,000	-20,000	1785,888	138,706
Modo 2 (Tol=1% 14 días)	329,000	-21,000	1779,487	132,305
Modo 2 (Tol=1% 7 días)	330,000	-20,000	1778,060	130,879
Modo 3 (Tol=5% 28 días + I)	339,000	-12,000	1790,327	143,145
Modo 3 (Tol=5% 14 días + I)	340,000	-10,000	1789,767	142,585
Modo 3 (Tol=5% 7 días + I)	340,000	-10,000	1794,246	147,065
Modo 3 (Tol=3% 28 días + I)	335,000	-15,000	1792,199	145,018
Modo 3 (Tol=3% 14 días + I)	336,000	-14,000	1792,822	145,641
Modo 3 (Tol=3% 7 días + I)	335,000	-15,000	1784,461	137,280
Modo 3 (Tol=1% 28 días + I)	330,000	-20,000	1791,367	144,186
Modo 3 (Tol=1% 14 días + I)	331,000	-19,000	1792,553	145,371
Modo 3 (Tol=1% 7 días + I)	332,000	-18,000	1792,577	145,396

Fuente. Propia.

Paso seguido se ordenó los resultados de mayor a menor diferencia entre experimentos de acuerdo a los dos criterios Duración Total del Proyecto (Ver Tabla 38) y Costo total del Proyecto (Ver Tabla 39).

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

Tabla 38. Tabla Duración Total del Proyecto.

Experimento	Duración Total del proyecto	Atraso (día)	Diferencia entre experimentos (días)
Presupuestado	350,000	0,000	
Sin Estrategia	380,000	30,000	
<b>Modo 2 (Tol=1% 14 días)</b>	<b>329,000</b>	<b>-21,000</b>	<b>0,000</b>
<b>Modo 1 (Tol=1%)</b>	<b>330,000</b>	<b>-20,000</b>	<b>1,000</b>
<b>Modo 2 (Tol=1% 7 días)</b>	<b>330,000</b>	<b>-20,000</b>	<b>1,000</b>
Modo 2 (Tol=1% 28 días)	330,000	-20,000	1,000
Modo 3 (Tol=1% 28 días + I)	330,000	-20,000	1,000
Modo 3 (Tol=1% 14 días + I)	331,000	-19,000	2,000
Modo 3 (Tol=1% 7 días + I)	332,000	-18,000	3,000
Modo 2 (Tol=3% 28 días)	334,000	-16,000	5,000
Modo 2 (Tol=3% 7 días)	335,000	-15,000	6,000
Modo 3 (Tol=3% 28 días + I)	335,000	-15,000	6,000
Modo 3 (Tol=3% 7 días + I)	335,000	-15,000	6,000
Modo 1 (Tol=3%)	336,000	-14,000	7,000
Modo 2 (Tol=3% 14 días)	336,000	-14,000	7,000
Modo 3 (Tol=3% 14 días + I)	336,000	-14,000	7,000
Modo 2 (Tol=5% 28 días)	338,000	-12,000	9,000
Modo 2 (Tol=5% 14 días)	339,000	-11,000	10,000
Modo 2 (Tol=5% 7 días)	339,000	-11,000	10,000
Modo 3 (Tol=5% 28 días + I)	339,000	-11,000	10,000
Modo 1 (Tol=5%)	340,000	-10,000	11,000
Modo 3 (Tol=5% 14 días + I)	340,000	-10,000	11,000
Modo 3 (Tol=5% 7 días + I)	340,000	-10,000	11,000

Fuente. Propia.

Tabla 39. Costo Total del Proyecto.

Experimento	Costo Total (Millones de Pesos)	Costo Adicional (Millones de Pesos)	Diferencias entre experimentos (Millones de Pesos)
Presupuestado	1647,181	0,000	
Sin Estrategia	1934,840	287,658	
<b>Modo 2 (Tol=1% 7 días)</b>	<b>1778,060</b>	<b>130,879</b>	<b>0,000</b>
<b>Modo 1 (Tol=1%)</b>	<b>1779,278</b>	<b>132,096</b>	<b>1,218</b>
<b>Modo 2 (Tol=1% 14 días)</b>	<b>1779,487</b>	<b>132,305</b>	<b>1,426</b>
Modo 3 (Tol=3% 7 días + I)	1784,461	137,280	6,401
Modo 2 (Tol=1% 28 días)	1785,888	138,706	7,828
Modo 3 (Tol=5% 14 días + I)	1789,767	142,585	11,707
Modo 3 (Tol=5% 28 días + I)	1790,327	143,145	12,267
Modo 3 (Tol=1% 28 días + I)	1791,367	144,186	13,307
Modo 3 (Tol=3% 28 días + I)	1792,199	145,018	14,139
Modo 3 (Tol=1% 14 días + I)	1792,553	145,371	14,493
Modo 3 (Tol=1% 7 días + I)	1792,577	145,396	14,517
Modo 3 (Tol=3% 14 días + I)	1792,822	145,641	14,762
Modo 3 (Tol=5% 7 días + I)	1794,246	147,065	16,186
Modo 2 (Tol=3% 7 días)	1817,786	170,605	39,726
Modo 1 (Tol=3%)	1822,239	175,057	44,179
Modo 2 (Tol=3% 14 días)	1848,139	200,958	70,079
Modo 2 (Tol=3% 28 días)	1857,643	210,462	79,583
Modo 2 (Tol=5% 28 días)	1866,851	219,670	88,791
Modo 2 (Tol=5% 14 días)	1867,081	219,900	89,021
Modo 2 (Tol=5% 7 días)	1867,627	220,446	89,567
Modo 1 (Tol=5%)	1868,074	220,893	90,014

Fuente. Propia.

Se puede observar que todas las estrategias planteadas (experimentos) mejoran la duración del proyecto incluso superan la expectativa y presentan un ahorro de tiempo con respecto al presupuesto.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

A partir de lo anterior se destacan tres experimentos, los cuales no presentan mayor diferencia en la duración del proyecto con respecto a los demás experimentos pero si presentan un mejor resultado en el costo total del proyecto.

Para comprobar que las tres mejores estrategias planteadas efectivamente presenta una diferencia significativa a partir de la toma de decisiones estratégicas con respecto a la ejecución del proyecto sin estrategia alguna, se presentaron los datos obtenidos para la duración del proyecto en función del número del ensayo como se muestra en la Tabla 40.

Tabla 40. Resultado de las Tres Mejores Estrategias a Partir del Número de Ensayos para la Duración del Proyecto.

Ensayo	Días de Duración del Proyecto.				
	Presupuestado	Sin Estrategia	Modo 1 (Tol=1%)	Modo 2 (Tol=1% 14 días)	Modo 2 (Tol=1% 7 días)
1	350	368	328	326	327
2	350	362	333	333	335
3	350	363	333	328	330
4	350	376	329	331	329
5	350	359	329	328	329
6	350	354	330	329	329
7	350	365	329	328	331
8	350	380	329	326	328
9	350	371	329	331	330
10	350	364	329	329	330
11	350	362	329	329	328
12	350	358	331	330	331
13	350	378	331	327	329
14	350	364	330	328	329
15	350	370	332	330	330
16	350	361	332	335	334
17	350	363	329	332	335
18	350	360	332	330	329

Fuente. Propia.

Se realiza prueba t para los datos, tanto para los tres experimentos con mejor resultado comparándolos con la experimentación sin estrategia, como para las tres estrategias que obtuvimos con mejor resultado entre sí (Ver Anexo 13. (Resultados Prueba t Duración del Proyecto).

Se observa que las tres estrategias presentan diferencia significativa con respecto a la ejecución del proyecto sin aplicar estrategia, pero entre cada una de las estrategias no hay diferencia significativa.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

Del mismo modo se presentaron los datos obtenidos para el costo total de Proyecto en función del número del ensayo como se muestra en la Tabla 41.

Tabla 41. Resultado de las Tres Mejores Estrategias a Partir del Número de Ensayos para la Duración del Proyecto.

Ensa yo	Costo Total del Proyecto				
	Presupuestado	Sin Estrategia	Modo 1 (Tol=1%)	Modo 2 (Tol=1% 14 días)	Modo 2 (Tol=1% 7 días)
1	1647,181	1991,872	1744,129	1773,424	1763,711
2	1647,181	1949,857	1755,161	1743,504	1755,066
3	1647,181	1947,549	1903,299	1776,106	1758,654
4	1647,181	2098,367	1761,620	1829,116	1774,455
5	1647,181	1939,401	1764,266	1785,928	1784,489
6	1647,181	1834,069	1789,756	1755,165	1755,165
7	1647,181	1962,047	1779,742	1803,925	1872,489
8	1647,181	2184,177	1774,053	1768,136	1766,402
9	1647,181	2019,128	1759,806	1855,721	1781,798
10	1647,181	1956,978	1785,237	1798,207	1797,473
11	1647,181	1938,686	1744,292	1740,229	1762,830
12	1647,181	1945,126	1793,219	1782,935	1842,946
13	1647,181	2137,918	1768,458	1777,209	1772,515
14	1647,181	1966,571	1763,345	1802,495	1782,770
15	1647,181	2012,676	1750,723	1785,589	1786,177
16	1647,181	1888,779	1770,281	1764,202	1760,764
17	1647,181	1959,103	1795,212	1743,640	1740,494
18	1647,181	1943,994	1843,939	1757,401	1761,343

Fuente. Propia.

Se realiza prueba t para los datos, tanto para los tres experimentos con mejor resultado comparándolos con la experimentación sin estrategia, como para las tres estrategias que obtuvimos con mejor resultado entre sí (Ver Anexo 14. (Resultados Prueba t Costo Total del Proyecto)).

Se observa que las tres estrategias presentan diferencia significativa con respecto a la ejecución del proyecto sin aplicar estrategia, pero entre cada una de las estrategias no hay diferencia significativa.

A partir de lo anterior se analizaran los resultados para el experimento que aporta el mayor número de días de adelantos, siendo este el Modo 2 frecuencia de Control cada 14 días con 1% de Tolerancia en la discrepancia, para esto se

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

comparan los datos de la estrategia con el presupuesto y con la ejecución del proyecto sin estrategia (Ver Tabla 42 y Gráfica 3).

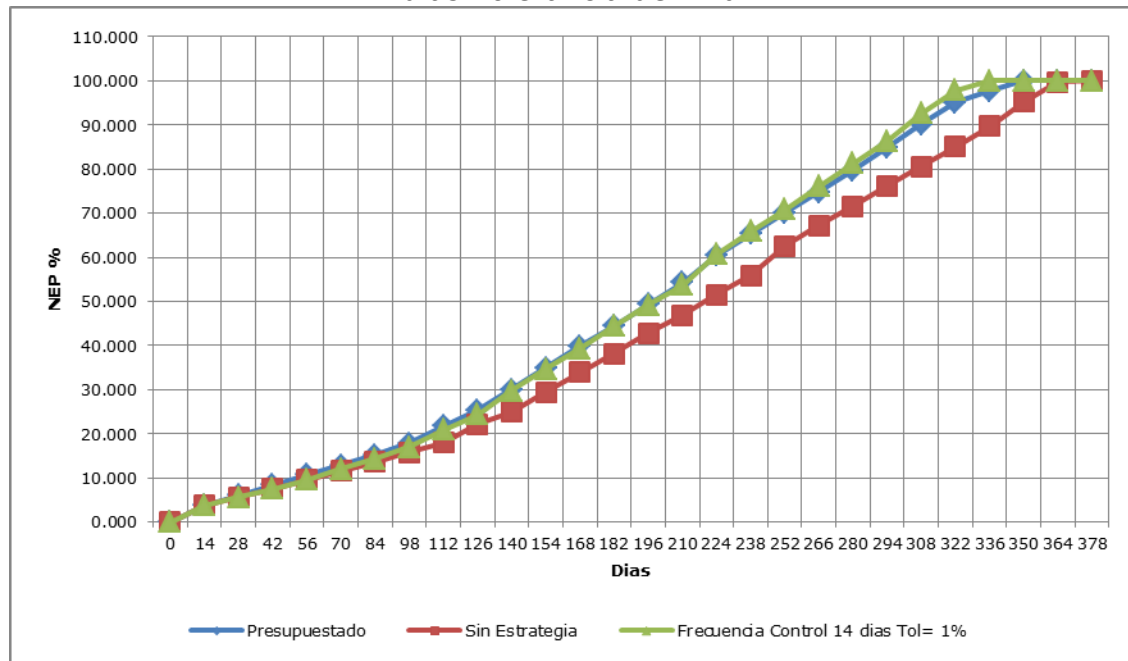
Tabla 42. Resultados del Nivel de Ejecución del Proyecto con Mejor Estrategia (Frecuencia de control 14 días Tolerancia del 1%).

Día	NEP Presupuestado		
	Presupuestado	Sin Estrategia	Frecuencia Control 14 días Tol= 1%
0	0.000	0.000	0.000
14	3.770	3.798	3.798
28	6.066	5.629	5.629
42	8.361	7.555	7.555
56	10.656	9.512	9.539
70	12.951	11.611	12.010
84	15.246	13.573	14.349
98	17.869	15.776	16.973
112	21.803	18.034	20.919
126	25.410	22.167	24.433
140	30.000	24.947	29.756
154	34.918	29.426	34.738
168	39.836	33.927	39.373
182	44.426	38.210	44.362
196	49.344	42.795	49.249
210	54.262	46.942	53.736
224	60.328	51.506	60.687
238	65.246	55.882	65.948
252	70.164	62.521	70.867
266	74.754	67.187	76.117
280	79.672	71.559	81.342
294	84.918	76.219	86.367
308	90.164	80.497	92.565
322	95.082	85.115	97.821
336	97.705	89.733	100.000
350	100.000	95.197	100.000
364	100.000	99.767	100.000
378	100.000	100.000	100.000

Fuente. Propia.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Gráfica 3. Comparativo NEP Presupuestado, sin Estrategia, Control Cada 14 días Tolerancia del 1%.



Fuente. Propia.

Se puede decir que la estrategia propuesta nos ayuda no solo a cumplir con el presupuesto sino lograr un adelanto en el tiempo de ejecución del proyecto el cual corresponde a un adelanto del 6.00% con relación al presupuestado, esto nos ayudaría en el caso de este proyecto a ganar tiempo para la ejecución de las actividades posteriores, las cuales no fueron objeto de estudio.

También se puede observar que el no uso de estrategias de control puede provocar un atraso el cual corresponde al 8.571% en el tiempo de ejecución del proyecto con relación a l tiempo presupuestado para la ejecución del mismo.

Del mismo modo se analizaron los resultados del costo total del proyecto para dicha estrategia, comparado el presupuesto y la ejecución sin estrategia, para tal efecto se recopilaron los datos requeridos en la tabla y se graficaron para su análisis (Ver Tabla 43 y Ver Gráfica 4).

Tabla 43. Resultados del Costo Total del Proyecto con Mejor Estrategia (Frecuencia de control 14 días Tolerancia del 1%).

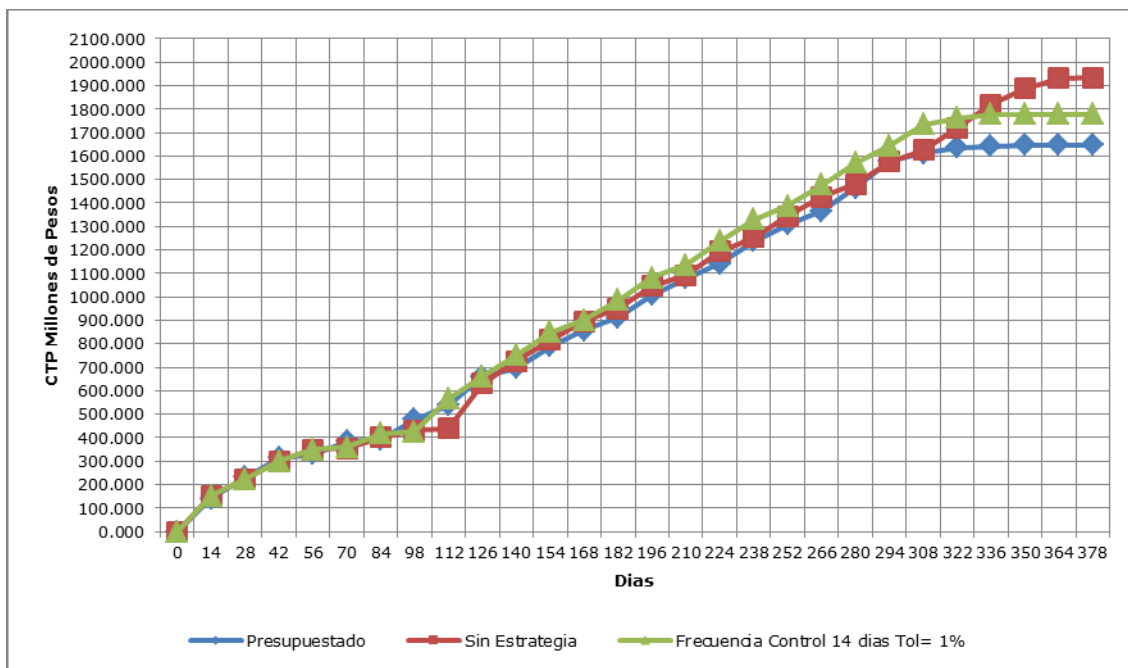
Día	CTP	CTP	CTP
	Presupuestado	Sin Estrategia	Frecuencia Control 14 días Tol= 1%
0	0.000	0.000	0.000
14	141.148	152.221	152.221
28	231.308	224.157	224.157
42	312.827	299.826	299.826
56	328.336	348.274	348.824

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

70	384.050	355.550	360.274
84	392.893	401.131	416.338
98	478.551	429.948	425.636
112	536.384	439.697	564.392
126	660.880	629.163	660.111
140	695.521	726.226	750.143
154	787.937	817.554	848.147
168	856.882	896.428	899.847
182	912.754	951.408	986.000
196	1007.299	1046.497	1081.424
210	1078.345	1091.495	1135.353
224	1141.804	1193.674	1237.552
238	1237.349	1254.005	1331.005
252	1308.995	1342.619	1386.533
266	1365.944	1425.858	1477.475
280	1463.942	1481.149	1571.612
294	1579.583	1577.010	1645.581
308	1610.678	1625.774	1735.952
322	1635.178	1719.608	1762.925
336	1642.368	1820.358	1779.487
350	1647.181	1887.649	1779.487
364	1647.181	1930.991	1779.487
378	1647.181	1934.840	1779.487

Fuente. Propia.

Gráfica 4. Comparativo CTP Presupuestado, sin Estrategia, Control Cada 14 días Tolerancia del 1%.



Fuente. Propia.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

Observando la Grafica anterior, la estrategia propuesta representa un sobrecosto del 8.032% con respecto a lo presupuestado, sin embargo se observa que la estrategia de control cada 14 días con nivel de tolerancia del 1% representa una reducción de los sobrecostos con respecto a la ejecución sin estrategia del 8.029%.

También se puede observar que el no uso de estrategias de control provocaría un sobrecosto que representa el 17.463% más que el valor presupuestado.

Para entrar más en detalle se analizaron los sobrecostos de ambos escenarios (con y sin estrategia) ver Tabla 44 y Gráfica 5.

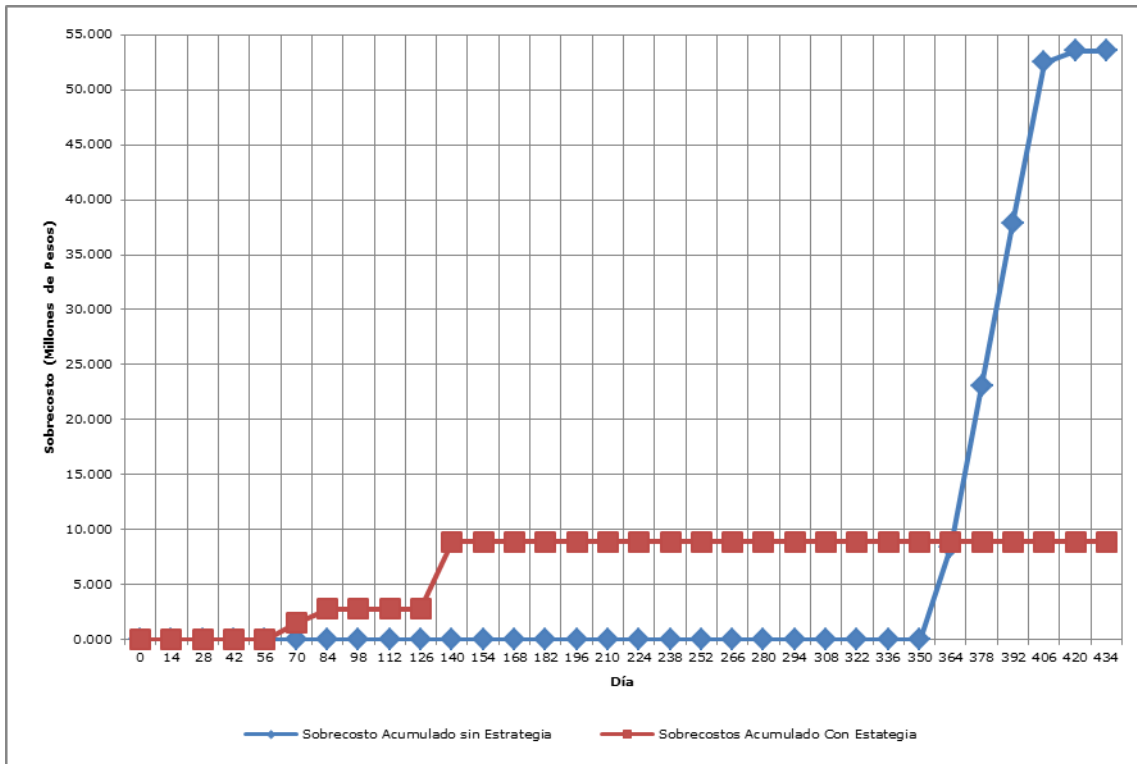
Tabla 44. Presentación de los Sobrecostos Comparando el Escenario Sin Estrategia y Con Estrategia.

<b>Día</b>	<b>Sobrecosto Acumulado sin Estrategia</b>	<b>Sobrecostos Acumulado Con Estrategia</b>
0	0.000	0.000
14	0.000	0.000
28	0.000	0.000
42	0.000	0.000
56	0.000	0.000
70	0.000	1.477
84	0.000	2.798
98	0.000	2.798
112	0.000	2.798
126	0.000	2.798
140	0.000	8.873
154	0.000	8.873
168	0.000	8.873
182	0.000	8.873
196	0.000	8.873
210	0.000	8.873
224	0.000	8.873
238	0.000	8.873
252	0.000	8.873
266	0.000	8.873
280	0.000	8.873
294	0.000	8.873
308	0.000	8.873
322	0.000	8.873
336	0.000	8.873
350	0.000	8.873
364	8.400	8.873
378	23.100	8.873
392	37.800	8.873
406	52.500	8.873
420	53.550	8.873
434	53.550	8.873

Fuente. Propia.



Gráfica 5. Comparativo del Sobrecosto Acumulado Con Estrategia y Sin Estrategia.



Fuente. Propia.

Se concluye que los sobrecostos de la estrategia inician a partir de la quinta reunión de control y tienen un segundo incremento a partir del décimo control, por otro lado los sobrecostos del escenario son perceptibles solo a partir del vigésimo quinto control pero su incremento es mayor al escenario sin estrategia, como resultado final el sobrecosto total de la estrategia representa el 16.569% del sobrecosto total del escenario sin estrategia.

Es claro para el escenario con estrategia, que al iniciar cargue del sobrecosto al proyecto mucho antes, puede provocar un rechazo de parte de las directivas pero si se proyecta con el modelo de simulación puede convertirse en más que un sobrecosto, en una inversión que puede significar un ahorro de 44.677 millones de pesos al final del proyecto.

Por último se analizaron los comportamientos de los niveles de fatiga, aprendizaje, y motivación y su relación con la discrepancia; como factor calve de la estrategia de control y de la obtención de resultados del proyecto.

Se tomaron los datos de la ejecución de las horas extras, y la tasa de incremento del Aprendizaje, Fatiga y Motivación a partir de los dos escenarios en estudio, sin estrategia y con estrategia, los cuales se presentan en la Tabla 45 y Tabla 46.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

Tabla 45. Tasa Incremento de la Discrepancia, Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sin Estrategia de Control.

Día	HORAS EXTRAS	TASA DE APRENDIZAJE	TASA DE FATIGA	TASA MOTIVACION
0	0.000	1.780	0.000	1.000
14	0.000	1.849	0.000	1.050
28	0.000	1.797	0.000	1.076
42	0.000	0.525	0.000	1.100
56	0.000	0.233	0.000	1.110
70	0.000	0.004	0.000	1.112
84	0.000	0.039	0.000	1.113
98	0.000	0.017	0.000	1.113
112	0.000	0.018	0.000	1.114
126	0.000	0.000	0.000	1.114
140	0.000	0.000	0.000	1.058
154	0.000	0.000	0.000	1.058
168	0.000	0.000	0.000	1.058
182	0.000	0.000	0.000	0.969
196	0.000	0.000	0.000	0.969
210	0.000	0.000	0.000	0.969
224	0.000	0.000	0.000	0.969
238	0.000	0.000	0.000	0.969
252	0.000	0.000	0.000	0.969
266	0.000	0.000	0.000	0.969
280	0.000	0.000	0.000	0.969
294	0.000	0.000	0.000	0.969
308	0.000	0.000	0.000	0.903
322	0.000	0.000	0.000	0.903
336	0.000	0.000	0.000	0.969
350	0.000	0.000	0.000	1.058
364	0.000	0.000	0.000	1.114
378	0.000	0.000	0.000	1.114

Fuente. Propia.

Tabla 46. Tasa Incremento de la Discrepancia, Aprendizaje, Fatiga y Motivación Con Estrategia de Control.

Día	HORAS EXTRAS	TASA DE APRENDIZAJE	TASA DE FATIGA	TASA MOTIVACION
0	0.000	1.780	0.000	1.000
14	0.000	1.849	0.000	1.050
28	0.000	1.797	0.000	1.076
42	0.000	0.525	0.000	1.100
56	0.000	0.233	0.000	1.110
70	2.000	0.263	0.070	2.227
84	2.000	0.308	0.070	0.000
98	0.000	0.077	0.000	0.000
112	0.000	0.077	0.000	0.000
126	0.000	0.000	0.000	0.000
140	2.000	0.000	0.070	0.000
154	0.000	0.000	0.000	0.000
168	0.000	0.000	0.000	0.000
182	0.000	0.000	0.000	0.000
196	0.000	0.000	0.000	0.000
210	0.000	0.000	0.000	0.000
224	0.000	0.000	0.000	0.000
238	0.000	0.000	0.000	0.000
252	0.000	0.000	0.000	0.000
266	0.000	0.000	0.000	0.000
280	0.000	0.000	0.000	0.000
294	0.000	0.000	0.000	0.000
308	0.000	0.000	0.000	0.000
322	0.000	0.000	0.000	0.000
336	0.000	0.000	0.000	0.000
350	0.000	0.000	0.000	0.000
364	0.000	0.000	0.000	0.000
378	0.000	0.000	0.000	0.000

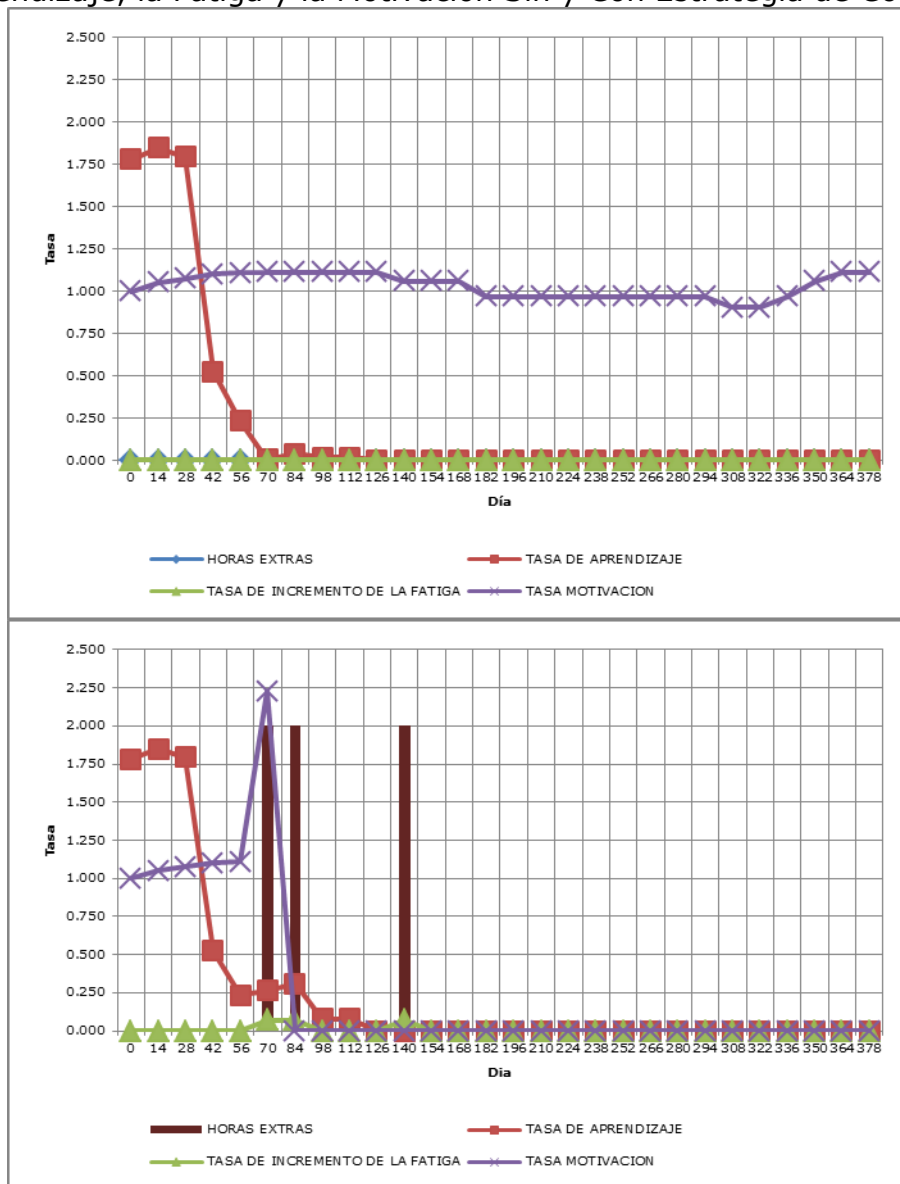
Fuente. Propia.

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Analizando las gráficas de los datos anteriores (Ver Gráfica 6) se puede observar como las horas extras juegan un papel importante en la motivación del personal, periodos cortos de ejecución de horas extras promueven el incremento de la tasa de motivación del personal y al mismo tiempo, al estar motivado, el personal se interesa por aprender reflejándose esto en un incremento de la tasa de aprendizaje.

Para complementar la afirmación anterior se tabularon los datos del Nivel Discrepancia, del Aprendizaje, Fatiga y Motivación a partir de los dos escenarios en estudio, sin estrategia y con estrategia, los cuales se presentan en la Tabla 47 y Tabla 48.

Gráfica 6. Comparativo Entre el las horas Extras y las Tasas de Incremento del Aprendizaje, la Fatiga y la Motivación Sin y Con Estrategia de Control.



Fuente. Propia.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

Tabla 47. Nivel de la Discrepancia, Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sin Estrategia de Control.

Día	DISCREPANCIA NEA	NIVEL DE APRENDIZAJE	FATIGA	NIVEL MOTIVACION
0	0.000	0.000	0.000	0.000
14	-0.053	25.363	0.000	14.327
28	0.612	51.594	0.000	26.361
42	0.915	64.267	0.000	36.172
56	1.230	69.622	0.000	43.861
70	1.482	70.818	0.000	49.621
84	1.706	71.073	0.000	53.334
98	2.156	71.508	0.000	55.873
112	3.869	71.757	0.000	56.103
126	3.353	71.918	0.000	56.199
140	5.248	71.918	0.000	55.483
154	5.604	71.918	0.000	53.642
168	5.895	71.918	0.000	51.801
182	6.232	71.918	0.000	49.247
196	6.585	71.918	0.000	46.158
210	7.378	71.918	0.000	43.069
224	8.898	71.918	0.000	39.980
238	9.795	71.918	0.000	36.891
252	7.924	71.918	0.000	33.802
266	7.893	71.918	0.000	30.713
280	8.412	71.918	0.000	27.624
294	9.064	71.918	0.000	24.535
308	10.157	71.918	0.000	21.179
322	10.427	71.918	0.000	17.154
336	8.896	71.918	0.000	13.664
350	5.408	71.918	0.000	10.842
364	1.870	71.918	0.000	9.930
378	-2.258	71.918	0.000	21.901

Fuente. Propia.

Tabla 48. Nivel de Discrepancia, Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sin Estrategia de Control.

Día	DISCREPANCIA NEA	NIVEL DE APRENDIZAJE	FATIGA	NIVEL MOTIVACION
0	0.000	0.000	0.000	0.000
14	-0.053	25.363	0.000	14.327
28	0.612	51.594	0.000	26.361
42	0.915	64.267	0.000	36.172
56	1.230	69.622	0.000	43.861
70	1.015	71.518	0.910	72.499
84	0.613	75.686	1.890	100.000
98	0.756	78.380	1.960	100.000
112	0.920	79.457	1.960	100.000
126	1.213	80.150	1.960	100.000
140	0.064	80.150	2.870	100.000
154	-0.171	80.150	2.940	100.000
168	-0.045	80.150	2.940	100.000
182	-0.369	80.150	2.940	100.000
196	-0.406	80.150	2.940	100.000
210	-0.343	80.150	2.940	100.000
224	-0.994	80.150	2.940	100.000
238	-1.260	80.150	2.940	100.000
252	-1.296	80.150	2.940	100.000
266	-2.022	80.150	2.940	100.000
280	-2.509	80.150	2.940	100.000
294	-2.073	80.150	2.940	100.000
308	-3.223	80.150	2.940	100.000
322	-3.605	80.150	2.940	100.000
336	-4.518	80.150	2.940	100.000
350	-4.661	80.150	2.940	100.000
364	-4.529	80.150	2.940	100.000
378	-4.529	80.150	2.940	100.000

Fuente. Propia.

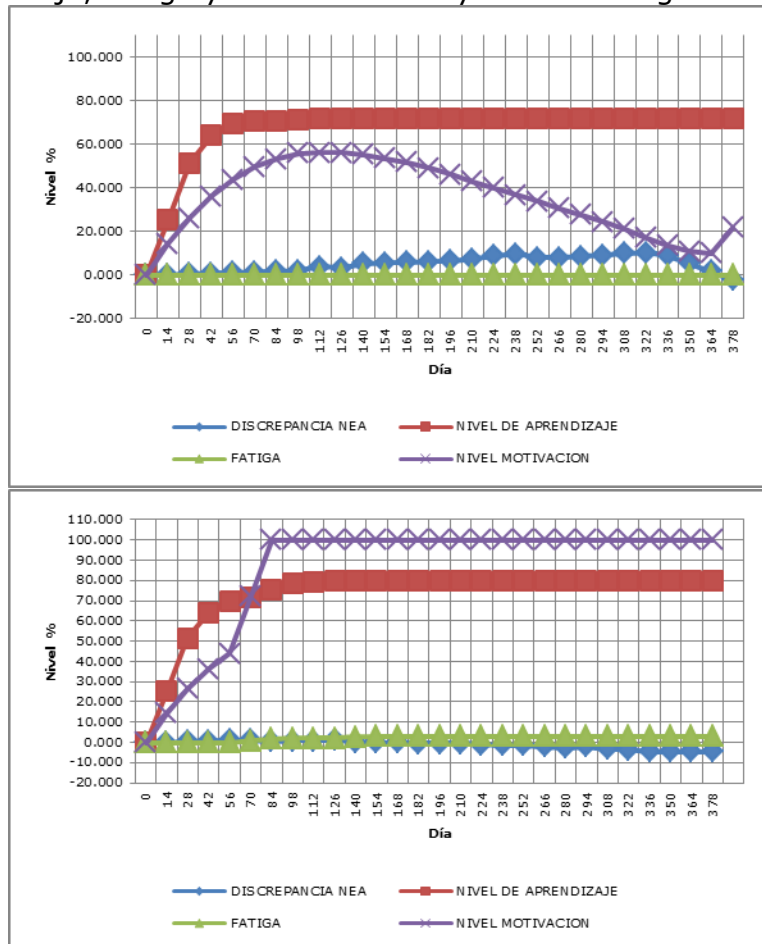
## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Se concluye que estados cortos de horas extras motivan al personal y efecto de esto, se incrementa en la tasa de aprendizaje, ahora se presenta el análisis sobre nivel de discrepancia y su efectos en los indicadores de motivación, fatiga y aprendizaje (Ver Gráfica 7).

Se puede concluir que al haber un incremento en el nivel de motivación la discrepancia desciende y termina ubicándose en niveles inferiores al 0.000%, esto a su vez permite que los niveles de motivación se mantengan altos durante el tiempo y adicionalmente se obtenga un incremento del 10% en el nivel de conocimientos y aprendizaje sobre el proyecto lo cual también provoca un mejoramiento sobre la velocidad de ejecución de las actividades.

Se comprueba que periodos cortos de horas extras no afectan en mayor medida el nivel de fatiga pasando del 0.00% a un valor máximo del 2.940%, por lo tanto no se espera un efecto negativo sobre la ejecución de las actividades debido a este factor, sin embargo este último se complementa más adelante.

Gráfica 7. Comparativo Entre el Nivel de Discrepancia y El Nivel de Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sin y Con Estrategia de Control.



Fuente. Propia.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

Por último se analizaron los datos del Impacto del aprendizaje, la fatiga y la motivación sobre la ejecución de las actividades, datos que se presentan la Tabla 49 y Tabla 50.

Tabla 49. Impacto del Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sobre la Ejecución de las Actividades Sin Estrategia de Control.

Día	Impacto del Aprendizaje Sobre Actividades	Impacto de Fatiga Sobre Actividades	Impacto de Motivación Sobre Actividades
0	0.870	1.000	0.910
14	0.930	1.000	0.939
28	0.947	1.000	0.962
42	0.959	1.000	0.978
56	0.965	1.000	0.990
70	0.966	1.000	0.999
84	0.966	1.000	1.007
98	0.967	1.000	1.012
112	0.967	1.000	1.012
126	0.967	1.000	1.012
140	0.967	1.000	1.011
154	0.967	1.000	1.007
168	0.967	1.000	1.004
182	0.967	1.000	0.999
196	0.967	1.000	0.994
210	0.967	1.000	0.989
224	0.967	1.000	0.984
238	0.967	1.000	0.979
252	0.967	1.000	0.974
266	0.967	1.000	0.969
280	0.967	1.000	0.964
294	0.967	1.000	0.959
308	0.967	1.000	0.952
322	0.967	1.000	0.944
336	0.967	1.000	0.937
350	0.967	1.000	0.932
364	0.967	1.000	0.930
378	0.967	1.000	0.954

Fuente. Propia.

Tabla 50. Impacto del Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sobre la Ejecución de las Actividades Con Estrategia de Control.

Día	Impacto del Aprendizaje Sobre Actividades	Impacto de Fatiga Sobre la Ejecución de las Actividades	Impacto de Motivación Sobre Actividades
0	0.870	1.000	0.910
14	0.930	1.000	0.939
28	0.947	1.000	0.962
42	0.959	1.000	0.978
56	0.965	1.000	0.990
70	0.967	0.999	1.045
84	0.971	0.998	1.110
98	0.974	0.998	1.110
112	0.975	0.998	1.110
126	0.976	0.998	1.110
140	0.976	0.998	1.110
154	0.976	0.998	1.110
168	0.976	0.998	1.110
182	0.976	0.998	1.110
196	0.976	0.998	1.110
210	0.976	0.998	1.110
224	0.976	0.998	1.110
238	0.976	0.998	1.110
252	0.976	0.998	1.110
266	0.976	0.998	1.110
280	0.976	0.998	1.110
294	0.976	0.998	1.110
308	0.976	0.998	1.110
322	0.976	0.998	1.110
336	0.976	0.998	1.110
350	0.976	0.998	1.110
364	0.976	0.998	1.110
378	0.976	0.998	1.110

Fuente. Propia.

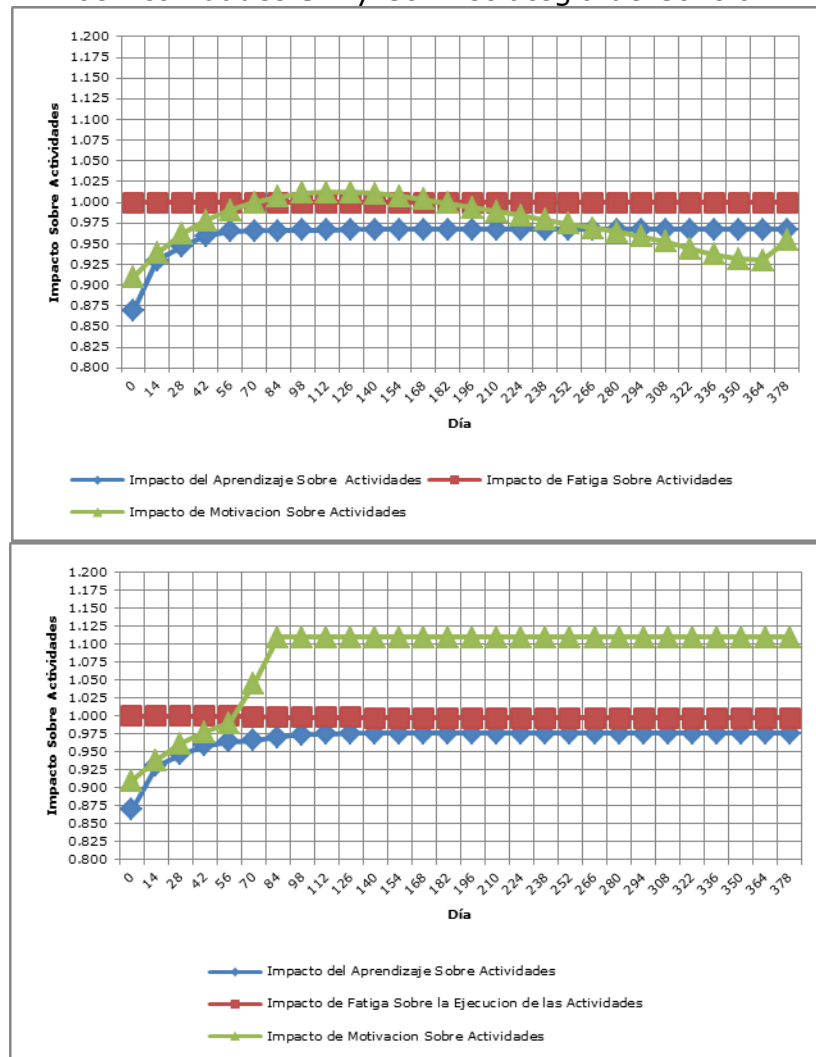
## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Posterior mente se graficaron los datos presentados anteriormente (Ver Gráfica 8), y se puede concluir a partir del análisis de estas gráficas, que efectivamente el nivel de fatiga presentado durante el desarrollo no impacta en mayor medida el desarrollo de las actividades (0.200% sobre la tasa de ejecución de las actividades).

Los factores que influyen en mayor medida en el éxito de la operación y la ejecución de las actividades programadas son definitivamente el aprendizaje en primera instancia, cuyo impacto sobre las actividades se redujo en un 0.900% con respecto al escenario con estrategia.

En segundo lugar y la más importante, la motivación, la cual se convierte en pieza clave aportando un incremento en la ejecución de las actividades de aproximadamente un 11.000%.

Gráfica 8. Impacto del Aprendizaje, Fatiga y Motivación Sobre la Ejecución de las Actividades Sin y Con Estrategia de Control.



Fuente. Propia.

## **CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.**

### **7. CONCLUSIONES.**

Frente al objetivo general se logró diseñar una metodología de control integral y dinámica que apoye la toma de decisiones durante la ejecución de un proyecto de construcción considerando los factores de incertidumbre que intervienen durante el desarrollo de este.

Dicha metodología permite modelar escenarios y generar políticas mediante la simulación de modos de ejecución y su impacto sobre la duración de las actividades, siendo en este caso de estudio, una política basada en la frecuencia de revisión de resultados y toma de decisiones (Frecuencia propuesta = 14 días, Frecuencia actual = 30 días) y ajuste del nivel de tolerancia sobre el atraso de las actividades actual del 5% permitido al 1%.

La política anterior no solo permitirá ajustarse al presupuesto de terminación del contrato el cual es de 350 días sino presenta un mejora sustancial al lograr bajar esta meta en 21 días (tiempo total de duración del Proyecto 329 días).

Desde el punto de vista de los costos se puede concluir que el manejo de una estrategia de control reduce en 156.779 millones de pesos, un 54.501%, el sobrecosto por no tener una estrategia para lograr reducir los atrasos. Aunque el sobrecosto de la estrategia propuesta tiene un valor de 130.879 millones de pesos (8.873 millones de pesos de inversión en horas extras), estos valores se deben al impacto de las variables sobre las actividades a nivel de reprocesos, incrementos de precios por parte de los proveedores y errores en la elaboración del presupuesto, aspectos que no son parte de este estudio pero se recomendara su estudio.

Por otro lado el manejo de una estrategia de control reduce las pérdidas por atraso en 44.820 millones de pesos, teniendo en cuenta que se requiere una inversión de horas extras correspondiente a 8.873 millones de pesos, inversión suficiente para lograr la motivación del personal y lograr disminuir la discrepancia del proyecto a niveles que permiten la consecución de los objetivos.

Adicionalmente se pudo establecer que aunque las políticas de incentivos también son una manera eficaz de lograr el objetivo ya que logran niveles de reducción del tiempo de ejecución similares al conseguido con la estrategia planteada, esta política no es la mejor opción ya puede representar un desgaste financiero y de asignación de recursos innecesarios para lograr el objetivo, como se puede observar en la Tabla 47, la mejor estrategia con el uso de incentivos (Tolerancia = 3% frecuencia = 7 días y uso de política de incentivos) representa una diferencia de 4.975 millones de pesos adicional al costo calculado para la estrategia planteada.



Se logró establecer la influencia sobre la ejecución de las actividades que tiene el factor humano y la influencia de variables como la motivación sobre el impacto sobre el proyecto, mantener el personal motivado debe convertirse en prioridad estratégica en este tipo de proyectos, durante el desarrollo del modelo se pudo establecer que al haber un incremento en el nivel de motivación la discrepancia desciende y termina ubicándose en niveles inferiores al 0.000%, esto a su vez permite que los niveles de motivación se mantengan altos durante el tiempo y adicionalmente se obtenga un incremento del 10% en el nivel de conocimientos y aprendizaje sobre el proyecto lo cual también provoca un mejoramiento sobre la velocidad de ejecución de las actividades.

En resumen el mejor factor de motivación es mantener los proyectos en los límites de tolerancia permitidos.

Periodos de Horas extras motivan al personal y no afectan significativamente la ejecución de las actividades por efecto de aumento del nivel de fatiga, el efecto que tiene un ingreso adicional sobre el personal promueve la motivación del personal.

No se puede concluir que la motivación acelere el proceso de aprendizaje pero queda claro que si mejora la capacidad y el interés del personal por aprender más del proyecto y esto impacta positivamente el desarrollo de las actividades, personal con más conocimiento de la actividad que realiza logra impactos significativos sobre la actividad a desarrollar.

## **8. RECOMENDACIONES.**

Se debe implementar la política de tolerancia de atraso en el nivel de ejecución de las actividades del 1%, se debe acortar la frecuencia de control de 30 días a 14 días.

Al lograr modelar algunos factores del comportamiento humano y su efecto sobre la ejecución de las labores diarias el reto actual para las compañías de construcción se centra en las áreas de recursos humanos y salud ocupación para buscar nuevos mecanismos de mantener los niveles de motivación en sus niveles más altos, con el fin de lograr los mejores resultados en las actividades y por ende en los objetivos de los proyectos desarrollados.

Al identificar los sobrecostos de la operación debido al efecto de del índice de precios, errores en el presupuesto y reprocesos por mala calidad en la ejecución de las actividades se recomienda estudiar políticas y modos de ejecución donde se pueda analizar el efecto de políticas de calidad, métodos de elaboración de presupuestos, negociación efectiva y modelos de asignación eficiente de recursos, cuyo objetivo es la minimización de los costos de operación y solventar este sobrecosto.

Contemplar los sobrecostos asociados con los atrasos y los impactos de las variables sobre las actividades, como una oportunidad de inversión en programas de calidad y salud ocupacional e incluso planes de ayuda social a los trabajadores de la obra cuyos resultados minimicen los impactos y la probabilidad de ocurrencia de las variables controlables del sistema.

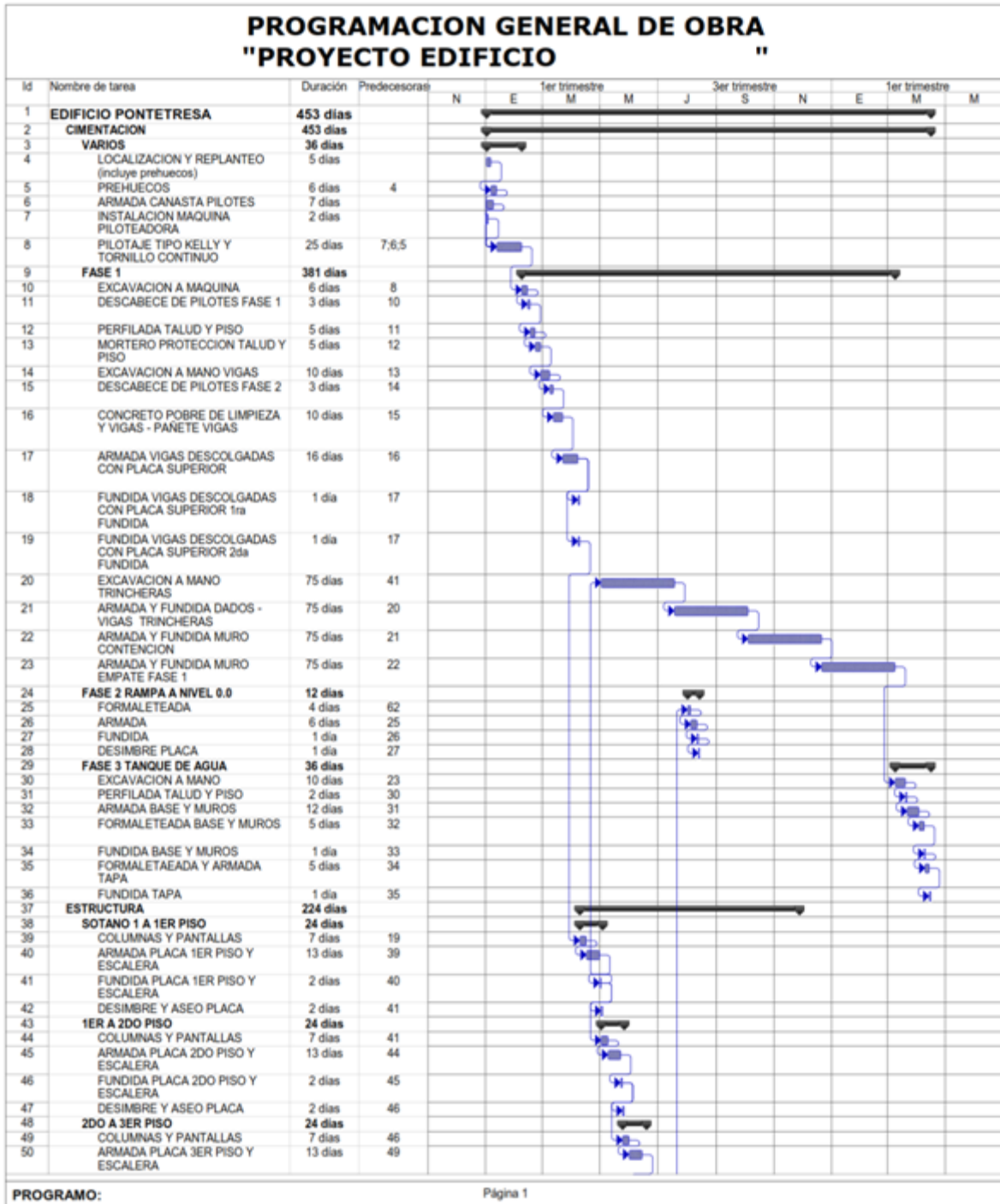
Se recomienda complementar el estudio realizado sobre la caracterización del proceso con el fin de diseñar un método de control de documento y uso de estos, con el fin de actualizar el modelo a través del tiempo y poder aplicarlo a otros proyectos futuros con mayor nivel de precisión, el aprovechamiento de datos históricos y la experiencia adquiridas con proyectos anteriores y su aplicación en el control de proyectos, son base fundamental para el éxito de este tipo de modelos.

Se debe profundizar estudios en el campo de gestión de la cadena de suministro y su relación con los inventarios, los atrasos frecuentes por esta causa requieren un estudio a fondo, con el fin de lograr políticas de manejo de proveedores, planes de suministro y manejo óptimo de inventarios que eviten el desabastecimiento de las obras y el máximo aprovechamiento de los recursos.

Es importante complementar este estudio incorporando las demás actividades que hace parte de un proyecto de construcción, buscando simplificar el modelo agrupando resultados por macro actividad y luego integrar los resultados de cada macro en un resultado general con el fin de ajustar las políticas que intervienen en cada etapa del proyecto.

**CAPITULO 5. ANEXOS**

**Anexo 1. Programa Proyecto en Estudio.**



## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

<b>PROGRAMACION GENERAL DE OBRA "PROYECTO EDIFICIO"</b>															
Id	Nombre de tarea	Duración	Predecesoras	1er trimestre				3er trimestre				1er trimestre			
				N	E	M	M	J	S	N	E	M	M		
51	FUNDIDA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA	2 días	50												
52	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2 días	51												
53	<b>3ER A 4TO PISO</b>	<b>23 días</b>													
54	COLUMNAS Y PANTALLAS	7 días	51												
55	ARMADA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	12 días	54												
56	FUNDIDA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	2 días	55												
57	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2 días	56												
58	<b>4TO A 5TO PISO</b>	<b>23 días</b>													
59	COLUMNAS Y PANTALLAS	7 días	56												
60	ARMADA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	12 días	59												
61	FUNDIDA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	2 días	60												
62	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2 días	61												
63	<b>5TO A 6TO PISO</b>	<b>23 días</b>													
64	COLUMNAS Y PANTALLAS	7 días	61												
65	ARMADA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	12 días	64												
66	FUNDIDA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	2 días	65												
67	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2 días	66												
68	<b>6TO A 7MO PISO</b>	<b>23 días</b>													
69	COLUMNAS Y PANTALLAS	7 días	66												
70	ARMADA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	12 días	69												
71	FUNDIDA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	2 días	70												
72	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2 días	71												
73	<b>7MO A 8VO PISO</b>	<b>23 días</b>													
74	COLUMNAS Y PANTALLAS	7 días	71												
75	ARMADA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	12 días	74												
76	FUNDIDA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	2 días	75												
77	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2 días	76												
78	<b>8VO PISO A CUBIERTA</b>	<b>23 días</b>													
79	COLUMNAS Y PANTALLAS	7 días	76												
80	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	12 días	79												
81	FUNDIDA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	2 días	80												
82	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2 días	81												
83	<b>CUBIERTA A MAQUINAS</b>	<b>8 días</b>													
84	COLUMNAS Y PANTALLAS	2 días	81												
85	ARMADA PLACA MAQUINAS	4 días	84												
86	FUNDIDA PLACA MAQUINAS	1 día	85												
87	DESIMBRE Y ASEO PLACA	1 día	86												
88	<b>SOTANO A 1ER PISO ENSAMBLE</b>	<b>16 días</b>													
89	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	12 días	82												
90	FUNDIDA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	2 días	89												
91	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2 días	90												
92	<b>1ER A 2DO NIVEL ZONA ENSAMBLE</b>	<b>16 días</b>													
93	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	12 días	90												
94	FUNDIDA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	2 días	93												
95	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2 días	94												

PROGRAMO:

Página 2

Fuente. Empresa Objeto de Estudio.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

**Anexo 2. Identificación de Actividades.**

<b>ID</b>	<b>Nombre de la Actividad</b>	<b>Actividades Predecesora</b>	<b>Duración de la Actividad (NTA) (días)</b>
1	<b>EDIFICIO PONTETRESA</b>		<b>353</b>
2	<b>CIMENTACION</b>		<b>353</b>
3	<b>VARIOS</b>		<b>36</b>
4	LOCALIZACION Y REPLANTEO (incluye pre huecos)		5
5	PREHUECOS	4	6
6	ARMADA CANASTA PILOTES		7
7	INSTALACION MAQUINA PILOTEADORA		2
8	PILOTAJE TIPO KELLY Y TORNILLO CONTINUO	7;6;5	25
9	<b>FASE 1</b>		<b>306</b>
10	EXCAVACION A MAQUINA	8	6
11	DESCABECE DE PILOTES FASE 1	10	3
12	PERFILADA TALUD Y PISO	11	5
13	MORTERO PROTECCION TALUD Y PISO	12	5
14	EXCAVACION A MANO VIGAS Y DADOS	13	10
15	DESCABECE DE PILOTES FASE 2	14	3
16	CONCRETO POBRE DE LIMPIEZA Y VIGAS - PAÑETE VIGAS	15	10
17	ARMADA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR	16	16
18	FUNDIDA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR 1ra FUNDIDA	17	1
19	FUNDIDA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR 2da FUNDIDA	17	1
20	EXCAVACION A MANO TRINCHERAS	36	75
21	ARMADA Y FUNDIDA DADOS - VIGAS TRINCHERAS	20	75
22	ARMADA Y FUNDIDA MURO CONTENCION	21	75
23	EXCAVACION A MANO FOSO DEL ASCENSOR	19	1
24	PLACA Y MURO FOSO DEL ASCENSOR	23	10
25	<b>FASE 2 RAMPA A NIVEL 0.0</b>		<b>8</b>
26	ARMADA	57	6
27	FUNDIDA	26	1
28	DESIMBRE PLACA	27	1
29	<b>FASE 3 TANQUE DE AGUA</b>		<b>11</b>
30	EXCAVACION A MANO	22	10
31	ARMADA Y FUNDIDA BASE Y MUROS	30	1
32	<b>ESTRUCTURA</b>		<b>224</b>
33	<b>SOTANO 1 A 1ER PISO</b>		<b>24</b>
34	COLUMNAS Y PANTALLAS	19	7
35	ARMADA PLACA 1ER PISO Y ESCALERA	34	13
36	FUNDIDA PLACA 1ER PISO Y ESCALERA	35	2
37	DESIMBRE Y ASEO PLACA	36	2
38	<b>1ER A 2DO PISO</b>		<b>24</b>
39	COLUMNAS Y PANTALLAS	36	7
40	ARMADA PLACA 2DO PISO Y ESCALERA	39	13
41	FUNDIDA PLACA 2DO PISO Y ESCALERA	40	2
42	DESIMBRE Y ASEO PLACA	41	2
43	<b>2DO A 3ER PISO</b>		<b>24</b>
44	COLUMNAS Y PANTALLAS	41	7
45	ARMADA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA	44	13
46	FUNDIDA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA	45	2
47	DESIMBRE Y ASEO PLACA	46	2
48	<b>3ER A 4TO PISO</b>		<b>23</b>
49	COLUMNAS Y PANTALLAS	46	7
50	ARMADA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	49	12
51	FUNDIDA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	50	2
52	DESIMBRE Y ASEO PLACA	51	2
53	<b>4TO A 5TO PISO</b>		<b>23</b>

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

54	COLUMNAS Y PANTALLAS	51	7
55	ARMADA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	54	12
56	FUNDIDA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	55	2
57	DESIMBRE Y ASEO PLACA	56	2
58	<b>5TO A 6TO PISO</b>		<b>23</b>
59	COLUMNAS Y PANTALLAS	56	7
60	ARMADA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	59	12
61	FUNDIDA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	60	2
62	DESIMBRE Y ASEO PLACA	61	2
63	<b>6TO A 7MO PISO</b>		<b>23</b>
64	COLUMNAS Y PANTALLAS	61	7
65	ARMADA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	64	12
66	FUNDIDA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	65	2
67	DESIMBRE Y ASEO PLACA	66	2
68	<b>7MO A 8VO PISO</b>		<b>23</b>
69	COLUMNAS Y PANTALLAS	66	7
70	ARMADA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	69	12
71	FUNDIDA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	70	2
72	DESIMBRE Y ASEO PLACA	71	2
73	<b>8VO PISO A CUBIERTA</b>		<b>23</b>
74	COLUMNAS Y PANTALLAS	71	7
75	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	74	12
76	FUNDIDA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	75	2
77	DESIMBRE Y ASEO PLACA	76	2
78	<b>CUBIERTA A MAQUINAS</b>		<b>8</b>
79	COLUMNAS Y PANTALLAS	76	2
80	ARMADA PLACA MAQUINAS	79	4
81	FUNDIDA PLACA MAQUINAS	80	1
82	DESIMBRE Y ASEO PLACA	81	1
83	<b>SOTANO A 1ER PISO ENSAMBLE</b>		<b>16</b>
84	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	77	12
85	FUNDIDA PLACA CUBIERTA	84	2
86	DESIMBRE Y ASEO PLACA	85	2
87	<b>1ER A 2DO NIVEL ZONA ENSAMBLE</b>		<b>16</b>
88	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	85	12
89	FUNDIDA PLACA CUBIERTA	88	2
90	DESIMBRE Y ASEO PLACA	89	2

Fuente. Empresa Objeto de Estudio.

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

## Anexo 3. Programa Manejo de Personal de Obra.

ALVARO ALDANA GUTIERREZ Arquitecto		PROGRAMA MANEJO PERSONAL DE OBRA																
		- EDIFICIO -																
		FECHA : Noviembre de 2012					ELABORO : A.A.G.					APROBO:					Hoja No. De	
PERSONAL DE OBRA	CANT.	2013																
		2012	2013												2014			
		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	
<b>A. PERSONAL POR ADMINISTRACIÓN.</b>																		
DIRECTOR DE OBRA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
RESIDENTE DE OBRA	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
ALMACENISTA	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
MAESTRO DE OBRA	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
EJERO	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00						
PLUMERO	1,00			1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			
CISO	1,00		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			
OFICIAL	3,00					2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	
AYUDANTE	4,00		4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
ASEADORA	4,00												3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	
<b>TOTALES</b>	<b>18,00</b>	<b>1,00</b>	<b>10,00</b>	<b>10,00</b>	<b>11,00</b>	<b>13,00</b>	<b>13,00</b>	<b>13,00</b>	<b>14,00</b>	<b>14,00</b>	<b>14,00</b>	<b>14,00</b>	<b>16,00</b>	<b>16,00</b>	<b>16,00</b>	<b>14,00</b>	<b>14,00</b>	
<b>B. PERSONAL POR CONTRATO</b>																		
1 DEMOLICIONES	6,00	6,00																
2 PILOTAJE	8,00		8,00															
3 EXCAVACIÓN MECÁNICA	4,00		4,00		4,00													
4 ESTRUCTURA	20,00		20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	10,00						
5 INSTALACIONES ELÉCTRICAS	5,00				5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
6 INSTALACIONES HIDROSANITARIA	5,00			5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
7 INSTALACIONES RED INCENDIOS	2,00			2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
8 INSTALACIONES DE GAS	2,00			2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
9 MAMPOSTERÍA, PAÑETES, PISOS.	35,00						35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	15,00				
10 ENCHAPES Y ACABADOS	8,00									8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00			
11 ESTUCADORES Y PINTORES	15,00									15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	
12 IMPERMEABILIZACIONES	3,00									3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00			
13 CARPINTERÍA MADERA	5,00												5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
14 CARPINTERÍA ALUMINIO	5,00									5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00			
15 CARPINTERÍA METÁLICA	3,00												3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	
16 IMPERMEABILIZACIONES	3,00																	
17 ASCENSOR	3,00													3,00				
18 CIELO RASOS Y SUPER BOART	3,00													3,00	3,00			
19 DIVISIONES BAÑOS Y ESPEJOS	3,00													3,00	3,00	3,00		
20 CIRCUITO T.V. Y CITOFONÍA	3,00														3,00	3,00		
21 MARMOL	3,00												3,00	3,00	3,00	3,00		
<b>TOTALES</b>	<b>144,00</b>	<b>6,00</b>	<b>32</b>	<b>29</b>	<b>38</b>	<b>34</b>	<b>69</b>	<b>89</b>	<b>69</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>78</b>	<b>63,00</b>	<b>44,00</b>	<b>28,00</b>	
<b>TOTAL PERSONAL</b>	<b>162,00</b>	<b>7,00</b>	<b>42,00</b>	<b>39,00</b>	<b>49,00</b>	<b>47,00</b>	<b>82,00</b>	<b>102,00</b>	<b>83,00</b>	<b>114,00</b>	<b>114,00</b>	<b>104,00</b>	<b>107,00</b>	<b>94,00</b>	<b>79,00</b>	<b>58,00</b>	<b>42,00</b>	

Fuente. Empresa Objeto de Estudio.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

**Anexo 4. Asignación de Recursos Renovables y No Renovables por Actividad.**

<b>ID</b>	<b>Nombre de la Actividad</b>	<b>Recurso Renovable (Mano de obra) En número de Personas</b>	<b>Recurso No Renovable (Presupuesto) En Millones de Pesos</b>
1	<b>EDIFICIO PONTETRESA</b>		<b>\$ 1.660,28</b>
2	<b>CIMENTACION</b>		<b>\$ 548,95</b>
3	<b>VARIOS</b>		<b>\$ 289,03</b>
4	LOCALIZACION Y REPLANTEO (incluye pre huecos)	1	\$ 0,77
5	PREHUECOS	2	\$ 1,43
6	ARMADA CANASTA PILOTES	8	\$ 125,23
7	INSTALACIÓN MAQUINA PILOTEADORA	2	\$ 0,60
8	PILOTAJE TIPO KELLY Y TORNILLO CONTINUO	8	\$ 161,00
9	<b>FASE 1</b>		<b>\$ 247,23</b>
10	EXCAVACION A MAQUINA	4	\$ 28,27
11	DESCABECE DE PILOTES FASE 1	1	\$ 2,23
12	PERFILADA TALUD Y PISO	8	\$ 0,84
13	MORTERO PROTECCION TALUD Y PISO	8	\$ 3,77
14	EXCAVACION A MANO VIGAS Y DADOS	8	\$ 15,48
15	DESCABECE DE PILOTES FASE 2	2	\$ 39,48
16	CONCRETO POBRE DE LIMPIEZA Y VIGAS - PAÑETE VIGAS	8	\$ 7,20
17	ARMADA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR	8	\$ 6,57
18	FUNDIDA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR 1ra FUNDIDA	8	\$ 25,34
19	FUNDIDA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR 2da FUNDIDA	7	\$ 48,43
20	EXCAVACION A MANO TRINCHERAS	8	\$ 12,91
21	ARMADA Y FUNDIDA DADOS - VIGAS TRINCHERAS	8	\$ 18,68
22	ARMADA Y FUNDIDA MURO CONTENCIÓN	8	\$ 37,07
23	EXCAVACION A MANO FOSO DEL ASCENSOR	1	\$ 0,07
24	PLACA Y MURO FOSO DEL ASCENSOR	1	\$ 0,89
25	<b>FASE 2 RAMPA A NIVEL 0.0</b>		<b>\$ 6,31</b>
26	ARMADA	8	\$ 1,20
27	FUNDIDA	8	\$ 4,97
28	DESIMBRE PLACA	8	\$ 0,14
29	<b>FASE 3 TANQUE DE AGUA</b>		<b>\$ 6,38</b>
30	EXCAVACION A MANO	8	\$ 0,73
31	ARMADA Y FUNDIDA BASE Y MUROS	8	\$ 5,66
32	<b>ESTRUCTURA</b>		<b>\$ 1.111,33</b>
33	<b>SOTANO 1 A 1ER PISO</b>		<b>\$ 143,99</b>
34	COLUMNAS Y PANTALLAS	20	\$ 48,24
35	ARMADA PLACA 1ER PISO Y ESCALERA	20	\$ 25,34
36	FUNDIDA PLACA 1ER PISO Y ESCALERA	20	\$ 70,15
37	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27
38	<b>1ER A 2DO PISO</b>		<b>\$ 105,60</b>
39	COLUMNAS Y PANTALLAS	20	\$ 48,24
40	ARMADA PLACA 2DO PISO Y ESCALERA	20	\$ 25,34
41	FUNDIDA PLACA 2DO PISO Y ESCALERA	20	\$ 31,75
42	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27
43	<b>2DO A 3ER PISO</b>		<b>\$ 106,83</b>
44	COLUMNAS Y PANTALLAS	20	\$ 48,24
45	ARMADA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA	20	\$ 25,34
46	FUNDIDA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA	20	\$ 32,99
47	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27
48	<b>3ER A 4TO PISO</b>		<b>\$ 106,83</b>



**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

49	COLUMNAS Y PANTALLAS	20	\$ 48,24
50	ARMADA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	20	\$ 25,34
51	FUNDIDA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	20	\$ 32,99
52	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27
53	<b>4TO A 5TO PISO</b>		<b>\$ 106,83</b>
54	COLUMNAS Y PANTALLAS	20	\$ 48,24
55	ARMADA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	20	\$ 25,34
56	FUNDIDA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	20	\$ 32,99
57	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27
58	<b>5TO A 6TO PISO</b>		<b>\$ 106,83</b>
59	COLUMNAS Y PANTALLAS	20	\$ 48,24
60	ARMADA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	20	\$ 25,34
61	FUNDIDA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	20	\$ 32,99
62	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27
63	<b>6TO A 7MO PISO</b>		<b>\$ 106,83</b>
64	COLUMNAS Y PANTALLAS	20	\$ 48,24
65	ARMADA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	20	\$ 25,34
66	FUNDIDA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	20	\$ 32,99
67	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27
68	<b>7MO A 8VO PISO</b>		<b>\$ 106,83</b>
69	COLUMNAS Y PANTALLAS	20	\$ 48,24
70	ARMADA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	20	\$ 25,34
71	FUNDIDA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	20	\$ 32,99
72	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27
73	<b>8VO PISO A CUBIERTA</b>		<b>\$ 106,83</b>
74	COLUMNAS Y PANTALLAS	20	\$ 48,24
75	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	20	\$ 25,34
76	FUNDIDA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	20	\$ 32,99
77	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27
78	<b>CUBIERTA A MAQUINAS</b>		<b>\$ 61,20</b>
79	COLUMNAS Y PANTALLAS	20	\$ 48,24
80	ARMADA PLACA MAQUINAS	20	\$ 12,21
81	FUNDIDA PLACA MAQUINAS	20	\$ 0,62
82	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,14
83	<b>SOTANO A 1ER PISO ENSAMBLE</b>		<b>\$ 35,17</b>
84	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	20	\$ 6,24
85	FUNDIDA PLACA CUBIERTA	20	\$ 11,07
86	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27
87	<b>1ER A 2DO NIVEL ZONA ENSAMBLE</b>		<b>\$ 17,58</b>
88	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	20	\$ 6,24
89	FUNDIDA PLACA CUBIERTA	20	\$ 11,07
90	DESIMBRE Y ASEO PLACA	20	\$ 0,27

Fuente. Empresa Objeto de Estudio.



# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

Compañía : PONTETRESA S.A.S.														Página 1								
Proyecto : PONTE TRESA														Fecha 2012/09/05								
Estado General del Proyecto x Actividad														Informe I-0195/O6024								
														Directorio (PONTETRESA)								
Cod.	Descripción	Und	Presupuesto Inicial			Ejecución Acumulada			Cantidad Contratada	Cantidad Proyectada	Cantidad Total	Por Ejecutar			Presupuesto Actual			Diferencia				
			Cantidad	Vlr.Unitario	Vlr.Total	Cantidad	Vlr.Unitario	Vlr.Total				Cantidad	Vlr.Unitario	Vlr.Total	Cantidad	Vlr.Unitario	Vlr.Total	Cantidad	Vlr.Total			
<b>01</b>	<b>PRELIMINARES</b>																					
<b>0101</b>	<b>PRELIMINARES</b>																					
0101001	Demolicion casas existentes	GLB	1.00	3,500.010	3,500.010	2.00	2,000.000	4,100.000	2.00		2.00					2.00	2,000.000	4,100.000	-1.00	-559.990		
0101002	Inst. Electrica provisional y campamento	GLB	1.00	3,563.000	3,563.000	4.00	554.075	2,336.302	5.00	-1.00	4.00					4.00	554.075	2,336.302	-3.00	1,226.699		
0101003	Inst. Hidrosanitaria provisional y campamento	GLB	1.00	1,436.350	1,436.350	0.73	1,227.154	895.829	2.00	-1.27	0.73					0.73	1,227.154	895.829	0.27	540.520		
0101004	Inst telefonica provisional y campamento	GLB	1.00	140.000	140.000						-1.00									1.00	140.000	
0101005	Campamento	UND	1.00	7,496.324	7,496.324	2.48	2,827.767	7,200.902	3.00	-0.52	2.48					2.48	2,827.767	7,200.902	-1.48	225.491		
0101006	Comerimiento provisional	M2	25.00	182.059	4,601.365	25.00	391.374	7,234.368			25.00					25.00	391.374	7,234.368		3,482.998		
0101007	Localización y replanteo	M2	697.20	3,145	2,192.504	696.20	3,190	2,224.910	696.20		696.20					696.20	3,190	2,224.910	-1.00	-32.216		
0101008	TALA DE ARBOLES	UND																				
0101009	Baño Portatil	MES				3.00	335.280	1,005.840	4.00		4.00					1.00	335.280	335.280	4.00	335.280	-1,341.120	
	<b>Total Subcapitulo</b>				<b>22,388.769</b>			<b>25,419.114</b>									<b>335.280</b>	<b>25,753.394</b>		<b>-3,363.825</b>		
	<b>Total Capitulo</b>				<b>22,388.769</b>			<b>25,419.114</b>									<b>335.280</b>	<b>25,753.394</b>		<b>-3,363.825</b>		
<b>02</b>	<b>ORIENTACION</b>																					
<b>0201</b>	<b>ORIENTACION</b>																					
0201001	Excavacion mano h=2.75	M3	839.45	30.096	25,273.967	2,130.50	23.000	49,001.900	2,130.50	2,130.50						2,130.50	23.000	49,001.900	-1,191.05	-20,727.932		
0201002	Excavacion a mano poco ejector	M3	1.50	13.200	19.800				1.50		1.50					1.50	13.790	20.695		205		
0201003	Excavacion a mano taludras	M3	977.90	13.200	12,908.280				977.90	-977.90									977.90	12,908.280		
0201004	Excavacion a mano vigas descolgadas	M3	64.55	13.200	852.060	76.16	14.341	1,092.243	67.04		67.04					105.749	67.04	1,245.292	-22.49	-396.232		
0201005	Concreto pobre	M2	481.05	14.976	7,204.453	773.86	17.155	13,275.863	795.16		795.16					17.155	13,641.087		-314.11	-6,436.004		
0201006	Excavacion a mano dados	M3	29.10	13.200	384.120	24.09	13.790	332.201	29.10		29.10					69.007	29.10	13.790	401.209		-17.109	
0201007	Plancha lavable	M2	296.30	12.944	3,771.892	189.20	47.021	8,814.311	296.30		296.30					1,289.890	296.30	34,099	9,804.202		-6,132.390	
0201008	Placa contrapiso h=0.10	M2	407.15	63.420	25,833.967				407.15		407.15					65.133	26,516.145			-65.477		
0201009	Virga material sobrante escav. y pilotes	M3	1,525.80	25.512	39,026.208	427.01	30.069	12,940.096	1,565.55	-1,138.54	427.01					30.069	12,940.096		1,098.79	26,066.142		
0201010	Virga zarpa 0.80% 2.5 Tipo 2 bitumoso conlecion	MTL	13.00	66.400	868.200			209.390	13.00		13.00					66.994	696.932	13.00	65.101	1,106.233	-217.123	
0201011	Prehucos	UND	52.00	27.504	1,430.208	39.00	48.041	1,873.620	52.00	-13.00	39.00					39.00	48.041	1,873.620	13.00	-443.412		
0201012	Pilotes tipo tornillo de 0.30	MTL	516.00	56.229	29,014.154	517.65	50.454	26,123.077	517.65		517.65					50.454	26,123.077		-1.65	2,891.000		
0201013	Pilotes tipo Kelly de 0.50	MTL	1,025.00	129.354	132,987.850	1,025.00	128.848	130,617.249	1,038.34	-13.34	1,025.00					1,025.00	128.848	130,617.249		2,370.600		
0201014	Placa de contrapiso h=0.20	M2	266.35	63.562	16,746.221	267.01	65.595	21,376.441	267.01		267.01					65.595	21,376.441		-0.16	-6,630.220		
0201015	Perforado talud	M2	296.50	2.894	842.612	183.20	6.696	1,227.172	296.50	-107.30	189.20					6.696	1,227.172		107.30	-63.260		
0201016	Horno pilotes	NQR	49,859.00	2,237	111,534.563	32,331.66	2,240	72,431.281			49,859.00	17,527.12	2,240			39,264.905	49,859.00	2,240	111,896.236		-161.653	
0201017	Columnetas muro confinado 0.10% 1.2	MTL	51.85	22.820	1,183.229				51.85		51.85					21.667	1,123.457	51.85	21.667	1,123.457	99.772	
0201018	Puerta de continuidad piloteo	UND	1.00	3,000.000	3,000.000					-1.00									1.00	3,000.000		
0201019	Control de asentamiento	MES	3.00	490.000	1,500.000	3.00	533.333	1,600.000	4.00		4.00					533.333	533.333	4.00	533.333	2,133.333	-333.333	
0201020	Perforado de pozo	M2	481.05	2.864	1,386.968	773.86	3.839	2,913.912	785.16	-21.30	773.86					3.839	2,913.912		-392.81	-1,416.043		
0201021	Reforzo en recibo	M3	101.80	51.600	5,265.800				101.80		101.80					51.135	5,205.565			47.316		
0201022	Tanque de agua	M3	13.50	418.948	5,655.780				13.60		13.60					428.252	5,824.231			-61.0		
0201023	Trasiego escav. a mano	M3	1,452.80	9.864	14,243.251	145.29	4.964	721.277	1,452.80	-1,307.51	145.29					4.964	721.277		1,307.51	13,521.973		
0201024	Desbace de pilotes	UND	52.00	53.502	2,782.104	42.00	49.859	2,094.096	52.00		52.00					49.859	498.294	52.00	49.859	2,592.890	189.413	
0201025	Muro de contencion	M3	67.00	426.130	28,552.050	32.95	474.004	15,638.207	67.00		67.00					34.05	424.004	14,457.771	67.00	449.193	30,995.979	-1,543.929
0201026	Armado concreto pilotes	NQR	30,429.80	420	13,899.415	10,029.19	491	4,024.112	10,029.30	-20,400.00	10,029.20					491	4,024.118			8,869.299	20,400.00	
0201027	Pilote y mano h=0.20 conector e=0.20	M2	27.75	31.984	887.506	27.75	56.637	1,627.201			27.75								27.75	56.637	1,627.201	-739.364
0201028	Vigas descolgadas h=0.20	M3	96.90	430.200	25,336.780	53.11	299.072	15,963.763	96.90		96.90					3.79	299.072	1,731.832	36.90	299.072	17,616.396	7,723.383
0201029	Columnetas muro confinado 0.40% 1.2	MTL	51.85	34.067	1,767.346				51.85		51.85					35.451	1,836.160	51.85	35.451	1,836.160	-70.723	
0201030	Dados placa contrapiso h=0.20	M3	29.15	430.200	12,546.300	25.97	302.149	7,846.823	29.15		29.15					3.18	302.149	8,607.893	29.15	3,732.670		

Fuente. Empresa Objeto de Estudio.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

**Anexo 6. Impacto de las Variables Exógenas Sobre Cada Actividades**

ID	Nombre de la Actividad	Variables Exógenas				
		Clima	Medio ambiente y Contaminación	Índice de precios	Cadena de Suministro	Imprevistos, Entornos Sociales y Seguridad
1	<b>EDIFICIO PONTETRESA</b>					
2	<b>CIMENTACION</b>					
3	<b>VARIOS</b>					
4	LOCALIZACION Y REPLANTEO (incluye pre huecos)					
5	PREHUECOS	X				
6	ARMADA CANASTA PILOTES			X	X	
7	INSTALACIÓN MAQUINA PILOTEADORA					
8	PILOTAJE TIPO KELLY Y TORNILLO CONTINUO		X	X	X	
9	<b>FASE 1</b>					
10	EXCAVACION A MAQUINA	X	X			X
11	DESCABECE DE PILOTES FASE 1					
12	PERFILADA TALUD Y PISO	X				
13	MORTERO PROTECCION TALUD Y PISO	X		X	X	
14	EXCAVACION A MANO VIGAS Y DADOS	X	X			X
15	DESCABECE DE PILOTES FASE 2					
16	CONCRETO POBRE DE LIMPIEZA Y VIGAS - PAÑETE VIGAS	X		X	X	
17	ARMADA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR			X	X	
18	FUNDIDA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR 1ra FUNDIDA	X		X	X	
19	FUNDIDA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR 2da FUNDIDA	X		X	X	
20	EXCAVACION A MANO TRINCHERAS	X	X			X
21	ARMADA Y FUNDIDA DADOS - VIGAS TRINCHERAS			X	X	
22	ARMADA Y FUNDIDA MURO CONTENCION			X	X	
23	EXCAVACION A MANO FOSO DEL ASCENSOR	X	X			X
24	PLACA Y MURO FOSO DEL ASCENSOR	X		X	X	
25	<b>FASE 2 RAMPA A NIVEL 0.0</b>					
26	ARMADA			X	X	
27	FUNDIDA			X	X	
28	DESIMBRE PLACA					
29	<b>FASE 3 TANQUE DE AGUA</b>					
30	EXCAVACION A MANO	X				X
31	ARMADA Y FUNDIDA BASE Y MUROS	X		X	X	
32	<b>ESTRUCTURA</b>					
33	<b>SOTANO 1 A 1ER PISO</b>					
34	COLUMNAS Y PANTALLAS			X	X	X
35	ARMADA PLACA 1ER PISO Y ESCALERA			X	X	X
36	FUNDIDA PLACA 1ER PISO Y ESCALERA	X		X	X	X
37	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
38	<b>1ER A 2DO PISO</b>					
39	COLUMNAS Y PANTALLAS			X	X	X
40	ARMADA PLACA 2DO PISO Y ESCALERA			X	X	X
41	FUNDIDA PLACA 2DO PISO Y ESCALERA	X		X	X	X
42	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
43	<b>2DO A 3ER PISO</b>					
44	COLUMNAS Y PANTALLAS			X	X	X

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

45	ARMADA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA			X	X	X
46	FUNDIDA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA	X		X	X	X
47	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
48	<b>3ER A 4TO PISO</b>					
49	COLUMNAS Y PANTALLAS			X	X	X
50	ARMADA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA			X	X	X
51	FUNDIDA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	X		X	X	X
52	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
53	<b>4TO A 5TO PISO</b>					
54	COLUMNAS Y PANTALLAS			X	X	X
55	ARMADA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA			X	X	X
56	FUNDIDA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	X		X	X	X
57	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
58	<b>5TO A 6TO PISO</b>					
59	COLUMNAS Y PANTALLAS			X	X	X
60	ARMADA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA			X	X	X
61	FUNDIDA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	X		X	X	X
62	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
63	<b>6TO A 7MO PISO</b>					
64	COLUMNAS Y PANTALLAS			X	X	X
65	ARMADA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA			X	X	X
66	FUNDIDA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	X		X	X	X
67	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
68	<b>7MO A 8VO PISO</b>					
69	COLUMNAS Y PANTALLAS			X	X	X
70	ARMADA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA			X	X	X
71	FUNDIDA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	X		X	X	X
72	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
73	<b>8VO PISO A CUBIERTA</b>					
74	COLUMNAS Y PANTALLAS			X	X	X
75	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA			X	X	X
76	FUNDIDA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	X		X	X	X
77	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
78	<b>CUBIERTA A MAQUINAS</b>					
79	COLUMNAS Y PANTALLAS			X	X	X
80	ARMADA PLACA MAQUINAS			X	X	X
81	FUNDIDA PLACA MAQUINAS	X		X	X	X
82	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
83	<b>SOTANO A 1ER PISO ENSAMBLE</b>					
84	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA			X	X	X
85	FUNDIDA PLACA CUBIERTA	X		X	X	X
86	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X
87	<b>1ER A 2DO NIVEL ZONA ENSAMBLE</b>					
88	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA			X	X	X
89	FUNDIDA PLACA CUBIERTA	X		X	X	X
90	DESIMBRE Y ASEO PLACA					X

Fuente. Propia.

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

**Anexo 7. Impacto de las Variables Endógenas Sobre Cada Actividades.**

ID	Nombre de la Actividad	Variables Endógenas						
		Reprocesos	Financieros	Demoras Debidas a Maquinarias y Equipos	Mano de obra y ausentismo	Fatiga	Motivación	Aprenjizaje
1	<b>EDIFICIO PONTETRESA</b>							
2	<b>CIMENTACION</b>							
3	<b>VARIOS</b>							
4	LOCALIZACION Y REPLANTEO (incluye pre huecos)				X	X	X	X
5	PREHUECOS				X	X	X	X
6	ARMADA CANASTA PILOTES	X	X		X	X	X	X
7	INSTALACION MAQUINA PILOTEADORA				X	X	X	X
8	PILOTAJE TIPO KELLY Y TORNILLO CONTINUO		X	X	X	X	X	X
9	<b>FASE 1</b>							
10	EXCAVACION A MAQUINA			X	X	X	X	X
11	1 DESCABECE DE PILOTES FASE				X	X	X	X
12	PERFILADA TALUD Y PISO				X	X	X	X
13	MORTERO PROTECCION TALUD Y PISO				X	X	X	X
14	EXCAVACION A MANO VIGAS Y DADOS			X	X	X	X	X
15	2 DESCABECE DE PILOTES FASE				X	X	X	X
16	CONCRETO POBRE DE LIMPIEZA Y VIGAS - PAÑETE VIGAS				X	X	X	X
17	ARMADA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR	X			X	X	X	X
18	FUNDIDA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR 1ra FUNDIDA	X	X		X	X	X	X
19	FUNDIDA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR 2da FUNDIDA	X	X		X	X	X	X
20	EXCAVACION A MANO TRINCHERAS			X	X	X	X	X
21	ARMADA Y FUNDIDA DADOS - VIGAS TRINCHERAS	X			X	X	X	X
22	ARMADA Y FUNDIDA MURO CONTENCIÓN	X	X		X	X	X	X
23	EXCAVACION A MANO FOSO DEL ASCENSOR			X	X	X	X	X
24	PLACA Y MURO FOSO DEL ASCENSOR	X	X		X	X	X	X
25	<b>FASE 2 RAMPA A NIVEL 0.0</b>							
26	ARMADA	X			X	X	X	X
27	FUNDIDA	X			X	X	X	X
28	DESIMBRE PLACA				X	X	X	X
29	<b>FASE 3 TANQUE DE AGUA</b>							
30	EXCAVACION A MANO				X	X	X	X
31	ARMADA Y FUNDIDA BASE Y MUROS	X			X	X	X	X
32	<b>ESTRUCTURA</b>							
33	<b>SOTANO 1 A 1ER PISO</b>							
34	COLUMNAS Y PANTALLAS	X	X		X	X	X	X

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

35	ARMADA PLACA 1ER PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
36	FUNDIDA PLACA 1ER PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
37	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
38	<b>1ER A 2DO PISO</b>							
39	COLUMNAS Y PANTALLAS	X	X		X	X	X	X
40	ARMADA PLACA 2DO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
41	FUNDIDA PLACA 2DO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
42	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
43	<b>2DO A 3ER PISO</b>							
44	COLUMNAS Y PANTALLAS	X	X		X	X	X	X
45	ARMADA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
46	FUNDIDA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
47	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
48	<b>3ER A 4TO PISO</b>							
49	COLUMNAS Y PANTALLAS	X	X		X	X	X	X
50	ARMADA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
51	FUNDIDA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
52	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
53	<b>4TO A 5TO PISO</b>							
54	COLUMNAS Y PANTALLAS	X	X		X	X	X	X
55	ARMADA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
56	FUNDIDA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
57	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
58	<b>5TO A 6TO PISO</b>							
59	COLUMNAS Y PANTALLAS	X	X		X	X	X	X
60	ARMADA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
61	FUNDIDA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
62	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
63	<b>6TO A 7MO PISO</b>							
64	COLUMNAS Y PANTALLAS	X	X		X	X	X	X
65	ARMADA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
66	FUNDIDA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
67	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
68	<b>7MO A 8VO PISO</b>							
69	COLUMNAS Y PANTALLAS	X	X		X	X	X	X
70	ARMADA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
71	FUNDIDA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
72	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
73	<b>8VO PISO A CUBIERTA</b>							
74	COLUMNAS Y PANTALLAS	X	X		X	X	X	X
75	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
76	FUNDIDA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	X	X		X	X	X	X
77	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
78	<b>CUBIERTA A MAQUINAS</b>							
79	COLUMNAS Y PANTALLAS	X	X		X	X	X	X

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

80	ARMADA PLACA MAQUINAS	X			X	X	X	X
81	FUNDIDA PLACA MAQUINAS	X			X	X	X	X
82	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
83	<b>SOTANO A 1ER PISO ENSAMBLE</b>							
84	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	X			X	X	X	X
85	FUNDIDA PLACA CUBIERTA	X			X	X	X	X
86	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X
87	<b>1ER A 2DO NIVEL ZONA ENSAMBLE</b>							
88	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	X			X	X	X	X
89	FUNDIDA PLACA CUBIERTA	X			X	X	X	X
90	DESIMBRE Y ASEO PLACA				X	X	X	X

Fuente. Propia.



**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

**Anexo 8. Actividades a las Cuales Aplicara el Modo de Ejecución**

<b>ID</b>	<b>Nombre de la Actividad</b>	<b>NTA</b>	<b>Modo</b>
1	<b>EDIFICIO PONTETRESA</b>	<b>353</b>	
2	<b>CIMENTACION</b>	<b>353</b>	
3	<b>VARIOS</b>	<b>36</b>	
4	LOCALIZACION Y REPLANTEO (incluye pre huecos)	5	
5	PREHUECOS	6	X
6	ARMADA CANASTA PILOTES	7	X
7	INSTALACIÓN MAQUINA PILOTEADORA	2	
8	PILOTAJE TIPO KELLY Y TORNILLO CONTINUO	25	X
9	<b>FASE 1</b>	<b>306</b>	
10	EXCAVACION A MAQUINA	6	
11	DESCABECE DE PILOTES FASE 1	3	
12	PERFILADA TALUD Y PISO	5	X
13	MORTERO PROTECCION TALUD Y PISO	5	X
14	EXCAVACION A MANO VIGAS Y DADOS	10	X
15	DESCABECE DE PILOTES FASE 2	3	
16	CONCRETO POBRE DE LIMPIEZA Y VIGAS - PAÑETE VIGAS	10	X
17	ARMADA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR	16	X
18	FUNDIDA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR 1ra FUNDIDA	1	
19	FUNDIDA VIGAS DESCOLGADAS CON PLACA SUPERIOR 2da FUNDIDA	1	
20	EXCAVACION A MANO TRINCHERAS	75	X
21	ARMADA Y FUNDIDA DADOS - VIGAS TRINCHERAS	75	X
22	ARMADA Y FUNDIDA MURO CONTENCIÓN	75	X
23	EXCAVACION A MANO FOSO DEL ASCENSOR	1	
24	PLACA Y MURO FOSO DEL ASCENSOR	10	X
25	<b>FASE 2 RAMPA A NIVEL 0.0</b>	<b>8</b>	
26	ARMADA	6	X
27	FUNDIDA	1	
28	DESIMBRE PLACA	1	
29	<b>FASE 3 TANQUE DE AGUA</b>	<b>11</b>	
30	EXCAVACION A MANO	10	X
31	ARMADA Y FUNDIDA BASE Y MUROS	1	
32	<b>ESTRUCTURA</b>	<b>224</b>	
33	<b>SOTANO 1 A 1ER PISO</b>	<b>24</b>	
34	COLUMNAS Y PANTALLAS	7	X
35	ARMADA PLACA 1ER PISO Y ESCALERA	13	X
36	FUNDIDA PLACA 1ER PISO Y ESCALERA	2	
37	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	
38	<b>1ER A 2DO PISO</b>	<b>24</b>	
39	COLUMNAS Y PANTALLAS	7	X
40	ARMADA PLACA 2DO PISO Y ESCALERA	13	X
41	FUNDIDA PLACA 2DO PISO Y ESCALERA	2	
42	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	
43	<b>2DO A 3ER PISO</b>	<b>24</b>	
44	COLUMNAS Y PANTALLAS	7	X
45	ARMADA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA	13	X
46	FUNDIDA PLACA 3ER PISO Y ESCALERA	2	
47	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	
48	<b>3ER A 4TO PISO</b>	<b>23</b>	
49	COLUMNAS Y PANTALLAS	7	X
50	ARMADA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	12	X
51	FUNDIDA PLACA 4TO PISO Y ESCALERA	2	
52	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	

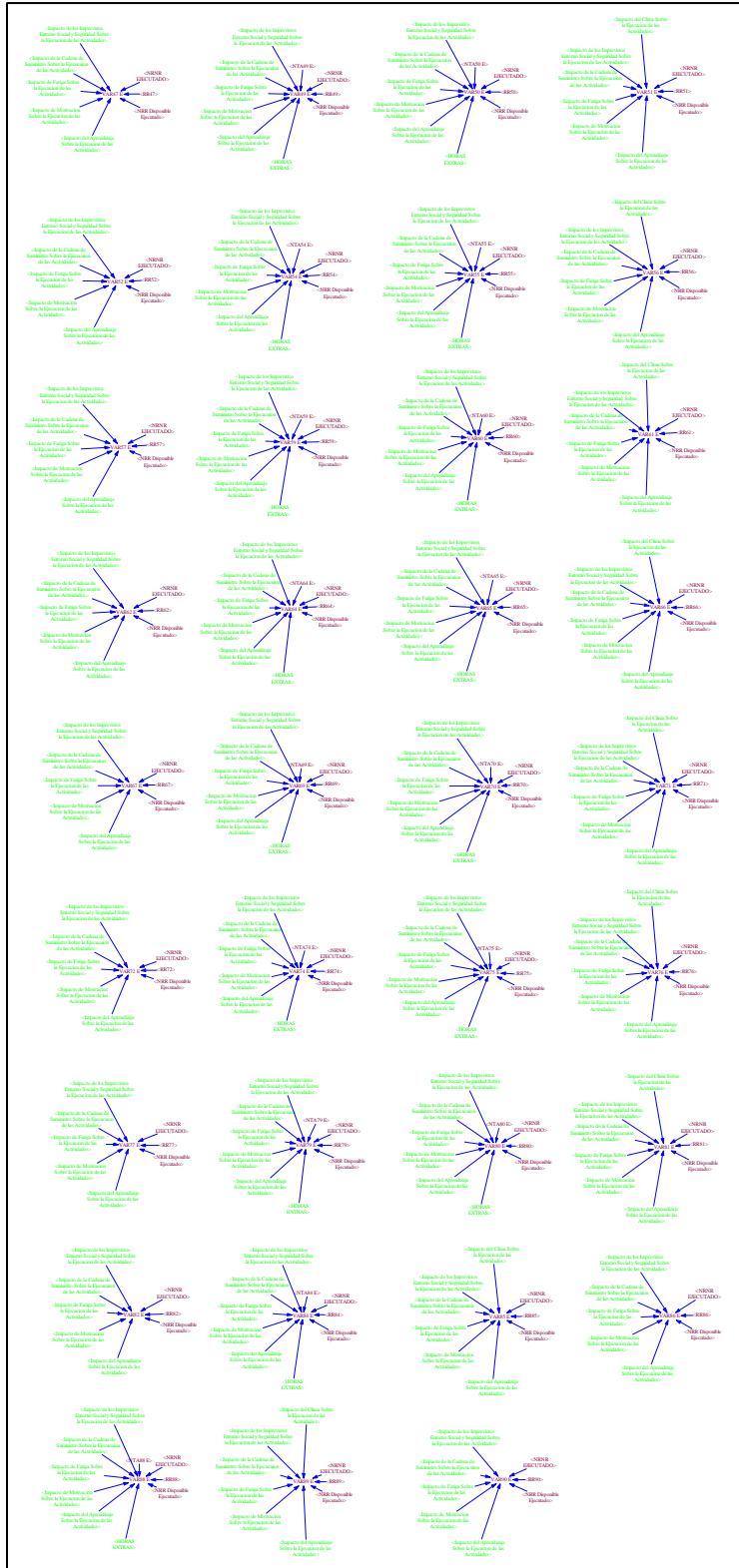
**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

53	<b>4TO A 5TO PISO</b>	<b>23</b>	
54	COLUMNAS Y PANTALLAS	7	X
55	ARMADA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	12	X
56	FUNDIDA PLACA 5TO PISO Y ESCALERA	2	
57	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	
58	<b>5TO A 6TO PISO</b>	<b>23</b>	
59	COLUMNAS Y PANTALLAS	7	X
60	ARMADA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	12	X
61	FUNDIDA PLACA 6TO PISO Y ESCALERA	2	
62	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	
63	<b>6TO A 7MO PISO</b>	<b>23</b>	
64	COLUMNAS Y PANTALLAS	7	X
65	ARMADA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	12	X
66	FUNDIDA PLACA 7MO PISO Y ESCALERA	2	
67	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	
68	<b>7MO A 8VO PISO</b>	<b>23</b>	
69	COLUMNAS Y PANTALLAS	7	X
70	ARMADA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	12	X
71	FUNDIDA PLACA 8VO PISO Y ESCALERA	2	
72	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	
73	<b>8VO PISO A CUBIERTA</b>	<b>23</b>	
74	COLUMNAS Y PANTALLAS	7	X
75	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	12	X
76	FUNDIDA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	2	
77	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	
78	<b>CUBIERTA A MAQUINAS</b>	<b>8</b>	
79	COLUMNAS Y PANTALLAS	2	
80	ARMADA PLACA MAQUINAS	4	X
81	FUNDIDA PLACA MAQUINAS	1	
82	DESIMBRE Y ASEO PLACA	1	
83	<b>SOTANO A 1ER PISO ENSAMBLE</b>	<b>16</b>	
84	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	12	X
85	FUNDIDA PLACA CUBIERTA	2	
86	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	
87	<b>1ER A 2DO NIVEL ZONA ENSAMBLE</b>	<b>16</b>	
88	ARMADA PLACA CUBIERTA Y ESCALERA	12	X
89	FUNDIDA PLACA CUBIERTA	2	
90	DESIMBRE Y ASEO PLACA	2	

Fuente. Propia.




# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.



Fuente. Propia.

**Anexo 10. Ejemplo de Informe de Estado de Avance (NEP Ejecutado)**



**Planiconst** SAS

Bogotá D.C. Octubre 03 de 2012

Señores:

**PONTETRESA SAS**

Dr. Jaime Yusef - Francisco Mesa.

Ciudad.

**INFORME INTERVENTORIA - CONTROL DE PROGRAMACION**

**REF: PROYECTO PONTETRESA**

Semana (40) del 26 al 02 de octubre de 68 semanas - inicio entregas semana (64).

**Inicio pilotaje:** Febrero 01 del 2012

**Terminación de obra:** Abril 15 del 2013

**Inicio entregas aptos:** Marzo 15 del 2013

**Terminación entregas aptos:** Abril 15 del 2013

Comentarios a la visita realizada el día 02 de octubre del presente año.

**1. EJECUCIÓN VS PROGRAMACIÓN:**

*Conclusiones:*

*El proyecto presenta un adelanto de (7) días hábiles con respecto al programa de general:*

	PROGRAMADO	EJECUTADO
<i>Proyecto general</i>	36%	46%
<i>Avance semanal</i>	3.0%	3.0%
<i>Instalaciones preliminares</i>	100%	100%
<i>Cimentación</i>	99%	93%
<i>Estructura</i>	72%	92%
<i>Pañetes</i>	42%	65%
<i>Mampostería</i>	48%	75%
<i>Pisos bases</i>	28%	40%
<i>Enchape muros y pisos</i>	15%	25%
<i>Pintura</i>	5%	12%
<i>Carpintería metálica</i>	7%	7%
<i>Apto modelo</i>	70%	65%

Las actividades descritas se encuentran atrasadas con respecto al programa de obra:

	PROGR	EJECU	DIAS
<b>Cimentación</b>			
Rellenos en recebo cimentación zona occidental	100%	25%	-10
Armada y fundida placa de contrapiso	50%	0%	-5

Las actividades descritas se deben realizar en la semana (41) del 03 al 11 de Octubre:

**Estructura**

- Retiro casetón placa cubierta 100%
- Ensamble costado occidental
- Armada y fundida vigas de cimentación empates 100% falta 1 und
- Perfilada de piso 75%
- Relleno en recebo B - 400 50% depende muestra
- Armada y fundida placa de contrapiso 50%

**No. 36**

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**



**Planiconst** SAS

**Mampostería**

**6to nivel**

- Mampostería interior 100%
- Fundida muertos y columnetas 100%
- Mampostería de fachada 100%
- Fundida dovelas 100%

**8vo nivel**

- Mampostería interior 25%
- Fundida muertos y columnetas 25%

**Cubierta**

- Mampostería cuellos de ductos y cto máquinas 50%

**Pañetes**

- Pañete bajo placa 8 nivel 50% iniciar urgente
- Reubicación de balas 5 nivel 100%
- Detallada de balas 4 nivel 100%
- Pañete muros 5 nivel 100% se inicia recibo

**Pisos**

- Afinado pisos 4 nivel 100%

**Enchape muros y pisos baños y cocinas**

- Enchape muros y pisos baños - cocinas 3 nivel 100%
- Enboquillar enchapes 2 nivel 100%

**Impermeabilización duchas - cocinas**

- Impermeabilización 4 nivel 25% depende pisos

**Instalaciones eléctricas**

- Alambrada 5 nivel 25%
- Instalaciones eléctricas por muro 6 nivel 100% se recibe

**Instalaciones hidrosanitarias**

- Instalaciones hidrosanitarias - gas por muro 6 nivel 100% se recibe
- Red de incendio con gabinetes 4 y 6 nivel 100%
- Remate construcción de cajas (pañetes) 100%
- Pruebas 2 y 3 nivel con manómetro calibrado 100%
- Instalar calentador apartamento modelo 100%

**Pintura**

- Estuco + 1ra mano de pintura techos y muros 3 nivel 75%
- 2da mano de pintura 2 nivel 40% inició lunes 08 oct

**Apto modelo**

- Fundir bordillo (2) baranda 100%
- Instalar ventanería 100%
- Afinar balcones 100%

**Acceso apto modelo**

- Afinar escalera 1 a 2 nivel 100% sábado 06 de oct
- Estuco + 1ra mano de pintura hall 2 nivel con escalera 50% se inicia lunes 08 oct

**2. PROGRAMA DE COMPRAS:**

Lavaderos

Mortero para pega - pañete - pisos

**SEMANA 03 AL 11 DE OCTUBRE**

llegada a obra 03 de octubre

contar con stock en obra

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.



**Planiconst** SAS

3. **PROGRAMA DE CONTRATOS:**
- Ventanería apto modelo
  - Carpintería madera apto modelo
  - Carpintería cocinas apto modelo
  - Mesones de baño y cocina
  - Carpintería metálica
  - Impermeabilización terrazas y cubierta
  - Puertas mecanoeléctricas
  - Drywall
4. **PROGRAMA DE EQUIPOS:**
- Equipo de presión – eyector – planta emergencia
5. **PROGRAMA DISEÑOS Y LICENCIAS:**
- **Pmt entrada y salida volquetas:** Vigente hasta (17 de octubre del 2012). Solicitar Prorroga.
  - **Proyecto serie 3:** Radicar en codensa una vez se obtenga la modificación arquitectónica
  - **Certificación Retie:** Programar 2da visita retie (Cuando la obra éste en alambrado de apto).
  - **Licencia de construcción:** Pendiente obtención modificación.
  - **Gas natural:**
    - Radicar planos arquitectónicos modificados en gas natural. (redes y fluidos).
    - Programar 2da visita la cual depende de la instalación calentador modelo.
6. **PROGRAMA PROVISIONALES:**
- **Disponibilidad servicio de redes:** Se cuenta con disponibilidad oficio E-2011-097007
  - **Plano Domiciliarias:** Radicado, pendiente respuesta.
7. **RECOMENDACIONES TECNICAS:**
- Pasar plomos foso de ascensor para iniciar resane.
  - La obra se debe poner como meta entregar todos los requerimientos para el inicio de la instalación del ascensor antes del 15 de noviembre del 2012.
    - Resane de foso de cubierta a sótano.
    - Pañete foso e impermeabilización
    - Mampostería, pañete, instalaciones eléctricas cuarto de máquinas.
    - Puerta metálica acceso cuarto.
  - Se autorizó iniciar mampostería en 8 nivel ya que el avance en 7 nivel depende el pañete bajo placa.
  - Solicitar informe final al ing. estructural de núcleos muestras C - 25 columna B (2 - 3) y pantalla C-2 de 4to nivel.
    - Enviar informe al ing. estructural para su concepto.
  - Se definió que la placa de cubierta de se debe trabajar con:
    - Utilizar icopor y malla gallinero antes del afinado de pisos
  - Las siguientes son las actividades que están pendiente por recibir por parte de interventoría en la semana del 03 al 11 de octubre.
    - Mampostería 6 nivel (100%)
    - Pañete muros 5 nivel (100%) parcialmente
    - Pañete bajo placa 8 nivel (50%) parcialmente
    - Enchape muros y pisos 3 nivel (50%) parcialmente

**SEMANA 03 AL 11 DE OCTUBRE**  
llegada a obra 04 de octubre  
llegada a obra 05 de octubre  
llegada a obra 10 de octubre  
fabricación apto modelo  
fabricación y llegada a obra 2 nivel  
programar visita imp balcones  
elaboración y firma contrato  
elaboración y firma contrato  
**SEMANA 03 AL 11 DE OCTUBRE**  
firma contrato - IHM

Ing. Alexander Suárez  
Director de interventoría

Ing. Dario Rivera  
Residente Interventoría

Calle 137 No. 47 - 34 oficina 403 edificio las marías II - Tel: 633 11 07 cel: 310 8674722 - 315 8319196  
email: alexanderchi2002@yahoo.es - radarif1@hotmail.com BOGOTÁ - COLOMBIA

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.**

---

**Anexo 11. Experimentos Diseñados para Ejecutar el Modelo.**

<b>Experimento</b>	<b>Modo</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Frecuencia Control (Días)</b>	<b>Incentivo</b>	<b>Repeticiones</b>
1	Presupuesto	N/A	N/A	N/A	1
2	Sin Control	N/A	N/A	N/A	18
3	Modo1	5%	N/A	N/A	18
4	Modo1	3%	N/A	N/A	18
5	Modo1	1%	N/A	N/A	18
6	Modo2	5%	28	N/A	18
7	Modo2	5%	14	N/A	18
8	Modo2	5%	7	N/A	18
9	Modo2	3%	28	N/A	18
10	Modo2	3%	14	N/A	18
11	Modo2	3%	7	N/A	18
12	Modo2	1%	28	N/A	18
13	Modo2	1%	14	N/A	18
14	Modo2	1%	7	N/A	18
15	Modo3	5%	28	Si	18
16	Modo3	5%	14	Si	18
17	Modo3	5%	7	Si	18
18	Modo3	3%	28	Si	18
19	Modo3	3%	14	Si	18
20	Modo3	3%	7	Si	18
21	Modo3	1%	28	Si	18
22	Modo3	1%	14	SI	18
23	Modo3	1%	7	Si	18
<b>Total Repeticiones</b>					<b>397</b>

Fuente. Propia.



## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

### Anexo 12. Resultados para el Experimento 13 (Modo2, Tolerancia 1%, Frecuencia de Control 14 días) Experimentos Diseñados para Ejecutar el Modelo.

Tiempo	Experimento 13. Modo 2																		Promedio NET
	Frecuencia Control 14 días Tol= 1%																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	3,824	3,796	3,780	3,733	3,824	3,804	3,840	3,832	3,788	3,840	3,757	3,781	3,824	3,804	3,824	3,804	3,752	3,752	3,752
28	5,453	5,705	5,698	5,530	5,741	5,718	5,707	5,357	5,438	5,677	5,548	5,664	5,606	5,638	5,627	5,816	5,719	5,675	5,675
42	7,446	7,663	7,647	7,252	7,604	7,692	7,629	7,258	7,425	7,552	7,586	7,649	7,300	7,646	7,560	7,795	7,631	7,652	7,555
56	9,426	9,650	9,687	9,460	9,625	9,721	9,514	9,198	9,201	9,558	9,455	9,702	9,393	9,656	9,447	9,790	9,622	9,592	9,539
70	11,936	12,313	11,740	12,173	12,232	11,851	12,088	11,888	11,820	11,970	12,028	11,760	12,138	11,748	12,089	11,916	12,256	12,234	12,010
84	14,633	14,536	14,121	14,422	14,482	14,334	14,307	14,674	14,465	14,054	14,354	14,230	14,488	13,965	14,149	14,055	14,548	14,463	14,349
98	17,112	16,985	17,106	16,860	16,922	16,750	16,763	17,155	16,974	17,051	16,792	17,196	16,897	16,841	17,157	17,086	16,988	16,885	16,973
112	20,884	20,799	20,892	21,180	20,761	21,254	21,134	21,180	20,583	20,574	21,395	21,232	20,205	21,267	20,688	21,095	20,857	20,567	20,919
126	24,197	24,893	24,128	24,587	24,375	24,761	24,141	24,149	24,524	24,510	24,669	24,190	24,617	24,484	24,814	24,053	24,006	24,697	24,433
140	29,936	29,553	30,223	29,251	30,449	29,740	30,030	30,175	29,643	29,385	29,192	30,472	29,500	29,339	30,009	29,617	29,883	29,218	29,756
154	35,090	34,620	35,274	34,143	35,504	34,902	35,150	35,287	34,623	34,046	34,178	35,448	34,476	34,328	34,980	34,233	34,682	34,320	34,738
168	39,881	39,006	39,852	38,898	40,361	39,442	39,809	40,128	39,057	38,651	38,940	40,415	38,986	38,830	39,367	38,963	39,266	38,854	39,373
182	44,796	43,814	44,615	43,797	45,013	44,458	44,827	44,684	43,982	44,716	43,988	44,842	43,814	44,876	44,257	43,843	44,170	44,018	44,362
196	49,750	48,783	49,630	48,165	50,139	49,382	49,578	49,726	48,340	49,717	48,985	49,657	48,497	49,986	49,356	48,717	49,068	49,004	49,249
210	54,606	53,400	54,441	51,980	54,249	54,033	53,055	54,711	51,877	54,160	53,764	54,444	53,217	54,656	53,886	53,375	53,606	53,797	53,736
224	61,322	60,068	61,045	59,963	60,945	60,659	61,021	61,260	59,824	60,767	60,456	61,077	61,098	61,297	60,499	59,932	60,621	60,503	60,687
238	66,506	65,473	66,278	65,374	66,221	65,912	66,357	66,545	64,703	66,040	65,740	66,338	66,413	66,612	65,715	65,187	65,887	65,761	65,948
252	71,460	70,393	71,203	70,270	71,152	70,753	71,242	71,641	69,965	70,864	70,644	71,131	71,372	71,408	70,578	70,100	70,764	70,665	70,867
266	76,776	75,542	76,418	75,584	76,490	76,007	76,490	76,793	75,196	76,129	76,055	76,339	76,642	76,632	75,814	75,338	75,985	75,876	76,117
280	82,181	80,823	81,677	80,853	81,678	81,213	81,667	82,131	80,062	81,366	81,304	81,526	81,947	81,797	81,052	80,567	81,170	81,151	81,342
294	86,991	85,893	86,602	85,758	86,769	86,062	86,596	87,611	85,343	86,261	86,402	86,567	86,844	86,690	85,851	85,709	86,401	86,250	86,367
308	93,386	92,068	92,918	91,740	92,902	92,380	92,868	93,550	91,641	92,533	92,529	92,725	93,147	93,119	92,146	91,643	92,358	92,525	92,565
322	98,687	97,272	98,115	97,055	98,153	97,616	98,159	98,863	96,920	97,808	97,816	97,932	98,435	98,234	97,389	96,861	97,651	97,813	97,821
336	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

Fuente. Propia.

Tiempo	Experimento 13. Modo 2																		Promedio CTP
	Frecuencia Control 14 días Tol= 1%																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	153,012	152,971	152,943	144,013	153,012	152,983	153,035	153,024	152,959	153,035	150,451	150,487	153,012	152,982	153,013	152,983	153,156	152,907	152,221
28	217,050	227,986	228,310	214,630	228,320	228,150	226,360	212,920	217,780	225,190	220,838	224,437	223,027	225,004	223,867	232,012	230,476	228,452	224,157
42	295,315	304,855	304,875	282,252	301,515	305,699	301,887	287,657	295,851	298,853	300,880	302,440	289,561	303,902	299,852	309,762	305,601	306,106	299,826
56	350,584	350,058	351,598	342,547	348,661	351,781	349,114	347,662	344,190	349,362	346,309	346,139	350,660	349,672	351,364	349,194	350,471	349,484	348,824
70	361,937	364,243	358,483	355,726	362,568	359,694	361,872	360,845	355,542	360,257	358,470	354,774	363,976	357,224	363,340	358,348	364,227	363,402	360,274
84	421,039	417,383	416,586	411,969	415,952	416,397	416,605	420,696	415,506	415,694	413,358	411,551	420,671	413,755	418,533	413,144	417,949	417,297	416,338
98	429,038	425,149	428,377	420,327	423,691	424,523	425,063	428,376	423,966	427,824	421,435	422,837	428,959	425,502	430,712	424,714	425,684	425,274	425,636
112	559,443	558,691	561,334	621,867	558,288	568,379	563,895	561,834	607,312	547,752	564,761	558,605	543,147	564,065	551,405	556,065	560,026	552,185	564,392
126	624,844	672,359	624,331	659,024	691,444	671,132	623,727	661,770	728,560	668,472	672,472	658,953	636,610	661,370	673,127	655,000	623,565	675,238	660,111
140	743,740	737,678	742,008	800,343	774,400	734,161	777,300	745,158	800,054	738,499	734,619	741,819	742,420	728,889	745,045	737,139	743,409	735,889	750,143

## DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

154	855,45 1	834,96 1	839,94 3	888,06 9	873,17 5	832,17 4	877,39 5	845,06 4	896,68 4	837,22 2	832,12 9	840,53 5	829,25 9	822,41 1	838,92 5	834,55 8	840,92 3	847,77 4	<b>848,14 7</b>
168	902,21 3	880,96 4	899,85 4	930,24 8	945,39 2	877,72 7	924,35 3	916,06 9	937,96 4	878,84 1	879,60 8	912,95 9	870,78 2	859,12 5	875,27 1	908,61 2	903,01 3	894,24 9	<b>899,84 7</b>
182	987,30 0	965,65 3	985,27 5	1029,6 63	1004,9 01	962,86 0	1008,7 74	975,05 3	1039,4 54	991,52 2	964,10 4	972,29 8	970,80 4	985,24 7	974,34 8	977,42 9	973,20 2	980,10 9	<b>986,00 0</b>
196	1080,0 27	1061,8 44	1085,1 51	1107,6 03	1104,7 34	1057,4 79	1103,8 84	1075,7 01	1110,5 29	1099,1 59	1060,6 66	1083,5 20	1054,0 88	1092,0 85	1064,5 14	1077,8 34	1071,5 44	1075,2 71	<b>1081,4 24</b>
210	1131,1 50	1115,5 77	1129,8 58	1157,7 00	1160,1 26	1111,3 76	1133,8 13	1156,8 80	1165,2 83	1136,3 14	1113,9 70	1159,5 92	1103,9 99	1145,3 53	1108,8 67	1140,5 34	1135,9 75	1129,9 88	<b>1135,3 53</b>
224	1240,1 21	1209,0 89	1237,1 19	1281,6 32	1253,5 82	1203,7 11	1257,0 40	1230,5 26	1302,1 17	1243,5 10	1207,3 41	1237,3 73	1238,5 83	1252,1 21	1228,8 57	1217,0 89	1212,2 85	1223,8 43	<b>1237,5 52</b>
238	1328,9 15	1304,8 96	1327,3 64	1370,5 91	1350,2 87	1299,8 99	1352,8 75	1333,6 28	1368,6 45	1335,7 96	1303,7 26	1339,6 95	1331,9 99	1341,2 49	1315,7 20	1318,2 79	1313,4 61	1321,0 60	<b>1331,0 05</b>
252	1374,8 63	1360,1 41	1373,0 81	1421,3 36	1406,3 71	1355,2 35	1408,4 67	1405,5 99	1440,0 60	1380,1 51	1359,7 28	1404,2 09	1378,0 69	1385,9 12	1365,8 02	1383,6 74	1378,7 22	1376,1 80	<b>1386,5 33</b>
266	1478,1 49	1445,1 97	1473,7 14	1524,4 40	1491,3 45	1441,3 56	1508,3 95	1472,6 34	1546,0 22	1481,5 77	1446,0 45	1474,8 75	1479,6 69	1498,9 53	1466,1 63	1454,6 63	1449,1 57	1462,1 86	<b>1477,4 75</b>
280	1571,2 56	1543,1 34	1566,2 93	1610,4 27	1587,5 72	1546,5 41	1600,8 37	1578,1 37	1601,1 85	1580,4 93	1543,3 36	1584,6 06	1571,8 91	1584,8 84	1552,5 51	1555,7 23	1550,6 88	1559,4 60	<b>1571,6 12</b>
294	1618,8 87	1628,5 74	1615,6 92	1664,3 55	1673,1 72	1594,9 61	1650,2 58	1702,1 10	1691,0 06	1634,5 25	1627,0 53	1669,6 99	1620,7 68	1639,0 74	1605,2 56	1670,1 66	1671,7 64	1643,1 42	<b>1645,5 81</b>
308	1731,9 79	1699,5 12	1729,3 17	1779,6 47	1743,9 28	1707,2 14	1761,1 43	1733,3 86	1814,9 65	1749,6 51	1697,8 73	1741,0 69	1735,3 34	1755,4 31	1736,2 16	1715,4 64	1699,9 22	1715,0 77	<b>1735,9 52</b>
322	1758,1 95	1725,1 29	1759,6 62	1805,9 38	1769,9 71	1733,1 13	1787,5 06	1759,6 89	1845,9 01	1775,7 45	1723,7 66	1766,5 44	1761,4 93	1785,2 20	1766,7 03	1740,9 71	1726,0 91	1741,0 10	<b>1762,9 25</b>
336	1773,4 24	1743,5 04	1776,1 06	1829,1 16	1785,9 28	1755,1 65	1803,9 25	1768,1 36	1855,7 21	1798,2 07	1740,2 29	1782,9 35	1777,2 09	1802,4 95	1785,5 89	1764,2 02	1743,6 40	1757,4 01	<b>1780,1 63</b>

Fuente. Propia.

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

## Anexo 13. Resultados Prueba t Duración del Proyecto.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

Ho:  $\mu 1 = \mu 2$

H1:  $\mu 1 \neq \mu 2$

	<i>Sin Estrategia</i>	<i>Modo 1 (Tol=1%)</i>	
Media	365,4444444	330,2222222	
Varianza	50,37908497	2,535947712	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	19		
Estadístico t	20,54298131		
P(T<=t) una cola	9,77954E-15		
Valor crítico de t (una cola)	1,729132792		
P(T<=t) dos colas	1,95591E-14		
Valor crítico de t (dos colas)	2,09302405		T crítico < T Estadístico hay diferencia Sig

	<i>Sin Estrategia</i>	<i>Modo 2 (Tol=1% 14 dias)</i>	
Media	365,4444444	329,4444444	
Varianza	50,37908497	5,555555556	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	21		
Estadístico t	20,42200262		
P(T<=t) una cola	1,23473E-15		
Valor crítico de t (una cola)	1,720742871		
P(T<=t) dos colas	2,46946E-15		
Valor crítico de t (dos colas)	2,079613837		T crítico < T Estadístico hay diferencia Sig

	<i>Sin Estrategia</i>	<i>Modo 2 (Tol=1% 7 dias)</i>	
Media	365,4444444	330,1666667	
Varianza	50,37908497	5,323529412	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	21		
Estadístico t	20,05393871		
P(T<=t) una cola	1,77707E-15		
Valor crítico de t (una cola)	1,720742871		
P(T<=t) dos colas	3,55413E-15		
Valor crítico de t (dos colas)	2,079613837		T crítico < T Estadístico hay diferencia Sig

	<i>Modo 1 (Tol=1%)</i>	<i>Modo 2 (Tol=1% 14 dias)</i>	
Media	330,2222222	329,4444444	
Varianza	2,535947712	5,555555556	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	30		
Estadístico t	1,160051249		
P(T<=t) una cola	0,127588556		
Valor crítico de t (una cola)	1,697260851		
P(T<=t) dos colas	0,255177112		
Valor crítico de t (dos colas)	2,04272449		T crítico > T Estadístico No hay diferencia

	<i>Modo 1 (Tol=1%)</i>	<i>Modo 2 (Tol=1% 7 dias)</i>	
Media	330,2222222	330,1666667	
Varianza	2,535947712	5,323529412	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	30		
Estadístico t	0,084075009		
P(T<=t) una cola	0,466777667		
Valor crítico de t (una cola)	1,697260851		
P(T<=t) dos colas	0,933555333		
Valor crítico de t (dos colas)	2,04272449		T crítico > T Estadístico No hay diferencia

	<i>Modo 2 (Tol=1% 14 dias)</i>	<i>Modo 2 (Tol=1% 7 dias)</i>	
Media	329,4444444	330,1666667	
Varianza	5,555555556	5,323529412	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	34		
Estadístico t	-0,928989735		
P(T<=t) una cola	0,17972165		
Valor crítico de t (una cola)	1,690924198		
P(T<=t) dos colas	0,359443299		
Valor crítico de t (dos colas)	2,032244498		T crítico > T Estadístico No hay diferencia

Fuente. Propia.

# DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE CONTROL INTEGRAL APLICADA A PROCESOS DE CONSTRUCCION.

## Anexo 14. Resultados Prueba t Costo Total del Proyecto.

Prueba t para dos muestras suponiendo varianza

Ho:  $\mu 1 = \mu 2$

H1:  $\mu 1 \neq \mu 2$

	<i>Sin Estrategia</i>	<i>Modo 1 (Tol=1%)</i>	
Media	1982,016635	1780,363308	
Varianza	7189,359945	1493,341363	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	24		
Estadístico t	9,181512162		
P(T<=t) una cola	1,26773E-09		
Valor crítico de t (una cola)	1,710882067		
P(T<=t) dos colas	2,53546E-09		
Valor crítico de t (dos colas)	2,063898547		T crítico < T Estadístico hay diferencia Sig

	<i>Sin Estrategia</i>	<i>Modo 2 (Tol=1% 14 dias)</i>	
Media	1982,016635	1780,162835	
Varianza	7189,359945	908,8405007	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	21		
Estadístico t	9,516536597		
P(T<=t) una cola	2,29042E-09		
Valor crítico de t (una cola)	1,720742871		
P(T<=t) dos colas	4,58083E-09		
Valor crítico de t (dos colas)	2,079613837		T crítico < T Estadístico hay diferencia Sig

	<i>Sin Estrategia</i>	<i>Modo 2 (Tol=1% 7 dias)</i>	
Media	1982,016635	1778,86341	
Varianza	7189,359945	1039,549736	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	22		
Estadístico t	9,501426793		
P(T<=t) una cola	1,51794E-09		
Valor crítico de t (una cola)	1,717144335		
P(T<=t) dos colas	3,03589E-09		
Valor crítico de t (dos colas)	2,073873058		T crítico < T Estadístico hay diferencia Sig

	<i>Modo 1 (Tol=1%)</i>	<i>Modo 2 (Tol=1% 14 dias)</i>	
Media	1780,363308	1780,162835	
Varianza	1493,341363	908,8405007	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	32		
Estadístico t	0,017353616		
P(T<=t) una cola	0,493131132		
Valor crítico de t (una cola)	1,693888703		
P(T<=t) dos colas	0,986262263		
Valor crítico de t (dos colas)	2,036933334		T crítico > T Estadístico No hay difrencia

	<i>Modo 1 (Tol=1%)</i>	<i>Modo 2 (Tol=1% 7 dias)</i>	
Media	1780,363308	1778,86341	
Varianza	1493,341363	1039,549736	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	33		
Estadístico t	0,126441547		
P(T<=t) una cola	0,45007484		
Valor crítico de t (una cola)	1,692360258		
P(T<=t) dos colas	0,900149681		
Valor crítico de t (dos colas)	2,034515287		T crítico > T Estadístico No hay difrencia

	<i>Modo 2 (Tol=1% 14 dias)</i>	<i>Modo 2 (Tol=1% 7 dias)</i>	
Media	1780,162835	1778,86341	
Varianza	908,8405007	1039,549736	
Observaciones	18	18	
Diferencia hipotética de las medias	0		
Grados de libertad	34		
Estadístico t	0,12489627		
P(T<=t) una cola	0,45067061		
Valor crítico de t (una cola)	1,690924198		
P(T<=t) dos colas	0,901341219		
Valor crítico de t (dos colas)	2,032244498		T crítico > T Estadístico No hay difrencia

Fuente. Propia.

**CAPITULO 6. BIBLIOGRAFIA.**

- Abdel-Hamid, T., & S. Madnick. (1991). *Software Project Dynamics: An Integrated Approach*. (pp. pp. 63–135.). New Jersey (USA).: Ed. Prentice-Hall.
- Ahn, S., Asce, S. M., Lee, S., Asce, A. M., & Steel, R. P. (2013). Effects of Workers ' Social Learning : Focusing on Absence Behavior, (August), 1015–1025. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000680.
- Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7).
- Akintoye, A. S., & MacLeod, M. J. (1997). Risk analysis and management in construction. *International Journal of Project Management*, 15(1), 31–38. doi:10.1016/S0263-7863(96)00035-X
- Amazon, M. (2013).  
[http://www.mundomanz.com/meteo\\_p/yearrep?countr=COLOMBIA&ind=80222&year=2010&action=display](http://www.mundomanz.com/meteo_p/yearrep?countr=COLOMBIA&ind=80222&year=2010&action=display).
- Anbari, F. T. (2003). Earned Value Project Management Method and Extensions. *Project Management Journal*, 34(4), 12–23.
- Aristizábal, J., & Zárata., H. (2006). *Diseño e implementación de un algoritmo genético para la calendarización de actividades de un proyecto variando la disponibilidad de los recursos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*, 17(6), 337–342. doi:10.1016/S0263-7863(98)00069-6
- Ballestín, F. (2002). *Nuevos métodos de resolución del problema de secuenciación de proyectos con recursos limitados* (pp. 5–47). Valencia (España): Universitat de Valencia-Servei de Publicacions.
- Barragán, J. A. (2007). Calidad en la Construcción (pp. 9–14). Mexico: Universidad de las Americas, Escuela de Ingenieria, Departamento de Ingeniería Civil.
- CAMACOL. (n.d.). Construcción en cifras. Retrieved from <http://camacol.co/informacion-economica/cifras-sectoriales/construccion-en-cifras>

- Choi, K., & Bae., D. (2009). Dynamic project performance estimation by combining static estimation models with system dynamics. *Information and software technology., Vol 51*, pp. 162–172.
- Cooper, K. G. (1980). Naval Ship Production: A Claim Settled and A Framework Built. *Interfaces, 10(6)*, 20–36.
- Cooper, R., & Kaplan, R. . (1998). *The Design of Cost Management Systems*. Prentice Hall.
- Dey, P., Tabucanon, T., & Ogunlana, S. O. (1994). Planning for project control through risk analysis: a petroleum pipeline-laying project. *International Journal of Project Management, 12*, 23–33.
- Eden, C., Williams, T., & Ackermann, F. (2005). Analysing project cost overruns: Comparing the “measured mile.” *International Journal of Project Management, 23(2)*, 135–139.
- Elmaghraby, S., & Kambarowski, J. (1992). The analysis of activity networks under generalized precedence relations (GPRs). *Management science., Vol 38*(No 9.), pp. 1245–1263.
- Feres, S. (1998). “Logística Pura: más allá de un proceso logístico” (p. 170). Colombia: Ed. Corporación John F. Kennedy.
- Forrester, J. (1968). *Principles of systems*. Wright-Allen Press.
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics* (pp. pp. 9–101.). Ed. Pegasus communications, M.I.T. Press. Cambridge.
- González, J. A., Solís, R., & Alcudia, C. (2010). Diagnóstico sobre la Planeación y Control de Proyectos en las PYMES de Construcción. *Revista de la Construcción, 9(1)*, 17–25.
- Gonzalez, L. J., Kalenatic, D., & Moreno, K. V. (2012). Metodología integral y dinámica aplicada a la programación y control de proyectos. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia, 62*, 21–32.
- Gonzalez, L., Kalenatic, D., & Lopez, C. (2009). Metodología para elaborar modelos dinámicos de redes CPM y PERT.
- Hannon, B., Ruth, M., & Meadows., D. H. (2001). *Dynamic Modeling*. (2nd ed., p. Paginas 388). Editorial Springer.
- Hartley, H. O., & Wortham., A. W. (1966). A statistical theory for PERT critical path analysis. *Management Science., Vol 12*(No 10), PP B–469 a B–481.

- Hegazy, T., Said, M., & Kassab, M. (2011). Incorporating rework into construction schedule analysis. *Automation in Construction*, 20(8), 1051–1059. doi:10.1016/j.autcon.2011.04.006
- Irizarry, J., Karan, E. P., & Jalaei, F. (2013). Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in Construction*, 31, 241–254. doi:10.1016/j.autcon.2012.12.005
- Isaac, S., & Navon, R. (2013). A graph-based model for the identification of the impact of design changes. *Automation in Construction*, 31, 31–40. doi:10.1016/j.autcon.2012.11.043
- J. Pajares, A. L. P. (2011). An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index. *International Journal of Project Management*, 29(5), 615.
- Kalenatic, D., González, L., López, C., & Arias., L. (2009). El sistema de gestión tecnológica como parte del sistema logístico en la era del conocimiento. *Cuadernos de Administración*, 22(39), 257–286.
- Kalenatic, D., López, C., & González, L. (2010). *Logística Focalizada: Aspectos conceptuales y modelos aplicados*. (p. pp 35–51.). Bogota, Colombia.: Ed. Universidad Católica de Colombia.
- Kalenatic, Dusko. (2000). Modelo integral y dinámico para el análisis, planeación, programación y control de las capacidades productivas en empresas manufactureras. *Revista Científica, Centro de Investigaciones y Desarro Científico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 2, 173–214. Retrieved from <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/314/457>
- Kalenatic, Dusko. (2011). Metodología de planeación logística basada en gestión de proyectos y dinámica de sistemas en empresas prestadoras de servicios. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 58, 208–218.
- Kazan., H. (2005). One application for using PERT methodology in strategic decision. *Journal of American Academy of Bussines.*, Vol 7.(No 2.), pp 293–301.
- Keefer, D., & Verdini., W. (1993). Better estimation of PERT activity time parameter. *Management Science*, Vol 39(No 9), pp. 1086–1091.
- Kelley., J. (1969). Critical path planning and scheduling, mathematical basis. *Operations research.*, Vol 9., PP 296–320.

- Kytle, J. (2004). *To Want to Learn: Insights and Provocations For Engaged Learning* (p. 230). Palgrave Macmillan.
- Lam, S. W. (1994). *ISO 9000 in Construction*. Singapore: McGraw-Hill.
- Law, A., & Kelton, W. (2000). *Simulation modeling and analysis* (3ra ed.). McGraw-Hill series in industrial engineering and management science.
- Lee, S. H., Peña-Mora, F., & Park, M. (2006). Dynamic planning and control methodology for strategic and operational construction project management. *Automation in Construction*, 15(1), 84–97. doi:10.1016/j.autcon.2005.02.008
- Lee, S., Mora, F., & Park, M. (2006). Dynamic planning and control methodology for strategic and operational construction project management. *Automation in construction*, Vol 15., pp. 84–97.
- Lee, Sanghyun, Asce, M., Peña-mora, F., & Park, M. (2006). Web-Enabled System Dynamics Model for Error and Change Management on Concurrent Design and Construction Projects, (August).
- Lee, Z. W., Ford, D. N., & Joglekar, N. (2007). Effects of Resource Allocation Policies for Reducing Project Durations : A Systems Modelling Approach, 566(October 2006), 551–567. doi:10.1002/sres
- Lim, C. ., & Mohamed, M. Z. (1999). Criteria of project success: an exploratory re-examination. *International Journal of Project Management*, 17(4), 243–248. doi:10.1016/S0263-7863(98)00040-4
- Love, P E D, Holt, G. D., Shen, L. Y., Li, H., & Irani, Z. (2002). Using systems dynamics to better understand change and rework in construction project management systems. *International Journal of Project Management*, 20(6), 425–436. doi:10.1016/S0263-7863(01)00039-4
- Love, P.E.D., Edwards, D. J., Watson, H., & Davis, P. (2010). Rework in civil infrastructure projects: determination of cost predictors. *J. Constr. Engrg. and Mgmt.*, 136(3), 275–282.
- Love, Peter E.D., & Irani, Z. (2003). A project management quality cost information system for the construction industry. *Information & Management*, 40(7), 649–661. doi:10.1016/S0378-7206(02)00094-0
- Lyneis, J., Cooper, K., & Els., S. (2001). Strategic Management of Complex Projects: A Case Study Using System Dynamics. *System Dynamics Review*, Vol 17, pp. 237–260.



- MacCrimmon, K. R., & Ryavec, C. A. (1964). An analytical study of the PERT Assumptions. *Operations research, Vol 12.*, PP 16–39.
- Moreno, K., & González., L. (2011). Control dinámico de proyectos con priorización de actividades. In *Memorias del 9º Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas y II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas* (pp. 206–214).
- Morris, P. W. G., & Hugh, G. H. (1986). Preconditions of success and failure in major Projects. Templeton College, The Oxford Centre for Management Studie, Oxford, England.
- Munns, A., & Bjeirmi, B. (1996). The role of project management in achieving project success. *International Journal of Project Management, 14*(2), 81–87. doi:10.1016/0263-7863(95)00057-7
- Muñiz, L. (2003). Como Implementar un Sistema de Control de Gestión en la Práctica. (p. 29). Barcelona, España: Gestión 2000.
- Mustafa, M. A., & AI-Bahar, J. F. (1991). Project risk assessment using the analytic Hierarchy process. *EE Transactions of Engineering Management, 38*, 46–52.
- Namakforoosh, M. N. (2000). *Metodología de Investigación*. (Limusa, Ed.) (p. 525).
- Nieto-Morote, A., & Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management, 29*(2), 220–231. doi:10.1016/j.ijproman.2010.02.002
- Odeh, A. M., & Battaineh, H. T. (2002). Causes of construction delay: Traditional contracts. *International Journal of Project Management., 20*(1), 67–73.
- Perry, J. G., & Hayes, R. W. (1985). Risk and its management in construction projects. *Proceedings of Institution of Civil Engineers, 78*, 499–521.
- R. Bey, R. Doersch, J. P. (1981). The Net Present Value Criterion: Its Impact on Project Schedulin. *Project Management Quaterly, 12*, 35–45.
- R.D. Hart. (1994). *Quality Handbook for the Architectural, Quality Press*. Milwaukee.
- Raby, M. (2000). Project management via earned value. *International Journal of Productivity and Performance Management, 49*(1), 6–9.

- Raz, T., & Erdal., E. (2000). Optimal timing of project control points. *European Journal of Operational Research*, 27, 252–261.
- Roberts, R. (1991). *Quality does not cost—it pays, Report 10. Australian Construction Law* (pp. 137–144).
- Rodrigues, A., & Bowers, J. (1996). System dynamics in project management: A comparative analysis with traditional methods. *Syst. Dyn.*, 12(2), 121–139.
- Rodrigues, A., & Bowers., J. (1996). System Dynamics in Project Management: A Comparative Analysis With Traditional Methods. *System Dynamics Review.*, Vol. 12, pp. 121–139.
- Rodrigues, A. G. (1999). SYDPIM integration of SD and PERT / CPM tools : Assessing Fagan Analysis in a large-scale software project . Portugal, EU.
- Rozenes, S., Vitner, G., & Spraggett, S. (2004). Multidimensional Project Control System. *Project Management Journal*, 22, 109–118.
- Rozenes, S., Vitner, G., & Spraggett, S. (2006). Project Control: Literature Review. *Project Management Journal*, 37(4), 5–14.
- Rueda, F., González, L., Kalenatic, D., & Lopez., C. (2011). Control dinámico de proyectos. Un modelo basado en recursos renovables. In *Memorias del 9º Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas y II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas* (pp. 463–468.).
- Rueda Velasco, F. J., González Rodriguez, L. J., & Moreno, K. V. (2012). Análisis del intercambio entre costo de retraso y control periódico en proyectos bajo condiciones de incertidumbre por medio de dinámica de sistemas. In *X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas III Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas I Congreso Argentino de Dinámica de Sistemas* (pp. 1–7).
- Sarker, B. R., Egbelu, P. J., Liao, T. W., & Yu, J. (2012). Planning and design models for construction industry: A critical survey. *Automation in Construction*, 22, 123–134. doi:10.1016/j.autcon.2011.09.011
- Senge, P. (1992). *La Quinta Disciplina* (p. 423). Barcelona, España: Granica.
- Sterman, J. (2000). *Business dynamics: system thinking and modeling for a complex world* (pp. 55–61, 469–511, 563–567, 587–595). New York: McGraw-Hill Companies.

- Tao, R., & Tam, C.-M. (2013). System reliability theory based multiple-objective optimization model for construction projects. *Automation in Construction*, 31, 54–64. doi:10.1016/j.autcon.2012.11.040
- Tucto, H. (2008). Costos ABC "Activity Based Costing." Perú: Universidad de Huanuco, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Informática. Retrieved from <https://www.google.com.co/#q=huanuco>
- Turner, J. R., & Keegan, A. (2000). The versatile project based organization governance and operational control. *European Management Journal*, 17(3), 296–309.
- Valenzuela Riaño, J. (2013). *Elaboración De Un Método Para La Localización De Puntos De Control En La Ejecución De Proyectos Utilizando Dinámica De Sistemas*. Universidad de La sabana.
- Wang, J., & Yuan, H. (2011). Factors affecting contractors' risk attitudes in construction projects: Case study from China. *International Journal of Project Management*, 29(2), 209–219. doi:10.1016/j.ijproman.2010.02.006
- Whittaker, B. (1999). What went wrong? Unsuccessful information technology projects. *Information Management and Computer Security*, 7(1), 23–29.
- Williams, T. (2005). Assessing and moving on from the dominant project management discourse in the light of project overruns. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(4), 497–508.
- Williams, Terry, Eden, C., Ackermann, F., & Tait, A. (1995). Effects of design changes and delays on project costs. *Journal of the Operational Research Society*, 46(7), 809–818.
- Wolstenholme, E. (1990). *System Enquiry - A System Dynamics Approach*. (pp. pp. 100–185). Chichester (Inglaterra).: Ed. John Wiley & Sons.
- Zou, P. X. W., Zhang, G., & Wang, J. (2007). Understanding the key risks in construction projects in China. *International Journal of Project Management*, 25(6), 601–614. doi:10.1016/j.ijproman.2007.03.001
- Zou, P., Zhang, G., & Wang, J. (2006). Identifying key risks in construction projects: life cycle and stakeholder perspectives. In *Proc. 12th Pacific rim real estate society conference*. Uckland, New Zealand.