

**PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA  
UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE  
INFRAESTRUCTURA VIAL**

**CASO EXPLANAN S. A.**

**MODALIDAD: APLICACIÓN PROFESIONAL**

**AUTORES:  
MARÍA CAMILA ARISTIZÁBAL ISAZA  
ADELAIDA VALENCIA MONTOYA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniera civil  
Ingeniera industrial**

**DIRECTOR:  
DAVID ARISTIZÁBAL ZULUAGA  
INGENIERO CIVIL**



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL Y CIVIL  
ENVIGADO  
2014**

## **TABLA DE CONTENIDO**

ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	11
RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
INTRODUCCIÓN.....	15
1 PRELIMINARES.....	16
1.1 Contexto y caracterización del problema .....	16
1.2 Formulación del problema .....	17
1.3 Justificación.....	17
1.4 Objetivos del proyecto .....	18
1.4.1 Objetivo General: .....	18
1.4.2 Objetivos Específicos: .....	18
1.5 Marco de referencia.....	18
2 METODOLOGÍA.....	23
3 PROCEDIMIENTO .....	25
4 PRESENTACIÓN MAQUINARIA.....	27
5 COSTOS HISTÓRICOS .....	31
5.1 Costos de propiedad .....	31
5.2 Costos de operación.....	31
5.3 Costos de manejo.....	32
6 PRODUCTIVIDAD.....	35
6.1 Cálculo de la productividad.....	35
6.1.1 Excavadora sobre orugas.....	38

6.1.2	Tractor de orugas .....	39
6.1.3	Motoniveladora.....	40
6.1.4	Compactador.....	41
6.1.5	Cargador sobre llantas .....	42
6.1.6	Retroexcavadora cargadora .....	42
6.1.7	Pavimentadora .....	43
7	VIGILANCIA TECNOLÓGICA.....	44
7.1	Evaluación de las posibilidades del mercado.....	44
7.1.1	Excavadora sobre orugas.....	44
7.1.2	Tractor sobre orugas .....	45
7.1.3	Cargador sobre llantas .....	46
7.1.4	Retroexcavadora cargadora .....	47
7.1.5	Motoniveladora.....	47
7.1.6	Compactador.....	48
7.1.7	Pavimentadora .....	49
7.2	Evaluación de la ventaja competitiva .....	50
7.3	Riesgos y requisitos .....	50
7.4	Características de las marcas.....	50
7.5	Alternativas de reemplazo .....	51
7.5.1	Criterios para la elección de las alternativas de reemplazo .....	51
7.5.2	Características generales de las alternativas de reemplazo .....	54
7.5.2.1	Consumo de combustible .....	55
7.5.2.2	Producción .....	55
8	ALQUILER DE MAQUINARIA .....	57
9	JUICIO DE EXPERTOS .....	58
10	PROYECCIÓN DE VARIABLES FUTURAS.....	61

10.1	Costos de reparación y mantenimiento.....	61
10.1.1	Cálculo del costo reparación hora sugerido por Construction Equipment Management for Engineers, Estimators, and Owners.....	61
10.1.2	Cálculo del costo reparación hora adaptado al mercado local.....	62
10.1.3	Resultados obtenidos.....	63
10.1.3.1	Resultado años 2009-2013.....	63
10.1.3.2	Resultados años 2014-2018.....	64
10.1.4	Costos de reparación y mantenimiento para maquinaria nueva.....	65
10.2	Costos de consumibles.....	65
10.2.1	Cálculo de los costos de consumibles.....	65
10.2.2	Resultados obtenidos.....	66
10.3	Otros costos.....	67
10.4	Resultados obtenidos para costos totales futuros.....	67
10.5	Producción futura.....	68
10.5.1	Análisis de precios unitarios.....	68
10.5.2	Índice de Costos de la Construcción Pesada (ICCP).....	69
10.5.3	Precios futuros.....	70
10.6	Valor comercial.....	71
10.6.1	Resultados del modelo.....	75
10.6.2	Post-venta de equipos.....	76
11	ESTRUCTURA FINANCIERA.....	79
11.1	Estructura de capital de la empresa.....	79
11.2	Costo de capital – WACC.....	79
11.2.1	Costo de la deuda.....	79
11.2.2	Costo de los recursos propios.....	80
12	PROGRAMA DE REPOSICIÓN DE MAQUINARIA EN MICROSOFT EXCEL.....	82
13	VALIDACIÓN DEL PROGRAMA DE REPOSICIÓN DE MAQUINARIA.....	86

14	PLAN DE REPOSICIÓN .....	88
14.1	Plan de reposición inicial .....	88
14.1.1	Propuesta inicial .....	88
14.1.2	Observaciones generales .....	91
14.1.2.1	Excavadoras sobre orugas .....	91
14.1.2.2	Tractores sobre orugas .....	92
14.1.2.3	Vibrocompactadores.....	92
14.1.2.4	Motoniveladoras .....	92
14.1.2.5	Cargadores sobre llantas .....	93
14.1.2.6	Compactador doble tándem, compactador neumático y pavimentadoras .....	93
14.1.2.7	Retroexcavadora cargadora .....	93
14.2	Plan de reposición ajustado.....	93
15	BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE REPOSICIÓN .....	98
16	IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE REPOSICIÓN.....	101
17	DISCUSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS .....	102
18	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES.....	105
19	ANEXOS.....	107
19.1	Variables usadas en el cálculo de costos históricos .....	107
19.2	Costos históricos maquinaria.....	108
19.3	Producción maquinaria.....	135
19.4	Juicio de expertos.....	136
19.5	Precios unitarios.....	137
19.6	Proyección de variables.....	146
19.7	Costo del capital.....	147
19.8	Resultados modelo de reposición.....	148
20	BIBLIOGRAFÍA.....	161

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario de maquinaria empresa Explanan S. A.....	27
Tabla 2. Presentación de maquinaria estudiada. ....	29
Tabla 3. Horas extra pagadas durante los años 2012 y 2013. ....	32
Tabla 4. Costo horario de horas extra según tipo de máquina. ....	33
Tabla 5. Costos históricos PC300-2.....	34
Tabla 87. Factor de corrección general (Escuela de Ingenieros Militares, 1984). ....	36
Tabla 6. Factor por tiempo de espera. ....	38
Tabla 7. Producción para las excavadoras de orugas.....	38
Tabla 8. Producción tractores de orugas. ....	39
Tabla 9. Producción motoniveladoras. ....	40
Tabla 10. Producción compactadores.....	41
Tabla 11. Producción cargadores. ....	42
Tabla 12. Producción retroexcavadora cargadora. ....	42
Tabla 13. Producción pavimentadoras.....	43
Tabla 14. Comparación especificaciones excavadora sobre orugas.....	44
Tabla 15. Comparación especificaciones tractor sobre orugas .....	45
Tabla 16. Comparación especificaciones cargador sobre llantas.....	46
Tabla 17. Comparación especificaciones retroexcavadora cargadora .....	47
Tabla 18. Comparación especificaciones motoniveladora .....	47
Tabla 19. Comparación especificaciones compactadores doble tándem. ....	48
Tabla 20. Comparación especificaciones vibrocompactadores para granulares y suelos. ....	48
Tabla 21. Comparación especificaciones compactadores neumáticos. ....	49
Tabla 22. Comparación especificaciones pavimentadora. ....	49
Tabla 23. Criterios para la selección de alternativas de reemplazo.....	52
Tabla 24. Selección alternativa de reemplazo para cargadores sobre llantas.....	53

Tabla 25. Alternativas de reemplazo.....	53
Tabla 26. Consumo de combustible y producción de las alternativas de reemplazo.....	55
Tabla 27. Costo de alquiler de la maquinaria.....	57
Tabla 28. Horas de trabajo proyectadas para las diferentes máquinas.....	59
Tabla 29. Horas de trabajo proyectadas para maquinaria nueva.....	60
Tabla 30. Factor Condiciones de Operación.....	62
Tabla 31. Variación entre costos reales acumulados y costos calculados por máquina.....	63
Tabla 32. Costo por hora reparaciones proyectado.....	64
Tabla 33. Proyección costo horario de consumibles.....	66
Tabla 34. Costos proyectados para la máquina PC300-2.....	67
Tabla 35. Precio base de actividades realizadas por los diferentes tipos de máquina.....	68
Tabla 36. Resultados de regresión lineal.....	70
Tabla 37. Precios futuros de m <sup>3</sup> movido según tipo de máquina.....	70
Tabla 38. Rangos de uso medio de maquinaria según edad.....	71
Tabla 39. Rangos de afectación en el valor comercial de una máquina según su edad.....	72
Tabla 40. Factor de condición de una máquina según sus horas de uso.....	73
Tabla 41. Ejemplo del modelo de comparación para hallazgo de valor comercial.....	74
Tabla 42. Resultados del ejemplo de comparación.....	75
Tabla 43. Resultados generales del modelo de comparación.....	75
Tabla 44. Categoría de post-venta parte 1.....	77
Tabla 45. Categoría de post-venta parte 2.....	77
Tabla 46. Coeficientes de post-venta según categoría.....	78
Tabla 47. Financiación de inversiones en maquinaria.....	79
Tabla 48. Inflación promedio Colombia (Grupo Bancolombia, 2014) y Estados Unidos (Fondo Monetario Internacional, 2014).....	81
Tabla 49. Expertos para la validación del programa de reposición de maquinaria.....	86
Tabla 50. Máquinas adicionales a tener en cuenta en el plan de reposición.....	88

Tabla 51. Alternativas de reemplazo para PC300-2.....	89
Tabla 52. Propuesta plan de reposición maquinaria Explanan S. A. ....	90
Tabla 53. Plan de reposición ajustado para Explanan S. A.....	95
Tabla 54. Resumen inversión total requerida.....	97
Tabla 55. Beneficios económicos esperados del plan de reposición.....	98
Tabla 56. Resultados anuales y acumulados esperados de la implementación del plan de reposición. ....	99
Tabla 57. Implementación del plan de reposición. ....	101
Tabla 58. Precio histórico combustible en Antioquia (UPME, 2013).....	107
Tabla 59. Inflación (Banco de la República, 2014).....	107
Tabla 60. Prestaciones sociales. ....	107
Tabla 61. Costos históricos PC300-1.....	108
Tabla 62. Costos históricos PC300-3.....	109
Tabla 63. Costos históricos 320DL. ....	110
Tabla 64. Costos históricos PC200.....	111
Tabla 65. Costos históricos PC228.....	112
Tabla 66. Costos históricos PC128.....	113
Tabla 67. Costos históricos PC138.....	114
Tabla 68. Costos históricos D65. ....	115
Tabla 69. Costos históricos D6M. ....	116
Tabla 70. Costos históricos WA250. ....	117
Tabla 71. Costos históricos 928GZ.....	118
Tabla 72. Costos históricos L70B. ....	119
Tabla 73. Costos históricos 928f.....	120
Tabla 74. Costos históricos WB150. ....	121
Tabla 75. Costos históricos CASE580. ....	123
Tabla 76. Costos históricos 12H. ....	124



Tabla 77. Costos históricos PQ190.....	125
Tabla 78. Costos históricos 710A. ....	126
Tabla 79. Costos históricos BW211. ....	127
Tabla 80. Costos históricos SD77.....	128
Tabla 81. Costos históricos CA250-1.....	129
Tabla 82. Costos históricos CA250-2.....	130
Tabla 83. Costos históricos BG210B. ....	131
Tabla 84. Costos históricos LEEBOY. ....	132
Tabla 85. Costos históricos DD110.....	133
Tabla 86. Costos históricos HYSTER. ....	134
Tabla 88. Inversión en infraestructura de transporte en Colombia (Vera, 2013).....	136
Tabla 89. Muestra de licitaciones para la determinación de los precios unitarios.....	137
Tabla 90. Precio promedio de actividades para excavadoras de orugas.....	139
Tabla 91. Precio promedio de actividades para cargadores sobre llantas.....	140
Tabla 92. Precio promedio de actividades para tractores sobre orugas.....	141
Tabla 93. Precio promedio de actividades para motoniveladoras. ....	142
Tabla 94. Precio promedio de actividades para compactadores. ....	143
Tabla 95. Precio promedio de actividades para pavimentadoras. ....	144
Tabla 96. Precio promedio de actividades para retroexcavadoras cargadoras. ....	145
Tabla 97. Precios unitarios para la producción de materiales granulares.....	146
Tabla 98. Variación anual del salario mínimo legal en Colombia para periodo 2009-2013 (Banco de la República, 2014).....	146
Tabla 99. Inflación proyectada para periodo 2014-2018 (Grupo Bancolombia, 2014).....	146
Tabla 100. Inflación proyectada para periodo 2014-2018 Estados Unidos (Fondo Monetario Internacional, 2014).....	147
Tabla 101. ICCP histórico para el grupo equipos (DANE, 2014).....	147
Tabla 102. Prima de riesgo para Explanan S. A. ....	147



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Regresión lineal para el ICCP-Obras de explanación. ....	70
Ilustración 2. Valor comercial de una máquina según su edad. ....	76
Ilustración 3. Interfaz de ingreso de datos .....	82
Ilustración 4. Ingreso de datos máquinas nuevas .....	83
Ilustración 5. Ajuste de valores en el modelo de reposición de maquinaria.....	84
Ilustración 6. Interfaz de resultados. ....	85
Ilustración 7. Resultados: detalle flujo de caja. ....	85
Ilustración 8. VPN acumulado 2014 - 2018.....	89
Ilustración 9. EBITDA 2014 - 2018.....	90
Ilustración 10. VPN de diferencia de flujo de efectivo entre máquina actual y reemplazo. Valor en millones de pesos.....	99
Ilustración 11. Gráfica de producción para tractores de orugas según distancia promedio de empuje (Caterpillar, 2010). ....	136
Ilustración 12: Factor de condición de operación propuesto por Construction Equipment for Engineers, Estimators, and Owners (Gransberg P. &, 2006). ....	146
Ilustración 13. Resultados PC300-1.....	148
Ilustración 14. Resultados PC300-3.....	149
Ilustración 15. Resultados PC200.....	149
Ilustración 16. Resultados 320DL. ....	150
Ilustración 17. Resultados PC128.....	150
Ilustración 18. Resultados PC138.....	151
Ilustración 19. Resultados D65. ....	151
Ilustración 20. Resultados D6M. ....	152
Ilustración 21. Resultados WA250. ....	152
Ilustración 22. Resultados 928GZ.....	153
Ilustración 23. Resultados C928F.....	153

Ilustración 24. Resultados L70.....	154
Ilustración 25. Resultados CASE580.....	154
Ilustración 26. Resultados WB150.....	155
Ilustración 27. Resultados 12H.....	155
Ilustración 28. Resultados 710A.....	156
Ilustración 29. Resultados PQ190.....	156
Ilustración 30. Resultados BW211.....	157
Ilustración 31. Resultados CA250-1.....	157
Ilustración 32. Resultados CA250-2.....	158
Ilustración 33. Resultados SD77.....	158
Ilustración 34. Resultados DD110.....	159
Ilustración 35. Resultados HYSTER.....	159
Ilustración 36. Resultados BG210B.....	160
Ilustración 37. Resultados LEEBOY.....	160

## RESUMEN

El crecimiento en la inversión del gobierno colombiano en obras de infraestructura vial durante los últimos años ha hecho necesario que empresas de este sector busquen mejoras en sus procesos de tal forma que mantengan la competitividad a largo plazo. La flota de maquinaria de una empresa dedicada al desarrollo de este tipo de obras es uno de los activos más importantes que debe ser evaluado constantemente para evitar dificultades durante el desarrollo de trabajos. Determinar el momento óptimo de reemplazo de una máquina es una tarea difícil pues se debe tener en cuenta gran cantidad de variables que no siempre son fáciles de predecir. El propósito de este trabajo era determinar el momento recomendable de reemplazo de la maquinaria de la empresa Explanan S. A. basándose principalmente en el criterio de Valor Presente Neto para determinar esta decisión. Este criterio se define como el ideal ya que permite una comparación entre la maquinaria actual y el potencial reemplazo a partir de la metodología retador-defensor teniendo en cuenta todo tipo de variables como inversión inicial, costos de mantenimiento y reparación, depreciación, valor comercial, costo promedio ponderado del capital, entre otros. Se desarrolló un modelo en Microsoft Excel que implementa este método a partir de la información histórica de 27 máquinas de diferente tipo de la empresa. Una vez terminado el modelo se adapta para su uso futuro tanto para la empresa Explanan S. A. como para otras empresas del ámbito.

Palabras clave: reposición, valor presente neto, costos de mantenimiento, productividad.

## **ABSTRACT**

Investment in road infrastructure in Colombia has significantly increased over the last decade. This has made it essential for companies in this sector to seek for improvements in their processes in order to maintain long-term competitiveness. The fleet of machinery of a company, dedicated to the development of this type of work, is one of the most important assets, and it must be constantly evaluated in order to avoid complications in the course of work. Determining the optimal time for the replacement of a machine is often challenging since as one must take into account numerous variables that are not always easy to predict. The purpose of this study was to determine the recommended time for the replacement of the machinery fleet of the company Explanan S. A. based primarily on the Net Present Value criterion. This criterion was chosen as the ideal methodology because it allows for a comparison between the current and potential replacement of equipment with challenger-defender methods considering all variables such as initial investment, maintenance and repair costs, depreciation, market value, weighted average cost of capital, among others. A model in Microsoft Excel that implements this methodology from the historical data of 27 machines of different types of the company was developed. Upon completion of the model it was adapted for future use in the company Explanan S. A. as well as other companies in the area.

Keywords: replacement, net present value, maintenance costs, productivity.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo se hace con el fin de atacar una pérdida común en empresas propietarias de equipos de construcción. Se observa que muchas veces se usan métodos empíricos para determinar el momento óptimo para reemplazar la maquinaria, razón por la cual en diversas ocasiones las empresas pueden pasar varios años con máquinas que ya no generan valor y que incluso dan pérdidas teniendo costos más altos que los ingresos producidos. De la misma manera, este problema le genera a las empresas un gran costo de oportunidad ya que tienen invertido su dinero en máquinas que les generan menor rentabilidad que invirtiendo su dinero en otras opciones del mercado. Así mismo, anualmente se pueden incurrir en una gran cantidad de gastos innecesarios debido a altos costos de mantenimiento o en disminución de la productividad en las obras debido al bajo rendimiento de ciertos equipos.

Este proyecto busca darle una solución al problema previamente descrito para una empresa en específico, Explanan S. A., mediante la creación de un análisis financiero que compara las máquinas que manejan actualmente con diversas alternativas de reemplazo con el fin de determinar si estas deben ser reemplazadas según la rentabilidad que cada una aporta a la empresa. A aquellos equipos menos rentables se les plantea un plan de reposición para ser reemplazados en los próximos cinco años teniendo en cuenta las restricciones impuestas por la empresa tal como la cantidad de dinero máxima de inversión por año o la prioridad de reemplazo a cierto tipo de máquinas según la actividad que ejercen. Adicionalmente, el plan de reposición va acompañado de vigilancia tecnológica para determinar cuál sería el reemplazo más apropiado para cada máquina según los beneficios que traería a la empresa.

Si bien el objetivo inicial del trabajo era ayudarle a una empresa en específico, el alcance final del proyecto se extiende logrando generar una solución que puede ayudar a todas las empresas propietarias de maquinaria de construcción, no sólo a Explanan S. A. Esto se logra creando un programa en Microsoft Excel ajustable a cualquier empresa que pronostica tanto los costos como los ingresos que generará en los próximos cinco años la maquinaria que se quiera evaluar.

En este trabajo se expone la manera como se logró construir dicho plan de reposición mediante la consecución de ciertos objetivos. Primero se calculan los costos, la producción e ingresos de las máquinas que en el momento posee Explanan S. A., después se lleva a cabo una vigilancia tecnológica para determinar posibles reemplazos de las máquinas menos rentables, se procede a proyectar tanto los costos como los ingresos futuros que tendrán las máquinas, se construye el programa en Microsoft Excel que permite evaluar los flujos de efectivo futuros de cada máquina con el fin de determinar la rentabilidad de los mismos y por último se construye el plan de reposición a partir del análisis “retador-defensor” y del estudio de las diferentes alternativas de cambio. El trabajo cierra con la cuantificación de los beneficios económicos que la implementación del plan traerá a la empresa.

# 1 Preliminares

## 1.1 Contexto y caracterización del problema

El manejo adecuado de la flota de maquinaria en una empresa constructora de obras de infraestructura vial es de gran importancia. Los constructores deben desarrollar procedimientos y políticas que permitan manejar sus equipos apropiadamente, de tal forma que se simplifique la toma de decisiones referente a la operación y reemplazo de maquinaria (A.Shash, 2012). Cuando un equipo de maquinaria es adquirido y usado, éste empieza eventualmente a perder valor, a sufrir problemas mecánicos y a bajar la productividad. Desde la ingeniería se debe prever el momento óptimo para reemplazar un equipo a partir de un estudio que determine cuándo deja de ser rentable su operación (Gransberg y otros, 2006). La decisión de reemplazar maquinaria puede tener grandes efectos en la liquidez y operatividad de una empresa, si ésta decide reemplazar un equipo antes del tiempo óptimo se pueden incurrir en costos debidos a reemplazo prematuro y en costos de oportunidad consecuencia de la no inversión del dinero en otros lugares que pudieran presentar mayor rentabilidad a la empresa. Por el contrario, si el reemplazo de la maquinaria se atrasa la empresa puede enfrentar un incremento de costos debido a procesos de mantenimiento y reparación, o peor aún, puede verse comprometida en situaciones con alto nivel de riesgo correspondientes a posibles paradas en la producción que impliquen atraso en el cronograma generando incumplimientos en la entrega de las obras y como consecuencia en altas pérdidas financieras (A.Shash, 2012).

Uno de los temas más importantes a la hora de evaluar la posibilidad de reemplazo de una máquina son los costos de mantenimiento y reparación en los que se deben incurrir por daños en su sistema. El equipo de construcción de una empresa debe estar sujeto a mantenimiento preventivo, predictivo y reparación. Peurifoy establece que “el costo de las reparaciones es normalmente el costo más significativo dentro de la operación de una máquina, este costo constituye alrededor del 37% del costo total de la máquina durante su vida de servicio” (R. L. Peurifoy, 2002). Los costos de mantenimiento pueden variar significativamente dependiendo de las características del equipo, las estrategias de mantenimiento de las empresas, las condiciones de trabajo y las habilidades de los operadores, por esta razón los costos de mantenimiento son difíciles de predecir a la hora de tomar decisiones de control de costos en una compañía (Hon-lun Yip, 2013). Debido a esto es importante que en las empresas se tengan registros históricos de productividad de la maquinaria, esto con el fin de poder tener alguna idea de lo que puede costar el mantenimiento de un equipo según sus características de trabajo y tiempo de funcionamiento. Las empresas pueden tener costos de mantenimiento muy diferentes entre sí, pues son inherentes a su forma de operar.

Es común ver en el sector de la construcción en Colombia el uso de maquinaria que aparentemente ya pudo haber cumplido la función de generar utilidad para las empresas. El buen manejo de la maquinaria en una empresa permite optimizar el desempeño de la misma a lo largo del desarrollo de las diferentes obras, minimizar el riesgo de retrasos y aumentar la rentabilidad de la empresa (León, 1994).

Explanan S. A. es una empresa dedicada al desarrollo de obras de construcción tales como obras de infraestructura vial, edificios, plantas de tratamiento, estructuras especiales de concreto, obras de saneamiento ambiental y estabilización de taludes. Explanan S. A. no cuenta con un sistema que determine el momento óptimo en que debe reemplazar la maquinaria que ya ha sobrepasado la vida rentable. Las pérdidas en la productividad de los equipos se traducen en pérdidas de



rentabilidad en las obras que se estén llevando a cabo. En este trabajo se planteará una propuesta de un plan de reposición de maquinaria para la empresa Explanan S. A.

## 1.2 Formulación del problema

El manejo óptimo de maquinaria se basa en un análisis entre el costo de tener en uso el equipo presente y el costo de adquirir un equipo nuevo que pueda reemplazar el viejo (Gransberg P. &, 2006). En el caso de la empresa Explanan S. A. la necesidad radica en que ésta no cuenta con un programa que estipule cuándo es el momento óptimo para dejar de utilizar una máquina, se incurren anualmente en altos costos debidos a reparaciones y repuestos, adicionalmente la productividad en las obras puede estar siendo afectada por bajos rendimientos de ciertos equipos. En este proyecto se busca hacer un análisis financiero y evaluar la productividad y análisis del costo horario real en que incurren diferentes máquinas de la compañía Explanan S. A. con el fin de determinar si estas deben ser reemplazados o si todavía aportan rentabilidad a la empresa, para los equipos no rentables en un horizonte temporal de cinco años se planteará un plan de reposición pertinente acompañado de vigilancia tecnológica para determinar cuál sería su reemplazo más apropiado según los beneficios que traería a la empresa. A partir de este primer análisis se podrán implementar políticas y procedimientos que le permitan a la empresa tener mayor control sobre su maquinaria.

## 1.3 Justificación

En Colombia, la importancia de la infraestructura de transporte es indiscutible, pues ésta es una de las cinco locomotoras que prometen impulsar la economía del país establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, siendo las otras: nuevos sectores basados en la innovación, sector agropecuario, vivienda y el sector minero-energético. Las locomotoras de crecimiento son, como se establece en el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, “sectores que avanzan más rápido que el resto de la economía” (*Departamento Nacional de Planeación, 2010*). Se selecciona la infraestructura de transporte como una de las cinco locomotoras del gobierno no sólo por su capacidad para generar empleo y crecimiento mayor al 10% anual sino también como “un reflejo de nuestra obligación y deuda con la población y el sector productivo de unir el territorio y llevar, con mayor seguridad, prontitud y a menores costos, los productos y las ideas de los colombianos al resto del país y el mundo” (*Departamento Nacional de Planeación, 2010*). Adicional al Plan Nacional de Desarrollo, se espera la implementación de los proyectos de cuarta generación de concesiones para los próximos años. “La cuarta generación de concesiones es el programa de infraestructura vial que le permitirá al país desarrollarse aceleradamente y ser más competitivo para enfrentar los retos del comercio global, generando más empleos y entregando a los colombianos vías de primera calidad al final de esta década” (*Agencia Nacional de Infraestructura, 2014*). A partir de la implementación de este proyecto se esperan más de 40 nuevas concesiones con la transformación de 8.000 km de vías con más de 1.200 km de doble calzada, la inversión esperada es de más de 47 billones de pesos para ser invertidos en 24 departamentos del país (*Agencia Nacional de Infraestructura, 2014*).

Para alcanzar esta meta, así como las futuras que serán establecidas, las empresas privadas dedicadas al desarrollo de infraestructura deben evaluar la maquinaria que poseen para determinar su estado, vida útil y obsolescencia, y estar así preparados para ser competitivas y tener la capacidad necesaria para poder aplicar al gran número de licitaciones públicas que se prevé para los próximos años.

El desarrollo de la infraestructura en el país trae consigo el aumento de la competitividad en el gremio de la ingeniería, las empresas deben adaptarse constantemente al cambiante entorno en

el que se desempeñan introduciendo en sus procesos modelos vanguardistas que ayuden a optimizar sus actividades y entregar proyectos de mejor calidad. Como se expuso previamente el problema de reemplazo de equipo y maquinaria en empresas de ingeniería civil es bastante común, los encargados directamente de tomar las decisiones referentes al manejo de la maquinaria no tienen en muchos casos las herramientas necesarias para hacerlo, el desarrollo de este proyecto tiene como fin proponer soluciones que generen un mecanismo para facilitar la toma de decisiones concernientes a la reposición de equipos.

Explanan S. A. es una empresa de ingeniería civil dedicada principalmente al desarrollo de proyectos de infraestructura vial que puedan mejorar la calidad de vida de las personas que viven en los lugares dónde se ejecutan los proyectos, actualmente cuenta con 217 empleados con vinculación directa y alrededor de 150 personas con vinculación indirecta gracias a la aplicación de prácticas de outsourcing. El potencial de crecimiento de la empresa es alto gracias al desarrollo del sector de la infraestructura en el que se encuentra el país en este momento, definir un plan de reposición de maquinaria permite detectar pérdidas económicas o ineficiencia en la ejecución de las diferentes obras generadas por equipos obsoletos. Adicionalmente, como Explanan S. A. es una empresa dedicada principalmente a la construcción de obras de infraestructura vial, y estas son en su mayoría ejecutadas por entidades estatales en donde la modalidad de selección es por licitación pública, al determinar la edad óptima en la que se debe realizar reposición de equipos, se logra mayor competitividad que ayudaría a la empresa a tener mejores opciones de acceder a estas obras.

## **1.4 Objetivos del proyecto**

### **1.4.1 Objetivo General:**

Proponer un plan de reposición a cinco años de maquinaria utilizada para la construcción de obras de infraestructura vial por la empresa Explanan S. A.

### **1.4.2 Objetivos Específicos:**

- Calcular los costos y productividad actual asociados al equipo de construcción.
- Encontrar tecnología nueva que reemplace las máquinas que muestren la menor rentabilidad por medio de una vigilancia tecnológica.
- Proyectar los costos asociados al mantenimiento de la maquinaria actual de la empresa y determinar su productividad futura.
- Evaluar los flujos de efectivo futuros de cada máquina con el fin de determinar la rentabilidad de los mismos a partir del análisis “retador-defensor”.
- Construir plan de reposición a partir del análisis “retador-defensor” y del estudio de las diferentes alternativas de cambio.

## **1.5 Marco de referencia**

Para generar un plan de reposición se necesita conocimientos sobre temas estadísticos, financieros y contables, así mismo se necesita implementar un sistema de vigilancia tecnológica para ser conscientes de las nuevas mejoras disponibles en el mercado y realizar la compra de

nueva maquinaria si es la opción más apta arrojada por el estudio. A continuación se expanden los temas relativos al plan de reposición y al proyecto en general.

## 1. Métodos usados para realizar planes de reposición

- 1.1. Métodos intuitivos: este método depende principalmente de opinión profesional, el reemplazo de un equipo puede depender mucho de la disponibilidad de capital debido a que como no existe un plan previamente planeado no se tienen fondos destinados a esto. Este método es usado para pequeñas flotas de maquinaria (*Gransberg P. &, 2006*).
- 1.2. Método del costo mínimo: este método se basa en el análisis del costo no solo causado por operación y mantenimiento sino también por el costo del capital asociado al mismo. Este método es usado para organismos públicos en donde la maquinaria no genera las suficientes ganancias (*Gransberg P. &, 2006*).
- 1.3. Método de la máxima ganancia: este método se basa en maximizar la ganancia generada por un equipo, por esta razón es usado para compañías que puedan generar ganancia a partir de su maquinaria (*Gransberg P. &, 2006*).
- 1.4. Método del periodo de retorno: el periodo de retorno es el tiempo necesario para que una máquina devuelva su inversión inicial a partir de la generación de ganancias. Este método se basa más en el tiempo que en el dinero, y es usado cuando el mercado es inestable y no hay certeza sobre los posibles flujos de caja de la maquinaria (*Gransberg P. &, 2006*).
- 1.5. Métodos de análisis financiero: se usa el modelo de flujo de efectivo futuro que genera la máquina que se quiere evaluar y se compara con una máquina retadora, la decisión se basa en el criterio del Valor Presente Neto.

## 2. Procedimiento general para generar planes de reposición

- 2.1. Bases para la toma de decisión: se debe identificar el método definido para tomar la decisión y agregarle otros factores cualitativos y cuantitativos que se crean pertinentes. Adicionalmente se debe implementar el “challenger-defender analysis como es llamado por varios ingenieros industriales” (*Gransberg P. &, 2006*). Este define el equipo actual como el defensor y el reemplazo potencial como el retador.
- 2.2. Análisis de alternativas: cuando se determina que un equipo de maquinaria necesita reemplazo hay diferentes alternativas que deben ser consideradas: revisión del equipo actual, alquiler de nuevo equipo, leasing de un nuevo equipo, compra de un equipo nuevo y compra de un equipo usado. Estas alternativas deben ser evaluadas durante el proceso de la toma de decisión (*Gransberg P. &, 2006*).
- 2.3. Decisión de invertir: la decisión de invertir o no invertir debe incluir restricciones como la disponibilidad del capital y tener en cuenta el valor del dinero en el tiempo.

## 3. Técnicas de pronósticos

- 3.1. Regresión lineal: una regresión lineal tiene como objetivo modelar la relación entre dos o más variables al ajustar una ecuación lineal a datos observados. Una variable se considera la dependiente y las otras explicativas (*Yale, 1997*).

3.2. Serie de tiempo: conjunto ordenado de observaciones de una variable de interés medida en intervalos regulares de tiempo (Gómez, 2008). Ejemplos típicos de series de tiempo pueden ser el crecimiento anual de la industria de la construcción, la cantidad de obras en las que trabaja una empresa por mes o las fallas que tiene una máquina por año.

#### 4. Conceptos Financieros

4.1. Valor Actual Neto: en finanzas el valor presente neto es la suma del valor actual de cada flujo de caja individual. Es un método estándar para el uso del valor del dinero en el tiempo para evaluar los proyectos a largo plazo. Se utiliza para hacer presupuestos de capital, y más ampliamente en toda la economía, finanzas y contabilidad; mide el exceso o déficit de los flujos de efectivo, en valor actual, cuando los gastos de financiamiento se hayan cumplido (Princeton, 2014).

4.2. Tasa Interna de Retorno: es la tasa de descuento que hace que el valor presente neto sea igual que 0. La tasa interna de retorno, es la tasa que obtienen los recursos o el dinero que permanece atado al proyecto. Es la tasa de interés a la cual el inversionista le presta su dinero al proyecto y es característica del proyecto, independientemente de quien evalúe (Universidad Nacional, 2014).

4.3. Periodo de Recuperación del Capital (Payback): es el número de años que han de transcurrir en un proyecto para que la acumulación de los flujos de caja proyectados sean igual a la inversión inicial (Universidad Nacional, 2014).

#### 5. Costos de propiedad y operación de equipos de construcción

##### 5.1. Costos de propiedad

5.1.1. Costo inicial: es el costo al que se incurre para tener el equipo en el sitio de construcción y listo para operación. El costo inicial consiste de los siguientes ítems: precio de compra, impuestos, costo de embalaje y costo de montaje (Gransberg, Popescu, & Ryan, 2006).

5.1.2. Depreciación: representa la disminución del valor de mercado de un equipo debido a la edad, el desgaste, deterioro y obsolescencia (Gransberg, Popescu, & Ryan, 2006).

5.1.3. Costos de inversión o interés: representa el costo anual del capital invertido en una máquina. Si se usan fondos prestados para comprar el equipo, el costo es la tasa de interés del préstamo. Sin embargo, si el equipo se compra con activos de la compañía, una tasa de interés que sea igual que la tasa de retorno de inversiones de la compañía debe cargarse (Gransberg, Popescu, & Ryan, 2006).

5.1.4. Seguros, impuestos y almacenamiento: los costos de aseguramiento son a los que se incurre en seguros de robo, accidentes y riesgo entre otros. Los impuestos son los costos de propiedad y licencias para el equipo. Los costos de almacenamiento incluyen el costo de alquilar y sostener patios de almacenamiento, salarios de vigilantes y empleados involucrados en mover el equipo adentro y afuera del almacén (Gransberg, Popescu, & Ryan, 2006).

5.2. Costos de operación: se incurre en ellos sólo cuando el equipo es usado. Los costos de operación del equipo son llamados también costos variables porque dependen de

diferentes factores tal como horas de operación, los tipos de equipos usados, y la ubicación y condición de trabajo de la operación (*Gransberg, Popescu, & Ryan, 2006*). Algunos costos de operación a considerar son:

5.2.1. Costos de mantenimiento y reparación: es el costo del desgaste y rupturas de los equipos. Incluye costos de revisiones periódicas de desgaste, limpiezas, repuestos, reparaciones, etc.

5.2.2. Costo de llantas y rodamientos: representa el costo de la reparación y reemplazo de llantas o del sistema de rodamiento (orugas y carriles) para los equipos que utilizan este sistema.

5.2.3. Costo de consumibles: los consumibles son los artículos requeridos para la operación de un equipo a lo largo de su operación. Estos incluyen combustible, lubricantes, filtros, mangueras y otras piezas que son usadas durante la operación del equipo.

5.2.4. Costos de movilización y desmovilización: es el costo de mover el equipo de un sitio de trabajo a otro. Incluye costos de fleteo, de descargue, montaje, peajes etc.

5.2.5. Costos del operador: es el salario de los operarios de los equipos y sus ayudantes. En este costo se incluyen las bonificaciones y auxilios que se otorgan a los operarios.

6. Vigilancia tecnológica: Según la empresa española especialista en servicios avanzados de información multisectorial IALE, la vigilancia tecnológica “consiste en realizar de manera sistemática la captura, el análisis, la difusión y la explotación de las informaciones técnicas útiles para la supervivencia y el crecimiento de la empresa. Debe alertar sobre toda innovación científica o técnica susceptible de crear oportunidades o amenazas” (*Escorsa & Maspons, 2014*). Adicionalmente, en el mismo artículo se hacen recomendaciones sobre las cualidades de una buena vigilancia tecnológica. A continuación se encuentran aspectos importantes que debe permitir conocer una buena vigilancia tecnológica :

- Las soluciones tecnológicas disponibles.
- Las tecnologías disponibles.
- Las tecnologías que se están imponiendo y cuáles se están quedando obsoletas, es decir la dinámica de la tecnología.

Según el artículo Tendencias Actuales en el Entendimiento de la Vigilancia Tecnológica como Instrumento de Inteligencia en la Organización las fases del ciclo de vigilancia tecnológica son las siguientes:

- Planeación e identificación de necesidades.
- Identificación, búsqueda y captación de información.
- Organización, depuración y análisis de la información.
- Procesos de comunicación y toma de decisiones/ uso de resultados (*León, Castellanos, & Montañez, 2014*).



## 2 Metodología

- Calcular los costos y productividad actual asociados al equipo de construcción.

Se debe recolectar información secundaria proporcionada por la empresa tal como datos históricos disponibles de las siguientes variables: edad de los equipos, horas de producción anuales, depreciación, costo de los seguros anuales, costo operadores y ayudantes, costos de combustibles, lubricantes, repuestos y reparaciones.

Los costos se determinarán de acuerdo con las categorías de costos de capital y de operación. En la primera categoría se incluirán los costos de inversión, seguros, depreciación e interés, para determinar los costos de inversión de la maquinaria se debe determinar el costo de capital de la empresa. Por otro lado, para determinar los costos de operación se deben tener en cuenta los costos asociados a los operadores y ayudantes, consumibles, y reparaciones.

Respecto a la productividad del equipo actual esta se determinará de acuerdo con modelos estipulados para cada tipo de maquinaria basados en la cantidad de m<sup>3</sup> por hora que una máquina puede mover; el tamaño, la velocidad y eficiencia de la máquina jugarán un papel muy importante. Estos datos se tomarán algunos en el campo y otros a partir de productividad y capacidad de la empresa, serán particulares para el tipo de obra o actividad que desarrollan los equipos en Explanan S. A., cada empresa tiene productividades propias dependiendo del tipo de actividad y la política de esquema de control de tiempo.

- Encontrar tecnología nueva que reemplace las máquinas que muestren la menor rentabilidad por medio de una vigilancia tecnológica.

Se seguirán las etapas descritas en el marco teórico para realizar la vigilancia tecnológica de los potenciales reemplazos para las maquinarias obsoletas y/o las que menos rendimiento generen para la empresa. Es decir, se comenzará evaluando las necesidades de la empresa y planeando los métodos para llevar a cabo la obtención de información de las diferentes alternativas que hay en el mercado actualmente. Luego se seleccionan las fuentes de información y se realiza la búsqueda de alternativas en dichas fuentes. En la tercera fase se registra la información y se analizan los datos recolectados en la fase anterior. Por último, en la fase final se evalúan los resultados, y con estos se toman decisiones sobre cuál sería el reemplazo óptimo para cada maquinaria que requiera ser reemplazada.

- Proyectar los costos asociados al mantenimiento de la maquinaria actual de la empresa y determinar su productividad futura.

El modelo del costo asociado a las reparaciones se hará con base en ecuaciones estipuladas por expertos en el tema, estas ecuaciones se dan en función de la edad de la maquinaria y de las horas acumuladas de uso, esto debido a la dificultad de pronosticar variables como las características de cada equipo, las estrategias de mantenimiento de los contratistas, las condiciones de trabajo y las habilidades de los operadores. Estos modelos se tomarán como base pero se hará un ajuste de acuerdo con las características de la maquinaria de la empresa a partir de la experiencia del personal.

Para determinar tanto la productividad futura como los costos faltantes para un horizonte de cinco años se planteará un juicio de expertos, en donde las personas que más conocen el entorno y la maquinaria de la empresa determinarán las horas máquina futuras. A partir de estas horas se podrá entonces construir el modelo financiero necesario.

- Evaluar los flujos de efectivo futuros de mantenimiento de la maquinaria con el fin de determinar la rentabilidad de los mismos a partir del análisis “retador-defensor”.

A partir de la previsión de los costos e ingresos se determinará el flujo de efectivo anual esperado para los próximos cinco años de la maquinaria estudiada. Con los flujos de efectivo se obtendrá un análisis financiero. Adicionalmente se debe realizar un análisis “retador-defensor” que permita estipular exactamente si una máquina debe ser reemplazada y cuándo debe ser reemplazada.

- Construir plan de reposición a partir del análisis “retador-defensor” y del estudio de las diferentes alternativas de cambio.

Se debe realizar un estudio de alternativas disponibles como compra y alquiler de equipo nuevo o compra de equipo usado. A partir de este análisis se debe determinar la alternativa más adecuada para cada grupo de maquinaria.

El plan de reposición se construirá a partir del estudio financiero y un análisis posterior del mismo que permita hacer los ajustes necesarios.

Finalmente con todos estos datos se crea el plan de reposición más óptimo y se le presenta a la empresa para su posible implementación acompañado de una explicación. Luego es decisión de la empresa si implementar el plan o continuar con el manejo de maquinaria actual.



### 3 Procedimiento

El plan de reposición para la empresa Explanan S. A. se llevará a cabo en diferentes etapas como se explicó previamente en la metodología, ahora bien es importante señalar el proceso general seguido para obtener un resultado satisfactorio por parte del proyecto. La idea del estudio es determinar si la maquinaria actual que posee la empresa todavía genera rentabilidad a la misma por encima de otro tipo de alternativas, tal como la inversión en maquinaria nueva, inversión en maquinaria usada o alquiler de maquinaria.

En primer lugar se definirá con la empresa qué máquinas son las elegidas para plantear el plan de reposición pues no toda la flota de maquinaria de la empresa entrará a ser estudiada, ya sea por motivos de edad, como lo son en algunos casos máquinas con más de 25 años, o por tipo de máquina tal como el ejemplo de algunos equipos que no participan dentro del negocio principal de la empresa, pero que se tienen disponibles por si son necesitadas en cierto momento. Después de definir la flota de maquinaria que se va a estudiar se comienza el proceso de recolección de información de costos históricos que posee la empresa, así como consumo de combustible medio por máquina, pago de horas extra, bonificaciones, seguros, costos de mantenimiento, consumibles, horas históricas trabajadas, entre otros. De igual forma se procede a calcular la producción media por máquina de acuerdo con registros de obras o por toma de información real actual, esta producción se determinará de acuerdo con procedimientos estipulados para cada tipo de máquina.

Después de conocer las características generales de la maquinaria actual, tanto de costos como producción, se procede entonces a realizar una vigilancia tecnológica del mercado actual de maquinaria. Se investigarán ofertas actuales de equipos tanto en Colombia como en otros países, y de acuerdo con características de cada máquina y criterios de selección de la empresa se determinarán las alternativas de reemplazo para cada una de las máquinas, en este caso se elegirán máquinas retadoras tanto nuevas como usadas. Cuando ya se tengan definidas las alternativas de reemplazo se estimarán características de las mismas tales como consumo de combustible esperado y producción media esperada. El resto de características y costos asociados a esta maquinaria se tomarán de la base que se tenga de la maquinaria actual. Luego de tener definidas las alternativas de reemplazo por inversión en activos se comienza con el proceso de cotización de precios de alquiler de maquinaria, otra de las alternativas retadoras en el estudio. Esta cotización se pedirá a diferentes empresas del sector dedicadas a esta actividad.

Teniendo ya analizadas y estudiadas tanto las máquinas actuales como las alternativas de reemplazo se empieza el proceso de proyección de variables para los próximos cinco años. Este proceso comienza con la determinación de las horas futuras de trabajo que se hará por medio de un juicio de expertos. Posteriormente se estimarán variables como costos de reparación y mantenimiento, costos de consumibles, producción futura basada en productividad media de la máquina y precios proyectados de actividades de construcción, valor comercial futuro, entre otros. Es importante aclarar que la proyección de las variables es una etapa muy importante del estudio, en la medida en que esta proyección sea más acertada se logrará mayor confiabilidad del proyecto general, de aquí la importancia de la creación de modelos que permitan explicar adecuadamente cada una de las variables previamente descritas.

Logrando todo el proceso previamente descrito ya se cuenta con la mayoría de los insumos necesarios para la creación del plan de reposición, faltando únicamente el análisis de la estructura financiera de la empresa que permita determinar el cálculo del costo medio ponderado del capital, conocido por sus siglas en inglés como *WACC (Weighted Average Cost of Capital)*. Con el cálculo

del WACC para la empresa Explanan S. A. se construye finalmente el modelo de flujo de efectivo para cada una de las máquinas, retando las máquinas actuales con cada una de las alternativas de reemplazo estipuladas para ellas. Se modelará un programa en Microsoft Excel que permita hacer este proceso automáticamente y si es necesario permitirá al usuario ingresar datos de máquinas que no se encuentran en la base de datos.

Finalmente, después de construir el plan de reposición para la empresa Explanan S. A. se validará el modelo logrado con otras empresas del sector, de tal manera que se puedan hacer los ajustes pertinentes y se logre total aplicabilidad para el resto de empresas. Adicionalmente se adaptará este plan de reposición de acuerdo con la disponibilidad de capital de la empresa para los próximos años. Se concluirá con un análisis de ahorro de costos y mejora en la productividad gracias a la implementación del plan de reposición.

## 4 Presentación maquinaria

La empresa Explanan S. A. cuenta actualmente con la siguiente flota de maquinaria. De la tabla presentada a continuación se extraerán las máquinas que serán analizadas para efectos de este proyecto.

Tabla 1. Inventario de maquinaria empresa Explanan S. A.

No Orden	Tipo de máquina	Marca	Referencia
1	Trituradora	Cedarapids	12x24 y cono de 3"
2	Trituradora	Cedarapids	24x36 y cono de 3"
3	Trituradora	Astecnia	14x22 e impactor
4	Planta de Asfaltos	Barber Greene	DM50
5	Planta de Asfaltos	Marini	50 TPH
6	Planta de energía	Caterpillar	110 KVA
7	Planta de energía	Caterpillar	110 KVA
8	Planta de energía		25 KVA
9	Planta de energía		40 KVA
10	Pavimentadora	Dynapac	SD2500C
11	Pavimentadora	Barber Greene	BG210
12	Excavadora sobre orugas	Caterpillar	320 DL
13	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 300-7 LC
14	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 228-7
15	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 300-6 LC
16	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 300-5 LC
17	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 200-7
18	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 128 US-2
19	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 138 US-2
20	Excavadora sobre orugas	Caterpillar	330 BL
21	Tractor sobre orugas	Komatsu	D65PX-15
22	Tractor sobre orugas	Caterpillar	D6MXL
23	Tractor sobre orugas	Caterpillar	D6D
24	Tractor sobre orugas	Caterpillar	D6C
25	Cargador sobre llantas	Komatsu	WA250
26	Cargador sobre llantas	Caterpillar	928 GZ
27	Cargador sobre llantas	Volvo	L70B
28	Cargador sobre llantas	Caterpillar	928 F
29	Cargador sobre llantas	Volvo	4.400

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

30	Cargador sobre llantas	Caterpillar	930
31	Retroexcavadora cargadora	Case	580 M
32	Retroexcavadora cargadora	Komatsu	WB150
33	Motoniveladora	Caterpillar	14 H
34	Motoniveladora	Sany	PQ190IIA
35	Motoniveladora	Champion	710 A
36	Motoniveladora	Mitsubishi	MG 300T
37	Motoniveladora	Mitsubishi	MG 300T
38	Compactador doble tándem	Dynapac	CC424 HF
39	Compactador doble tándem	Hamm	HE10
40	Vibrocompactador	Dynapac	CA250D No 1
41	Vibrocompactador	Dynapac	CA250D No 2
42	Vibrocompactador	Bomag	BW211 D3
43	Vibrocompactador	Ingersoll Rand	SD77DX
44	Vibrocompactador	Ingersoll Rand	SD70D
45	Vibrocompactador	Ingersoll Rand	SD100D
46	Vibrocompactador	Bomag	BW212D
47	Compactador mixto	Ingersoll Rand	CR32
48	Vibrocompactador	Ingersoll Rand	DD110HF
49	Compactador Hyster	Hyster	C530A
50	Pavimentadora	Lee Boy	8000 B
51	Carro hormigonero	Dieci	L-3500
52	Compresor	Doosan	185 CFM
53	Compresor	Doosan	185 CFM
54	Minicargador	Bobcat	773
55	Volqueta doble troque	Kenworth	T800
56	Volqueta doble troque	Kenworth	T800
57	Volqueta doble troque	Kenworth	T800
58	Volqueta doble troque	Kenworth	T800
59	Volqueta doble troque	Kenworth	T800
60	Volqueta doble troque	Kenworth	T800
61	Volqueta doble troque	Kenworth	T800
62	Volqueta doble troque	Kodiak	T800
63	Volqueta doble troque	Kodiak	T800
64	Volqueta doble troque	Mack	R600
65	Volqueta doble troque	Ford	F1000
66	Volqueta doble troque	Mack	R600
67	Volqueta doble troque	Mack	R600
68	Volqueta sencilla	Chevrolet	C70
69	Volqueta sencilla	Dodge	D600

70	Carro-tanque	Mack	B 42
71	Tracto-camión	Mack	Mack R600
72	Camión	Foton	Estacas 3 1/2 ton
73	Camión	Foton	Estacas 3 1/2 ton
74	Camión	Foton	Estacas 3 1/2 ton
75	Camión	Chevrolet NKR	Estacas 2 Ton
76	Camioneta	Mitsubishi	
77	Camioneta	Mazda	
78	Camioneta	Mazda	B2600
79	Camioneta	Ford	BT
80	Camioneta	Luv	D´max
81	Camioneta	Luv	D´max

Para el análisis se toma una muestra de las máquinas previamente descritas pues el plan de reposición que se desarrollará durante el proyecto no está diseñado para todo tipo de equipos, para la selección de las máquinas se tiene en cuenta los siguientes criterios:

- Selección de maquinaria de uso pesado, se dejan a un lado las volquetas, camionetas, equipo de laboratorio, entre otros. Estos equipos no son tenidos en cuenta pues se requeriría un modelo diferente para su análisis.
- Selección de por lo menos una máquina por cada uno de los siguientes tipos: excavadoras sobre orugas, tractores sobre orugas, motoniveladoras, vibrocompactadores, pavimentadoras, retroexcavadora cargadora, cargadores sobre llantas.
- Selección de maquinaria con suficiente información histórica registrada en la empresa.
- Se excluyen máquinas de poco uso en la empresa como minicargadores y compresores de aire.

En este orden de ideas el estudio se lleva a cabo para un total de 27 máquinas de todo tipo, en la Tabla 2 se pueden observar sus especificaciones.

**Tabla 2. Presentación de maquinaria estudiada.**

Código	Descripción del equipo	Marca	Tipo	Potencia (hp)	Modelo	Año de adquisición
PC300-3	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 300LC - 7	242	2004	2011
320DL	Excavadora sobre orugas	Caterpillar	320 DL	148	2007	2011
PC228	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 228 -7	148	2005	2010
PC300-2	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 300 -6 LC	232	1999	2006
PC300-1	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 300 -5 LC	232	1995	1998
PC200	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 200 -7	148	2000	2006
PC128	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 128 US-2	86	2001	2007

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

PC138	Excavadora sobre orugas	Komatsu	PC 138 US-2	97	2002	2008
D65	Tractor sobre orugas	Komatsu	D65PX-15	220	2005	2008
D6M	Tractor sobre orugas	Caterpillar	D6MXL	140	1998	2008
WA250	Cargador sobre llantas	Komatsu	WA250	138	2005	2009
928GZ	Cargador sobre llantas	Caterpillar	928 GZ	143	2004	2011
L70B	Cargador sobre llantas	Volvo	L70B	118	1996	2002
928F	Cargador sobre llantas	Caterpillar	928 F	120	1996	1996
WB150	Retroexcavadora cargadora	Komatsu	WB150	94	2005	2007
CASE580	Retroexcavadora cargadora	CASE	580 M	90	2004	2011
12H	Motoniveladora	Caterpillar	12 H	145	2002	2010
PQ190	Motoniveladora	Sany	PQ190	173	2010	2012
710A	Motoniveladora	Champion	710 A	148	1999	2009
BW211	Compactador	Bomag	BW211 D3	132	2005	2009
SD77	Compactador	Ingersoll Rand	SD77DX	99	2005	2011
CA250-1	Compactador	Dynapac	CA250 No 1	102	2013	2013
CA250-2	Compactador	Dynapac	CA250 No 2	102	2013	2013
DD110HF	Compactador	Ingersoll Rand	DD110HF	125	2001	2009
BG210B	Pavimentadora	Barber Greene	BG210	107	1996	2009
HYSTER	Compactador Hyster	Hypac	C530A	85	1985	2009
LEEBOY	Pavimentadora	LeeBoy	8000 B	60	1996	1996

## 5 Costos históricos

Para analizar la rentabilidad que actualmente tienen las máquinas es de gran importancia determinar los costos que han presentado durante los últimos años, se estudiarán los costos desde el año 2009.

### 5.1 Costos de propiedad

El análisis de costos históricos de propiedad para cada máquina estudiada de la empresa Explanan S. A. se hizo de la siguiente manera:

1. Depreciación: la empresa Explanan S.A. maneja una política de depreciación de la maquinaria en línea recta con un horizonte temporal de 10 años desde el momento de la compra.
2. Costo de capital: el costo de capital asociado a la inversión en la compra en maquinaria depende directamente del financiamiento escogido para la misma. Históricamente la empresa ha adquirido sus máquinas en su mayoría con recursos propios, el costo de estos recursos se fija en un 18,32% de acuerdo con las características de inversión de la empresa durante los últimos cinco años. Es importante aclarar que el costo del capital puede variar de acuerdo con cambio en las políticas de financiamiento de la empresa, el riesgo inherente a Colombia y la prima de riesgo para la compañía. Para la evaluación del plan de reposición se reevaluará la tasa utilizada según varíen estos criterios.
3. Seguros: el aseguramiento de la maquinaria es anual, este porcentaje varía cada año, desde el año 2012 para atrás se contaba con seguros por un valor del 1,19% del valor comercial de cada equipo, a partir del 2013 la tasa del seguro baja a un 0,73%.

### 5.2 Costos de operación

1. Mantenimiento y reparación: para este caso se tomaron valores históricos registrados por la empresa durante el periodo 2009 a 2013.
2. Consumibles: al igual que los costos por mantenimiento y reparación, los costos de consumibles se tomaron a partir de datos históricos reportados por la empresa para los últimos cinco años.
3. Costo de combustible: para determinar el costo del combustible de la maquinaria se basó en las horas de trabajo reportadas por cada máquina en cada año multiplicadas por el consumo de combustible por hora de las mismas y el precio del combustible histórico determinado por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia (UPME, 2013), ver Tabla 59. Para determinar el consumo de combustible de cada máquina se usaron registros históricos de la empresa.
4. Otros gastos: dentro de este rubro se contemplarán gastos por movilización y desmovilización de las máquinas, entre otros. Este valor se estipuló en \$300.000 mensuales según la administración de la empresa, variando anualmente según la inflación (Banco de la República, 2014), ver Tabla 60.

### 5.3 Costos de manejo

1. Costo del operador: dentro del costo del operador se tiene un salario base diferente para cada máquina, este salario es multiplicado por un porcentaje que representa el tiempo real que cierto operador está en una máquina, pues en varios casos un mismo operador puede trabajar en más de una máquina durante el mismo mes. Posteriormente se incluyen el costo de las prestaciones sociales, horas extras, bonificaciones, alimentación y hospedaje y finalmente viáticos.

Para las prestaciones sociales de 2009 a 2013 se tiene un porcentaje del 61,29% sobre el total del salario, su cálculo se puede ver en la Tabla 61. Debido a ley 1607 de 2012 el porcentaje de las prestaciones sociales cambia a un 44% sobre el total del salario por la exoneración del pago de parafiscales. Este porcentaje nuevo será usado para la proyección de costos futuros asociados a los operadores.

Las bonificaciones para los operadores de maquinaria en la empresa están dadas por un valor adicional por hora trabajada, este valor puede variar según el equipo.

En cuanto al costo de las horas extras no se tenían registros todos los años para todas las máquinas, por esta razón se buscó una relación entre las horas trabajadas y el salario base a partir de los datos que se tenían con el fin de hallar este costo para el resto de las máquinas. A continuación se puede ver registro de horas extra pagadas para cada máquina.

Tabla 3. Horas extra pagadas durante los años 2012 y 2013.

		Horas trabajadas		Horas extras pagadas		Costo horas extras por hora trabajada	
Tipo de máquina	Equipo	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Cargador sobre llantas	928F	1031	1021	\$3.659.271	\$3.300.365	\$3.549	\$3.232
Cargador sobre llantas	928GZ	1826	1717	\$5.553.627	\$4.858.126	\$3.041	\$2.829
Cargador sobre llantas	L70B	907	1106	\$2.666.856	\$4.004.967	\$2.940	\$3.621
Cargador sobre llantas	WA250	2104	2810	\$6.706.857	\$8.799.813	\$3.188	\$3.132
Compactador doble tándem	DD110	479	695	\$2.196.288	\$2.429.638	\$4.585	\$3.496
Compactador neumático	HYSTER	449	646	\$1.612.789	\$1.972.022	\$3.592	\$3.053
Excavadora de orugas	320DL	1627	1273	\$6.397.061	\$6.264.186	\$3.932	\$4.921
Excavadora de orugas	PC128	1467	1667	\$3.894.273	\$6.302.160	\$2.655	\$3.781
Excavadora de orugas	PC138	1643	949	\$5.830.738	\$3.555.730	\$3.549	\$3.747
Excavadora de orugas	PC200	1384	1004	\$6.535.013	\$2.989.070	\$4.722	\$2.977
Excavadora de orugas	PC228	1604	1170	\$5.448.265	\$3.183.580	\$3.397	\$2.721
Excavadora de orugas	PC300-1	909	985	\$4.720.667	\$2.716.962	\$5.193	\$2.758
Excavadora de orugas	PC300-2	1733	1251	\$4.351.838	\$4.054.536	\$2.511	\$3.241
Excavadora de orugas	PC300-3	1745	1309	\$9.136.688	\$7.374.500	\$5.236	\$5.634
Motoniveladora	12H	1439	1218	\$4.660.415	\$2.673.372	\$3.239	\$2.195



Motoniveladora	710A	1130	594	\$5.284.386	\$2.418.440	\$4.676	\$4.071
Motoniveladora	PQ190	678	827	\$3.889.623	\$5.915.190	\$5.737	\$7.153
Pavimentadora	BG210B	271	47	\$892.556	\$230.000	\$3.294	\$4.894
Pavimentadora	LEEBOY	87	150	\$86.004	\$0	\$989	\$0
Retroexcavadora cargadora	CASE580	1215	1274	\$3.441.473	\$4.571.340	\$2.832	\$3.588
Tractor	D65	898	977	\$3.052.156	\$3.387.839	\$3.399	\$3.468
Tractor	D6M	937	928	\$2.948.826	\$3.695.171	\$3.147	\$3.982
Compactador	BW211	1382	1325,2	\$4.127.610	\$4.482.492	\$2.987	\$3.383
Compactador	CA250-1	160	1242	\$0	\$755.092	\$0	\$608
Compactador	CA250-2	0	853	\$0	\$2.597.547	\$0	\$3.045
Compactador	SD77	1410	1059	\$3.150.429	\$2.758.802	\$2.234	\$2.605

A partir del costo total pagado se determinó el costo horario adicional debido a las horas extras para cada máquina. A continuación se puede observar el resumen de los resultados según el tipo de máquina.

**Tabla 4. Costo horario de horas extra según tipo de máquina.**

<b>Promedio por tipo de máquina</b>			
<b>Tipo de máquina</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>Costo de horas extras por hora trabajada</b>
Cargador sobre llantas	\$3.461	\$3.262	\$3.361
Compactador doble tándem	\$4.585	\$3.496	\$4.041
Compactador neumático	\$3.592	\$3.053	\$3.322
Excavadora de orugas	\$3.899	\$3.722	\$3.811
Motoniveladora	\$4.551	\$4.473	\$4.512
Pavimentadora	\$2.141	\$2.447	\$2.294
Retroexcavadora cargadora	\$2.832	\$3.588	\$3.210
Tractor sobre orugas	\$3.273	\$3.725	\$3.499
Compactador	\$2.611	\$2.410	\$2.510

De esta forma se determina un costo horario adicional para el año 2013 debido a las horas extra según el tipo de máquina, estos costos horarios cambiarán según la variación del salario base para cada año.

Para la alimentación y hospedaje se tomó una base de \$400.000 mensuales, igualmente los viáticos se estipularon en un valor mensual de \$100.000, ambos costos se determinaron de esta forma según la administración de la empresa y varía anualmente según la inflación Tabla 60.

Después de tener los costos de propiedad, manejo y operación se agrega un costo del 10% adicional por administración de los equipos del departamento de maquinaria que incluye al director, administradores, mecánicos, entre otros. Este porcentaje estimado por la empresa cubre los gastos de la oficina central encargada del manejo general de la maquinaria.

A continuación se muestra la tabla de costo anual histórico para la máquina PC300-2.

**Tabla 5. Costos históricos PC300-2.**

Año de adquisición					
2007	\$179.827.830				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$160.000.000				
Horas de producción anual	2418	1005	1231	1733	1251
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$17.982.783	\$17.982.783	\$17.982.783	\$17.982.783	\$17.982.783
Costo de capital	\$32.944.458	\$32.944.458	\$32.944.458	\$32.944.458	\$32.944.458
Seguros	\$2.314.324	\$2.204.118	\$2.099.160	\$1.999.200	\$1.168.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$53.241.565</b>	<b>\$53.131.359</b>	<b>\$53.026.401</b>	<b>\$52.926.441</b>	<b>\$52.095.241</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$820.000	\$860.000	\$920.000	\$973.360	\$1.012.500
Salario anual	\$9.840.000	\$10.320.000	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
% de trabajo del operador	80%	80%	80%	80%	80%
Salario final	\$7.872.000	\$8.256.000	\$8.832.000	\$9.344.256	\$9.720.000
Prestaciones sociales	\$4.824.749	\$5.060.102	\$5.413.133	\$5.727.095	\$5.957.388
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.086	\$3.237	\$3.463	\$3.664	\$3.811
Horas extras	\$7.463.011	\$3.253.183	\$4.262.749	\$6.349.156	\$4.767.561
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$4.574.079	\$1.993.876	\$2.612.639	\$3.891.398	\$2.922.038
Bonificación por hora	\$2.000	\$2.000	\$2.500	\$2.500	\$2.500
Costo bonificaciones	\$4.836.000	\$2.010.000	\$3.077.500	\$4.332.500	\$3.127.500
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$34.920.603</b>	<b>\$26.099.097</b>	<b>\$29.938.061</b>	<b>\$35.528.004</b>	<b>\$32.494.487</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$2.245.000	\$1.146.980	\$23.751.846	\$17.910.572	\$12.781.753
Costo consumibles	\$2.455.496	\$1.747.080	\$10.050.872	\$4.099.661	\$2.850.023
Gal/h	6	6	6	6	6
Costo combustible	\$89.112.924	\$39.462.973	\$54.747.839	\$83.397.159	\$62.344.836
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$97.413.420</b>	<b>\$45.957.033</b>	<b>\$92.150.557</b>	<b>\$109.007.392</b>	<b>\$81.576.612</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$185.575.588</b>	<b>\$125.187.490</b>	<b>\$175.115.020</b>	<b>\$197.461.837</b>	<b>\$166.166.341</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$76.748</b>	<b>\$124.565</b>	<b>\$142.254</b>	<b>\$113.942</b>	<b>\$132.827</b>
Administración central (10%)	\$18.557.559	\$12.518.749	\$17.511.502	\$19.746.184	\$16.616.634
<b>COSTO ANUAL</b>	<b>\$204.133.147</b>	<b>\$137.706.239</b>	<b>\$192.626.521</b>	<b>\$217.208.021</b>	<b>\$182.782.975</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$84.422</b>	<b>\$137.021</b>	<b>\$156.480</b>	<b>\$125.336</b>	<b>\$146.109</b>

En los anexos se podrá encontrar el análisis de costos históricos para el resto de las máquinas, ver Costos históricos maquinaria.

## 6 Productividad

La productividad de la maquinaria en empresas dedicadas a la construcción de diferentes tipos de obras de infraestructura es uno de los aspectos que más determina el éxito o fracaso de cierta actividad o trabajo. Una empresa debe procurar ser lo más eficiente posible en el uso de sus recursos, es decir, producir más volumen con menos gasto y prevenir la ociosidad de la maquinaria disponible. La producción teórica de una máquina entregada por el fabricante debe ser afectada por factores de eficiencia con el fin de encontrar la productividad real de la misma, es decir, determinar verdaderamente cuánto produce una máquina teniendo en cuenta factores como tiempo de espera, clima, tipo de obra, habilidad del operador, dificultad del trabajo, entre otras.

A la hora de construir un plan de reposición es de vital importancia no sólo enfocarse en el ahorro de costos que pueda traer una máquina nueva por encima de una máquina vieja, sino también hacer el análisis de cuánto más produce la nueva adquisición. La inclusión de la productividad en el análisis retador – defensor es pertinente cuándo la empresa está en la capacidad de generar ganancias a partir de la flota de maquinaria (Gransberg P. &., 2006).

Generalmente la producción de los diferentes tipos de maquinaria usada en el desarrollo de obras de infraestructura vial varía en cada situación, sin embargo, se puede obtener un valor medio que de una idea general del comportamiento de un equipo a lo largo de un año.

La producción teórica de una máquina suele ser un valor mucho más alto que el obtenido en obra, esto se debe a que la producción máxima de una máquina se da bajo condiciones ideales y deja de lado la gran cantidad de eventos que se pueden presentar en la realidad. Por esta razón es muy importante aplicar factores que permitan simular el comportamiento real de los diferentes equipos y encontrar una productividad acertada de los mismos. Para determinar la productividad de cada una de las máquinas que se están analizando se hicieron dos tipos de toma de muestras, en el caso de las excavadoras sobre orugas, cargadores sobre llantas, tractores sobre orugas y retroexcavadoras cargadoras el muestreo se hizo en casos puntuales, es decir, cuánto tiempo tomaba llenar una volqueta o cuánto volumen de material se esparcía en una hora. Para el caso de las motoniveladoras, compactadores y pavimentadoras la toma de la muestra incluyó la producción total durante el desarrollo de una obra, es decir, cuantas horas le tomó a cada máquina nivelar, compactar o pavimentar el volumen requerido por la totalidad de la obra. El análisis que se hace a continuación incluye factores de disminución de producción cuando la toma de la información se hizo en momentos puntuales, para los casos en dónde la toma de la información se hizo basándose en datos generales de una obra no se incluyeron factores, pues la productividad para estos casos ya era la real.

### 6.1 Cálculo de la productividad

El cálculo de la producción de la maquinaria contemplada en este proyecto se hace con base en los métodos estipulados por el manual de rendimiento de Caterpillar y en registros de la empresa Explanan S. A. El volumen de producción encontrado en cada caso es suelto y los ingresos monetarios obtenidos por estas actividades se dan por volumen compacto, por lo cual se toma en los cálculos un factor de expansión de 1,3 para determinar la producción compacta.

Los factores utilizados para determinar la productividad real de la maquinaria en la empresa Explanan S. A. cambian según el tipo de máquina y la condición en la recolección de la información en campo. Para el caso de las excavadoras sobre orugas, tractores sobre orugas, cargadores sobre llantas y retroexcavadoras cargadoras la toma de la muestra se hizo en un

horizonte temporal que no incluyó pérdidas de productividad asociadas a la operación de maquinaria en largo plazo, por lo cual la producción encontrada de estas máquinas debe ser afectada por factores que representen la productividad real de la misma. Por otro lado, para el caso de las motoniveladoras, vibrocompactadores, compactadores neumáticos, compactadores doble tándem y pavimentadoras la toma de la muestra se hizo en un horizonte de tiempo lo suficientemente representativo de tal forma que la productividad encontrada ya representaba la real. Los factores de corrección utilizados para el primer grupo de maquinaria son los siguientes:

- Factor de eficiencia: se toma como 0,83, este factor se debe a que se trabajan 50 minutos por cada hora.
- Factor de corrección general: este factor incluye numerosas variables que afectan la productividad teórica de una máquina, estos factores pueden variar para cada empresa y serán aplicados con el fin de obtener la producción real de la maquinaria. El factor de corrección general se determinó de acuerdo con la Tabla 6, obteniendo con una ponderación un valor de 0,84.

Tabla 6. Factor de corrección general (Escuela de Ingenieros Militares, 1984).

Guía para la determinación del factor de producción en construcciones										
Porcentaje de producción	25	35	45	55	65	75	85	90	95	100
Elementos producción	Factores que se analizan	Baja producción			Mediana producción			Alta producción		
Área de trabajo	Caminos de acceso	Escasos, estrechos, en mal estado			Los necesarios, más o menos amplios, regular estado			Suficiente, buen estado		
	Ubicación, centros de producción y abastecimiento	Ubicados a más de 100 km del área			Ubicados entre 50 y 100 km del área			Ubicadas de 30 a 50 km del área		
	Instalaciones	Insuficientes, mal construidos			Las necesarias. Regular construcción			Buenas y suficientes		
	Organización, campamento	Mal distribuido escasas facilidades			Bien distribuido. Facilidades indispensables			Muy bien distribuido. Hay facilidades		
	Ubicación areneras, receberas y canteras	Localización a más de 20 km			Localizadas entre 5 y 20 km			Localizadas dentro del sector de trabajo o área		
Condiciones de la obra	Interventoría y especificaciones	Hay interventoría, exige que se cumplan las especificaciones			Hay elasticidad en la interventoría. El trabajo se hace bajo especificaciones			No existe interventoría. El trabajo no está sujeto a especificaciones		
	Trabajos adicionales	Tiene que hacer varios trabajos adicionales simultáneamente			Esporádicamente se le asignan trabajos adicionales			No hay trabajos adicionales		
Personal	Efectivos	Falta de personal			Personal suficiente			Personal más que suficiente		
	Nivel de entrenamiento	Escaso entrenamiento, no hay mano de obra calificada			Mediano entrenamiento. Mano de obra regularmente calificada			Hay buen entrenamiento. Mano de obra altamente calificada		
	Dirección y supervisión	Deficiente			Media			Buenas y suficientes		

	Moral	Baja producción	Regular	Alta
Condiciones del sitio	Topografía	Se requiere gran cantidad de material de préstamo	Se requiere material de préstamo	Cortes rellenos y compensados
	Naturaleza del suelo y geología	80% trabajado sobre roca	30% roca, 70% cong. y roca	Tierra suelta y seca
	Drenaje	Nivel de capa freática superior densa, capa vegetal gruesa	Capa vegetal mediana	Capa vegetal delgada
	Vegetación	Existencia de gran cantidad de árboles medianos y grandes	Existencia de arbustos y árboles medianos	Escasa vegetación, ausencia de árboles
Condiciones climáticas	Clima y altitud	Calor o frío excesivo	Calor o frío moderado	Clima mediano
	Pluviosidad	Lluvias torrenciales y frecuentes	Lluvias esporádicas	Poca lluvia
	Salubridad	Clima malsano	Media, hay medidas sanitarias	Clima saludable
Abastecimientos	Financiación del proyecto	No hay financiación adecuada, las obras se paralizan esperando dinero	No se tiene la disponibilidad completa de los fondos	El proyecto está totalmente financiado. El dinero está disponible.
	Abastecimiento	Entrega lenta	Entrega normal	Entrega inmediata
Equipo	Tiempo de servicio	Viejo, no se consiguen repuestos	Medio: se consiguen los repuestos con alguna dificultad	Equipo nuevo
	Habilidad del operador	Aprendiz	Normal	Excelente
	Utilización y dotación	No utilizan el equipo apropiado para cada trabajo	Aplicación regular. Es indispensable para la obra	Correcta utilización del equipo. Hay suficiente equipo.
	Mantenimiento preventivo	Deficiente	Regular	Muy bueno
	Talleres de reparaciones y herramientas	Talleres, herramientas insuficientes, improvisados en mal estado	Existe taller de herramientas, regular estado	Muy buenos. Suficientes herramientas y talleres en buen estado

- Factor que involucra tiempo de espera y actividades complementarias a la principal: este factor está asociado a la disponibilidad de equipos de transporte en cantidad suficiente de tal forma que la maquinaria pesada no tenga que esperar entre un equipo de transporte y otro. La asignación de equipos de transporte en número suficiente es de difícil consecución, por lo cual la maquinaria cuenta con tiempos muertos debido a la espera. Las actividades complementarias realizadas por los equipos que no son cuantificables en el momento de medir la productividad están representadas en: conformación de taludes, conformación de sub rasante y procesos constructivos. Para el tractor sobre orugas el factor de espera está relacionado directamente con el número de viajes que llegan al sitio de disposición, relacionándose estrechamente con la cantidad de equipos de transporte que se tienen dispuestos. En la Tabla 7 se puede observar la asignación de este factor para cada tipo de máquina.

Tabla 7. Factor por tiempo de espera.

Tipo de máquina	Tiempo medio de actividad principal (min)	Tiempo medio de espera y actividad complementaria (min)	Factor de tiempo de espera y actividad complementaria
<b>Equipos para el cargue y excavación de material</b>			
Excavadora sobre orugas	6	3	0,50
Cargador sobre llantas	8	2,4	0,70
Retroexcavadora cargadora	20	10	0,50
<b>Equipos para el regado y disposición de material</b>			
Tractor sobre orugas	12	6	0,50

### 6.1.1 Excavadora sobre orugas

La producción de una excavadora está dada por la carga media útil del cucharón, el tiempo medio de ciclo y la eficiencia del trabajo (Caterpillar, 2010).

$$Producción \left( \frac{m^3}{h} \right) = \frac{Ciclos}{h} * Carga \text{ media útil cucharón } (m^3) * \text{factor de eficiencia}$$

Donde la carga media útil del cucharón se determina por medio de la capacidad colmada del mismo y un factor de llenado.

Para determinar estos valores se hizo un sondeo con los operadores de las diferentes excavadoras de la empresa, para determinar la carga útil del cucharón se contabilizaron cuántos cucharones se necesitaban para llenar un volumen de 15 m<sup>3</sup>, y para encontrar el ciclo se tomó el tiempo necesario para llenar estos 15 m<sup>3</sup>.

Tabla 8. Producción para las excavadoras de orugas.

Máquina	Ciclo (min)	Ciclos/h	Carga útil cucharón (m <sup>3</sup> )	Eficiencia	Producción teórica suelta (m <sup>3</sup> /h)	Factor por tiempo de espera	Factor de corrección general	Producción real suelta (m <sup>3</sup> /h)	Producción real compacta (m <sup>3</sup> /h)
PC300-1	0,42	143	1,50	0,83	178	0,50	0,84	75	57
PC300-2	0,33	182	1,30	0,83	196	0,50	0,84	82	63
PC300-3	0,38	158	1,60	0,83	210	0,50	0,84	88	68
320DL	0,35	171	0,85	0,83	121	0,50	0,84	51	39
PC200	0,36	167	0,85	0,83	118	0,50	0,84	49	38
PC228	0,36	167	0,95	0,83	131	0,50	0,84	55	42
PC138	0,35	171	0,65	0,83	92	0,50	0,84	39	30
PC128	0,35	171	0,65	0,83	92	0,50	0,84	39	30

Como se puede observar el ciclo de una excavadora puede estar afectado por la carga útil del cucharón y la velocidad de operación, que en la mayoría de los casos es mayor para máquinas más nuevas.

Como se explicó previamente la producción teórica de las excavadoras fue afectada por diferentes factores, esto debido a que la toma de la muestra se hizo para una sola carga sin tener en cuenta los imprevistos que suceden en obras de largo plazo, las actividades complementarias y los reprocesos.

El factor que más incidencia tiene sobre la productividad real de un equipo es el factor de espera y actividades complementarias, este depende en gran medida de dos situaciones: del número de volquetas o equipos de transporte que se asignen para la máquina, o del espacio disponible en el lugar del trabajo para la disposición de varios equipos de transporte simultáneamente de tal forma que la excavadora no tenga tiempos muertos entre el despacho de una volqueta y el cargue de la siguiente. Adicionalmente, estos equipos deben realizar actividades complementarias para cumplir las especificaciones técnicas, tal como la conformación de taludes.

### 6.1.2 Tractor de orugas

La producción de los tractores de orugas que trabajan con hojas topadoras está dada por una producción máxima afectada por unos factores de corrección. La producción máxima se obtiene a partir de unas gráficas de producción estipuladas por Caterpillar (Caterpillar, 2010). Estos factores pueden ser la eficiencia del trabajo, densidad del suelo, tiempo de descarga de material previamente excavado, entre otros.

$$\text{Producción (m}^3/\text{h)} = \text{Producción máxima (m}^3/\text{h)} * \text{Factores de corrección}$$

Las gráficas de producción dependen de la máquina y de la distancia promedio de acarreo que se debe empujar el material de las excavaciones. La distancia promedio de empuje se tomó como 30 metros lineales según expertos de la empresa que determinaron este valor de acuerdo con las características de las obras realizadas previamente.

Los tractores de orugas suelen llevar a cabo dos actividades principales, la disposición de materiales en zona de depósito y la conformación de terraplenes, la productividad para ambas actividades es diferente pues la última requiere un mayor nivel de trabajo.

Tabla 9. Producción tractores de orugas.

ZONA DE DEPOSITO									
Máquina	Distancia media de acarreo (m)	Línea de gráfica	P. máxima (m <sup>3</sup> /h)- Tablas CAT	Factor eficiencia	Factor de reproceso	Factor de corrección general	Factor tiempo de espera y actividades complementarias	P. suelta (m <sup>3</sup> /h)	P. compacta
D65	30	F	450	0,83	1	0,84	0,50	157	121
D6M	30	G	350	0,83	1	0,84	0,50	122	94
TERRAPLENES									
Máquina	Distancia media de acarreo	Línea de gráfica	P. máxima (m <sup>3</sup> /h)-	Factor eficiencia	Factor de reproceso	Factor de corrección general	Factor tiempo de espera y actividades	P. suelta (m <sup>3</sup> /h)	P. compacta

	(m)		Tablas CAT				complementarias		
<b>D65</b>	30	F	450	0,83	0,5	0,84	0,50	78	60
<b>D6M</b>	30	G	350	0,83	0,5	0,84	0,50	61	47

Para el cálculo se obtuvo la producción máxima de cada máquina, de acuerdo con sus especificaciones se determinó qué línea de la gráfica era la más apropiada, estos valores se pueden observar en Ilustración 11. Se agregaron los factores correspondientes al tiempo de espera y factor general para ambas actividades. Adicionalmente, para la actividad de terraplenes se debe tener en cuenta que se pueden presentar reprocesos en razón de las dificultades asociadas a factores externos como el clima, para lograr el cumplimiento de las especificaciones técnicas de una obra como es el caso del porcentaje de compactación.

### 6.1.3 Motoniveladora

La producción de las motoniveladoras puede ser calculada de diversas maneras, esto debido a la cantidad de aplicaciones que estas tienen en campo (Caterpillar, 2010). Las motoniveladoras en la empresa Explanan S. A. desarrollan dos actividades principales, el regado del material y una posterior nivelación del mismo. En este orden de ideas la producción está dada por el tiempo que toma a una motoniveladora regar y nivelar un metro cúbico de material suelto. Se debe tener en cuenta que para la actividad del regado de material éste está suelto y para la nivelación está compacto.

El cálculo de la producción se determinará entonces de la siguiente manera:

$$\text{Producción total (m}^3/\text{h)} = \frac{1 \text{ m}^3}{\text{Tiempo empleado en un m}^3(\text{h})}$$

$$\text{Tiempo empleado en un m}^3 = \frac{1 \text{ m}^3}{\text{Producción regado (m}^3/\text{h)}} + \frac{1 \text{ m}^3}{\text{Producción nivelación (m}^3/\text{h)}}$$

Tabla 10. Producción motoniveladoras.

Máquina	Producción regado (m <sup>3</sup> sueltos/h)	Producción regado (m <sup>3</sup> /h)	Producción nivelación (m <sup>3</sup> /h)	Tiempo empleado por m <sup>3</sup> (min) (para ambas actividades)	Producción total (m <sup>3</sup> /h)
<b>12H</b>	100,0	76,9	36,6	2,4	24,8
<b>PQ190</b>	50,0	38,5	38,9	3,1	19,3
<b>710A</b>	45,0	34,6	31,1	3,7	16,4

Vale aclarar que para el cálculo de la producción de regado como de nivelación se contabilizó el tiempo que le toma a cada niveladora llevar a cabo estas actividades para cierta cantidad de metros cúbicos. Como se puede observar la toma de la muestra contiene los factores externos que pueden afectar la producción al considerar los imprevistos que suceden en una obra, razón por la cual no se incluyen factores, pues el resultado de producción total obtenido ya es el real.



### 6.1.4 Compactador

La producción de un compactador se expresa en metros cúbicos compactados por hora. Se ha desarrollado una fórmula para estimar la producción de un compactador.

$$\text{Producción} \left( m^3 \text{ compactados} / h \right) = \text{Volumen compactado en una hora} = \frac{A * L * C}{1 h}$$

Donde:

*A* = Ancho en m de compactación (en este caso se tomará el ancho del carril compactado)

*L* = Longitud compactada

*C* = Espesor de la capa apisonada

Similar al caso de los tractores sobre orugas, los compactadores realizan dos actividades diferentes y su productividad es diferente para cada una de estas actividades.

Tabla 11. Producción compactadores.

Compactación de materiales para vías					
Máquina	Tipo de compactador	Ancho carril (m)	Longitud compactada (m)	Espesor capa (m)	Producción (m <sup>3</sup> /h)
<b>Compactadores para suelos y materiales granulares</b>					
BW211	Vibratorio	4,7	33	0,2	31,0
SD77	Vibratorio	4,7	23	0,2	21,6
CA250-1	Vibratorio	4,7	33	0,2	31,0
CA250-2	Vibratorio	4,7	33	0,2	31,0
<b>Compactadores para mezcla asfáltica</b>					
DD110	Doble tándem	4,7	35	0,1	16,5
Hyster	Neumático	4,7	30	0,1	14,1
Compactación de materiales para terraplenes					
Máquina	Tipo de compactador	Ancho carril (m)	Longitud compactada(m)	Espesor capa (m)	Producción (m <sup>3</sup> /h)
<b>Compactadores para suelos y materiales granulares</b>					
BW211	Vibratorio	10	25	0,2	50,0
SD77	Vibratorio	10	20	0,2	40,0
CA250-1	Vibratorio	10	25	0,2	50,0
CA250-2	Vibratorio	10	25	0,2	50,0

Los valores para la velocidad de operación se obtuvieron contabilizando el tiempo que tomaba cada compactador en cierta longitud de vía. Igualmente se obtuvo el número de pasadas por capa según cada compactador. Para el espesor de la capa se tomó un valor medio de 20 cm para los granulares y de 10 cm para el pavimento. Al igual que para el caso de las motoniveladoras la toma de la muestra ya contabilizó los factores externos que afectan la productividad de la maquinaria, por lo cual no son incluidos en el cálculo.

### 6.1.5 Cargador sobre llantas

Para calcular la producción de los cargadores se usa el mismo procedimiento descrito previamente para las excavadoras de orugas, se debe tener en cuenta que tanto la carga útil del cucharón como el ciclo de trabajo para los cargadores son mayores debido a sus características de trabajo. El tiempo de ciclo y carga útil del cucharón fueron obtenidos por métodos similares a los utilizados para las excavadoras.

Tabla 12. Producción cargadores.

Máquina	Ciclo (min)	Ciclo/h	Carga útil cucharón (m <sup>3</sup> )	Eficiencia	P. teórica suelta (m <sup>3</sup> /h)	Factor tiempo de espera y actividades complementarias	Factor de corrección general	P. real suelta (m <sup>3</sup> /h)	P. real compacta (m <sup>3</sup> /h)
WA250	0,8	71	2,20	0,83	130	0,70	0,84	76	59
928GZ	1,0	58	2,00	0,83	96	0,70	0,84	57	44
L70B	1,1	55	2,00	0,83	91	0,70	0,84	54	41
928f	1,2	51	1,80	0,83	76	0,70	0,84	45	34

El factor de tiempo de espera y actividades complementarias para los cargadores sobre llantas se incrementó ya que este tipo de equipos realizan actividades de otra índole en planta en donde no dependen tanto de los equipos de transporte ni tienen que realizar actividades complementarias como lo hacen las excavadoras.

### 6.1.6 Retroexcavadora cargadora

Este tipo de máquina presenta características tanto de las excavadoras como de los cargadores, por esta razón su producción se determinará de la misma manera.

Tabla 13. Producción retroexcavadora cargadora.

Máquina	Ciclo (min)	Ciclo/h	Carga útil cucharón (m <sup>3</sup> )	Eficiencia	Producción teórica suelta (m <sup>3</sup> /h)	Factor de corrección general	Factor tiempo de espera y actividades complementarias	Producción real suelta (m <sup>3</sup> /h)	Producción real compacta (m <sup>3</sup> /h)
WB150	0,5	120	0,35	0,83	35	0,84	0,60	18	13,5
CASE580	0,5	120	0,35	0,83	35	0,84	0,60	18	13,5

El tiempo de ciclo y carga útil del cucharón fueron obtenidos por métodos similares a los utilizados para las excavadoras.

### **6.1.7 Pavimentadora**

La producción de las pavimentadoras se determinó contabilizando el rendimiento medio por día para una obra en específico, por la manera como se hizo el muestreo de datos, los factores de disminución de productividad no son tenidos en cuenta. De acuerdo con las características de trabajo de la empresa el día en obra es generalmente de nueve horas.

*Tabla 14. Producción pavimentadoras.*

	<b>Producción media (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>Producción (m<sup>3</sup>/h)</b>
LEEBOY	120	13
BG210B	250	28

## 7 Vigilancia Tecnológica

Con la amplia oferta de maquinaria para la construcción es necesario para una empresa de este sector realizar continuamente el análisis de la dinámica de la tecnología, conocer qué tecnologías se están imponiendo y cuáles se están quedando obsoletas o tienen un mejor reemplazo con el fin de asegurar la supervivencia, el crecimiento de la empresa y la eficiencia en sus procesos lo que redundará en el aseguramiento de cumplimiento de los plazos contractuales y en la mejora de la satisfacción de los clientes. Para cada tipo de máquina se captura la información necesaria para determinar cuáles serían las mejores alternativas de reemplazo considerando las necesidades actuales de la empresa. Es importante aclarar que los valores de los precios y horas de trabajo encontradas para las diferentes alternativas son para estos casos en específico y sirven como guía para la construcción del plan de reposición.

### 7.1 Evaluación de las posibilidades del mercado

Se recolecta información asistiendo a la feria anual de maquinaria CONEXPO-CON/AGG 2014 en la ciudad de Las Vegas, leyendo folletos de diferentes casas matrices, investigando en diferentes páginas de internet y pidiendo la opinión de expertos sobre las diferentes marcas y características de la maquinaria. A continuación se expone el resultado del proceso que resume las mejores alternativas de reemplazo para las máquinas actuales de la empresa considerando los parámetros de comparación más importantes para cada una de ellas. Se aclara que en algunos casos las máquinas están ubicadas en Estados Unidos, por lo que para este grupo el precio actual se determina de acuerdo con su precio original más los incrementos en el costo debidos a la importación de las mismas a Colombia.

#### 7.1.1 Excavadora sobre orugas

Tabla 15. Comparación especificaciones excavadora sobre orugas

	Marca	Referencia	Modelo	Peso (ton)	Precio actual (COP)	Horas	Potencia Neta (hp)	V. de Giro (rev/min)	Alcance excavación (m)
Actuales	Komatsu	PC300-7 LC	2007	30	\$220.000.000	14.600	242	10,0	10,6
	Komatsu	PC300-6 LC	1999	30	\$160.000.000	17.000	232	10,0	10,0
	Komatsu	PC300-5 LC	1995	30	\$130.000.000	24.000	232	10,0	10,0
	Komatsu	PC228-7	2005	22	\$140.000.000	9.580	148	11,0	9,7
	Caterpillar	320DL	2007	20	\$230.000.000	10.710	148	11,5	10,6
	Komatsu	PC200-6	2001	20	\$120.000.000	18.920	148	12,4	9,7
	Komatsu	PC128US-2	2001	10	\$100.000.000	18.250	86	12,0	7,7
	Komatsu	PC138US-2	2002	10	\$110.000.000	10.000	88	10,5	7,8
Posibilidades del Mercado	Caterpillar	330DL	2008	35	\$314.564.000	4.000	244	10,0	11,6
	Caterpillar	330CL	2004	35	\$155.933.000	9.000	244	10,0	11,6
	Caterpillar	330DL	2008	35	\$234.099.000	9.000	244	10,0	11,6
	Hyundai	R300LC	2014	30	\$410.000.000	0	225	10,0	10,6

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Komatsu	PC300LC-7	2007	30	\$153.634.000	11.000	232	10,0	10,0
Komatsu	PC290LC-10	2013	28	\$452.504.000	1.000	185	11,0	8,9
Caterpillar	322CL	2005	25	\$130.644.000	8.000	165	11,0	9,6
Komatsu	PC200LC-8	2013	20	\$314.564.000	75	148	12,4	9,7
Caterpillar	320DL	2012	20	\$326.059.000	1.765	138	11,5	10,6
Caterpillar	320D	2008	20	\$315.000.000	2.110	138	11,5	10,8
Komatsu	PC200LC-7	2007	20	\$235.000.000	2.500	150	12,4	8,6
Komatsu	PC200LC-8	2012	20	\$268.584.000	3.296	148	12,4	9,7
John Deere	200C-LC	2006	20	\$159.381.500	5.000	141	13,3	9,8
Caterpillar	320D	2011	20	\$271.000.000	6.000	138	11,5	10,8
Komatsu	PC138USLC-10	2014	15	\$372.039.000	164	97	11,0	7,8
Komatsu	PC138USLC-10	2014	15	\$337.554.000	200	97	11,0	7,8
Komatsu	PC138USLC-8	2011	15	\$245.594.000	1.000	97	11,0	7,8
Komatsu	PC138USLC-8	2009	15	\$199.614.000	2.500	97	11,0	7,8
Kobelco	SK140SR LC	2011	14	\$169.129.000	5.000	94	11,7	8,6
Caterpillar	312DL	2011	13	\$234.099.000	1.100	90	12,4	8,1
John Deere	120C	2004	13	\$140.000.000	8.000	89	13,7	8,0
John Deere	120C	2003	13	\$96.159.000	8.100	89	13,7	8,0

### 7.1.2 Tractor sobre orugas

Tabla 16. Comparación especificaciones tractor sobre orugas

	Marca	Referencia	Modelo	Precio (COP)	Horas	Potencia Neta (hp)	Peso (ton)
Actual	Komatsu	D65PX-15	2005	\$175.000.000	8.785	220	21
	Caterpillar	D6MXL	1996	\$115.000.000	13.550	140	15
Posibilidades del Mercado	Caterpillar	D8T	2011	\$700.000.000	4.500	347	40
	Caterpillar	D7R	2009	\$774.364.000	2.000	240	25
	Caterpillar	D7ELGP	2011	\$705.394.000	3.000	235	29
	Caterpillar	D6T LGP	2012	\$636.424.000	1.000	228	23
	Caterpillar	D6T LGP	2011	\$383.534.000	4.000	228	23
	Caterpillar	D6T	2013	\$785.859.000	700	228	23
	Komatsu	D56EX-15	2010	\$314.564.000	3.500	207	21
	Caterpillar	D6TXL	2002	\$250.000.000	7.000	200	20
	Caterpillar	D6R	2002	\$250.000.000	7.000	200	20
	Caterpillar	D6RLGP	2005	\$211.109.000	10.000	200	20

	Caterpillar	D6RVP	2006	\$250.000.000	8.800	200	20
	Komatsu	D61EX-15E0	2013	\$442.524.000	2.000	170	17
	Komatsu	D61EX-15E1	2012	\$349.049.000	4.300	170	17
	Caterpillar	D6NLGP	2009	\$406.524.000	5.000	150	18
	Caterpillar	D6NLGP	2013	\$555.959.000	300	150	18
	John Deere	750JLT	2012	\$590.444.000	2.000	145	16
	Caterpillar	D6NXL	2004	\$135.000.000	7.750	145	15
	Dressta	TD12cxp	2005	\$280.000.000	6.000	142	15
	Caterpillar	D6K	2011	\$349.049.000	750	125	14
	Komatsu	D41E-6	2005	\$160.000.000	7.000	110	11
	Caterpillar	D5G LGP	2006	\$155.000.000	7.000	100	9
	Caterpillar	D5KXL	2011	\$188.119.000	1.600	100	10

### 7.1.3 Cargador sobre llantas

Tabla 17. Comparación especificaciones cargador sobre llantas.

	Marca	Referencia	Modelo	Horas	Precio (COP)	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Potencia Neta (hp)
Actuales	Komatsu	WA250	2005	11.620	\$150.000.000	2,2	138
	Caterpillar	928GZ	2004	11.855	\$130.000.000	2,0	143
	Volvo	L70B	1996	23.345	\$70.000.000	2,0	118
	Caterpillar	928F	1996	24.357	\$70.000.000	1,8	120
Posibilidades del Mercado	Caterpillar	930H	2011	2.300	\$247.644.000	2,1	149
	Case	621 E	2011	2.000	\$314.564.000	2,3	162
	JCB	426 HT	2013	200	\$401.926.000	2,0	152
	Komatsu	WA250	2014	81	\$310.657.000	2,0	140
	Caterpillar	924K	2013	144	\$360.544.000	2,0	141
	Hyundai	HL 730 - 9	2013	500	\$314.564.000	1,9	128
	Deere	444k	2012	1.300	\$372.039.000	1,9	147

### 7.1.4 Retroexcavadora cargadora

Tabla 18. Comparación especificaciones retroexcavadora cargadora

	Marca	Modelo	Modelo	Precio (COP)	Horas	Peso (ton)	Potencia (hp)
Actuales	Komatsu	WB150	2005	\$60.000.000	9.900	7,8	94
	CASE	580 K	2004	\$60.000.000	6.026	6,5	90
Posibilidades del Mercado	CASE	590SM	2007	\$153.634.000	4.400	6,9	108
	Komatsu	WB156PS-5	2007	\$130.644.000	6.000	8,0	95
	Jhon Deere	410J	2012	\$245.594.000	1.000	6,8	95
	Caterpillar	420E	2011	\$156.000.000	2.000	7,0	93
	Caterpillar	420E	2010	\$140.000.000	1.750	7,0	93
	Caterpillar	420E	2012	\$173.634.000	1.800	7,0	93
	CASE	580SM	2007	\$119.149.000	2.000	6,4	92
	JCB	3CX14	2014	\$222.604.000	40	7,0	92
	CASE	580SN	2012	\$160.531.000	300	7,0	92
	CASE	580SM	2007	\$96.159.000	5.000	6,5	90
	Caterpillar	420D	2006	\$91.561.000	7.000	7,0	88
	Caterpillar	416E	2012	\$188.119.000	1.700	6,8	87
	CASE	770EX	2014	\$96.159.000	6	7,7	76
Caterpillar	416E	2004	\$135.000.000	8.000	7,0	74	

### 7.1.5 Motoniveladora

Tabla 19. Comparación especificaciones motoniveladora

	Marca	Modelo	Modelo	Horas	Precio (COP)	Longitud (ft)	Potencia (hp)
Actuales	Caterpillar	12 H	2002	10.340	\$240.000.000	12	145
	Sany	993	2010	2.038	\$120.000.000	12	173
	Champion	710 A	1999	14.345	\$110.000.000	12	148
Posibilidades del Mercado	Caterpillar	120M	2014	0	\$484.500.000	12	173
	Caterpillar	120M	2012	2.500	\$395.029.000	12	173
	John Deere	770D	2008	3.000	\$307.667.000	12	165
	Caterpillar	140H	2005	11.000	\$192.717.000	12	165
	Caterpillar	120K	2014	0	\$509.200.000	12	145
	Caterpillar	120K	2010	2.700	\$354.000.000	12	145
	Champion	730A	2004	7.000	\$175.000.000	12	144

	Komatsu	GD555-3	2008	4.500	\$211.109.000	12	140
	Caterpillar	120M	2008	5.000	\$372.039.000	12	138
	Caterpillar	120K	2012	1.500	\$450.000.000	12	125
	Caterpillar	120H	2008	7.000	\$234.099.000	12	125

### 7.1.6 Compactador

Tabla 20. Comparación especificaciones compactadores doble tándem.

Compactadores doble tándem						
	Marca	Referencia	Modelo	Horas	Precio (COP)	Ancho Tambor (m)
Actuales	Ingersoll Rand	DD110HF	2001	8.815	\$70.000.000	2,0
Posibilidades del Mercado	Ingersoll Rand	DD138	2006	1.900	\$84.664.000	2,1
	Ingersoll Rand	DD112HF	2006	2.300	\$77.767.000	2,0
	Ingersoll Rand	DD118HFA	2006	0	\$86.963.000	2,0
	Volvo	DD118HFA	2011	1.690	\$112.252.000	2,0
	Volvo	DD118HFA	2011	211	\$176.624.000	2,0
	Volvo	DD90	2011	470	\$159.381.500	1,7
	Caterpillar	CB54	2011	2.500	\$181.222.000	1,7
	Dynapac	CC422VHF	2008	3.000	\$75.468.000	1,7
	Dynapac	CC322	2007	1.000	\$84.664.000	1,7

Tabla 21. Comparación especificaciones vibrocompactadores para granulares y suelos.

Vibrocompactadores						
	Marca	Referencia	Modelo	Horas	Precio (COP)	Ancho tambor
Actuales	Bomag	BW211D3	2005	9.145	110.000.000	2,1
	Ingersoll Rand	SD77DX	2005	8.595	\$120.000.000	1,7
	Dynapac	CA250	2013	1.242	\$150.000.000	2,1
Posibilidades del Mercado	BOMAG	BW211-4	2013	2	\$215.707.000	2,1
	Caterpillar	CS56	2012	2	\$245.594.000	2,1
	Dynapac	CA302D	2008	1.500	\$176.624.000	2,1
	Ingersoll Rand	SD105	2005	3.000	\$121.448.000	2,1
	Ingersoll Rand	SD160	2006	4.300	\$84.664.000	2,1
	Ingersoll Rand	SD100D	2005	1.500	\$84.664.000	2,1
	Ingersoll Rand	SD100	2007	3.000	\$98.458.000	2,1
	Volvo	DD112HF	2014	0	\$314.564.000	2,0



	Caterpillar	CS44	2011	470	\$172.026.000	1,7
	Dynapac	CA150D	2010	700	\$132.943.000	1,7
	Dynapac	CA150D	2009	600	\$869.630.00	1,7
	Ingersoll Rand	SD70	2007	2.500	\$93.860.000	1,7

Tabla 22. Comparación especificaciones compactadores neumáticos.

Compactadores neumáticos						
	Marca	Referencia	Modelo	Horas	Precio (COP)	Peso (ton)
Actuales	Hypac	C530A	1985	7.790	\$40.000.000	12
Posibilidades del Mercado	HAMM	GRW5	1995	3.000	\$40.983.000	20
	Ingersoll Rand	PT240R	2004	1.000	\$77.767.000	16
	Caterpillar	PS--150	2014	0	\$171.000.000	13
	Hypac	C530A	1996	5.300	\$35.235.500	12
	Ingersoll Rand	PT125R9	1998	1.000	\$44.431.500	12

### 7.1.7 Pavimentadora

Tabla 23. Comparación especificaciones pavimentadora.

	Marca	Referencia	Modelo	Horas	Precio (COP)	Capacidad tolva (ton)
Actuales	Barber Greene	BG210	1996	3.255	\$115.000.000	10
	LEEBOY	8000 B	1996	3.400	\$60.000.000	6
Posibilidades del Mercado	Caterpillar	AP-500	2014	0	\$763.800.000	11
	Caterpillar	AP-555	2014	0	\$665.000.000	11
	BLAW KNOX	PF5510	2001	3.000	\$68.932.000	11
	Caterpillar	AP1055B	2003	11.000	\$88.084.000	11
	Caterpillar	AP1055B	2001	1.000	\$135.964.000	11
	VOEGELE	2116T	2005	7.000	\$64.144.000	9
	LEEBOY	L8515T	2007	1.700	\$88.084.000	8
	TEREX/CEDARAPIDS	CR362L	2012	220	\$447.184.000	8
	LEEBOY	L8515R	2007	1.300	\$76.114.000	8
	BLAW KNOX	PF4410	2001	5.000	\$50.977.000	8

## 7.2 Evaluación de la ventaja competitiva

Tener maquinaria renovada representa una ventaja competitiva respecto a otras empresas del sector. En general, la maquinaria nueva es más eficiente que aquella que ha trabajado durante varios años, requiere menos repuestos y consumibles. Adicionalmente, al contar con un portafolio de maquinaria renovado y amplio se puede tener acceso a obras con mayor importancia y tamaño lo que lleva a la empresa a tener un mayor nivel de ingresos anuales. A medida que una empresa de construcción va creciendo, su capacidad de adquirir más maquinaria con mejores características aumenta de la misma manera. Este cambio hace que la empresa sea percibida por el mercado como una empresa más competitiva, con capacidad innovadora y estratégica. Sin embargo, se debe tener en cuenta que no siempre la renovación de las máquinas es beneficiosa financieramente para la empresa, razón por la cual hay que realizar un análisis financiero necesario antes de tomar cualquier decisión.

## 7.3 Riesgos y requisitos

A la hora de seleccionar una nueva máquina para una empresa no es suficiente con mirar las tablas con las especificaciones para escoger la mejor alternativa, se debe tener en cuenta otras variables. Dependiendo del país en el que van a ser usadas, el tipo de trabajo disponible en el que se usarían y características especiales de la empresa se deben considerar diversos aspectos tal como la facilidad de conseguir repuestos, la simplicidad del uso de la máquina considerando el conocimiento de los operarios, la estrategia de la empresa, el tipo de obras en las que se emplearán, características de cada marca y demanda en el mercado de ese tipo de máquina para tener la posibilidad de arrendarla o venderla en el futuro.

## 7.4 Características de las marcas

Respecto a las características ofrecidas por cada marca a continuación se exponen las ventajas percibidas en éstas según la página web Construction Equipment Guide:

- Case: combina productividad, eficiencia de combustible, comodidad y servicio.
- Caterpillar: se reconoce como líder de maquinaria para construcción. Ofrece velocidad, movilidad y versatilidad. Es la marca más grande de maquinaria de construcción. Las máquinas son fabricadas en Estados Unidos, su característica más importante es la fuerza y potencia de su motor. Es maquinaria de alta calidad y durabilidad. Su costo inicial es muy alto así como el de sus repuestos.
- John Deere: marca estadounidense con un gran portafolio de modelos. Se caracterizan por su eficiencia, confiabilidad y fácil control. Se diseñan para ser controladas con facilidad, tienen características tal como freno dinámico que permiten al operador tener gran control de la máquina incluso en terrenos difíciles.
- Komatsu: especial para ser usada en terrenos difíciles, incluyendo pantanos y otras superficies en las que otras marcas se atascarían. Recomendadas para tareas de movimiento de tierra y trituración de piedras entre otras tareas desafiantes. Son líderes en retroexcavadoras teniendo una gran diversidad de modelos con calidad superior. Por su fuerte sistema hidráulico operan a un bajo costo y con mucha flexibilidad, sin embargo su costo inicial es alto igual que sus repuestos.

- Kobelco: es una marca fabricada en Japón con más de cien años de experiencia. Su característica principal es la rapidez con la que opera. Igualmente es una máquina con un consumo eficiente de combustible.
- Volvo: en general son máquinas con alta durabilidad y bajo consumo de combustible. Se fabrican con altos estándares de calidad. Tanto su costo inicial como el de sus repuestos es alto.

## **7.5 Alternativas de reemplazo**

De acuerdo con las opciones estudiadas previamente se determinó cual máquina sería ideal para reemplazar cada una de las que posee la empresa actualmente. Para definir estos reemplazos se trabajó en conjunto con la empresa con el fin de encontrar las mejores alternativas según las necesidades y la experiencia propia de Explanan S. A. a lo largo de los años. Se buscaron dos reemplazos para cada una de las máquinas estudiadas, en el primer caso se tiene la opción de reemplazo por una máquina nueva (modelo 2013 en adelante o menos de 1000 horas de uso) y en segundo caso una máquina usada.

### **7.5.1 Criterios para la elección de las alternativas de reemplazo**

Para definir los criterios de selección de las alternativas de reemplazo es importante incluir juicios tanto de carácter cualitativo como cuantitativo, la implementación de ambos tipos de información permitirá obtener una respuesta más completa basada en diversos enfoques. La elección de los criterios se hace basada en tres esferas diferentes: la experiencia de la empresa, la investigación del entorno y el análisis de la información disponible.

La experiencia de la empresa toma el papel más importante dentro de estas tres esferas, los éxitos o fracasos derivados de decisiones pasadas permiten tener una visión global de qué alternativa es la mejor para lo que se requiere en el momento. Pruebas de todo tipo de maquinaria durante los últimos años permiten definir criterios de preferencias de marca, sacar conclusiones acerca del comportamiento de los equipos o atención de los distribuidores en Colombia, que tan fácil o difícil ha sido la consecución de repuestos, entre otras. La investigación del entorno permite complementar los criterios que se han considerado importantes debido a la experiencia propia, la percepción general de cierta máquina o marca que puedan tener otras empresas del entorno es un ejemplo de esto. Finalmente, por medio del análisis de la información disponible de la máquina que se evalúa se concluye la definición de criterios, información cuantitativa como la inversión inicial requerida o las horas de uso que tiene la máquina toman gran importancia en la selección del reemplazo.

Los criterios para la elección de las alternativas de reemplazo pueden variar de acuerdo con cada persona o empresa. La importancia que se le da a cada uno de los factores de selección varía según necesidades y experiencia propia, para el caso de la empresa Explanan S. A. se consideran los siguientes criterios como principales.

Tabla 24. Criterios para la selección de alternativas de reemplazo.

Criterio	Importancia
Inversión inicial	30%
Horas de uso	15%
Innovación de la marca	5%
Facilidad en la consecución de repuestos	10%
Atención de distribuidor en Colombia	5%
Experiencia personal con la marca	10%
Durabilidad del equipo	15%
Edad en años	10%
Total	100%

La importancia que se le dio a cada uno de los criterios se estableció en conjunto con la empresa Explanan S. A., en dónde el equilibrio entre inversión inicial, durabilidad del equipo y horas de uso toman mayor protagonismo que el resto de los criterios.

Para determinar las máquinas que, según los criterios, son las que mejor se adaptan a las necesidades de la empresa, se usa un método cuantitativo de toma de decisión. En éste, primero se convierten todas las variables cualitativas a términos cuantitativos, usando una escala de uno a cinco para calificar cada máquina en los criterios de innovación de la marca, facilidad en la consecución de repuestos, atención del distribuidor en Colombia, experiencia personal con la marca y durabilidad del equipo. Luego, cada alternativa es evaluada normalizando, en una escala de cero a uno, el valor asignado a cada criterio y ponderándolo según el porcentaje de importancia dado para hallar su función de utilidad. Esto se hace siguiendo la metodología siguiente:

1. Cada criterio se normaliza para todas las máquinas usando la fórmula:

$$N_{ij} = \frac{\text{Valor}_{ij} - \text{Peor}_j}{\text{Mejor}_j - \text{Peor}_j}$$

Donde,

$i$  = máquina

$j$  = criterio

$N_{ij}$  = Valor del criterio  $j$  normalizado para la máquina  $i$ ,  $0 \leq N_{ij} \leq 1$ ,

2. Luego de que  $N_{ij}$  esté calculado para todos los criterios de la totalidad de máquinas se procede a evaluar cada máquina con su respectiva función de utilidad calculada de la siguiente manera:

$$F_i = \sum(k_j * N_{ij})$$

Donde,

$k_j$  = valor de importancia asignado al criterio  $j$ ,  $\sum k_j = 1$

$F_i$  = valor de la función de utilidad de la máquina  $i$ ,  $0 \leq F_i \leq 1$

3. Se compara el valor de  $F_i$  de todas las máquinas y se seleccionan las alternativas con mayor valor.

En la Tabla 25 se puede encontrar un ejemplo de lo previamente explicado para los cargadores sobre llantas.

Tabla 25. Selección alternativa de reemplazo para cargadores sobre llantas.

Referencia	Precio	Horas de uso	Edad	Innovación	Facilidad de consecución de repuestos	Atención del distribuidor en Colombia	Experiencia personal con la marca	Durabilidad	Total
844j	0,7	0,1	0,4	0,5	0,7	0,5	0,8	0,8	0,59
950k	0,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,66
WA380	0,5	0,6	0,5	1,0	0,7	0,5	1,0	1,0	0,69
950g	0,9	0,1	0,3	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,74
624j	0,9	1,0	0,2	0,5	0,7	0,5	0,8	0,8	0,76
WA250	0,5	1,0	1,0	1,0	0,7	0,5	1,0	1,0	0,78
930H	0,6	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,85

Como se puede observar la mayor función de utilidad corresponde a las alternativas de reemplazo WA250 para el caso de la máquina nueva y 930H para la máquina usada, lo que significa que Explanan S. A. encontrará mayor utilidad y por ende satisfacción en dichas máquinas en comparación con las restantes no seleccionadas. Este proceso se repite para el resto de tipos de máquina. A continuación se presentan las alternativas de reemplazo de maquinaria tanto usada como nueva para las máquinas analizadas en este proyecto. Las máquinas actuales de la empresa serían reemplazadas por las siguientes máquinas según su tamaño.

Tabla 26. Alternativas de reemplazo.

Tipo de máquina	Marca	Referencia	Modelo	Tamaño (ton)	Potencia (hp)	Precio	Horas
Excavadora de orugas	Hyundai	R300LC	2014	30	225	\$410.000.000	0
	Komatsu	PC290LC-10	2013	28	185	\$452.504.000	1.000
	Komatsu	PC200LC-8	2013	20	148	\$314.564.000	75
	Komatsu	PC200LC-8	2012	20	148	\$268.584.000	3.296
	Komatsu	PC138USLC-10	2014	15	97	\$337.554.000	200
	Kobelco	SK140SR LC	2011	15	94	\$169.594.000	5.000
Tractores de orugas	Caterpillar	D6T LGP	2012	23	228	\$636.424.000	1.000
	Caterpillar	D6RVP	2006	20	200	\$250.000.000	8.800
	Komatsu	D61EX-15E0	2013	17	170	\$442.524.000	2.000
	Caterpillar	D6NXL	2004	15	145	\$135.000.000	7.750

Cargadores sobre llantas	Caterpillar	930H	2011	13	198	\$247.000.000	2.300
	Komatsu	WA250	2014	13	140	\$310.657.000	81
Retro-excavadora cargadora	Caterpillar	420E	2011	7	93	\$156.000.000	2.000
	CASE	580SN	2012	7	92	\$160.531.000	300
Moto-niveladoras	Caterpillar	120M	2014	20	173	\$484.500.000	0
	Caterpillar	120K	2010	13	145	\$354.000.000	2.700
	Caterpillar	120M	2012	20	173	\$395.029.000	2.500
	Caterpillar	120K	2014	13	145	\$450.000.000	900
Compactadores doble tándem	Ingersoll Rand	DD112HF	2006	12	125	\$77.767.000	2.300
	Volvo	DD118HFA	2011	12	125	\$176.624.000	211
Compactadores neumáticos	Ingersoll Rand	PT240R	2004	16	99	\$77.767.000	1.000
	Caterpillar	PS--150	2014	13	70	\$171.000.000	0
Vibro-compactadores	BOMAG	BW211-4	2013	10	131	\$215.707.000	2
	Ingersoll Rand	SD100	2007	10	125	\$98.458.000	3.000
	Dynapac	CA150D	2010	7	80	\$132.943.000	700
	Ingersoll Rand	SD70	2007	7	99	\$93.860.000	2.500
Pavimentadoras	Caterpillar	AP-555	2014	17	142	\$665.000.000	0
	Caterpillar	AP1055B	2001	16	174	\$135.964.000	1.000
	TEREX/CE DARAPIDS	CR362L	2012	11	165	\$447.184.000	220
	LEEBOY	L8515R	2007	10	74	\$110.789.654	1.300

Es importante aclarar que las opciones elegidas fueron encontradas en situaciones actuales de venta específica, por lo cual los valores de precio y horas de uso son una idea general de lo que se requerirá a la hora de hacer el reemplazo real, su elección se da con el fin de aportar una base para este estudio de tal forma que se tengan alternativas de comparación reales a la hora de evaluar financieramente el proyecto de reemplazo. Los datos de precio y horas deberán ser actualizados de acuerdo con el mercado cada vez que se quiera determinar la reposición de cierta máquina.

### **7.5.2 Características generales de las alternativas de reemplazo**

En el momento de la creación del plan de reposición es necesario determinar los valores de producción y consumo de combustible de las alternativas de reemplazo, estos pueden variar con respecto a las máquinas que se tienen en el momento. Los costos de mantenimiento y consumibles se definirán a partir de las fórmulas estimadas para estas variables en la sección juicio de expertos. Es importante aclarar que las máquinas nuevas contarán con operador asignado el 100% del tiempo, y los salarios de estos presentarán el mismo comportamiento que se tiene actualmente según cada tipo de máquina.

### 7.5.2.1 Consumo de combustible

Para las máquinas actuales el consumo horario de combustible se hizo basándose en datos reales de la empresa, como para las máquinas nuevas no se cuenta con estos valores la estimación de esta variable se hará con base en las tablas de consumo de combustible determinadas por el Manual de rendimiento de Caterpillar (Caterpillar, 2010). Para las alternativas de reemplazo que no son marca Caterpillar este valor se estimó por medio de una comparación con una máquina Caterpillar de una potencia similar.

### 7.5.2.2 Producción

La producción de la maquinaria actual se estimó a partir de datos reales de la empresa, en dónde se tuvieron en cuenta criterios de efectividad inherentes a la empresa Explanan S. A. al considerar como base la productividad usada para las máquinas actuales de la empresa. Esta productividad base se incrementa en algunos casos considerando el potencial adicional que pueda generar la máquina nueva debido a la inclusión de nuevas tecnologías para una operación más eficiente. Ejemplo de estas tecnologías son la mayor velocidad de operación en equipos como excavadoras sobre orugas y cargadores sobre llantas, ayudas tecnológicas como el medidor de compactación en vibrocompactadores o aditamentos topográficos en equipos para regada de materiales, entre otros.

De esta manera se determinan entonces los siguientes valores.

**Tabla 27. Consumo de combustible y producción de las alternativas de reemplazo.**

Marca	Referencia	Modelo	Potencia (hp)	Combustible (gal/h)	Producción compacta(m <sup>3</sup> /h)
Hyundai	R300LC	2014	225	6,0	70
Komatsu	PC290LC-10	2013	185	6,0	70
Komatsu	PC200LC-8	2013	148	4,5	40
Komatsu	PC200LC-8	2012	148	4,5	40
Komatsu	PC138USLC-10	2014	97	3,0	30
Kobelco	SK140SR LC	2011	94	3,0	30
Caterpillar	D6T LGP	2012	228	5,5	110
Caterpillar	D6RVP	2006	200	5,5	100
Komatsu	D61EX-15E0	2013	170	4,5	85
Caterpillar	D6NXL	2004	145	4,5	85
Caterpillar	930H	2011	149	3,0	50
Komatsu	WA250	2014	140	3,0	59
Caterpillar	420E	2011	93	2,0	13,5
CASE	580SN	2012	92	2,0	13,5
Caterpillar	120M	2014	173	3,5	25
Caterpillar	120K	2010	145	3,0	20
Caterpillar	120M	2012	173	3,5	25
Caterpillar	120K	2012	145	3,0	20
Ingersoll Rand	DD112HF	2006	125	2,5	16
Volvo	DD118HFA	2011	125	2,5	17

*PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL*

---

Ingersoll Rand	PT240R	2004	99	3,0	16
Caterpillar	PS-150	2014	70	2,5	16
BOMAG	BW211-4	2013	131	3,0	32
Ingersoll Rand	SD100	2007	125	3,0	32
Dynapac	CA150D	2010	80	2,5	23
Ingersoll Rand	SD70	2007	99	2,5	23
Caterpillar	AP-555	2014	142	3,0	17
Caterpillar	AP1055B	2001	174	5,5	17
TEREX/CEDARAPIDS	CR362L	2012	165	5,0	13
LEEBOY	L8515R	2007	74	3,0	17



## 8 Alquiler de maquinaria

Como se explicó previamente el plan de reposición considera tres alternativas diferentes, el reemplazo de la maquinaria actual por maquinaria nueva, reemplazo por maquinaria usada o alquiler de maquinaria. En este capítulo se estimará el costo asociado al alquiler de maquinaria de acuerdo con cotizaciones obtenidas de dos empresas diferentes de la industria, General de Equipos S. A. (GECOLSA) y Rodríguez y Londoño S. A.

La cotización por parte de estas empresas se hizo por una tarifa mensual, esta tarifa de alquiler no incluye los costos asociados al operador, combustible, consumibles ni gastos en transporte desde y hacia las obras; adicionalmente la tarifa debe ser afectada por el I. V. A. A continuación se presentan las tarifas de alquiler para los diferentes tipos de maquinaria.

**Tabla 28. Costo de alquiler de la maquinaria.**

Tipo de máquina	Marca	Referencia	Costo Mensual (sin IVA)	Costo mensual total	Horas incluidas en la tarifa mensual
Excavadora de orugas	Caterpillar	312D	\$13.621.080	\$15.800.453	176
Excavadora de orugas	Caterpillar	320D	\$17.131.920	\$19.873.027	176
Excavadora de orugas	Caterpillar	336D	\$29.631.000	\$34.371.960	176
Tractor de orugas	Caterpillar	D6N	\$23.133.600	\$26.834.976	176
Motoniveladora	Caterpillar	120K	\$15.422.400	\$17.889.984	176
Retroexcavadora cargadora	Caterpillar	416E	\$7.449.060	\$8.640.910	176
Retroexcavadora cargadora	Caterpillar	420E	\$8.568.000	\$9.938.880	176
Cargadores sobre llantas	Caterpillar	930K	\$17.000.000	\$19.720.000	176
Compactador neumático	Dynapac	CP-142	\$10.000.000	\$11.600.000	160
Compactador doble tándem	Dynapac	CC-3800 HF	\$12.000.000	\$13.920.000	160
Vibrocompactador	Dynapac	CA-150D	\$7.500.000	\$8.700.000	160
Vibrocompactador	Dynapac	CA-250D	\$10.000.000	\$11.600.000	160
Pavimentadora	Dynapac	SD2500CS	\$43.000.000	\$49.880.000	160

## 9 Juicio de expertos

Uno de los ítems más importantes dentro de un plan de reposición de maquinaria es determinar el trabajo que cierto equipo vaya a tener en el horizonte temporal estipulado. Las horas trabajadas por una máquina pueden ser afectadas por variables como el tipo de máquina, el estado de la máquina, el trabajo disponible que tenga la empresa, factores climáticos, disposición de operadores, entre otras. Por la variabilidad de estos factores pronosticar las horas trabajadas por una máquina por medio de métodos cuantitativos representa una gran dificultad. Desde hace ya varios años el uso de métodos cualitativos para proyectar variables ha tomado fuerza cuando no se cuentan con suficientes datos históricos útiles en los cuales se pueda basar el análisis (Hurtado, 2014). A partir de esta problemática se decide entonces llevar a cabo un juicio de expertos que permita por medio de la consulta a expertos en el tema validar el proyecto apoyándose en su conocimiento y experiencia. “Un juicio de expertos se define como una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidos por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones” (Jazmine Escobar Pérez & Ángela Cuervo Martínez, 2008).

Definiendo entonces el juicio de expertos como el método adecuado para la determinación de las horas futuras de trabajo se establece una metodología para la implementación del mismo. En este orden de ideas se definen los siguientes pasos a seguir durante el juicio de expertos (Jazmine Escobar Pérez & Ángela Cuervo Martínez, 2008):

1. Preparación de instrucciones y planillas de preguntas.
2. Identificación de las personas que harán parte del juicio de expertos.
3. Explicar el contexto del juicio de expertos que se llevará a cabo.
4. Posibilitar la discusión dentro del juicio de expertos.
5. Establecer acuerdo entre expertos.

De acuerdo con esta metodología se prepararon las preguntas a los expertos según las necesidades que se tenían para el desarrollo del trabajo, es decir, la indagación acerca del trabajo futuro de cada una de las máquinas que se analizan en el plan de reposición, tanto de las máquinas con las que cuenta actualmente la empresa como las potenciales alternativas de reemplazo. Teniendo definidas las preguntas y las necesidades de la consulta se determinan las personas que harían parte del juicio de expertos, para esta identificación se tuvieron en cuenta criterios como la experiencia que se tiene acerca del tema, la disponibilidad para participar del juicio, la imparcialidad y la diversidad de conocimiento y visión de los participantes. De acuerdo con esto se contó entonces con el apoyo de tres personas expertas en el tema de maquinaria en la empresa Explanan S. A., siendo estas personas el gerente general de la empresa, el director del departamento de maquinaria y el jefe de mantenimiento. Estas tres personas aportaban puntos de vista diferentes, en este caso el gerente general dando una visión global de la situación actual y posible situación futura de la empresa, y el director del departamento de maquinaria y el jefe de mantenimiento teniendo una visión más específica del estado actual y capacidad de trabajo de cada una de las máquinas. Estas personas se basaban en criterios diferentes para determinar las horas futuras, por ejemplo edad de la máquina, si ha tenido reparaciones importantes durante los últimos años, horas de trabajo promedio de los últimos años, tipo de máquina, entre otros.

Adicionalmente, es de gran importancia aclarar que estas horas fueron determinadas suponiendo que se va a mantener un nivel de trabajo en la empresa similar al que se tiene en este momento, es decir, la empresa va a estar en la capacidad para poner a trabajar a las máquinas a un nivel parecido al que se tiene actualmente. Esta última suposición es clave para los efectos de este estudio, el plan de reposición es aplicable en la medida en que se vayan satisfaciendo las diferentes variables pronosticadas, especialmente las horas de trabajo de cada máquina. Por esta razón se hizo mucho énfasis durante el juicio de expertos en el hecho de que cierta máquina pueda tener o no tener trabajo suficiente en la empresa para los próximos cinco años. Para examinar esta variable tan importante se analizó el contexto de la inversión en obras de infraestructura vial que presenta actualmente el país, el Departamento Nacional de Planeación propone una inversión de recursos proyectados en infraestructura de transporte de \$63,7 billones hasta el año 2020 (Vera, 2013). De acuerdo con el incremento en inversiones de este tipo se esperaría que la empresa mínimamente mantuviera su nivel de trabajo actual.

Después de hacer énfasis en esta contextualización durante el juicio de expertos se permitió la discusión entre los diferentes participantes y finalmente entre estos se estableció un acuerdo frente al pronóstico de horas trabajadas para cada máquina durante los próximos cinco años.

*Tabla 29. Horas de trabajo proyectadas para las diferentes máquinas.*

<b>Equipo</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>PC300 - 1995</b>	1.060	1.000	980	960	940
<b>PC300 - 1999</b>	1.300	1.240	1.180	1.120	1.060
<b>PC300 - 2004</b>	1.600	1.540	1.480	1.420	1.360
<b>320DL - 2007</b>	1.680	1.640	1.620	1.600	1.540
<b>PC200 - 2000</b>	1.400	1.360	1.300	1.240	1.180
<b>PC228 - 2005</b>	1.620	1.600	1.540	1.480	1.420
<b>PC128 - 2001</b>	1.500	1.450	1.400	1.350	1.300
<b>PC138 - 2002</b>	1.480	1.420	1.360	1.300	1.240
<b>D65 - 2005</b>	1.200	1.175	1.150	1.125	1.100
<b>D6M - 1998</b>	1.050	1.040	1.030	1.020	1.010
<b>WA250 - 2005</b>	1.620	1.600	1.540	1.480	1.420
<b>928GZ - 2004</b>	1.600	1.540	1.480	1.420	1.360
<b>L70 - 1996</b>	1.600	1.540	1.480	1.420	1.360
<b>WB150 - 2005</b>	1.340	1.300	1.260	1.220	1.180
<b>C928F - 1996</b>	1.120	1.060	1.000	980	960
<b>CASE580 - 2004</b>	1.340	1.300	1.260	1.220	1.180
<b>12H - 2002</b>	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
<b>PQ190 - 2010</b>	1.100	1.050	1.000	950	900
<b>710A - 1999</b>	1.300	1.250	1.200	1.150	1.100
<b>BW211 - 2005</b>	1.300	1.300	1.260	1.220	1.180
<b>SD77 - 2005</b>	1.300	1.300	1.260	1.220	1.180
<b>CA250-1 - 2013</b>	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500
<b>CA250-2 - 2013</b>	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500

<b>BG210B - 1996</b>	350	350	350	350	350
<b>DD110 - 2001</b>	350	350	350	350	350
<b>HYSTER - 1985</b>	200	200	200	200	200
<b>LEEBOY - 1996</b>	200	200	200	200	200

Adicionalmente en el juicio de expertos se analizó también las horas que podrían trabajar las alternativas de reemplazo según el tipo de máquina, a continuación se presentan los resultados para la maquinaria nueva.

*Tabla 30. Horas de trabajo proyectadas para maquinaria nueva.*

<b>Tipo de máquina</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Excavadora de orugas</b>	1.800	1.800	1.800	1.800	1.700
<b>Tractores de orugas</b>	1.300	1.300	1.300	1.300	1.200
<b>Cargadores sobre llantas</b>	1.800	1.800	1.800	1.800	1.700
<b>Vibrocompactador</b>	1.500	1.500	1.500	1.500	1.300
<b>Compactador doble tándem</b>	700	700	700	700	700
<b>Compactador Neumático</b>	700	700	700	700	700
<b>Motoniveladoras</b>	1.500	1.500	1.500	1.500	1.400
<b>Pavimentadora</b>	700	700	700	700	700
<b>Retroexcavadora cargadora</b>	1.800	1.750	1.700	1.600	1.500

## 10 Proyección de variables futuras

El manejo de la maquinaria en una empresa suele ser una tarea difícil debido a la incertidumbre asociada a la toma de decisiones referentes a la administración de estos equipos. Ser dueño de una flota de maquinaria es una ventaja solo cuando se obtienen ganancias a partir de estas, sin ganancias no tiene punto realizar este tipo de inversiones (Zane W. Mitchell, 1998). En este orden de ideas surgen diferentes preguntas que se tratan de resolver con este proyecto, tal como la favorabilidad o la no favorabilidad de ser dueño de una máquina, la tercerización de actividades, el alquiler de maquinaria, la inversión o no inversión en maquinaria nueva, entre otras. Es importante aclarar que las respuestas a estas preguntas dependen mucho de cada persona y de cada empresa, de las políticas de mantenimiento que se tengan, del nivel de trabajo disponible y del capital que cada cual está dispuesto a invertir en estas actividades.

Para dar respuesta a estas preguntas es cuando una acertada proyección de las diferentes variables a futuro empieza a tomar importancia, las personas encargadas de la maquinaria en una empresa suelen saber mucho acerca del comportamiento mecánico que estas tienen, sin embargo, en muchos casos no saben cómo aprovechar al máximo la información que tienen disponible, es decir, se maneja una gran cantidad de datos pero el manejo de la información suele ser muy pobre (Zane W. Mitchell, 1998). Generalmente en el mundo laboral se toman decisiones basándose en el buen juicio de los encargados obteniendo muchas veces buenos resultados, no obstante esta toma de decisiones puede apoyarse en un análisis financiero y estadístico que permita mayor confiabilidad en este proceso.

En este apartado se mostrarán los diferentes modelos usados para la proyección de las variables, vale aclarar que los datos usados fueron recolectados de manera confiable y representan el comportamiento real de la maquinaria.

### 10.1 Costos de reparación y mantenimiento

El costo de reparación y mantenimiento, normalmente, constituye el principal costo de operación de la maquinaria. Pronosticar este costo es difícil debido a la cantidad de factores que influyen en él. Condiciones de operación, edad, tipo de máquina y costo inicial son los principales factores que afectan este costo y a partir de los cuales se pronostica su costo futuro.

#### 10.1.1 Cálculo del costo reparación hora sugerido por *Construction Equipment Management for Engineers, Estimators, and Owners*

Según el libro *Construction Equipment Management for Engineers, Estimators, and Owners* el costo de reparación por hora durante cierto año puede ser estimado usando la siguiente fórmula (Gransberg P. &, 2006):

$$\text{Costo Reparación Hora} = \frac{\text{Años de Vida}}{\text{Suma de Años de Vida Útil}} * \frac{\text{Costo Reparación vida útil}}{\text{Horas Operadas}}$$

Donde:

$$\text{Costo Reparación vida útil} = \text{Factor Condición de Operación} * (\text{Costo inicial} - \text{Valor llantas})$$

El factor de condición de operación se determina a partir de la Ilustración 12.

### 10.1.2 Cálculo del costo reparación hora adaptado al mercado local

Se usa la fórmula descrita en la sección anterior para obtener el costo horario de reparación de las máquinas desde 2009 hasta 2013 y se compara con los costos reales. Se observa que hay grandes diferencias entre los costos pronosticados y los reales, por lo tanto se procede a ajustar la fórmula para que se adapte mejor a las condiciones locales. Se busca con qué factores se acercarían los costos pronosticados a los reales, el resultado son valores muy superiores a los recomendados, razón por la que se concluye que las condiciones de operación locales son peores que aquellas para las cuales se creó la fórmula originalmente, por lo tanto se ajusta la fórmula para una mejor adaptación a las condiciones locales. Con base en los resultados obtenidos y basándose en la experiencia de la empresa, se hacen los siguientes ajustes a la fórmula:

1. No restar el costo de las llantas en el costo inicial de la máquina: se considera que el costo de las llantas no es significativo dentro del costo total de la maquinaria, adicionalmente no es normal que las empresas registren los valores de las llantas en el momento de la compra de las maquinarias. Para los equipos sobre orugas se ignora este costo.
2. Dividir los años de vida por los años de vida útil usados en contabilidad, no por la suma de estos como se proponía en la original: esta parte de la fórmula indica la manera como se deprecia la maquinaria, ya que en Explanan S. A. se deprecia en línea recta se modifica la fórmula para usar este tipo de depreciación.

Finalmente la fórmula resultante es la siguiente:

$$\text{Costo Reparación Hora} = \frac{\text{Años de vida}}{\text{Años vida útil}} * \text{Factor} * \frac{\text{Valor Presente Costo Inicial}}{\text{Horas Operadas}}$$

Igualmente, se redefinen los factores de condición de operación teniendo en cuenta que las condiciones de operación de la maquinaria usada en Colombia son muy diferentes que las de Estados Unidos. Con la ayuda de la empresa se definen los nuevos factores que logran adaptarse mejor a la nueva fórmula y se adicionan algunos tipos de máquinas faltantes.

Tabla 31. Factor Condiciones de Operación

Tipo de Equipo	Condiciones de Operación %					
	Favorables		Promedio		Desfavorables	
Cargador sobre llantas	10	20	30	40	50	60
Compactador doble tándem	5	10	15	20	25	30
Compactador granulares	5	10	15	20	25	30
Compactador neumático	5	10	15	20	25	30
Mini cargador	85	90	95	100	105	110

Motoniveladoras	5	15	25	35	40	50
Pavimentadora	5	10	15	20	25	30
Excavadoras sobre orugas	30	40	50	60	70	80
Retroexcavadoras cargadora	50	60	70	80	90	100
Tractores de orugas	25	35	40	50	55	60

### 10.1.3 Resultados obtenidos

#### 10.1.3.1 Resultado años 2009-2013

Se usa la fórmula ajustada para encontrar el costo acumulado que cada máquina según sus características debió tener entre 2009 y 2013. Este costo calculado se compara con el costo real que tuvo la máquina para validar si la fórmula empleada y los factores arrojan valores cercanos a los reales. Se toman los costos acumulados de estos años en vez de analizar año por año ya que los costos entre diferentes años varían mucho y es normal que si en cierto año se le hace una alta inversión a una máquina al siguiente se le deba invertir una cantidad de dinero mucho menor. Por lo tanto, considerando los costos acumulados de los últimos cinco años se balancean los años con altas y bajas inversiones obteniendo una cifra neutral. En la Tabla 32 se puede apreciar la baja variación entre los costos reales y los costos calculados, demostrando que la fórmula es apta para pronosticar costos futuros. La validez de la fórmula se fortifica al calcular el error absoluto porcentual de la media, es decir el MAPE, siendo de apenas 4.7%

Tabla 32. Variación entre costos reales acumulados y costos calculados por máquina

Tipo de máquina	Nombre	Condición Operación	Factor	Σ Costos Reales 2009-2013	Σ Costos Calculados 2009-2013	Variación
Cargador sobre llantas	928F	Favorable	19	\$32.498.705	\$32.710.400	-0,7%
Cargador sobre llantas	928 GZ	Favorable	15	\$13.922.705	\$13.834.308	0,6%
Cargador sobre llantas	L70	Desfavorable	60	\$47.652.243	\$38.192.745	19,9%
Cargador sobre llantas	WA250	Favorable	10	\$8.621.751	\$10.012.313	-16,1%
Compactador doble tándem	DD110	Promedio	17	\$9.809.670	\$9.788.664	0,2%
Compactador granulares	BW211	Favorable	8	\$6.356.083	\$6.710.999	-5,6%
Compactador granulares	SD77	Desfavorable	30	\$16.006.825	\$15.326.565	4,2%
Compactador neumático	Hyster	Favorable	6	\$1.879.140	\$1.755.967	6,6%
Mini cargador	B773	Desfavorable	109	\$11.744.963	\$11.790.382	-0,4%
Motoniveladoras	710A	Desfavorable	50	\$54.738.088	\$53.705.650	1,9%
Motoniveladoras	12H	Favorable	5	\$8.338.000	\$8.581.781	-2,9%
Motoniveladoras	PQ190	Desfavorable	44	\$16.928.375	\$16.855.044	0,4%
Pavimentadora	BG210	Favorable	11	\$6.570.801	\$6.846.746	-4,2%
Pavimentadora	LEEBOY	Favorable	5	\$2.831.490	\$3.133.898	-10,7%
Excavadora de orugas	320DL	Favorable	30	\$23.972.491	\$24.453.316	-2,0%
Excavadora de orugas	PC128	Promedio	46	\$44.908.358	\$44.972.300	-0,1%
Excavadora de orugas	PC138	Favorable	32	\$38.526.170	\$38.579.387	-0,1%

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Excavadora de orugas	PC200	Favorable	36	\$63.259.592	\$63.411.781	-0,2%
Excavadora de orugas	PC228	Promedio	45	\$39.636.434	\$39.370.712	0,7%
Excavadora de orugas	PC300-1	Promedio	54	\$101.514.220	\$101.384.291	0,1%
Excavadora de orugas	PC300-2	Favorable	38	\$57.836.151	\$58.491.270	-1,1%
Excavadora de orugas	PC300-3	Desfavorable	80	\$73.292.262	\$64.407.845	12,1%
Retroexcavadoras cargadora	CASE580	Favorable	50	\$14.360.832	\$16.944.151	-18,0%
Retroexcavadoras cargadora	WB150	Desfavorable	100	\$71.505.713	\$63.037.234	11,8%
Tractores de orugas	D65	Favorable	27	\$33.542.538	\$33.562.961	-0,1%
Tractores de orugas	D6M	Favorable	25	\$24.864.795	\$24.778.854	0,3%

### 10.1.3.2 Resultados años 2014-2018

Usando la misma fórmula y los mismos factores usados para calcular los costos de 2009-2013 se procede a hallar los costos futuros de las máquinas usando las horas pronosticadas que cada máquina trabajaría de 2014 a 2018. En la Tabla 33 se pueden observar los costos de reparación por hora que cada máquina tendría entre 2014 y 2018. Para hallar el costo total por año sólo se debe multiplicar este número por la cantidad de horas que se pronosticó que se trabajaría ese año.

Tabla 33. Costo por hora reparaciones proyectado.

Equipo	Costo/Hora				
	2014	2015	2016	2017	2018
PC300-1	\$ 16.518	\$ 16.523	\$ 16.528	\$ 16.647	\$ 16.815
PC300-2	\$ 7.454	\$ 7.349	\$ 7.362	\$ 7.275	\$ 7.199
PC300-3	\$ 11.829	\$ 11.649	\$ 11.504	\$ 11.383	\$ 11.282
320DL	\$ 5.501	\$ 5.649	\$ 5.623	\$ 5.602	\$ 5.584
PC200	\$ 7.032	\$ 6.955	\$ 6.890	\$ 6.832	\$ 6.781
PC228	\$ 5.851	\$ 5.507	\$ 5.325	\$ 5.182	\$ 5.067
PC128	\$ 4.934	\$ 4.876	\$ 4.888	\$ 4.841	\$ 4.800
PC138	\$ 4.231	\$ 4.015	\$ 3.847	\$ 3.712	\$ 3.602
D65	\$ 6.040	\$ 5.978	\$ 5.928	\$ 5.976	\$ 5.934
D6M	\$ 4.540	\$ 4.520	\$ 4.502	\$ 4.485	\$ 4.471
WA250	\$ 1.026	\$ 1.013	\$ 1.003	\$ 995	\$ 988
928GZ	\$ 2.646	\$ 2.576	\$ 2.520	\$ 2.475	\$ 2.438
L70B	\$ 4.725	\$ 4.654	\$ 4.592	\$ 4.538	\$ 4.489
WB150	\$ 11.012	\$ 11.162	\$ 11.763	\$ 11.837	\$ 11.901
928F	\$ 5.615	\$ 5.636	\$ 5.656	\$ 5.673	\$ 5.689
C185	\$ 997	\$ 1.331	\$ 1.498	\$ 1.598	\$ 1.665
CASE580	\$ 5.147	\$ 4.635	\$ 4.451	\$ 4.159	\$ 3.937
12H	\$ 1.326	\$ 1.301	\$ 1.281	\$ 1.263	\$ 1.249
PQ190	\$ 8.308	\$ 7.814	\$ 7.515	\$ 7.316	\$ 7.173



710A	\$ 7.974	\$ 7.833	\$ 7.713	\$ 7.609	\$ 7.519
BW211	\$ 988	\$ 967	\$ 951	\$ 937	\$ 926
SD77	\$ 4.646	\$ 4.599	\$ 4.561	\$ 4.530	\$ 4.504
CA250-1	\$ 897	\$ 1.148	\$ 1.266	\$ 1.335	\$ 1.380
CA250-2	\$ 1.021	\$ 1.236	\$ 1.329	\$ 1.381	\$ 1.415
BG210B	\$ 8.844	\$ 8.509	\$ 8.229	\$ 7.991	\$ 7.786
DD110	\$ 3.883	\$ 4.028	\$ 4.162	\$ 4.288	\$ 4.405
HYSTER	\$ 1.516	\$ 1.506	\$ 1.495	\$ 1.486	\$ 1.478
LEEBOY	\$ 5.995	\$ 5.995	\$ 5.995	\$ 5.995	\$ 5.995

### 10.1.4 Costos de reparación y mantenimiento para maquinaria nueva

El modelo original estipulado por el libro *Construction Equipment Management for Engineers, Estimators, and Owners* modelo se origina a partir de registros de maquinaria en Estados Unidos y representa muy bien los costos de mantenimiento y reparación de maquinaria nueva, ya que el mercado en este país se caracteriza por reemplazar la maquinaria a los pocos años. Por este motivo esta fórmula representa acertadamente el costo de mantenimiento y reparación de la maquinaria nueva. Teniendo esto presente se desarrolla para las alternativas de reemplazo una fórmula adicional que represente tanto el mercado local como el hecho de tener poco uso adecuadamente. En este orden de ideas se determina entonces la siguiente fórmula:

$$\text{Costo Reparación Hora} = \frac{\text{Años de Vida}}{\text{Suma de Años de Vida Útil}} * \frac{\text{Costo Reparación vida útil}}{\text{Horas Operadas}}$$

Donde

$$\text{Costo Reparación vida útil} = \text{Factor Condición de Operación} * \text{Costo inicial}$$

Este factor de condición de operación se obtiene a partir de la Tabla 31.

## 10.2 Costos de consumibles

Es posible que cada empresa incluya diferentes elementos en este tipo de costos. Los que se deben incluir son aquellos que con el uso de la máquina se consumen hasta cumplir con su vida útil, aquellos considerados comúnmente son: combustible, aceites, lubricantes, filtros, mangueras y otras piezas pequeñas usadas durante la operación del equipo. El costo anual de estos consumibles depende del uso de la máquina y su incremento anual está relacionado con el incremento de precios de los diferentes elementos.

### 10.2.1 Cálculo de los costos de consumibles

En el caso de Explanan S. A., se consideran en este tipo de costos elementos que se van desgastando con el uso hasta que se consumen completamente, incluyendo llantas, aceite, filtros, baterías, dientes y calzas. Es evidente que estos costos dependen directamente del tipo de máquina ya que no todos los tipos de máquina requieren los mismos elementos para funcionar, y como estos elementos tienen cierta vida útil su costo depende directamente de las horas de uso.

Por lo tanto se calculan los costos de consumibles futuros partiendo de la data histórica usando la siguiente fórmula:

$$\text{Costo Consumibles Hora}_m = \frac{\sum_{i=0}^n \text{Costo Consumible Hora}_i}{n} * \prod_{j=1}^m (1 + \text{inflación}_j)$$

Donde,

$n$  = número de años con datos históricos disponibles

$m$  = número de año a pronosticar

Inflación = inflación proyectada en dicho año a pronosticar

En palabras, la fórmula calcula el promedio de los datos históricos que se tienen para cierto tipo de máquina y lo aumenta cada año según la inflación proyectada.

### 10.2.2 Resultados obtenidos

Usando la fórmula se pronostican los costos de consumibles de 2014 a 2018 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 34. Proyección costo horario de consumibles.

Tipo de maquina	Equipo	Consumibles por hora				
		2014	2015	2016	2017	2018
Cargador	928f	\$3.770	\$3.899	\$4.041	\$4.181	\$4.321
Cargador	928GZ	\$3.770	\$3.899	\$4.041	\$4.181	\$4.321
Cargador	L70	\$3.770	\$3.899	\$4.041	\$4.181	\$4.321
Cargador	WA250	\$3.770	\$3.899	\$4.041	\$4.181	\$4.321
Compactador doble tándem	DD110	\$2.168	\$2.243	\$2.324	\$2.405	\$2.485
Compactador neumático	HYSTER	\$2.168	\$2.243	\$2.324	\$2.405	\$2.485
Excavadora	320DL	\$2.534	\$2.620	\$2.716	\$2.810	\$2.904
Excavadora	PC128	\$2.534	\$2.620	\$2.716	\$2.810	\$2.904
Excavadora	PC138	\$2.534	\$2.620	\$2.716	\$2.810	\$2.904
Excavadora	PC200	\$2.534	\$2.620	\$2.716	\$2.810	\$2.904
Excavadora	PC228	\$2.534	\$2.620	\$2.716	\$2.810	\$2.904
Excavadora	PC300-1	\$2.534	\$2.620	\$2.716	\$2.810	\$2.904
Excavadora	PC300-2	\$2.534	\$2.620	\$2.716	\$2.810	\$2.904
Excavadora	PC300-3	\$2.534	\$2.620	\$2.716	\$2.810	\$2.904
Motoniveladora	12H	\$3.155	\$3.263	\$3.382	\$3.500	\$3.616
Motoniveladora	710A	\$3.155	\$3.263	\$3.382	\$3.500	\$3.616
Motoniveladora	PQ190	\$3.155	\$3.263	\$3.382	\$3.500	\$3.616

Pavimentadora	BG210	\$1.602	\$1.657	\$1.717	\$1.777	\$1.836
Pavimentadora	LEEBOY	\$1.602	\$1.657	\$1.717	\$1.777	\$1.836
Retroexcavadora cargadora	CASE580	\$2.368	\$2.450	\$2.539	\$2.627	\$2.714
Retroexcavadora cargadora	WB150	\$2.368	\$2.450	\$2.539	\$2.627	\$2.714
Tractor de orugas	D65	\$2.422	\$2.505	\$2.596	\$2.686	\$2.776
Tractor de orugas	D6M	\$2.422	\$2.505	\$2.596	\$2.686	\$2.776
Compactador	BW211	\$1.580	\$1.634	\$1.693	\$1.752	\$1.810
Compactador	CA250-1	\$1.580	\$1.634	\$1.693	\$1.752	\$1.810
Compactador	CA250-2	\$1.580	\$1.634	\$1.693	\$1.752	\$1.810
Compactador	SD77	\$1.580	\$1.634	\$1.693	\$1.752	\$1.810

### 10.3 Otros costos

Los otros costos asociados a la maquinaria dependen en su mayoría de las horas trabajadas o son en algunos casos costos fijos, por esto no es necesario desarrollar fórmulas para hallar estos valores si no que se usarán las horas determinadas por el juicio de expertos y los costos unitarios se incrementarán según la inflación esperada o el porcentaje de incremento salarial anual según sea el caso.

El salario mensual, las horas extras y las bonificaciones incrementarán anualmente un 5% con respecto al año anterior. Este valor se obtiene a partir del promedio del incremento del salario mínimo legal en Colombia para el periodo 2009-2013 (Banco de la República, 2014), ver Tabla 98.

Los costos de alimentación y hospedaje, viáticos y precio del combustible se incrementarán de acuerdo con la inflación proyectada por el Grupo Bancolombia para los próximos años, ver Tabla 99. Para el caso del costo de los seguros se usará la tasa de 0,73% multiplicada por el valor comercial del equipo para cada año

### 10.4 Resultados obtenidos para costos totales futuros

De acuerdo con el procedimiento explicado en los últimos tres puntos para encontrar los costos totales proyectados para cada máquina se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla 35. Costos proyectados para la máquina PC300-2.**

Costos	2014	2015	2016	2017	2018
Costos de manejo	\$34.432.087	\$37.963.465	\$36.771.326	\$41.662.461	\$43.631.336
Costos de operación	\$83.184.501	\$98.036.361	\$81.587.166	\$103.962.209	\$106.827.210
Costo seguros	\$2.314.324	\$2.204.118	\$2.099.160	\$1.999.200	\$1.168.000
Gastos de administración	\$13.791.369	\$15.618.673	\$13.844.043	\$16.560.665	\$15.162.655
Depreciación	\$17.982.783	\$17.982.783	\$17.982.783	\$17.982.783	\$0

Vale aclarar que en este caso no se incluyó el costo del capital, este formará parte del análisis a la hora de descontar los flujos de efectivo futuro en el análisis financiero. Como se mencionó previamente, los costos de manejo incluirían entonces el costo asociado al operario como lo son

el salario base, prestaciones sociales, horas extra, bonificaciones, alimentación, hospedaje y viáticos. Los costos de operación están compuestos por el costo de mantenimiento y reparación, consumibles, combustible y otros gastos imprevistos. Adicionalmente a estos costos de la maquinaria se incluye la depreciación, el costo anual del seguro y los gastos por administración central.

Este mismo cálculo se hace para el resto de la maquinaria, cuyos resultados se podrán ver más adelante en el análisis financiero.

## 10.5 Producción futura

La producción futura estará determinada por las horas futuras encontradas por medio del panel de expertos, la productividad asociada a las máquinas y el costo unitario de cada uno de los ítems de cobro de cada una de las máquinas. Estos precios unitarios estarán afectados por la proyección del ICCP (Índice de Costos de la Construcción Pesada) estipulado por el DANE para cada año.

### 10.5.1 Análisis de precios unitarios

Los ingresos que genera una máquina para una empresa dedicada al desarrollo de diferente tipo de obras de infraestructura están dados por la cantidad de unidades producidas de cierto ítem por su precio unitario. Por ejemplo una excavadora de orugas tiene como actividad principal la excavación de la explanación, canales y préstamos y la extracción de agregados minerales. Los ingresos que esta genera están dados por la cantidad de metros cúbicos compactos que mueve multiplicado por el precio unitario del metro cúbico excavado. Vale aclarar que estos precios suelen variar de acuerdo con el tipo de obra, zona, dificultad del trabajo, entre otros, sin embargo se tomará un valor promedio de diferentes obras de las diferentes entidades de contratación para las cuales suele trabajar la empresa. Se analizarán precios unitarios correspondientes a las actividades de explanación, base y sub base, y mezcla asfáltica; actividades en las cuales las diferentes máquinas participan durante parte del proceso para lograr dar cumplimiento al objeto contractual.

En primer lugar se determina qué actividades realiza cada tipo de máquina en la empresa y se define un porcentaje sobre el total del tiempo que cada máquina destina para cada actividad, esto debido a que cada actividad tiene un precio diferente. Con el porcentaje de trabajo y el precio de cada actividad se pondera el total para obtener un único valor  $\$/m^3$  para cada máquina. En la

Tabla 36 se pueden observar los resultados obtenidos del análisis. Los precios unitarios usados para cada actividad se pueden observar en los anexos, todos estos precios fueron obtenidos de los presupuestos oficiales para cada obra mencionada. Las obras analizadas se pueden observar en la Tabla 89.

**Tabla 36. Precio base de actividades realizadas por los diferentes tipos de máquina.**

Maquina	Actividad	Medida	Porcentaje de actividad	Precio base actividad ( $\$/m^3$ )	Precio base máquina ( $\$/m^3$ )
Excavadora de orugas	Excavación de la explanación	Compacto	45%	\$3.967	\$2.700
	Remoción de derrumbes	Suelto	5%	\$2.145	
	Producción de granulares	Suelto	50%	\$1.615	

Tractor sobre orugas	Disposición de materiales en zona de deposito	Compacto	70,0%	\$1.740	\$1.988
	Terraplenes	Compacto	30,0%	\$2.568	
Cargador sobre llantas	Remoción de derrumbes	Suelto	5,0%	\$1.944	\$1.924
	Producción de granulares	Suelto	95,0%	\$1.923	
Compactador de granulares	Terraplenes	Compacto	10,0%	\$2.018	\$2.841
	Compactación de sub bases	Compacto	45,0%	\$2.743	
	Compactación base	Compacto	45,0%	\$3.121	
Compactador neumático	Compactación de mezcla asfáltica	Compacto	100,0%	\$5.403	\$5.403
Motoniveladora	Regado y nivelación de granulares de sub-base	Compacto	47,5%	\$3.979	\$4.014
	Regado y nivelación de granulares de base	Compacto	47,5%	\$4.398	
	Conformación de banca	Compacto	5,0%	\$700	
Pavimentadora	Mezcla asfáltica	Compacto	100,0%	\$8.875	\$8.875
Retroexcavador a cargadora	Excavaciones varias sin clasificar	Compacto	100,0%	\$4.237	\$4.776

### 10.5.2 Índice de Costos de la Construcción Pesada (ICCP)

El ICCP permite encontrar la variación en los precios de los diferentes insumos necesarios para la construcción de carreteras y puentes en el país. Se determina el uso de este índice como el ideal pues el trabajo lo que pretende es analizar cada equipo para determinar su rentabilidad independiente de la rentabilidad que la empresa pueda obtener de una obra en un momento determinado, es decir, en un período cualquiera los equipos pueden dar una buena rentabilidad y la ejecución de las obras puede arrojar pérdidas.

A partir de esta variación y los precios unitarios actuales se establecerá la productividad futura de las máquinas estudiadas para los cinco años de la proyección. La evolución de este índice entregado por el DANE a lo largo de los últimos años permitirá encontrar una relación que permita proyectar su comportamiento para los próximos cinco años.

En su base de datos el DANE estipula diferentes grupos de acuerdo con el valor que se quiera hallar, en este caso se trabajará con el grupo de equipos. La

Ilustración 1 muestra el resultado del análisis para la proyección de la evolución de los precios de los equipos. Los datos del ICCP usados en este caso se pueden observar en la Tabla 101.

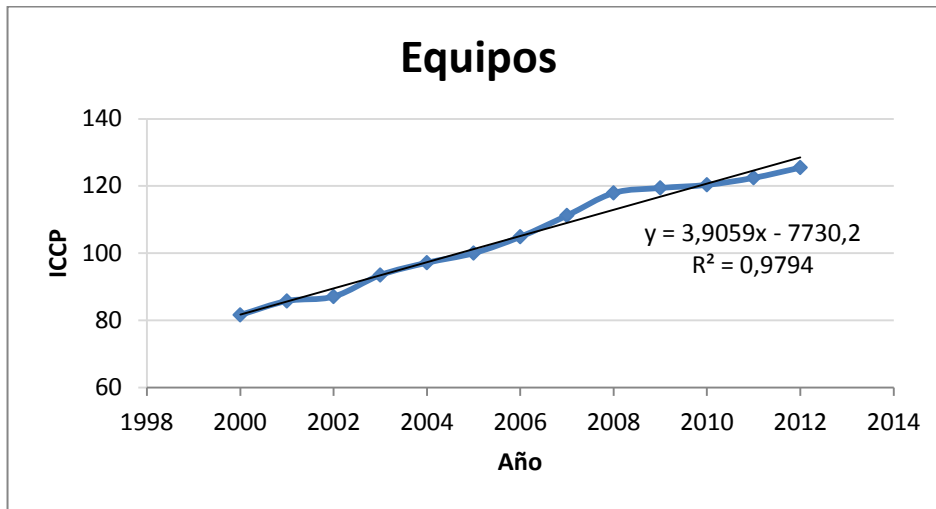


Ilustración 1. Regresión lineal para el ICCP-Obras de explanación.

Los de la regresión lineal se pueden observar en la Tabla 37.

Tabla 37. Resultados de regresión lineal.

Grupo	Ecuación	R <sup>2</sup>
Equipos	3,9059x - 7730,2	0,9794

### 10.5.3 Precios futuros

De acuerdo con la regresión previamente explicada y los precios base para el año 2013 se determinan los precios para el resto de los años.

Tabla 38. Precios futuros \$/m<sup>3</sup> movido según tipo de máquina.

Equipo que realiza el movimiento	Precio unitario de movimiento de tierra (\$/m <sup>3</sup> )					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Excavadoras de orugas	\$2.700	\$2.881	\$2.961	\$3.041	\$3.121	\$3.200
Tractores de orugas	\$1.988	\$2.122	\$2.180	\$2.239	\$2.298	\$2.357
Cargadores sobre llantas	\$1.924	\$2.053	\$2.110	\$2.167	\$2.224	\$2.281
Vibrocompactadores	\$2.841	\$3.031	\$3.115	\$3.199	\$3.283	\$3.367
Compactadores neumáticos y doble tándem	\$5.403	\$5.766	\$5.926	\$6.085	\$6.245	\$6.404
Motoniveladoras	\$4.014	\$4.283	\$4.402	\$4.521	\$4.639	\$4.758
Pavimentadora	\$8.651	\$9.231	\$9.487	\$9.742	\$9.998	\$10.253
Retroexcavadora cargadora	\$4.776	\$5.096	\$5.238	\$5.379	\$5.520	\$5.661

## 10.6 Valor comercial

Para hacer el flujo de efectivo futuro es necesario conocer el valor comercial que la maquinaria tendrá en los próximos años, éste se determina basándose en un método usado por la empresa estadounidense Frazier Capital Valuation expuesto en el capítulo nueve de su libro *Business Valuation Resource Guide: An Invaluable Guide to Buying, Selling and Valuating any Closely Held Company and its Assets* donde expone tres métodos para hallar el valor comercial de maquinaria y equipo. Según la guía hay tres métodos diferentes para hallar el valor comercial de un equipo, estos son:

1. Pareja directa (Direct Match)
2. Pareja comparable (Comparable Match)
3. Porcentaje de costo

El primer método es simplemente establecer el valor de un activo encontrando un activo idéntico que esté valorado. El segundo se basa en usar un activo semejante pero no idéntico. El último consiste en usar las diferencias entre el precio de venta de equipos similares de diferentes marcas. Según el libro la mejor alternativa es la primera seguida por la segunda, por lo tanto ante la carencia de información de equipos idénticos se usa el método de *Comparable Match* que consiste en determinar el equipo al que se le desea conocer el valor y buscar equipos semejantes a éste cuyo valor se conozca, luego proceder a hacerle ajustes a este valor según las diferencias que los semejantes tengan en edad, capacidad y estado entre otras características con el equipo de valor desconocido (Bethel, 2006).

Basándose en este método se construyó un modelo que permitiera obtener el valor comercial de una máquina a partir del valor inicial de compra o el valor actual que se tenga en el mercado. El modelo se usa para hallar el decremento del precio original según la edad que tiene la maquinaria. Para encontrar este decremento se hacen cinco escenarios agrupando las máquinas según la edad (entre 1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25 años). Las variables a comparar en cada escenario son: la edad, la potencia en caballos de fuerza y el estado de la máquina. Se eligieron 35 máquinas de diferente tipo, tamaño, edad y uso con el fin de obtener una muestra significativa de la maquinaria pesada de construcción en general. La comparación se hizo con máquinas que representaran adecuadamente la realidad de uso de la maquinaria pesada en este sector de la industria, por este motivo se establecieron con asesoría de la empresa Explanan S. A. los siguientes rangos de uso medio de la maquinaria según su edad.

**Tabla 39. Rangos de uso medio de maquinaria según edad.**

<b>Años</b>	<b>Promedio medio anual de uso (h)</b>
0-5	1.500
5-10	1.250
10-15	1.000
15-20	1.000
más de 20	1.000

A partir de estas delimitaciones se calcula entonces la disminución anual en el valor comercial de una máquina según los siguientes criterios.

- **Edad:** el precio comercial de una máquina está directamente afectado por los años que esta tenga. Durante los primeros años la reducción del valor comercial de la máquina debido a la edad suele tener un mayor peso, y esta afectación se va acentuando con el pasar de los años. La reducción del valor comercial de la máquina debido a la edad está dada por la diferencia de edades entre la máquina que se quiere evaluar y las diferentes alternativas de comparación multiplicada por un porcentaje de afectación en el precio. Para poder simular una depreciación mayor los primeros años de vida se formaron los siguientes tres rangos.

Tabla 40. Rangos de afectación en el valor comercial de una máquina según su edad.

Rango (años)		% de disminución de valor comercial cada año
0	5	10%
5	10	5%
10	20	4%
más de 20		3%

Es decir, si se evalúa una máquina modelo 2011 con una 2013 la disminución del valor comercial por edad entre una y otra será:

$$\text{Disminución \%} = (2011 - 2013) * 10\% = -20\%$$

Como se puede ver en este caso se usa el factor de 10% pues la máquina analizada tiene menos de 5 años de edad.

- **Potencia:** con el fin de poder comparar máquinas de diferente potencia se incluye un factor derivado de los caballos de fuerza que posee tanto la máquina evaluada como las alternativas de comparación. Según el método *Comparable Match* este factor está dado por la disminución o aumento porcentual de la potencia entre dos máquinas diferentes dividido entre dos.

Si se está evaluando una máquina de 200 caballos de fuerza comparándola con una de 150 caballos de fuerza la afectación del valor comercial de la máquina evaluada está dado por:

$$\% = \frac{(200 - 150)}{200} * \frac{1}{2} = 12,5\%$$

- **Condición:** para determinar la disminución del valor comercial de una máquina por su uso se construyeron unos rangos de acuerdo con las horas que haya trabajado una máquina y se asignó un factor por condición dependiendo del rango al cual pertenece cada máquina.



Tabla 41. Factor de condición de una máquina según sus horas de uso.

Horas de uso		Condición
0	1.000	9
2.000	4.000	8
4.000	8.000	7
8.000	12.000	6
12.000	15.000	5
15.000	18.000	4
18.000	21.000	3
21.000	25.000	2
25.000	Más de 25.000	1

A partir de este factor se determina entonces la disminución del valor comercial por condición por medio de la diferencia entre los factores de ambas máquinas multiplicado por un 5%.

En este caso si se tiene entonces una máquina con 6000 horas de uso y se está comparando con una de 500 horas de uso la disminución del valor comercial por condición será entonces:

$$\text{Disminución \%} = (7 - 9) * 5\% = -10\%$$

Con estos tres criterios se construye el modelo de comparación, a continuación se presentan los resultados de la comparación entre dos máquinas, la máquina evaluada será en este caso nueva, es decir, se evaluará el valor comercial para los primeros cinco años de vida.

Tabla 42. Ejemplo del modelo de comparación para hallazgo de valor comercial.

Variable	Desconocido	Venta	
<b>Nombre</b>	<b>Komatsu PC138USLC-10</b>	<b>Caterpillar 312DL</b>	
Modelo	2014	2011	
Edad 2015	1	4	
Edad 2016	2		
Edad 2017	3		
Edad 2018	4		
Edad 2019	5		
HP	97	90	
Condicion		9	
Horas 2015	1500	1100	
Horas 2016	3000		
Horas 2017	4500		
Horas 2018	6000		
Horas 2019	7500		
<b>Precio</b>	<b>Desconocido</b>	<b>\$ 234,000,000</b>	
<b>Ajustes</b>			
Edad 2015		30%	
Edad 2016		20%	
Edad 2017		10%	
Edad 2018		0%	
Edad 2019		-10%	
HP		4%	
Horas 2015		0%	
Horas 2016		-5%	
Horas 2017		-10%	
Horas 2018		-10%	
Horas 2019		-10%	
<b>Valor Final 2015</b>		<b>\$ 312,643,299</b>	<b>100%</b>
<b>Valor Final 2016</b>		<b>\$ 277,543,299</b>	<b>89%</b>
<b>Valor Final 2017</b>		<b>\$ 242,443,299</b>	<b>78%</b>
<b>Valor Final 2018</b>		<b>\$ 219,043,299</b>	<b>70%</b>
<b>Valor Final 2019</b>		<b>\$ 195,643,299</b>	<b>63%</b>

La disminución del valor comercial para los primeros años de la máquina evaluada según la máquina usada en la comparación es:

**Tabla 43. Resultados del ejemplo de comparación.**

Año	Porcentaje sobre el valor original de compra
1	88,8%
2	77,5%
3	70,1%
4	62,6%

### **10.6.1 Resultados del modelo**

Con este método y a partir con la comparación de 35 máquinas diferentes se obtuvieron los promedios en la disminución porcentual del valor comercial de una máquina para sus primeros 25 años de vida.

**Tabla 44. Resultados generales del modelo de comparación.**

Edad	Valor comercial
0	100%
1	89%
2	78%
3	71%
4	63%
5	57%
6	52%
7	49%
8	47%
9	42%
10	39%
11	36%
12	30%
13	27%
14	25%
15	23%
16	22%
17	21%
18	18%
19	16%
20	14%
21	13%
22	10%

23	9%
24	8%
25	6%

A partir de esta tabla se modela el comportamiento general del valor comercial de las máquinas por medio de la Ilustración 2.

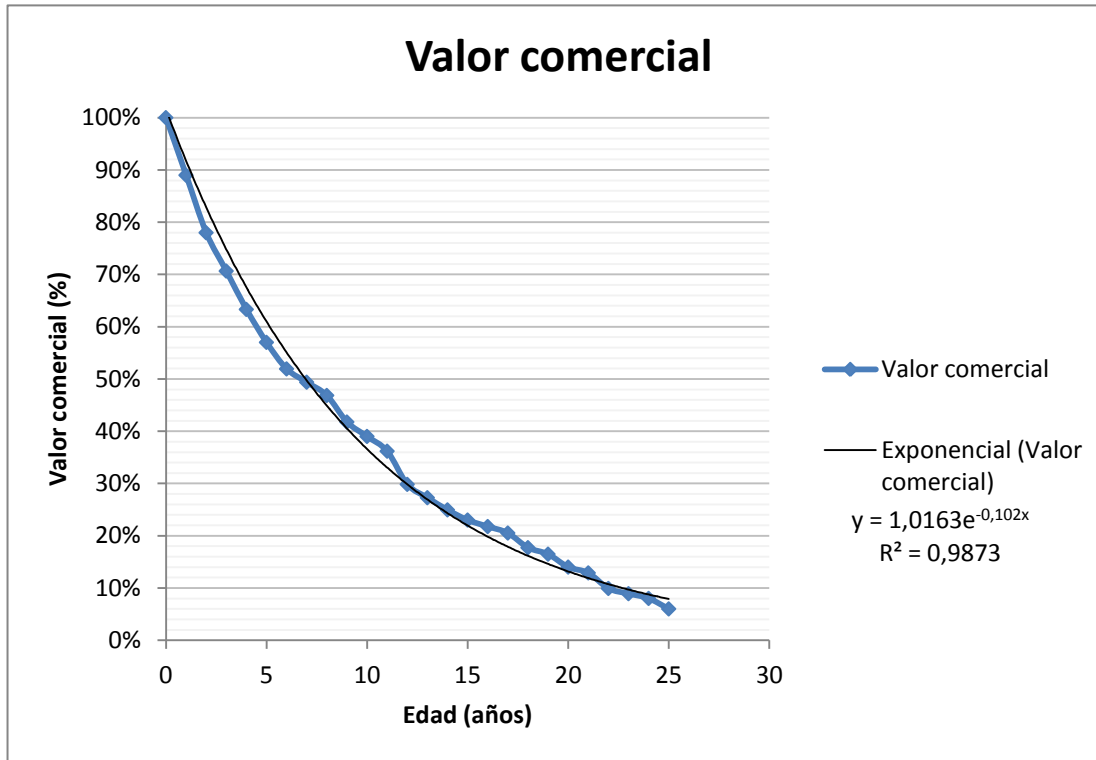


Ilustración 2. Valor comercial de una máquina según su edad.

Se hace la aclaración que el resultado del valor comercial hallado para una máquina según su edad debe ser afectado por la inflación respectiva de acuerdo con el número de periodos que se quieran proyectar.

### 10.6.2 Post-venta de equipos

El modelo de valor comercial de la maquinaria descrito previamente se hizo teniendo como base máquinas de diversas marcas, es necesario ajustar este valor pues la post-venta de estos equipos puede variar mucho entre los diferentes fabricantes. Para determinar este factor se evaluaron los valores comerciales de máquinas con características similares pero de diferentes marcas. Estos datos se obtuvieron de varias páginas web como [www.rbauction.com](http://www.rbauction.com), [www.ironplanet.com](http://www.ironplanet.com) y [www.machinerytrader.com](http://www.machinerytrader.com).

Para asignar el coeficiente de post-venta a cada máquina según el tipo y la marca se siguen los pasos descritos a continuación:

- Se definen tres categorías de post-venta para cada uno de los tipos de maquinaria que se están evaluando: favorable, promedio y desfavorable.

- Se eligen marcas de uso potencial para la empresa según tipo de máquina y marca.
- Se registran la cantidad de máquinas comercializadas según marca y tipo en estas páginas.
- Se comparan las variaciones del valor comercial entre máquinas que son competencia directa entre las diferentes marcas.

Analizando la información encontrada se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 45. Categoría de post-venta parte 1.

Marca/Tipo de máquina	Excavadoras de orugas	Tractores de orugas	Cargadores sobre llantas	Vibro-compactadores
Caterpillar	Favorable	Favorable	Favorable	Desfavorable
Komatsu	Promedio	Promedio	Promedio	-
Hyundai	Desfavorable	-	Desfavorable	-
Hitachi	Promedio	-	Desfavorable	-
Kobelco	Desfavorable	-	-	-
Kato	Desfavorable	-	-	-
Ingersoll Rand	-	-	-	Favorable
Case	-	Desfavorable	Desfavorable	-
Dynapac	-	-	-	Favorable
Volvo	Desfavorable	-	Promedio	Favorable
Jhon Deere	Promedio	Promedio	Promedio	-
BOMAG	-	-	-	Favorable

Tabla 46. Categoría de post-venta parte 2.

Marca/Tipo de máquina	Motoniveladoras	Compactadores neumáticos	Compactadores doble tandem	Pavimentadoras	Retroexcavadora cargadora
Caterpillar	Favorable	Promedio	Promedio	Favorable	Favorable
Komatsu	Desfavorable	-	-	-	Desfavorable
Sany	Desfavorable	-	-	-	-
Ingersoll Rand	-	-	Promedio	-	-
Leeboy	-	-	-	Favorable	-
Case	-	-	-	-	Promedio
Dynapac	-	-	Promedio	Desfavorable	-
Volvo	Desfavorable	-	Favorable	-	Desfavorable
Jhon Deere	Promedio	-	-	-	Favorable
BOMAG	-	-	Favorable	-	-

<b>HAMM</b>	-	Favorable	-	-	-
<b>HYPAC</b>	-	Promedio	-	-	-
<b>Champion</b>	Promedio	-	-	-	-
<b>BlawKnox</b>	-	-	-	Favorable	-
<b>Voegele</b>	-	-	-	Promedio	-
<b>Barber Greene</b>	-	-	-	Desfavorable	-

Una vez definidas las categorías para cada combinación tipo de máquina/marca se define el coeficiente de post-venta para estas categorías según la comparación del valor comercial. Se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 47. Coeficientes de post-venta según categoría.**

Favorable	1,05
Promedio	1,00
Desfavorable	0,80

Una vez definidos estos coeficientes se define finalmente la fórmula a usar para determinar el valor comercial futuro para cada máquina:

$$\text{Valor comercial máquina} = 1,0163e^{-0,102*Edad} * \text{Factor de postventa}$$

## 11 Estructura financiera

### 11.1 Estructura de capital de la empresa

La estructura de capital de la empresa está determinada por la mezcla de diferentes fuentes de financiamiento que una empresa usa para operar (Hernández, 2011). Determinar la estructura de capital de la empresa es necesario para conocer más adelante el costo del capital que se usará en la construcción del plan de reposición. Para la inversión en maquinaria la empresa determina que sus inversiones a futuro serán financiadas con un 50% de deuda y un 50% de recursos propios.

*Tabla 48. Financiación de inversiones en maquinaria.*

<b>Deuda</b>	50%
<b>Patrimonio</b>	50%

### 11.2 Costo de capital – WACC

El análisis financiero de la maquinaria de la empresa se hará con base en el cálculo de la tasa de acuerdo con el modelo de valoración de activos *CAPM* (*Capital Asset Pricing Model*).

El costo de capital medio ponderado, WACC, está dado por la ecuación:

$$k_0 = k_i * (1 - T) * \frac{D}{V} + k_e * \frac{E}{V}$$

Dónde:

$k_0$ : costo de capital medio ponderado

$k_i$ : costo de la deuda

$k_e$ : costo de los recursos propios de la empresa

$V$ : valor total de los activos de la empresa

$D$ : deuda de la empresa

$E$ : recursos propios de la empresa

#### 11.2.1 Costo de la deuda

La fracción correspondiente a la deuda cuenta con diferentes tasas de interés dependiendo de cada máquina y cada negociación en específico, sin embargo se usará un valor medio de 9,63% para la tasa anual efectiva de los préstamos de la empresa Explanan S.A., esta tasa corresponde al valor negociado durante el último año para la consecución de préstamos.

### 11.2.2 Costo de los recursos propios

Para determinar el costo de los recursos propios de la empresa se recurre a la siguiente ecuación establecida por el modelo CAPM.

$$k_e: R_f + (R_M - R_f) * \beta + RP + PT$$

Dónde:

$R_f$ : rentabilidad actual de los bonos del tesoro a 10 años de Estados Unidos.

$R_M$ : promedio de la rentabilidad del mercado de acciones S&P500

$\beta$ : relación entre el riesgo sistemático y el riesgo de mercado

$RP$ : riesgo asociado al país en donde se desarrollará el proyecto

$PT$ : prima por tamaño de la empresa

El parámetro  $\beta$  debe ser corregido por el apalancamiento de la empresa de la siguiente manera:

$$\beta_L = \beta_U * \left(1 + (1 - T) * \frac{D}{E}\right)$$

Dónde:

$\beta_L$ : beta apalancada, tiene en cuenta la estructura financiera de la empresa.

$\beta_U$ : beta desapalancada, no tiene en cuenta la estructura financiera de la empresa.

Teniendo entonces las ecuaciones se puede calcular el costo de los recursos propios para este proyecto de la siguiente manera.

De acuerdo con la estructura de capital de la empresa y una  $\beta_U = 0,85$  para la industria de la construcción (Damodaran, 2014) se obtiene entonces una  $\beta_L = 1,41$ . La estimación de la  $\beta$  se hace con base en los años 2009-2013.

El parámetro  $R_f$  como se explicó anteriormente corresponde a la rentabilidad actual de los bonos del tesoro de Estados Unidos, para el mes de mayo de 2014 se cuenta con una rentabilidad del 2,61%(Bloomberg, 2014). Para la prima de riesgo, es decir, la relación  $R_M - R_f$  se tomará el promedio aritmético de la diferencia en las rentabilidades anuales del mercado S&P500, de esta forma se obtiene entonces un valor de 6,29%(Damodaran, 2014). Adicionalmente el riesgo país correspondiente a Colombia se estipula como un 1,55% (Morgan, 2014).

$$k_{e-parcial-nominal} = 2,61\% + 6,29\% * 1,41 + 1,55\%$$

$$k_{e-parcial-nominal} = 13,04\%$$

Como se puede observar el cálculo anterior está basado en rendimientos de moneda extranjera USD, para efectos del proyecto la evaluación será en moneda local COP por lo cual se debe involucrar la inflación en el cálculo.



$$k_{e-parcial-local} = \left( 1 + \left( \frac{1 + \text{inflación nacional}}{1 + \text{inflación extranjera}} - 1 \right) \right) * (1 + k_{e-parcial}) - 1$$

Para la inflación nacional como extranjera se tomará el promedio de la proyección de los próximos cinco años.

**Tabla 49. Inflación promedio Colombia (Grupo Bancolombia, 2014) y Estados Unidos (Fondo Monetario Internacional, 2014).**

	Inflación Colombia	Inflación Estados Unidos
Promedio 2009-2013	3,33%	1,76%

$$k_{e-parcial-real} = 14,78\%$$

Después de obtener el costo de los recursos propios en moneda local se agrega entonces a este valor el resto de parámetros. La prima por tamaño de la empresa es de 2,7% y se halla de acuerdo con el simulador de riesgo estipulado por el Grupo Bancolombia, el cálculo de este valor se puede observar en la Tabla 102.

Con estos datos se determina entonces el costo de los recursos propios de la empresa:

$$k_e = 14,78\% + 2,70\%$$

$$k_e = 17,48\%$$

Con el costo de los recursos propios y el costo de la deuda se tiene finalmente un costo de capital para el proyecto de:

$$k_0 = 9,63\% * (1 - 0,34) * 0,5 + 17,48\% * 0,5$$

$$k_0 = 11,96\%$$

## 12 Programa de reposición de maquinaria en Microsoft Excel

Para evaluar las alternativas de una manera eficiente se consolida toda la información obtenida de las máquinas actuales de la empresa así como de las alternativas de reemplazo seleccionadas por medio de la vigilancia tecnológica y se crea un programa en Microsoft Excel que permite comparar las diferentes opciones y determina según los flujos de efectivo futuros cuándo es el momento apropiado para cambiar la máquina en caso que sea necesario. Con el fin que el programa sea útil para diversas empresas, no sólo para Explanan S. A., se adapta el programa para que los usuarios puedan ingresar sus propias máquinas y se permite realizar ajustes según sus propios parámetros. El programa usa para el cálculo todas las proyecciones y datos determinados a los largo del trabajo.

El programa consiste de los siguientes componentes:

1. Hoja de instrucciones: explica los pasos para usar el programa por medio de texto e imágenes.
2. Interfaz de ingreso de maquinaria: en esta hoja el usuario debe seleccionar la máquina que quiere evaluar así como las alternativas contra las cuales quiere comparar su máquina.

**Ilustración 3. Interfaz de ingreso de datos**

INGRESO DATOS DE MÁQUINAS A EVALUAR		
Ver instrucciones		
Máquina actual		
Tipo Máquina	Excavadora_de_orugas	
Descripción	PC300 - 1999	
Alternativas de reemplazo		
Alternativa 1: reemplazo	Alternativa 2: reemplazo	Alternativa 3: alquiler
PC290LC - 2013	R300 - 2014	336D - 2014
Ingresar datos		Ver resultados
Borrar máquinas		

3. Formulario de ingreso de maquinaria nueva: cuando se desee ingresar una máquina que no se encuentre en la base de datos del programa, el usuario puede presionar el botón "Ingresar datos" donde se ejecuta un formulario que solicita el ingreso de los datos de la máquina a ingresar.

Ilustración 4. Ingreso de datos máquinas nuevas

The screenshot shows a web form titled "Ingresar Datos" with a close button (X) in the top right corner. The form is divided into two main sections: "Actual" (selected) and "Reemplazo".

**Actual / Reemplazo:** Radio buttons for "Actual" (selected) and "Reemplazo".

**Alquilada:** A checkbox labeled "Alquilada".

**Fields:**

- Tipo de máquina: Dropdown menu.
- Referencia: Text input field.
- Modelo: Text input field.
- Año de adquisición: Text input field.
- Costo de adquisición: Text input field.
- Horas acumuladas de uso: Text input field.
- Condición de operación: Dropdown menu.
- Gasto de combustible: Text input field, with "Galones/hora" as a unit label.
- Producción por hora (compacta): Text input field, with "m3/hora" as a unit label.
- Post venta: Dropdown menu.
- Horas producción futura: Five text input fields for the years 2014, 2015, 2016, 2017, and 2018.

**Opcionales:** A section containing four text input fields:

- Salario mensual operario
- Bonificación por Hora
- Precio m3 (compacto)
- WACC: Text input field followed by a "%" symbol.

A "Siguiete" button is located at the bottom center of the form.

En el formulario de ingreso de maquinaria se piden los datos necesarios para el cálculo de los ingresos y costos futuros que se requieren para el cálculo del flujo de efectivo. Se pide información general de la máquina independiente de la empresa tal como el tipo de máquina, si es actual o si es una alternativa de reemplazo, la referencia, el modelo, el año de adquisición, el costo de adquisición y las horas acumuladas de uso. Adicionalmente, hay otro tipo de información requerida que permite ajustar el modelo a cada empresa, estas se explicarán más detalladamente:

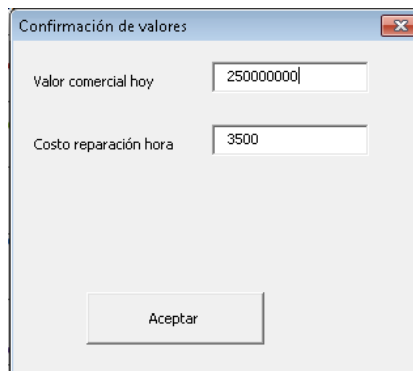
- **Condición de operación:** se refiere a las condiciones bajo las cuales la máquina va a operar (si está destinada a hacer trabajo pesado su condición no será favorable). Las variables que se deben considerar a la hora de elegir una condición son el tipo de terreno, dureza de los materiales a excavar, frecuencia de mantenimiento preventivo, experiencia y habilidad del operario, intensidad del uso.
- **Gasto de combustible:** este factor depende en gran medida del cuidado que tenga la empresa a la hora de controlar este insumo, por esta razón se permite ajustar este valor para cada caso.
- **Producción por hora (compacta):** este es uno de los factores más importantes dentro del modelo. Este valor permite ajustar las diferencias en la eficiencia que una misma máquina pueda tener en diferentes empresas. Este valor debe ser la producción real de la maquinaria en obra, y no la producción teórica máxima de la misma, cada empresa en particular puede realizar el cálculo de los rendimientos siguiendo sus propias políticas.

- Post-venta: se debe escoger un valor que describa, según la experiencia del usuario, qué tan buena sería la condición de venta de la máquina luego de su uso. Se debe escoger entre favorable, promedio y desfavorable. El usuario debe considerar los siguientes factores a la hora de elegir un valor: marca, tipo de máquina, condiciones del mercado, oferta/demanda de la máquina.
- Horas de producción futuras: son las horas que se espera que la máquina esté activa según el trabajo que se espera que tenga la empresa, este valor también puede variar considerablemente entre una empresa y otra.

El resto de información requerida es opcional, si el usuario no ingresa nada el programa tomará los valores predeterminados por el modelo y explicados previamente en este trabajo; de lo contrario podrá ingresar los valores que se ajusten a su propia empresa.

Una vez ingresados estos datos el programa permite cambiar el valor comercial de la máquina y el costo de reparación por hora en caso de que los datos de la modelación requieran algún tipo de ajuste adicional.

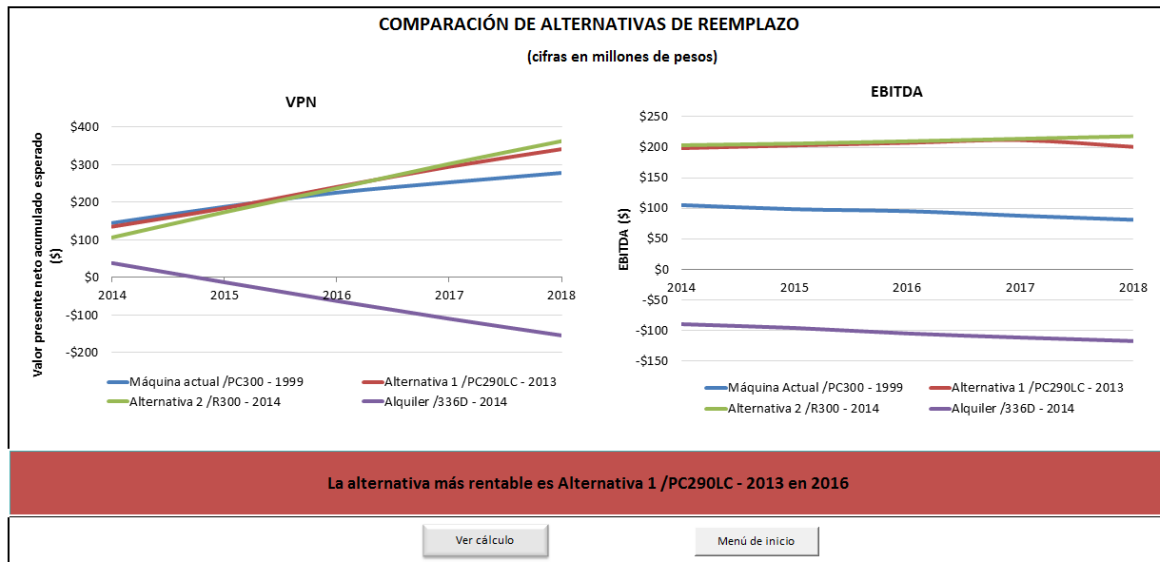
**Ilustración 5. Ajuste de valores en el modelo de reposición de maquinaria.**



The image shows a dialog box titled "Confirmación de valores" with a close button (X) in the top right corner. It contains two input fields: "Valor comercial hoy" with the value "250000000" and "Costo reparación hora" with the value "3500". At the bottom, there is a button labeled "Aceptar".

4. Hoja de resultados: luego de que se seleccionan las máquinas a comparar se puede presionar el botón "Ver resultados" en dónde se mostrará la evaluación de las diferentes alternativas. En esta parte del programa aparecerá una gráfica que compara las alternativas según el valor presente neto de los flujos de efectivo futuros que se esperan de cada máquina en los próximos cinco años y el *EBITDA (Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization)* correspondiente a cada una de éstas. En la parte inferior de la pantalla se puede observar un cuadro de texto que muestra cuál es la alternativa más rentable y cuando se debe hacer la reposición.

Ilustración 6. Interfaz de resultados.



5. Hoja de cálculo: si el usuario lo desea puede presionar el botón “Ver cálculo” y observar los flujos de caja futuro de las alternativas seleccionadas. Esta hoja se crea con el fin de que la persona que use el modelo pueda conocer más a fondo cómo el programa obtuvo los resultados mostrados en la interfaz de resultados.

Ilustración 7. Resultados: detalle flujo de caja.

	Maquina Actual PC300 - 1999						Alternativa 1: Reemplazo PC290LC - 2013					
	0	2014	2015	2016	2017	2018	0	2014	2015	2016	2017	2018
Excavadora de orugas												
Reposición activos fijos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$452.504.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de caja libre	\$0	\$76.554.857	\$72.057.750	\$69.895.241	\$121.915.629		-\$361.001.045	\$148.009.246	\$150.982.449	\$153.839.822	\$461.879.702	
VPN						\$253.026.186						\$294.545.399
WACC		12%						12%				
Año	0	2014	2015	2016	2017	2018	0	2014	2015	2016	2017	2018
Ventas	\$0	\$237.415.447	\$232.724.775	\$227.427.622	\$221.523.989	\$215.013.876	\$0	\$363.054.206	\$373.101.320	\$383.148.435	\$393.195.549	\$380.840.299
Venta de activo	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$90.312.424	\$110.000.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$299.232.883
Valor en libros	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$53.948.349	\$0	\$0	\$0	\$0	\$226.252.000
Costo de manejo	\$0	\$34.432.087	\$37.963.465	\$36.771.326	\$41.662.461	\$43.631.336	\$0	\$38.945.332	\$40.231.123	\$41.597.871	\$43.009.840	\$44.468.109
Costos de operación	\$0	\$82.819.679	\$81.572.699	\$80.348.403	\$78.884.718	\$77.170.903	\$0	\$103.449.249	\$107.541.634	\$111.596.702	\$115.503.085	\$112.962.325
Gastos administración	\$0	\$13.956.893	\$13.711.248	\$14.076.134	\$12.320.220	\$12.146.152	\$0	\$19.062.072	\$19.572.027	\$20.097.697	\$20.611.127	\$20.486.523
Gasto seguro	\$0	\$803.000	\$785.674	\$767.696	\$686.150	\$659.281	\$0	\$2.975.741	\$2.697.108	\$2.532.000	\$2.347.947	\$2.184.400
Depreciación	0	\$17.982.783	\$17.982.783	\$17.982.783	\$0	\$0	0	\$45.250.400	\$45.250.400	\$45.250.400	\$45.250.400	\$45.250.400
Utilidad operativa	\$0	\$87.421.005	\$80.708.906	\$77.481.280	\$87.970.439	\$171.718.629	\$56.051.651	\$153.371.412	\$157.809.029	\$162.073.765	\$166.473.150	\$228.469.419
Impuestos	\$0	\$28.848.932	\$26.633.939	\$25.568.822	\$29.030.245	\$56.667.148	\$18.497.045	\$50.612.566	\$52.076.979	\$53.484.342	\$54.936.139	\$75.394.908
Utilidad neta	\$0	\$58.572.074	\$54.074.967	\$51.912.458	\$58.940.194	\$115.051.481	\$37.554.606	\$102.758.846	\$105.732.049	\$108.589.422	\$111.537.010	\$153.074.511
Depreciación	\$0	\$17.982.783	\$17.982.783	\$17.982.783	\$0	\$0	\$0	\$45.250.400	\$45.250.400	\$45.250.400	\$45.250.400	\$45.250.400
Valor en libros	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$53.948.349	\$0	\$0	\$0	\$0	\$226.252.000
Aumento KTNO	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Reposición activos fijos	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$452.504.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Flujo de caja libre	\$0	\$76.554.857	\$72.057.750	\$69.895.241	\$58.940.194	\$115.051.481	-\$361.001.045	\$148.009.246	\$150.982.449	\$153.839.822	\$156.787.410	\$424.576.911
VPN						\$278.287.459						\$341.570.074
WACC		12%						12%				

### 13 Validación del programa de reposición de maquinaria

La última etapa en la creación de un modelo es la validación del mismo. Con el fin de asegurar que el programa en Microsoft Excel funciona de una manera confiable, precisa y esperada se reúne a un panel de expertos en el tema de maquinaria para que prueben el modelo. El panel de expertos se compone de los siguientes miembros:

*Tabla 50. Expertos para la validación del programa de reposición de maquinaria.*

<b>Empresa</b>	<b>Experto/Cargo en la empresa</b>
Explanan S. A.	Gerente general
Ingevías S. A. S.	Gerente general
Ingevías S. A. S.	Director de mantenimiento
Explanaciones del sur S. A.	Gerente general
Jorge Palacio	Propietario de equipos
Explanan S. A.	Licitaciones
Explanan S. A.	Sub gerente
Explanan S. A.	Gerente administrativo

Una vez reunido el panel de expertos se expone el objetivo del proyecto en general y los pasos que se siguieron para la determinación de las conclusiones encontradas hasta el momento. Durante la reunión se evaluaron los siguientes aspectos:

- Claridad en la interfaz de ingreso de datos e interfaz de resultados: se presenta el funcionamiento del modelo, cómo se debe ingresar la información y qué significan los resultados arrojados. Los expertos sugieren que en la interfaz de resultados aparte del VPN de los flujos de efectivo proyectados se incluya una gráfica de evolución del EBITDA para cada una de las máquinas, ya que puede aportar mayor claridad al modelo ver resultados de utilidad obtenida con el uso de la maquinaria. Adicionalmente, solicitan que el programa permita ver el cálculo que se realiza para obtener los resultados arrojados por el modelo.

En la parte de ingreso de datos en condición de operación de la maquinaria y post venta de los equipos recomiendan que el programa no sólo despliegue opciones y que el usuario elija de acuerdo con su experiencia sino que proponga ciertos criterios para la elección en cada categoría.

- Validez de datos arrojados por el modelo: para validar el modelo se ingresan datos de maquinaria de todas las empresas. Se hace énfasis sobre la aplicabilidad de la proyección usada para determinar los costos de mantenimiento futuros y el valor comercial de la maquinaria, para estos dos casos los expertos concluyen que el comportamiento de ambos modelos es lógico, sin embargo, consideran que el programa debe dejar ajustar estos valores al ser tan variables entre empresas.

En general, la realimentación hecha por los expertos es muy positiva, los expertos concluyen que el modelo es confiable y los resultados que arroja son muy sensatos. Los expertos coinciden con que esta herramienta sería muy útil para su empresa ya que actualmente no existe ninguna tecnología que los ayude a tomar decisiones a la hora de reemplazar maquinaria, en donde hoy en día todas las decisiones relativas a reemplazo de maquinaria se realizan de una manera empírica basándose sólo en la intuición y la experiencia. Finalmente, se concluye que el modelo es válido, que arroja resultados confiables y que lo usarían para ayudar a tomar decisiones en sus respectivas empresas.

Para culminar el proceso de validación del modelo se incluyen las observaciones hechas a lo largo de la reunión al programa en Microsoft Excel, en el capítulo anterior se puede observar la inclusión de todas estas recomendaciones.

## 14 Plan de reposición

El área de maquinaria en una empresa de construcción de obras de infraestructura vial es en muchos casos vista como una parte de la compañía que genera muy pocos ingresos o inclusive pérdidas monetarias. Programas de mantenimiento insuficiente, mal manejo de los operadores y el carácter pesado del trabajo realizado por una máquina son algunos de los factores que no permiten la alta competitividad de esta área respecto al resto de la empresa. El análisis financiero de la maquinaria surge como solución al problema de competitividad, permitiendo convertir costos e ingresos en flujos de caja comparables con otras partes del negocio (Mauney, 2012). Cuando se evalúa el Valor Presente Neto (VPN) de los flujos de efectivo generados por la operación de una máquina se puede determinar el momento óptimo para su reemplazo de tal forma que se pueda generar un VPN mayor.

La decisión de reponer o no reponer se basa principalmente en la maximización de la variable VPN, este criterio asegura que habrá un retorno máximo de la inversión cuando las decisiones se miran con un horizonte temporal de varios años. Este criterio permite considerar adicionalmente los efectos de los impuestos y la pérdida del valor del dinero en el tiempo.

La construcción del plan de reposición se hace por medio de la inclusión de todas las variables previamente expuestas al modelo de flujo de efectivo tanto para las máquinas actuales de la empresa que se están evaluando como para las diferentes alternativas de reemplazo. La decisión de reemplazar una máquina se da cuando el valor presente neto de la suma de los flujos de caja futuros de la máquina nueva es mayor que el de la máquina vieja. Cada una de las máquinas será retada por tres alternativas diferentes, una máquina nueva, una máquina usada y una máquina alquilada.

### 14.1 Plan de reposición inicial

#### 14.1.1 Propuesta inicial

Gracias a la creación del modelo de reposición de equipos en Microsoft Excel la empresa decide evaluar otras máquinas que no estaban consideradas en el plan inicial debido a la facilidad de inclusión de las mismas. En este orden de ideas serán analizadas adicionalmente las siguientes máquinas:

*Tabla 51. Máquinas adicionales a tener en cuenta en el plan de reposición.*

Máquina	Tipo de máquina
D6C – 1978	Tractor sobre orugas
V4400 – 1981	Cargador sobre llantas
930 – 1981	Cargador sobre llantas
SD70D – 1994	Vibrocompactador
SD100D – 1995	Vibrocompactador
BW212 – 1998	Vibrocompactador
MG300T - 1 - 1981	Motoniveladora
MG300T – 2 - 1981	Motoniveladora



Por medio del modelo de reposición de equipos de Microsoft Excel se evalúan los resultados de la comparación entre cada una de las máquinas actuales y sus alternativas de reemplazo correspondientes. A continuación se presentará la explicación para el caso de la PC300-2, los resultados para el resto de las máquinas se podrán ver en una tabla resumen al final de este apartado.

Para evaluar la reposición de la PC300-2, se deben comparar los flujos de caja proyectados a diferentes años según el periodo de reemplazo que se está evaluando, es decir, si se quiere evaluar si la máquina debe ser reemplazada en el primer año el horizonte temporal de las proyecciones de flujo de efectivo debe ser de un año, en el segundo año el horizonte debe ser de dos años y así sucesivamente.

De esta forma se compara entonces la PC300-2 con las siguientes alternativas de reemplazo:

Tabla 52. Alternativas de reemplazo para PC300-2.

Máquina evaluada	Alternativas de reemplazo
PC300-2	R300LC
	PC290LC-10
	Alquiler: 336DL

Después de correr el modelo se obtienen los siguientes resultados:

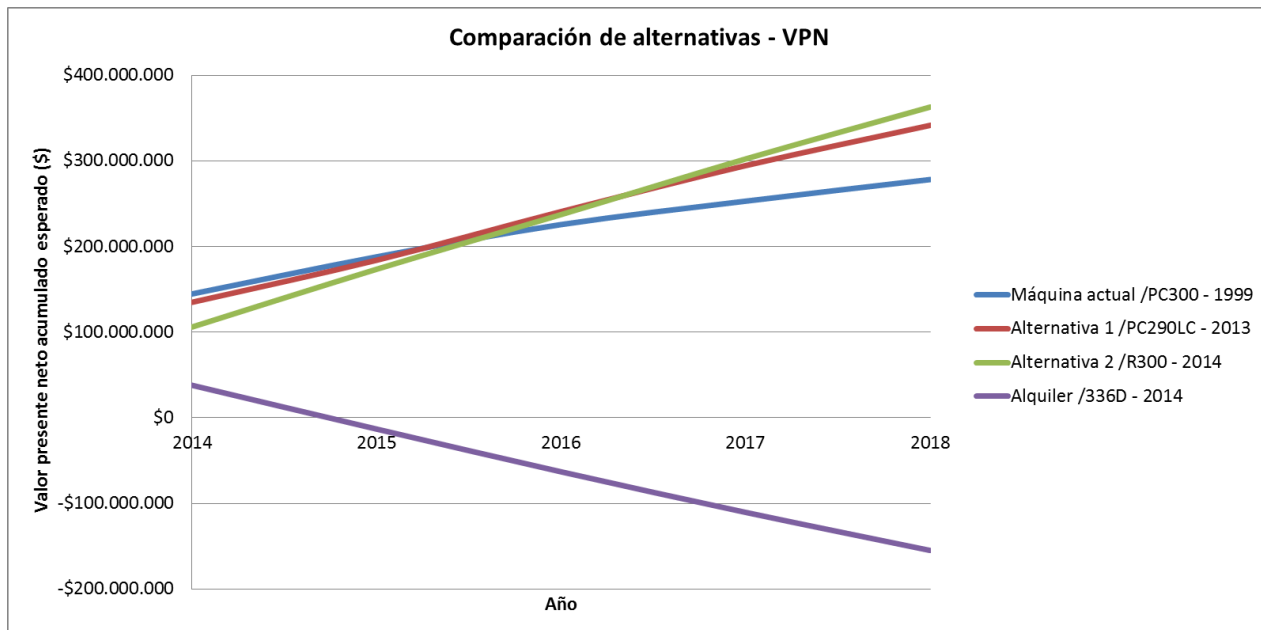


Ilustración 8. VPN acumulado 2014 - 2018.

Como se puede observar en la Ilustración 8. VPN acumulado 2014 - 2018. el VPN mayor para el año 2014 y 2015 es el de la máquina actual, por lo cual no debe ser reemplazada hasta el 2016 cuando ambas alternativas de reemplazo muestran mejor VPN. Aunque en el 2016 el VPN mayor corresponde al de la alternativa 1, se puede observar que éste es posteriormente superado por el de la alternativa 2, concluyendo que la decisión final puede variar de acuerdo con requerimientos y preferencias de la empresa. Manteniéndose las variables definidas inicialmente de trabajo y

productividad se concluye que la decisión más rentable es reemplazar la PC300-2 por la excavadora de orugas Komatsu PC290LC-10 modelo 2013 en el año 2016. Adicionalmente se puede observar el análisis del EBITDA esperado para cada una de las alternativas durante los próximos cinco años.

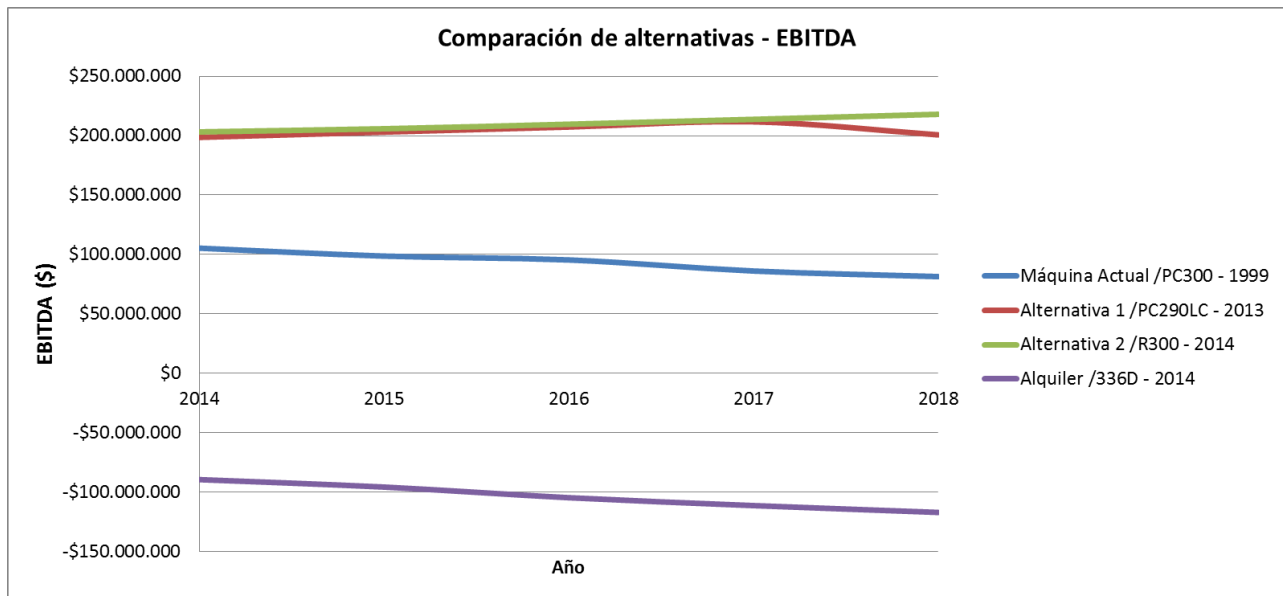


Ilustración 9. EBITDA 2014 - 2018.

Se sigue el mismo procedimiento para el resto de máquinas analizadas, los resultados para cada una de estas se pueden observar en Resultados modelo de reposición de los anexos. En la Tabla 53 se puede observar un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 53. Propuesta plan de reposición maquinaria Explanan S. A.

Máquina actual	Año de reemplazo	Reemplazo	VPN sin proyecto	VPN con proyecto
D6C – 1978	2014	D6NXL - 2004	\$36.296.620	\$71.796.830
V4400 – 1981	2014	930H - 2011	\$17.442.525	\$53.027.425
930 – 1981	2014	930H - 2011	\$15.624.642	\$53.027.425
SD70 – 1994	2014	SD70 - 2009	\$21.742.875	\$23.381.100
SD100 - 1994	2014	SD100 - 2009	\$17.013.387	\$34.641.829
BW212 – 1998	2014	SD100 - 2009	\$24.889.637	\$38.499.397
D6M - 1998	2014	D6NXL - 2004	\$135.694.506	\$147.226.830
PC300 - 1995	2014	PC290 - 2013	\$88.066.063	\$97.094.997
C928F - 1996	2014	930H - 2011	\$52.690.067	\$89.646.388
L70 - 1996	2014	930H - 2011	\$75.607.578	\$89.646.388
928GZ - 2004	2014	930H - 2011	\$142.357.962	\$169.999.710
LEEBOY - 1996	2014	Leeboy 8015R - 2007	\$29.031.887	\$54.805.136
DD110 - 2001	2014	DD112HF - 2006	\$58.846.889	\$63.162.381
WB150 - 2005	2015	580SN - 2012	\$38.261.090	\$39.880.813
PC200 - 2000	2015	PC200LC - 2012	\$101.888.772	\$104.271.701

HYSTER - 1985	2015	PTR240 - 2004	\$20.656.748	\$22.343.270
PC300 - 1999	2016	PC290 - 2013	\$225.398.450	\$240.823.673
320DL - 2007	2016	PC200LC - 2012	\$211.805.462	\$215.182.984
PC300 - 2004	2017	R300 - 2014	\$347.361.159	\$359.200.162
SD77 - 2005	2017	SD70 - 2009	\$86.520.775	\$93.183.417
PC128 - 2001	2018	SK140SR LC - 2011	\$71.744.014	\$74.366.245
PC138 - 2002	2018	SK140SR LC - 2011	\$78.910.645	\$80.972.445
MG300 - 1 - 1981	-	No reponer	-	-
MG300 - 2 - 1981	-	No reponer	-	-
12H - 2002	-	No reponer	-	-
710A - 1999	-	No reponer	-	-
BG210B - 1996	-	No reponer	-	-
BW211 - 2005	-	No reponer	-	-
CA250-1 - 2013	-	No reponer	-	-
CA250-2 - 2013	-	No reponer	-	-
CASE580 - 2004	-	No reponer	-	-
D65 - 2005	-	No reponer	-	-
PC228 - 2005	-	No reponer	-	-
PQ190 - 2010	-	No reponer	-	-
WA250 - 2005	-	No reponer	-	-

### 14.1.2 Observaciones generales

A partir de los resultados obtenidos por medio del modelo de reposición de maquinaria se concluye que el momento óptimo de reemplazo está sujeto principalmente a tres factores: horas de trabajo futuras, productividad horaria y costos de reparación y mantenimiento. Cada uno de estos factores toma mayor o menor importancia de acuerdo con cada tipo de máquina. Adicionalmente, después de la comparación entre las dos alternativas de reemplazo y la alternativa de alquiler en cada uno de los casos, se concluye que esta última es poco rentable a largo plazo, puede evaluarse su aplicación en casos donde se tengan trabajos específicos y de corta duración que requieran de cierto tipo de máquina con la cual no cuente la empresa en un momento determinado.

En este orden de ideas, se presentan a continuación observaciones generales para cada uno de los tipos de máquinas analizados

#### 14.1.2.1 Excavadoras sobre orugas

Debido al alto nivel de trabajo que tiene este tipo de máquinas en la empresa y el carácter desgastante del mismo, se concluye que el análisis de reposición de las mismas debe ser llevado a cabo con buena periodicidad. Cualquier disminución o aumento en los factores de horas de trabajo futuras y productividad horaria afecta considerablemente el análisis, requiriendo la evaluación de la reposición de las mismas constantemente. Este tipo de máquinas son de producción masiva, por lo cual la pérdida de ingresos ocasionada por los tiempos de parada es mucho más significativa que el costo del capital derivado de la alta inversión inicial que requiere

una máquina nueva, siempre y cuando se mantengan condiciones y nivel de trabajo similares a las que se tienen actualmente. Tomando como premisa esta última idea, se concluye que el año de reposición óptimo se da en el momento en que las horas de producción anuales bajan a las 1.300 horas debido a tiempos de parada por caídas mecánicas, o por pérdidas en la productividad y eficiencia por fallas en el sistema hidráulico lo cual sucede generalmente para excavadoras con más de 20.000 horas acumuladas. Finalmente, se define que el criterio más importante para la selección de alternativas de reemplazo para las excavadoras de orugas es el desgaste de las mismas, de tal forma que se mantengan altos niveles en la productividad anual. La alta inversión inicial queda en un segundo plano ya que con buena producción y nivel de trabajo constante esta puede ser recuperada entre corto y mediano plazo.

#### 14.1.2.2 *Tractores sobre orugas*

A diferencia de las excavadoras sobre orugas, los tractores sobre orugas no mantienen un nivel de trabajo tan alto, por lo cual el momento de reposición óptimo no depende tanto de los niveles de producción horaria y las horas de trabajo futuro sino del incremento en los costos de mantenimiento y reparación con los años. Para este tipo de equipos la alternativa óptima de reemplazo son tractores sobre orugas con más de cinco años de edad, ya que la gran inversión inicial requerida en máquinas nuevas es difícilmente recuperable con las pocas horas de trabajo anual que tienen estas máquinas, adicionalmente la confiabilidad que aporta una máquina nueva no estaría siendo completamente aprovechada por esta misma razón. Se sugiere adquirir máquinas con varios años de edad de tal forma que el valor comercial de la misma sea mucho menor y el nivel de la inversión sea considerablemente inferior. Como consecuencia de lo previamente explicado, tractores de orugas de más de 10 años de edad todavía pueden ser la opción más rentable para la empresa.

#### 14.1.2.3 *Vibrocompactadores*

Debido al trabajo poco desgastante de este tipo de máquinas, los costos de reparación y mantenimiento suelen ser muy bajos. Por esta razón el momento óptimo de reposición está asociado a la disminución en la productividad de la misma por el aumento en su edad, o por el avance tecnológico en maquinaria nueva que mejore los estándares de calidad del trabajo que se esté realizando. La decisión de reemplazar vibrocompactadores debe ser analizada cuando la máquina que se posea actualmente baje los estándares de calidad en la compactación de los diferentes materiales, requiriendo reproceso y bajando la producción considerablemente, situación que afecta la productividad de otros equipos como las motoniveladoras y los tractores sobre orugas utilizados para el extendido de materiales granulares y para la construcción de terraplenes respectivamente.

La alternativa de reemplazo óptima puede ser tanto maquinaria nueva como usada dependiendo de la necesidad que se tenga en el momento. Para trabajos en dónde se requiera la compactación de material con altos estándares de calidad en poco tiempo se sugieren máquinas nuevas o de poco uso, para trabajos dónde la compactación de materiales no sea una de las actividades principales de la obra, vibrocompactadores de más de cinco años pueden ser la opción más rentable.

#### 14.1.2.4 *Motoniveladoras*

El reemplazo de este tipo de máquinas está sujeto principalmente a tres factores: la baja productividad horaria que tienen debido al frecuente reproceso en las actividades que ejecuta este equipo, la alta inversión necesaria para la adquisición de una máquina nueva y el carácter poco

desgastante del trabajo realizado. La combinación de estos tres factores permite concluir que la reposición de este tipo de máquinas no genera en la mayoría de los casos aumento en la rentabilidad para la empresa, por lo cual el análisis del cambio de una motoniveladora debe basarse en otro tipo de criterios tal como la imagen empresarial, el cumplimiento de los plazos contractuales o los estándares de calidad que se requieran para la misma.

#### 14.1.2.5 *Cargadores sobre llantas*

Al igual que para las excavadoras de orugas, el carácter masivo de la producción de los cargadores sobre llantas hacen necesario un análisis de reposición de equipos de mayor periodicidad, cualquier cambio que se pueda dar en la productividad horaria de una máquina o el nivel de trabajo que se tenga puede variar el resultado del mismo considerablemente.

Para este tipo de equipos la productividad horaria es uno de los factores de mayor importancia para definir el momento de reposición óptimo. Su participación en el proceso de producción de granulares no genera tanta rentabilidad en razón del bajo precio comercial de la actividad, por este motivo se requieren rendimientos de producción para generar ingresos y no pérdidas monetarias durante el desarrollo de esta actividad. A partir del análisis de los resultados para la empresa se concluye que un cargador debe ser reemplazado en el momento en que su productividad horaria neta empieza a acercarse a los 40 m<sup>3</sup>/h para el caso de los cargadores con capacidad de carga de 2 m<sup>3</sup>.

Como ocurre con las excavadoras de orugas, el reemplazo óptimo para los cargadores sobre llantas son máquinas nuevas o con pocas horas de uso acumuladas, quedando en un segundo plano la inversión inicial requerida ya que con buena productividad y nivel de trabajo constante esta puede ser recuperada entre corto y mediano plazo.

#### 14.1.2.6 *Compactador doble tándem, compactador neumático y pavimentadoras*

Se considera que para este tipo de máquinas la reposición se debe hacer en el momento en que se requiera disponer de un equipo para una obra en específico, este tipo de máquinas aportan actividades que no generan gran volumen, por lo cual su reposición no debe ser una prioridad. Sin embargo se sugiere reemplazar estas máquinas si se logra mantener un nivel de trabajo anual de 700 horas, 300 más que el promedio con que se cuenta actualmente.

#### 14.1.2.7 *Retroexcavadora cargadora*

Al igual que los compactadores doble tándem, neumático y pavimentadoras este tipo de máquina al ser usada en actividades de apoyo no genera una rentabilidad para la empresa tan alta comparándola con el resto de máquinas. A pesar de esto, el carácter pesado de las actividades realizadas desgasta rápidamente los equipos incurriendo en altos costos de reparación y mantenimiento a los pocos años de uso. A partir de esta idea se sugiere reemplazar las retroexcavadoras cargadoras cuando el costo de reparación por hora ascienda a los \$8.000. La elección de la alternativa de reemplazo debe estar sujeta a la inversión inicial, confiabilidad y durabilidad de la marca a raíz del trabajo exigente que realizan.

### **14.2 Plan de reposición ajustado**

El plan de reposición arrojado por la comparación del VPN acumulado entre las máquinas actuales y las alternativas de reemplazo es el ideal teniendo en cuenta los factores y valores determinados a lo largo del trabajo, sin embargo, es necesario revisar y ajustar el plan de

reposición de acuerdo con el riesgo que la empresa está dispuesta a asumir con las inversiones, a la disponibilidad de capital para el financiamiento del plan y finalmente a la necesidad de maquinaria que se tenga de acuerdo con las obras que se tienen actualmente.

En este orden de ideas se presentó la propuesta inicial del plan de reposición a la empresa Explanan S. A. y en conjunto con el gerente general de la misma se definió un plan ajustado según las restricciones de trabajo y dinero que impone la empresa.

Para encontrar el plan de reposición óptimo que más beneficio traiga a la empresa teniendo en cuenta sus restricciones se acude a la programación lineal donde para cada año se define una función objetivo que maximiza los beneficios aportados a la empresa por el plan de reposición y se establece una serie de restricciones inherentes a la empresa que se deben cumplir para que la implementación del plan de reposición propuesto sea factible.

A continuación se encuentran las variables, parámetros e índices de dicho programa:

$i = \text{máquina } i = 1,2,3 \dots n$

$n = \text{número de máquinas no reemplazadas en años anteriores}$

$j = \text{tipo de máquina, } j = 1,2,3 \dots m$

$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si la máquina } ij \text{ debe ser reemplazada} \\ 0 & \text{si lo contrario} \end{cases}$

$VPN_i = \text{Diferencia entre el VPN del reemplazo de la máquina } ij \text{ y el VPN de la máquina } ij$

$K = \text{Capital máximo que la empresa está dispuesta a invertir}$

$M = \text{número máximo de reemplazos}$

$c_{ij} = \text{Costo de reemplazar la máquina } ij$

$T_j = \text{Disponibilidad de trabajo para el tipo de máquina } j$

$T_j \begin{cases} 1 & \text{si el tipo de máquina } j \text{ tiene trabajo} \\ 0 & \text{si lo contrario} \end{cases}$

$A_j = \text{número máximo de reemplazos en el tipo de máquina } j$

$B_j = \text{número mínimo de reemplazos en el tipo de máquina } j$

Función objetivo y restricciones:

$$\max: z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij} * VPN_{ij})$$

Sujeto a,

$$(1) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij} * c_{ij}) \leq K$$

$$(2) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq M$$

$$(3) \sum_{i=1}^n x_{ij} \geq T_j, \quad \forall j$$

$$(4) \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq A_j, \quad \forall j$$

$$(5) \sum_{i=1}^n x_{ij} \geq B_j, \quad \forall j$$

Las cinco restricciones impuestas por la empresa son las siguientes:

- (1) Anualmente la empresa determina un monto máximo de capital que puede invertir en maquinaria. Explanan S. A. determina que este monto es 700 millones por lo tanto  $K= 700.000.000$ .
- (2) Explanan S. A. considera que para mitigar el riesgo de la inversión, anualmente puede cambiar como máximo  $M$  equipos. Por ejemplo, en 2014 considera que es muy riesgoso reemplazar más de tres máquinas por lo tanto  $M=3$ .
- (3) Según su plan de trabajo, Explanan S. A. determina qué tipo de máquina tendrá trabajo posiblemente en cada año, por lo tanto si determinado tipo de máquina no tiene disponibilidad de trabajo en cierto año no tiene sentido reemplazarla en dicho año para no ser usada. Como ejemplo, los cargadores sobre llantas no presentan trabajo programado para 2014 por lo tanto para este año  $T_{\text{cargadores}} = 0$
- (4) y (5) Explanan S. A. requiere que el plan de reposición se construya teniendo en cuenta todos los tipos de máquinas con el fin de mantener todo su portafolio actualizado, no solo actualizar aquellas que evidentemente traerían mayor utilidad a la empresa como el caso de las excavadoras sobre orugas. Con este fin, se define una cantidad máxima y mínima tanto para evitar como para forzar el reemplazo de cierto tipo de maquinaria.

De esta forma se construye el plan de reposición final, en la Tabla 54 se pueden observar los resultados.

Tabla 54. Plan de reposición ajustado para Explanan S. A.

Máquina actual	Año de reemplazo	Reemplazo
D6C - 1978	2014	D6NXL - 2004
PC300 - 1995	2014	PC290 - 2013
PC200 - 2000	2014	PC200LC - 2012
SD70 - 1994	2015	SD70 - 2009
MG300-1 - 1981	2015	120K - 2010
BW212 - 1998	2015	SD100 - 2009
WB150 - 2005	2015	580SN - 2012
V4400 - 1981	2016	930H - 2011
PC300 - 1999	2016	PC290 - 2013
MG300-1 - 1981	2017	120K - 2010
SD77 - 2005	2017	SD70 - 2009
PC128 - 2001	2017	SK140SR LC - 2011
930 - 1981	2018	930H - 2011
PC300 - 2004	2018	R300 - 2014
PC138 - 2002	2018	SK140SR LC - 2011
12H - 2002	-	No reponer
710A - 1999	-	No reponer
BG210B - 1996	-	No reponer
BW211 - 2005	-	No reponer
CA250-1 - 2013	-	No reponer
CA250-2 - 2013	-	No reponer
CASE580 - 2004	-	No reponer
D65 - 2005	-	No reponer
PC228 -2005	-	No reponer
PQ190 - 2010	-	No reponer
WA250 - 2005	-	No reponer
D6M - 1998	-	No reponer
320DL - 2007	-	No reponer
SD100 - 1994	No reponer por el momento - Evaluar cuando se requiera	No reponer
DD110 - 2001	No reponer por el momento - Evaluar cuando se requiera	No reponer
LEEBOY - 1996	No reponer por el momento - Evaluar cuando se requiera	No reponer
L70 - 1996	No reponer por el momento - Evaluar cuando se requiera	No reponer
928GZ - 2004	No reponer por el momento - Evaluar cuando se requiera	No reponer
HYSTER - 1985	No reponer por el momento - Evaluar cuando se requiera	No reponer
C928F - 1996	No reponer por el momento - Evaluar cuando se requiera	No reponer

Es importante aclarar que el reemplazo para las motoniveladoras MG300-1 y MG300-2 no se hizo basándose en criterios de rentabilidad generada por las mismas, se requiere su reemplazo por criterios de accesibilidad a trabajos que las motoniveladoras actuales no tienen.



La inversión anual requerida para la implementación del plan de reposición se puede observar en la Tabla 55.

**Tabla 55. Resumen inversión total requerida.**

<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>Venta de activos</b>	<b>Inversión neta</b>
<b>2014</b>	\$856.088.000	\$200.000.000	\$656.088.000
<b>2015</b>	\$787.031.000	\$120.000.000	\$667.031.000
<b>2016</b>	\$702.504.000	\$135.000.000	\$567.504.000
<b>2017</b>	\$633.500.000	\$125.000.000	\$508.500.000
<b>2018</b>	\$819.000.000	\$210.000.000	\$609.000.000

El plan de reposición planteado se implementará en la medida en que se cumpla la cantidad de trabajo actual que tiene la empresa y la proyección que se realizó. En caso que la empresa acceda a mayor o menor cantidad de obras, este plan de reposición se puede anticipar de tal forma que se cumplan los plazos pactados con las entidades contratantes o aplazar de acuerdo con la disponibilidad de los recursos necesarios para su financiamiento.

## 15 Beneficios de la implementación del plan de reposición

Tener un plan de reposición de maquinaria puede beneficiar a la empresa de diversas maneras, primero, saber con antelación las inversiones que le esperan a la compañía permite una mejor planeación de los recursos; segundo, conocer el comportamiento de sus máquinas sabiendo cuáles son las próximas a reemplazar permite tomar mejores decisiones al momento de asignar los equipos a cada obra; por último, implementar el plan recomendado trae beneficios económicos a la empresa ya que se busca reemplazar las máquinas menos rentables por aquellas que den más utilidades. A continuación se cuantifica el beneficio económico esperado que la implementación del plan de reposición traerá a Explanan S. A. Para determinar este beneficio se comparan los ingresos, costos, inversión y costo de la inversión entre las máquinas actuales y los reemplazos para un horizonte temporal de diez años correspondiente a la vida útil de las mismas. Se debe tener en cuenta que los valores presentados en las siguientes tablas corresponden a la diferencia entre los ítems previamente descritos entre las máquinas actuales y las alternativas de reemplazo.

Tabla 56. Beneficios económicos esperados del plan de reposición.

Máquina actual	Alternativa de reemplazo	Año de reemplazo	Resultado del reemplazo
D6C - 1978	D6NXL - 2004	2014	\$ 323.523.093
PC300 - 1995	PC290 - 2013	2014	\$ 411.861.950
PC200 - 2000	PC200LC - 2012	2014	\$ 99.044.293
SD70 - 1994	SD70 - 2009	2015	\$ 42.681.096
MG300 -1 - 1981	120K - 2010	2015	(\$ 157.143.264)
BW212 - 1998	SD100 - 2009	2015	\$ 95.762.516
WB150 - 2005	580SN - 2012	2015	\$ 35.890.457
V4400 - 1981	930H - 2011	2016	\$ 215.436.244
PC300 - 1999	PC290 - 2013	2016	\$ 222.132.885
MG300 - 2 - 1981	120K - 2010	2017	(\$ 133.636.314)
SD77 - 2005	SD70 - 2009	2017	\$ 4.608
PC128 - 2001	SK140SR LC - 2011	2017	\$ 38.448.149
930 - 1981	930H - 2011	2018	\$ 140.305.625
PC300 - 2004	R300 - 2014	2018	\$ 99.909.660
PC138 - 2002	SK140SR LC - 2011	2018	\$ 36.267.330
<b>Resultado neto (VPN)</b>			<b>\$ 1,470,488,327</b>

De acuerdo con los resultados se puede esperar un incremento en la utilidad a raíz del plan de reposición de \$ 1.470.488.327 valor presente neto acumulado al año 2027. Como se puede observar el reemplazo de las motoniveladoras genera pérdidas a largo plazo, sin embargo, es necesario su reemplazo para la actividad general de la empresa. La distribución esperada de los resultados generados por el plan de reposición para cada año se presenta a continuación:

Tabla 57. Resultados anuales y acumulados esperados de la implementación del plan de reposición.

	Utilidad Anual	Utilidad Acumulada
2014	\$ 6.614.082	\$ 6.614.082
2015	(\$ 88.203.108)	(\$ 81.589.026)
2016	(\$ 75.473.008)	(\$ 157.062.034)
2017	\$ 17.355.045	(\$ 139.706.989)
2018	\$ 159.583.569	\$ 19.876.580
2019	\$ 160.935.053	\$ 180.811.633
2020	\$ 229.952.451	\$ 410.764.084
2021	\$ 295.298.756	\$ 706.062.840
2022	\$ 257.346.022	\$ 963.408.861
2023	\$ 223.480.125	\$ 1.186.888.986
2024	\$ 133.952.087	\$ 1.320.841.074
2025	\$ 88.635.789	\$ 1.409.476.862
2026	\$ 39.352.066	\$ 1.448.828.928
2027	\$ 21.659.398	\$ 1.470.488.327

En la Ilustración 10 se puede ver el cálculo detallado para cada uno de los años.

Ilustración 10. VPN de diferencia de flujo de efectivo entre máquina actual y reemplazo. Valor en millones de pesos.

Alternativa de reemplazo	Flujo de Caja Alternativa de Reemplazo - Flujo de Caja Máquina Actual														
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026		2027
D6NXL - 2004	\$ 41	\$ 36	\$ 31	\$ 50	\$ 44	\$ 31	\$ 27	\$ 24	\$ 21	\$ 18					\$ 324
PC290 - 2013	-\$ 10	-\$ 2	\$ 5	\$ 99	\$ 82	\$ 60	\$ 53	\$ 47	\$ 41	\$ 36					\$ 412
PC200LC - 2012	-\$ 24	-\$ 18	-\$ 14	\$ 32	\$ 31	\$ 24	\$ 22	\$ 19	\$ 15	\$ 13					\$ 99
SD70 - 2009		-\$ 8	-\$ 7	-\$ 6	\$ 13	\$ 11	\$ 10	\$ 9	\$ 8	\$ 7	\$ 6				\$ 43
120K - 2010		-\$ 79	-\$ 71	-\$ 65	\$ 13	\$ 10	\$ 9	\$ 8	\$ 7	\$ 6	\$ 5				(\$ 157)
SD100 - 2009		-\$ 6	-\$ 5	-\$ 4	\$ 25	\$ 19	\$ 17	\$ 15	\$ 13	\$ 11	\$ 10				\$ 96
580SN - 2012		-\$ 10	-\$ 13	-\$ 11	\$ 16	\$ 12	\$ 12	\$ 10	\$ 8	\$ 7	\$ 5				\$ 36
930H - 2011			\$ 13	\$ 12	\$ 11	\$ 39	\$ 33	\$ 29	\$ 24	\$ 21	\$ 18	\$ 15			\$ 215
PC290 - 2013			-\$ 15	-\$ 6	-\$ 8	\$ 47	\$ 43	\$ 39	\$ 36	\$ 32	\$ 28	\$ 24			\$ 222
120K - 2010				-\$ 65	-\$ 59	-\$ 54	\$ 9	\$ 8	\$ 7	\$ 6	\$ 5	\$ 5	\$ 4		(\$ 134)
SD70 - 2009				-\$ 11	-\$ 8	-\$ 7	\$ 5	\$ 5	\$ 4	\$ 4	\$ 3	\$ 3	\$ 2		\$ 0
SK140SR LC - 2011				-\$ 9	-\$ 7	-\$ 7	\$ 14	\$ 12	\$ 10	\$ 9	\$ 7	\$ 5	\$ 4		\$ 38
930H - 2011					\$ 11	-\$ 4	-\$ 5	\$ 30	\$ 26	\$ 22	\$ 19	\$ 16	\$ 14	\$ 11	\$ 140
R300 - 2014					-\$ 1	-\$ 16	-\$ 14	\$ 29	\$ 26	\$ 23	\$ 19	\$ 15	\$ 11	\$ 7	\$ 100
SK140SR LC - 2011					-\$ 5	-\$ 5	-\$ 5	\$ 12	\$ 10	\$ 9	\$ 7	\$ 5	\$ 4	\$ 3	\$ 36
	\$ 7	(\$ 88)	(\$ 75)	\$ 17	\$ 160	\$ 161	\$ 230	\$ 295	\$ 257	\$ 223	\$ 134	\$ 89	\$ 39	\$ 22	\$ 1,470

El valor que se muestra en cada año está representado por la diferencia entre el flujo de efectivo generado por la máquina nueva y la máquina vieja, teniendo en cuenta el costo de la inversión y el costo del capital asociado a esta inversión.

Como se puede observar en la Tabla 57, se esperaría recuperar la inversión entre el año 2017 y 2018, es decir, entre tres y cuatro años después de haber repuesto la primera máquina. Se debe tener en cuenta que para el análisis de los beneficios sólo se tuvieron en cuenta diez años de vida útil para cada uno de los reemplazos, esto debido a que es sólo durante este tiempo que se espera obtener utilidad a partir de su operación, sin embargo, las máquinas podrían generar ingresos una vez pasado este tiempo. Adicionalmente, se puede concluir que el período de mayor recuperación de la inversión ocurría alrededor de los años cinco y diez posterior a la implementación del plan, ya que durante este tiempo ya no se estarían gastando recursos en la adquisición de maquinaria.

Adicional a los beneficios económicos, implementar este plan de reposición trae una gran cantidad de ventajas competitivas para la empresa. Se identifica que la empresa desde hace unos cinco años había repuesto pocas máquinas por lo tanto su portafolio actual de equipos se encontraba desactualizado, muchas de sus máquinas estaban presentando problemas y por lo tanto la capacidad de producción podía estar reducida. Implementando el plan la empresa podría aumentar considerablemente esta capacidad, con máquinas más nuevas el trabajo que se realice sería más eficiente al tener menos paros por fallas mecánicas, se aumentaría la velocidad con la que se ejecutan las obras y la productividad de la empresa mejoraría. Igualmente habría mayor confiabilidad en el trabajo realizado gracias a la nueva tecnología de la maquinaria nueva, se reducirían los gastos en reparaciones que en general representan una gran pérdida de dinero, esfuerzo y tiempo para la empresa y que no aportan ningún valor. Por último, gracias a la implementación de este plan de reposición la competitividad de la empresa podría aumentar lo que le permitiría incrementar la posibilidad para acceder a obras y adicionalmente podría participar en procesos de licitación de obras de mayor envergadura.

## 16 Implementación del plan de reposición

A partir del plan propuesto la empresa Explanan S. A. decide implementar el plan de reposición para 2014. Hasta la fecha del 27 de octubre de 2014 se han reemplazado las siguientes máquinas:

*Tabla 58. Implementación del plan de reposición.*

Máquina reemplazada	Reemplazo adquirido
Tractor sobre orugas Caterpillar D6C - 1978	Tractor sobre orugas Caterpillar D6NXL - 2004
Excavadora sobre orugas Komatsu PC200 - 1999	Excavadora sobre Orugas Kato 820R - 2014

La excavadora sobre orugas Komatsu PC300 – 1995 también será reemplazada durante el 2014, actualmente se está buscando la alternativa más rentable para su reemplazo de acuerdo con el mercado actual de maquinaria. La empresa espera cumplir para el resto de los años el plan de reposición planteado.

## 17 Discusión de resultados obtenidos

Con el desarrollo del proyecto se obtuvieron principalmente dos productos, un plan de reposición a cinco años para la empresa Explanan S. A. y un modelo de reposición de maquinaria en Microsoft Excel para el posible uso de empresas interesadas, a continuación se discuten más a fondo los resultados obtenidos.

- Plan de reposición a cinco años de maquinaria usada para la construcción de obras de infraestructura vial para la empresa Explanan S. A.: el logro del plan estuvo determinado por la consecución individual de los siguientes objetivos.
  - ◇ Costos asociados al equipo de construcción: gracias a la información histórica registrada de la empresa se pudieron identificar acertadamente los costos que surgen con la utilización de estos equipos. Como se explicó en el marco teórico los costos asociados a una máquina se dividen en tres categorías, costos de propiedad, costos de manejo y costos de operación. A partir del análisis de la información recolectada se concluye que los costos de propiedad son mayores para máquinas nuevas que con el paso de los años y el incremento en edad de la maquinaria empiezan a bajar. Por otro lado, los costos de operación son menores cuando una máquina es nueva y presentan un incremento gradual en la medida en que pasa el tiempo debido a su uso y desgaste. Es importante encontrar una relación adecuada entre los costos de propiedad y costos de manejo de una máquina, de tal forma que la suma entre ambos sea la menor posible.
  - ◇ Productividad del equipo de construcción: la toma de la información en campo permitió obtener resultados confiables de la productividad que tiene cada una de las máquinas analizadas. Con la consolidación de la información se concluye que la producción real de la maquinaria suele ser mucho menor que la producción teórica entregada por los fabricantes de la misma. Dentro de los factores más determinantes en la productividad de una máquina se encuentran los tiempos muertos por falta de trabajo, por paradas de la máquina debido a fallas mecánicas, tiempos muertos durante la ejecución de las actividades en razón de la programación interna de cada obra y los reprocesos que se deben realizar en algunas actividades debido a factores no inherentes al equipo sino a factores externos como el clima o la impericia de los operadores. La reposición de un equipo debe tener en cuenta a cuál de los dos casos anteriores corresponde la baja producción de una máquina en específico. Adicionalmente se concluye que el rendimiento de una máquina suele bajar cuando ha tenido desgaste significativo por su uso, esto suele suceder para máquinas que superan los 20 años de edad.
  - ◇ Encontrar tecnología nueva que reemplace las máquinas que muestren la menor rentabilidad por medio de una vigilancia tecnológica: el uso de diferentes fuentes de información para la recolección de información, la asistencia a la feria de maquinaria CONEXPO CONAG 2014, permitieron obtener un panorama lo suficientemente amplio a la hora de definir las alternativas de reemplazo más convenientes según las necesidades de la empresa, teniendo en cuenta criterios de confiabilidad, inversión inicial, pérdida de valor comercial, facilidad en la consecución de repuestos, entre otros.
  - ◇ Proyección de los costos y productividad futura: la proyección de las variables para cada una de las máquinas consistía uno de los elementos más importantes a la hora de asegurar la confiabilidad del trabajo, por esta razón el uso de diversos métodos de proyección de variables tomaba gran importancia pues permitía ajustar el pronóstico de

cada variable al método más adecuado según las características de la misma. En este orden de ideas el uso de herramientas como el panel de expertos, regresiones lineales, sistemas de comparación de variables, entre otros, permitieron obtener datos confiables para cada una de las variables proyectadas, pues se incluyeron elementos históricos, actuales y futuros para el análisis.

- ◇ Evaluación de los flujos de efectivo futuros: la determinación del momento óptimo de reposición se da al comparar los flujos de efectivo generados por la máquina actual y por la alternativa de reemplazo. La comparación de estos flujos permite dar una idea general de la rentabilidad que se está obteniendo de las máquinas en general así como cuales tipos de máquinas conviene reponer con más periodicidad. Del análisis se concluye que para máquinas de trabajo masivo como excavadoras sobre orugas y cargadores sobre llantas se debe procurar mantener una flota no muy desgastada de tal forma que se disminuya el riesgo de paradas por fallas mecánicas de las mismas. También se concluye que máquinas como vibrocompactadores y motoniveladoras no deben ser repuestas por criterios de rentabilidad de las mismas, ya que la ganancia devengada por estos equipos pocas veces hace frente a la gran inversión requerida; la determinación de la reposición de este tipo de equipos se debe hacer por criterios de calidad en el trabajo entregado, velocidad requerida en la ejecución de la obra, imagen empresarial, entre otros. Adicionalmente máquinas que realizan trabajos de apoyo en la empresa deben ser repuestas en el momento en que se requieran por cierto trabajo en específico debido al poco nivel de trabajo con el que cuentan.
- ◇ Plan de reposición de maquinaria: a partir del análisis retador-defensor para cada una de las alternativas se construye un plan inicial y se ajusta posteriormente de acuerdo con las necesidades de la empresa. El ajuste del plan de reposición permitió incluir en el resultado las necesidades de maquinaria de la empresa teniendo en cuenta no sólo la rentabilidad esperada de la máquina como elemento único sino también incluyendo la necesidad general de la empresa dentro del desarrollo de todas sus actividades. Adicionalmente el ajuste permite a la empresa organizar un plan de inversiones según la disponibilidad de recursos por año y el riesgo que se está dispuesto a correr con las inversiones.
- Método para determinar el momento óptimo de reposición de maquinaria: se entrega a la empresa un método para la reposición de equipos que integra la selección de alternativas de reemplazo, definición de equipos a reponer y optimización del plan de reposición más recomendable según las necesidades de la empresa.
  - ◇ Selección de alternativas de reemplazo óptimas según métodos cuantitativos: se propone a la empresa la implementación de métodos que permitan determinar las alternativas de reemplazo óptimas cuantificando variables cualitativas de tal forma que se tenga siempre una base similar al comparar las diferentes máquinas. Este método permitirá a la empresa tomar decisiones desde un punto de vista más objetivo y evitando así posibles errores a la hora de definir un reemplazo.
  - ◇ Modelo de reposición de maquinaria en Microsoft Excel: se crea un programa en Microsoft Excel que muestra el momento óptimo para la reposición de una máquina. Este programa permite la aplicación de toda la investigación y conclusiones obtenidas de este proyecto a futuro y no sólo para efectos de la creación de un único plan. La creación del programa permitió adaptar el análisis hecho para todas las empresas del ámbito que puedan requerir de una herramienta que les permita evaluar su maquinaria. Es importante definir que los resultados obtenidos a partir del programa dependen completamente del insumo de

información ingresado en el mismo, por este motivo es determinante el análisis previo de los datos que el programa requiere para su funcionamiento. Una de las características más valiosas del programa radica en que permite una interacción completa del usuario, ya que el ajuste de todos los datos según características y necesidades propias del usuario es posible. La flexibilidad del programa permite ajustar completamente el modelo a las necesidades y características de cada empresa. Este último objetivo logrado es quizás el más importante del presente trabajo ya que se construyó una herramienta que puede ser de utilidad no sólo para Explanan S. A. sino también para otras empresas del sector. De éste se destacan los siguientes puntos:

- i) Se programan, a través de macros, todos los modelos hallados que pronostican todos los tipos de costos, el valor comercial, la depreciación y los ingresos que generará la máquina en los próximos cinco años.
  - ii) Si bien el programa fue creado con datos de Explanan S. A. está diseñado para adaptarse a cualquier tipo de empresa que tenga maquinaria. Es posible modificar todas las variables para adaptarse a cualquier empresa incluso si pertenece a un sector diferente al de la ingeniería civil.
- ◇ Programa lineal para la optimización del plan de reposición: esta herramienta es de gran importancia cuando la empresa no pueda implementar el plan de reposición ideal debido a restricciones que se puedan presentar. El programa lineal da como resultado el plan de reposición óptimo para cada año según las necesidades de la empresa, tal como la restricción de capital y riesgo, disponibilidad de trabajo, requerimiento de cierto tipo de maquinaria, entre otros.

Como conclusión, más allá de definir los valores de las variables y la determinación de un plan de reposición para los próximos cinco años según las necesidades y restricciones actuales para la empresa Explanan S. A., el proyecto realizado tiene como aporte más valioso el método propuesto para un análisis integral de reposición de equipos, al proponer un modelo que pueda mejorar el proceso de toma de decisiones en las empresas que lo implementen gracias a la flexibilidad y dinamismo en su estructura, características que permiten hacer frente al cambio constante particular en la construcción de obras de infraestructura vial. En este orden de ideas, parametrizar las variables será entonces inherente y diferente para cada empresa que aplique el modelo, pues como es de esperarse cada empresa tiene políticas y metodologías diversas que determinan el costo y productividad de su maquinaria.



## 18 Conclusiones y consideraciones finales

Durante los últimos años el país ha venido incrementando sus inversiones en obras de infraestructura vial de tal forma que se logra impulsar la economía del país y aumentar su competitividad en la región. Las empresas dedicadas al desarrollo de estas obras deben estar preparadas a cambios que se puedan dar desde el gobierno central y afecten directamente el curso de su trabajo. El estudio y análisis constante del entorno tanto interno como externo permite a las empresas utilizar los recursos disponibles de manera adecuada, tomar decisiones acertadas de inversión o desinversión en activos, controlar y optimizar el desarrollo de sus actividades, entre otros. De allí surge la necesidad de las empresas para desarrollar procesos que internamente permitan mejorar y ahorrar durante la ejecución de actividades, aumenten competitividad de la misma y mejoren la calidad de las obras realizadas. Con esta idea en mente se desarrolla el proyecto de un plan de reposición de maquinaria para la empresa Explanan S. A., encontrando el momento óptimo para el reemplazo de equipos que genere beneficios de todo tipo para la empresa.

Actualmente muchas de las decisiones tomadas en empresas dedicadas al desarrollo de obras de infraestructura vial se basan en su mayoría en criterios de experiencia o del sentir. La creciente competencia hace necesario que las empresas optimicen y mejoren cada día más sus procesos, que adopten planes de inversión para la disminución de costos a futuro, que investiguen en el desarrollo de actividades que les permita generar un valor agregado al trabajo, entre otras. Con esta premisa en mente es cuando otras áreas de estudio como industrial y financiera empiezan a tomar importancia dentro del ámbito de la ingeniería civil, ya que aportan una visión global de las implicaciones generadas por las determinaciones tomadas sobre el proyecto en curso. La fusión del conocimiento permitirá tomar a las empresas la mejor decisión basándose no sólo en criterios técnicos o de experiencia sino también en criterios de optimización, productividad, rentabilidad esperada, entre otros. La integridad del conocimiento y el análisis de información general que tenga en cuenta diversos aspectos permitirán a las empresas mejorar el procedimiento de toma de decisiones que tengan repercusión directa sobre la rentabilidad y operatividad de la misma. Para lograr este objetivo la implementación de herramientas que ayuden al proceso de toma de decisiones es de gran importancia en un ámbito de alta competitividad donde cualquier ventaja o ahorro generado puede ser vital a la hora de acceder un trabajo.

El plan de reposición de maquinaria surge como una solución al problema que se genera con el reemplazo no oportuno de maquinaria que tienen muchas empresas al ocasionar sobre costos y pérdidas de tiempo valioso a la hora de ejecutar obras. Usualmente las empresas reponen sus equipos después del momento óptimo de reemplazo, ya sea porque no tienen la información que les permita tomar una decisión más acertada o porque el interés no sea invertir en maquinaria más nueva. En caso de ocurrir la primera razón, el modelo de reposición de equipos desarrollado a lo largo del proyecto puede ser de gran utilidad para las empresas, pues permite determinar un plan de reemplazo de maquinaria de acuerdo con criterios de rentabilidad y productividad.

La evaluación del plan de reposición permite entrever hechos que pueden ser de interés para las empresas. Cuando se toma la decisión de invertir en maquinaria las compañías deben evaluar la reposición de sus equipos teniendo en cuenta gran cantidad de factores que les permita disminuir el riesgo que conlleva esta decisión, se deben valorar adecuadamente todas las variables de tal forma que se invierta únicamente si se necesita el equipo con el fin de evitar obligaciones financieras si no se tiene la capacidad de pago. Por otro lado, las empresas deben procurar evaluar constantemente el rendimiento y costos asociados a su maquinaria para evitar pérdidas de productividad y rentabilidad debido a obsolescencia de equipos, la flota de la maquinaria debe

ser repuesta periódicamente de tal forma que se evite caer en situaciones dónde la mayoría de los equipos sean viejos y la empresa pierda competitividad en el medio. La baja confiabilidad de equipo viejo puede traer impactos económicos mucho peores que el incremento en costos de mantenimiento, el incumplimiento en el plazo de las obras y la baja calidad del trabajo entregado pueden generar pérdidas más graves. Se debe reponer todo tipo de equipos y no sólo los que generen mayor rentabilidad, el área de maquinaria le presta apoyo a la empresa durante el desarrollo de las actividades pero es la empresa la que debe obtener utilidad al final del proyecto. La implementación del plan de reposición de maquinaria trae numerosos beneficios para la empresa, no sólo de carácter netamente económico sino que también genera mayor confiabilidad y competitividad para la empresa en un mediano plazo.

Es importante para el futuro de la compañía seguir evaluando los procesos de tal forma que se puedan evaluar mejoras de los mismos, el plan de reposición debe ser actualizado en caso de que se presenten cambios en el ámbito de la empresa pues la opción más rentable puede variar si se generan movimientos significativos en el curso de operación de la misma. Se sugiere registrar y analizar constantemente la información que se ingresa en el modelo de reposición de equipos, el registro de la información es el recurso por excelencia que le permitirá a la empresa controlar sus procesos, lo que no se mide no se puede evaluar ni corregir.

Es pertinente mencionar que el modelo de reposición de maquinaria reporta resultados e información valiosa en la medida en que el insumo de datos sea confiable. El resultado entregado por este modelo debe ser complementado con un análisis adicional por parte de la empresa, pues aparte de factores como rentabilidad y productividad la empresa debe evaluar también la necesidad, calidad e imagen generadas por las máquinas viejas.

Para finalizar, es de vital importancia la mejora constante en los procesos que realizan las empresas de tal forma que se generen beneficios adicionales y se pueda dar mayor valor agregado al cliente. La reposición de equipos debe evaluarse periódicamente teniendo en cuenta factores como la rentabilidad, confiabilidad y necesidad. Un reemplazo oportuno de la maquinaria no sólo ahorrará recursos monetarios sino también energía y tiempo de las personas que trabajan en la empresa.

## 19 Anexos

### 19.1 Variables usadas en el cálculo de costos históricos

*Tabla 59. Precio histórico combustible en Antioquia(UPME, 2013).*

Precio promedio combustible	
Año	Precio
2009	\$6.142
2010	\$6.544
2011	\$7.412
2012	\$8.021
2013	\$8.306

*Tabla 60. Inflación (Banco de la República, 2014).*

Año	Inflación
2009	2,00%
2010	3,17%
2011	3,73%
2012	2,44%
2013	1,94%

*Tabla 61. Prestaciones sociales.*

Prestaciones sociales	%
Prima de servicios	8,33%
Cesantías	8,33%
Intereses de cesantías	1,00%
Vacaciones	4,17%
Salud	8,50%
Pensión	12,00%
Riesgos profesionales	6,96%
Parafiscales	9,00%
Dotaciones	1,00%
Permisos especiales	2,00%
Total	61,29%

## 19.2 Costos históricos maquinaria

Tabla 62. Costos históricos PC300-1.

Año adquisición	Costo adquisición				
1998	\$160.000.000				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$130.000.000				
Horas de producción anual	1112	2076	1053	909	1223
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Costo de capital	\$29.312.000	\$29.312.000	\$29.312.000	\$29.312.000	\$29.312.000
Seguros	\$1.880.388	\$1.790.846	\$1.705.568	\$1.624.350	\$949.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$31.192.388</b>	<b>\$31.102.846</b>	<b>\$31.017.568</b>	<b>\$30.936.350</b>	<b>\$30.261.000</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$820.000	\$860.000	\$920.000	\$973.360	\$1.012.500
Salario anual	\$9.840.000	\$10.320.000	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
% de trabajo del operador	80%	80%	80%	80%	80%
Salario final	\$7.872.000	\$8.256.000	\$8.832.000	\$9.344.256	\$9.720.000
Prestaciones sociales	\$4.824.749	\$5.060.102	\$5.413.133	\$5.727.095	\$5.957.388
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.086	\$3.237	\$3.463	\$3.664	\$3.811
Horas extras	\$3.432.121	\$6.720.007	\$3.646.019	\$3.330.284	\$4.660.853
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$2.103.547	\$4.118.692	\$2.234.645	\$2.041.131	\$2.856.637
Bonificación por hora	\$2.000	\$2.000	\$2.500	\$2.500	\$2.500
Costo bonificaciones	\$2.224.000	\$4.152.000	\$2.632.250	\$2.272.500	\$3.057.500
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$25.807.181</b>	<b>\$33.832.738</b>	<b>\$28.498.086</b>	<b>\$28.598.866</b>	<b>\$32.252.378</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$46.032.000	\$7.984.054	\$19.184.579	\$8.189.191	\$20.124.396
Costo consumibles	\$4.379.375	\$5.418.762	\$2.539.718	\$882.009	\$2.655.760
Gal/h	5	5	5	5	5
Costo combustible	\$34.151.355	\$67.931.287	\$39.022.475	\$36.453.173	\$50.791.190
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$88.162.730</b>	<b>\$84.934.103</b>	<b>\$64.346.772</b>	<b>\$49.124.373</b>	<b>\$77.171.346</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$145.162.299</b>	<b>\$149.869.687</b>	<b>\$123.862.425</b>	<b>\$108.659.588</b>	<b>\$139.684.724</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$130.542</b>	<b>\$72.192</b>	<b>\$117.639</b>	<b>\$119.538</b>	<b>\$114.215</b>
Administración central (10%)	\$14.516.230	\$14.986.969	\$12.386.243	\$10.865.959	\$13.968.472

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

COSTO ANUAL	\$159.678.529	\$164.856.656	\$136.248.668	\$119.525.547	\$153.653.196
COSTO HORARIO	\$143.596	\$79.411	\$129.403	\$131.491	\$125.636

Tabla 63. Costos históricos PC300-3.

Año de adquisición			
2007	\$210.292.894		
<b>Año</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$220.000.000		
Horas de producción anual	1772	1745	1628
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>			
Depreciación	\$21.029.289	\$21.029.289	\$21.029.289
Costo de capital	\$38.525.658	\$38.525.658	\$38.525.658
Seguros	\$2.886.345	\$2.748.900	\$1.606.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$62.441.293</b>	<b>\$62.303.848</b>	<b>\$61.160.948</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>			
OPERADOR			
Salario mensual	\$920.000	\$973.360	\$1.012.500
Salario anual	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%
Salario final	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
Prestaciones sociales	\$6.766.416	\$7.158.868	\$7.446.735
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.463	\$3.664	\$3.811
Horas extras	\$6.134.411	\$6.393.120	\$6.204.308
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$3.759.781	\$3.918.343	\$3.802.620
Bonificación por hora	\$2.000	\$2.000	\$2.000
Costo bonificaciones	\$3.543.000	\$3.490.000	\$3.256.000
Alimentación y hospedaje	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$36.983.648</b>	<b>\$38.524.251</b>	<b>\$38.859.663</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>			
Costo mantenimiento y reparación	\$24.986.911	\$16.165.097	\$32.140.254
Costo consumibles	\$6.358.486	\$3.583.192	\$7.770.105
Gal/h	6	6	6
Costo combustible	\$78.786.187	\$83.974.635	\$81.133.008
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$113.731.584</b>	<b>\$107.322.924</b>	<b>\$124.643.367</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$213.156.525</b>	<b>\$208.151.023</b>	<b>\$224.663.978</b>

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

COSTO HORARIO	\$120.325	\$119.284	\$138.000
Administración central (10%)	\$21.315.652	\$20.815.102	\$22.466.398
COSTO ANUAL	\$234.472.177	\$228.966.125	\$247.130.376
COSTO HORARIO	\$132.358	\$131.213	\$151.800

Tabla 64. Costos históricos 320DL.

Año de adquisición			
2011	\$270.000.000		
<b>Año</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$230.000.000		
Horas de producción anual	1462	1627	1517
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>			
Depreciación	\$27.000.000	\$27.000.000	\$27.000.000
Costo de capital	\$49.464.000	\$49.464.000	\$49.464.000
Seguros	\$3.017.543	\$2.873.850	\$1.679.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$79.481.543</b>	<b>\$79.337.850</b>	<b>\$78.143.000</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>			
Salario mensual	\$920.000	\$973.360	\$1.012.500
Salario anual	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%
Salario final	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
Prestaciones sociales	\$6.766.416	\$7.158.868	\$7.446.735
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.463	\$3.664	\$3.811
Horas extras	\$5.060.933	\$5.960.806	\$5.781.287
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$3.101.846	\$3.653.378	\$3.543.351
Bonificación por hora	\$2.000	\$2.000	\$2.000
Costo bonificaciones	\$2.923.000	\$3.254.000	\$3.034.000
Alimentación y hospedaje	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$34.632.235</b>	<b>\$37.590.972</b>	<b>\$37.955.373</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>			
Costo mantenimiento y reparación	\$2.687.512	\$2.255.356	\$19.029.623
Costo consumibles	\$6.725.300	\$4.312.048	\$6.189.430
Gal/h	5	5	5
Costo combustible	\$54.165.967	\$65.246.768	\$63.001.010
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$67.178.779</b>	<b>\$75.414.172</b>	<b>\$91.820.063</b>

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

COSTO TOTAL ANUAL	\$181.292.556	\$192.342.993	\$207.918.436
COSTO HORARIO	\$124.046	\$118.219	\$137.059
Administración central (10%)	\$18.129.256	\$19.234.299	\$20.791.844
COSTO ANUAL	\$199.421.811	\$211.577.292	\$228.710.279
COSTO HORARIO	\$136.450	\$130.041	\$150.765

Tabla 65. Costos históricos PC200.

Año de adquisición					
2006	\$200.000.000				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$120.000.000				
Horas de producción anual	1817	2364	2147	1384	1004
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$20.000.000	\$20.000.000	\$20.000.000	\$20.000.000	\$20.000.000
Costo de capital	\$36.640.000	\$36.640.000	\$36.640.000	\$36.640.000	\$36.640.000
Seguros	\$1.735.743	\$1.653.089	\$1.574.370	\$1.499.400	\$876.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$58.375.743</b>	<b>\$58.293.089</b>	<b>\$58.214.370</b>	<b>\$58.139.400</b>	<b>\$57.516.000</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
OPERADOR					
Salario mensual	\$820.000	\$860.000	\$920.000	\$973.360	\$1.012.500
Salario anual	\$9.840.000	\$10.320.000	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$9.840.000	\$10.320.000	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
Prestaciones sociales	\$6.030.936	\$6.325.128	\$6.766.416	\$7.158.868	\$7.446.735
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.086	\$3.237	\$3.463	\$3.664	\$3.811
Horas extras	\$5.608.369	\$7.652.262	\$7.432.974	\$5.070.532	\$3.826.244
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$3.437.369	\$4.690.071	\$4.555.670	\$3.107.729	\$2.345.105
Bonificación por hora	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000
Costo bonificaciones	\$3.634.200	\$4.728.000	\$4.293.000	\$2.768.000	\$2.008.000
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$33.901.639</b>	<b>\$39.241.398</b>	<b>\$39.828.101</b>	<b>\$35.669.049</b>	<b>\$33.776.084</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$5.845.424	\$4.894.597	\$10.939.351	\$11.509.273	\$30.070.947
Costo consumibles	\$10.351.883	\$2.544.099	\$2.439.917	\$2.071.825	\$2.680.429
Gal/h	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Costo combustible	\$50.225.525	\$69.619.753	\$71.598.032	\$49.951.674	\$37.526.508
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	\$70.022.832	\$80.658.449	\$88.577.300	\$67.132.772	\$73.877.884
COSTO TOTAL ANUAL	\$162.300.214	\$178.192.936	\$186.619.770	\$160.941.221	\$165.169.968
COSTO HORARIO	\$89.318	\$75.378	\$86.941	\$116.287	\$164.512
Administración central (10%)	\$16.230.021	\$17.819.294	\$18.661.977	\$16.094.122	\$16.516.997
COSTO ANUAL	\$178.530.236	\$196.012.229	\$205.281.747	\$177.035.343	\$181.686.965
COSTO HORARIO	\$98.250	\$82.915	\$95.636	\$127.916	\$180.963

Tabla 66. Costos históricos PC228.

Año de adquisición				
2010	\$146.415.686			
<b>Año</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual				
Horas de producción anual	1244	2003	1604	1231
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>				
Depreciación	\$14.641.569	\$14.641.569	\$14.641.569	\$14.641.569
Costo de capital	\$26.823.354	\$26.823.354	\$26.823.354	\$26.823.354
Seguros	\$1.928.603	\$1.836.765	\$1.749.300	\$1.022.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	\$43.393.526	\$43.301.687	\$43.214.222	\$42.486.922
<b>COSTO DE MANEJO</b>				
Salario mensual	\$860.000	\$920.000	\$973.360	\$1.012.500
Salario anual	\$10.320.000	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$10.320.000	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
Prestaciones sociales	\$6.325.128	\$6.766.416	\$7.158.868	\$7.446.735
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.237	\$3.463	\$3.664	\$3.811
Horas extras	\$4.026.825	\$6.935.711	\$5.876.541	\$4.691.341
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$2.468.041	\$4.250.897	\$3.601.732	\$2.875.323
Bonificación por hora	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000
Costo bonificaciones	\$2.488.000	\$4.005.800	\$3.208.000	\$2.462.000
Alimentación y hospedaje	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	\$31.153.931	\$38.738.865	\$37.409.061	\$35.625.399
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>				
Costo mantenimiento y reparación	\$298.560	\$6.140.011	\$1.630.728	\$31.567.135



PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Costo consumibles	\$2.106.486	\$2.156.704	\$1.751.742	\$3.764.607
Gal/h	4,5	4,5	4,5	4,5
Costo combustible	\$36.635.775	\$66.808.152	\$57.891.969	\$46.011.087
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$42.640.821</b>	<b>\$78.704.867</b>	<b>\$64.874.439</b>	<b>\$84.942.829</b>
COSTO TOTAL ANUAL	\$117.188.277	\$160.745.419	\$145.497.722	\$163.055.150
COSTO HORARIO	\$94.203	\$80.256	\$90.709	\$132.457
Administración central (10%)	\$11.718.828	\$16.074.542	\$14.549.772	\$16.305.515
COSTO ANUAL	\$128.907.105	\$176.819.961	\$160.047.495	\$179.360.665
COSTO HORARIO	\$103.623	\$88.282	\$99.780	\$145.703

Tabla 67. Costos históricos PC128.

Año de adquisición					
2007	\$130.000.000				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$100.000.000				
Horas de producción anual	1983	1789	1874	1467	1667
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$13.000.000	\$13.000.000	\$13.000.000	\$13.000.000	\$13.000.000
Costo de capital	\$23.816.000	\$23.816.000	\$23.816.000	\$23.816.000	\$23.816.000
Seguros	\$1.446.452	\$1.377.574	\$1.311.975	\$1.249.500	\$730.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$38.262.452</b>	<b>\$38.193.574</b>	<b>\$38.127.975</b>	<b>\$38.065.500</b>	<b>\$37.546.000</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$820.000	\$860.000	\$920.000	\$973.360	\$1.012.500
Salario anual	\$9.840.000	\$10.320.000	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$9.840.000	\$10.320.000	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
Prestaciones sociales	\$6.030.936	\$6.325.128	\$6.766.416	\$7.158.868	\$7.446.735
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.086	\$3.237	\$3.463	\$3.664	\$3.811
Horas extras	\$6.120.410	\$5.790.989	\$6.489.352	\$5.374.617	\$6.352.937
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$3.751.199	\$3.549.297	\$3.977.324	\$3.294.103	\$3.893.715
Bonificación por hora	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000
Costo bonificaciones	\$3.966.000	\$3.578.000	\$3.748.000	\$2.934.000	\$3.334.000
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$35.059.309</b>	<b>\$35.089.350</b>	<b>\$37.761.132</b>	<b>\$36.325.508</b>	<b>\$39.177.387</b>

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$10.818.856	\$2.742.043	\$6.310.657	\$7.693.588	\$17.343.214
Costo consumibles	\$2.024.375	\$3.164.132	\$3.254.709	\$3.924.045	\$3.204.615
Gal/h	3	3	3	3	3
Costo combustible	\$36.540.721	\$35.124.009	\$41.672.400	\$35.298.221	\$41.538.306
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	\$52.983.952	\$44.630.184	\$54.837.766	\$50.515.854	\$65.686.135
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	\$126.305.714	\$117.913.108	\$130.726.873	\$124.906.861	\$142.409.522
<b>COSTO HORARIO</b>	\$63.694	\$65.910	\$69.758	\$85.144	\$85.429
Administración central (10%)	\$12.630.571	\$11.791.311	\$13.072.687	\$12.490.686	\$14.240.952
<b>COSTO ANUAL</b>	\$138.936.285	\$129.704.419	\$143.799.561	\$137.397.548	\$156.650.474
<b>COSTO HORARIO</b>	\$70.064	\$72.501	\$76.734	\$93.659	\$93.971

Tabla 68. Costos históricos PC138.

Año de adquisición					
2008	\$96.789.397	10 años	\$47.588.125		
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$110.000.000				
Horas de producción anual	2175	1357	1276	1643	1322
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$9.678.940	\$9.678.940	\$9.678.940	\$9.678.940	\$9.678.940
Costo de capital	\$17.731.818	\$17.731.818	\$17.731.818	\$17.731.818	\$17.731.818
Seguros	\$1.591.098	\$1.515.331	\$1.443.173	\$1.374.450	\$803.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	\$29.001.855	\$28.926.088	\$28.853.930	\$28.785.207	\$28.213.757
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$820.000	\$860.000	\$920.000	\$973.360	\$1.012.500
Salario anual	\$9.840.000	\$10.320.000	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$9.840.000	\$10.320.000	\$11.040.000	\$11.680.320	\$12.150.000
Prestaciones sociales	\$6.030.936	\$6.325.128	\$6.766.416	\$7.158.868	\$7.446.735
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.086	\$3.237	\$3.463	\$3.664	\$3.811
Horas extras	\$6.713.006	\$4.392.606	\$4.417.884	\$6.019.425	\$5.038.142
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$4.114.401	\$2.692.228	\$2.707.721	\$3.689.305	\$3.087.877
Bonificación por hora	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000
Costo bonificaciones	\$4.350.000	\$2.714.000	\$2.551.600	\$3.286.000	\$2.644.000

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$36.399.108</b>	<b>\$31.969.898</b>	<b>\$33.223.662</b>	<b>\$37.717.518</b>	<b>\$36.366.754</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$1.800.512	\$1.798.741	\$23.997.604	\$7.416.247	\$3.513.066
Costo consumibles	\$621.775	\$3.150.819	\$4.120.938	\$2.801.447	\$1.561.990
Gal/h	3	3	3	3	3
Costo combustible	\$40.078.703	\$26.642.415	\$28.370.143	\$39.533.045	\$32.941.596
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$46.100.990</b>	<b>\$35.191.975</b>	<b>\$60.088.685</b>	<b>\$53.350.739</b>	<b>\$41.616.652</b>
COSTO TOTAL ANUAL	\$111.501.953	\$96.087.962	\$122.166.277	\$119.853.464	\$106.197.163
COSTO HORARIO	\$51.265	\$70.809	\$95.757	\$72.948	\$80.331
Administración central (10%)	\$11.150.195	\$9.608.796	\$12.216.628	\$11.985.346	\$10.619.716
COSTO ANUAL	\$122.652.148	\$105.696.758	\$134.382.904	\$131.838.810	\$116.816.880
COSTO HORARIO	\$56.392	\$77.890	\$105.332	\$80.243	\$88.364

Tabla 69. Costos históricos D65.

Año de adquisición					
2008	\$202.000.000				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$170.000.000				
Horas de producción anual	1838	940	1153	898	1022
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$20.200.000	\$20.200.000	\$20.200.000	\$20.200.000	\$20.200.000
Costo de capital	\$37.006.400	\$37.006.400	\$37.006.400	\$37.006.400	\$37.006.400
Seguros	\$2.458.969	\$2.341.875	\$2.230.358	\$2.124.150	\$1.241.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$59.665.369</b>	<b>\$59.548.275</b>	<b>\$59.436.758</b>	<b>\$59.330.550</b>	<b>\$58.447.400</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$750.000	\$780.000	\$850.000	\$899.300	\$935.500
Salario anual	\$9.000.000	\$9.360.000	\$10.200.000	\$10.791.600	\$11.226.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$9.000.000	\$9.360.000	\$10.200.000	\$10.791.600	\$11.226.000
Prestaciones sociales	\$5.516.100	\$5.736.744	\$6.251.580	\$6.614.172	\$6.880.415
Costo de horas extras por hora de máquina	\$2.805	\$2.917	\$3.179	\$3.364	\$3.499
Horas extras	\$5.154.526	\$2.742.348	\$3.665.628	\$3.020.516	\$3.575.978

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Prestaciones sociales sobre horas extras	\$3.159.209	\$1.680.785	\$2.246.663	\$1.851.274	\$2.191.717
Bonificación por hora	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000
Costo bonificaciones	\$1.837.500	\$940.000	\$1.153.000	\$898.000	\$1.022.000
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	\$30.018.100	\$25.985.814	\$29.256.911	\$29.059.161	\$30.896.110
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$2.969.753	\$429.464	\$9.700.706	\$4.752.480	\$15.690.135
Costo consumibles	\$1.225.000	\$2.600.000	\$3.388.970	\$4.832.000	\$2.626.132
Gal/h	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Costo combustible	\$62.075.923	\$33.834.755	\$47.005.608	\$39.613.250	\$46.688.026
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	\$69.870.676	\$40.464.219	\$63.695.284	\$52.797.730	\$68.604.293
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>					
COSTO TOTAL ANUAL	\$159.554.145	\$125.998.308	\$152.388.953	\$141.187.441	\$157.947.803
COSTO HORARIO	\$86.832	\$134.041	\$132.167	\$157.224	\$154.548
Administración central (10%)	\$15.955.414	\$12.599.831	\$15.238.895	\$14.118.744	\$15.794.780
COSTO ANUAL	\$175.509.559	\$138.598.139	\$167.627.848	\$155.306.185	\$173.742.584
COSTO HORARIO	\$95.515	\$147.445	\$145.384	\$172.947	\$170.003

Tabla 70. Costos históricos D6M.

Año de adquisición					
2008	\$140.000.000				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$115.000.000				
Horas de producción anual	1075	1322	718	937	1152
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$14.000.000	\$14.000.000	\$14.000.000	\$14.000.000	\$14.000.000
Costo de capital	\$25.648.000	\$25.648.000	\$25.648.000	\$25.648.000	\$25.648.000
Seguros	\$1.663.420	\$1.584.210	\$1.508.771	\$1.436.925	\$839.500
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	\$41.311.420	\$41.232.210	\$41.156.771	\$41.084.925	\$40.487.500
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$750.000	\$780.000	\$850.000	\$899.300	\$935.500
Salario anual	\$9.000.000	\$9.360.000	\$10.200.000	\$10.791.600	\$11.226.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$9.000.000	\$9.360.000	\$10.200.000	\$10.791.600	\$11.226.000

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Prestaciones sociales	\$5.516.100	\$5.736.744	\$6.251.580	\$6.614.172	\$6.880.415
Costo de horas extras por hora de máquina	\$2.805	\$2.917	\$3.179	\$3.364	\$3.499
Horas extras	\$3.015.573	\$3.856.792	\$2.283.944	\$3.151.696	\$4.030.848
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$1.848.245	\$2.363.828	\$1.399.829	\$1.931.675	\$2.470.507
Bonificación por hora	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000
Costo bonificaciones	\$1.075.000	\$1.322.000	\$718.400	\$937.000	\$1.152.000
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$25.805.683</b>	<b>\$28.165.300</b>	<b>\$26.593.793</b>	<b>\$29.309.742</b>	<b>\$31.759.770</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$1.726.451	\$3.053.240	\$17.568.080	\$508.255	\$2.008.769
Costo consumibles	\$1.675.604	\$1.048.342	\$1.763.069	\$2.389.692	\$2.166.753
Gal/h	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Costo combustible	\$29.713.521	\$38.932.874	\$23.962.742	\$33.818.438	\$43.058.304
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$36.715.576</b>	<b>\$46.634.456</b>	<b>\$46.893.891</b>	<b>\$40.316.385</b>	<b>\$50.833.826</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$103.832.679</b>	<b>\$116.031.966</b>	<b>\$114.644.455</b>	<b>\$110.711.053</b>	<b>\$123.081.096</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$96.589</b>	<b>\$87.770</b>	<b>\$159.583</b>	<b>\$118.155</b>	<b>\$106.841</b>
Administración central (10%)	\$10.383.268	\$11.603.197	\$11.464.446	\$11.071.105	\$12.308.110
<b>COSTO ANUAL</b>	<b>\$114.215.947</b>	<b>\$127.635.163</b>	<b>\$126.108.901</b>	<b>\$121.782.158</b>	<b>\$135.389.206</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$106.247</b>	<b>\$96.547</b>	<b>\$175.541</b>	<b>\$129.970</b>	<b>\$117.525</b>

Tabla 71. Costos históricos WA250.

Año de adquisición					
2009	\$146.950.901	10 años	\$80.822.995		
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$150.000.000				
Horas de producción anual	1537	1025	1645	2104	2810
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$14.695.090	\$14.695.090	\$14.695.090	\$14.695.090	\$14.695.090
Costo de capital	\$26.921.405	\$26.921.405	\$26.921.405	\$26.921.405	\$26.921.405
Seguros	\$2.169.679	\$2.066.361	\$1.967.963	\$1.874.250	\$1.095.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$43.786.174</b>	<b>\$43.682.856</b>	<b>\$43.584.458</b>	<b>\$43.490.745</b>	<b>\$42.711.495</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$800.000	\$810.000	\$850.000	\$899.300	\$935.500

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Salario anual	\$6.400.000	\$9.720.000	\$10.200.000	\$10.791.600	\$11.226.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$6.400.000	\$9.720.000	\$10.200.000	\$10.791.600	\$11.226.000
Prestaciones sociales	\$3.922.560	\$5.957.388	\$6.251.580	\$6.614.172	\$6.880.415
Costo de horas extras por hora de máquina	\$2.874	\$2.910	\$3.054	\$3.231	\$3.361
Horas extras	\$4.417.622	\$2.982.865	\$5.024.147	\$6.797.904	\$9.444.410
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$2.707.561	\$1.828.198	\$3.079.300	\$4.166.436	\$5.788.479
Bonificación por hora	\$1.300	\$1.300	\$1.300	\$1.300	\$1.300
Costo bonificaciones	\$1.998.100	\$1.332.500	\$2.138.760	\$2.735.200	\$3.653.000
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$24.796.607</b>	<b>\$27.346.888</b>	<b>\$32.433.827</b>	<b>\$36.988.912</b>	<b>\$42.992.304</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación		\$494.800	\$1.659.300	\$162.400	\$6.305.251
Costo consumibles	\$1.738.250	\$2.083.540	\$10.392.427	\$8.024.661	\$7.497.610
Gal/h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Costo combustible	\$33.042.664	\$23.478.179	\$42.681.967	\$59.062.962	\$81.689.510
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$38.380.914</b>	<b>\$29.656.519</b>	<b>\$58.333.694</b>	<b>\$70.850.023</b>	<b>\$99.092.371</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$106.963.695</b>	<b>\$100.686.262</b>	<b>\$134.351.978</b>	<b>\$151.329.680</b>	<b>\$184.796.170</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$69.593</b>	<b>\$98.230</b>	<b>\$81.663</b>	<b>\$71.925</b>	<b>\$65.764</b>
Administración central (10%)	\$10.696.370	\$10.068.626	\$13.435.198	\$15.132.968	\$18.479.617
<b>COSTO ANUAL</b>	<b>\$117.660.065</b>	<b>\$110.754.888</b>	<b>\$147.787.176</b>	<b>\$166.462.648</b>	<b>\$203.275.787</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$76.552</b>	<b>\$108.054</b>	<b>\$89.829</b>	<b>\$79.117</b>	<b>\$72.340</b>

Tabla 72. Costos históricos 928GZ.

Año de adquisición			
2011	\$202.828.234		
<b>Año</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$130.000.000		
Horas de producción anual	1222	1826	1717
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>			
Depreciación	\$20.282.823	\$20.282.823	\$20.282.823
Costo de capital	\$37.158.132	\$37.158.132	\$37.158.132
Seguros	\$1.705.568	\$1.624.350	\$949.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$59.146.523</b>	<b>\$59.065.306</b>	<b>\$58.389.956</b>

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

<b>COSTO DE MANEJO</b>			
Salario mensual	\$850.000	\$899.300	\$935.500
Salario anual	\$10.200.000	\$10.791.600	\$11.226.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%
Salario final	\$10.200.000	\$10.791.600	\$11.226.000
Prestaciones sociales	\$6.251.580	\$6.614.172	\$6.880.415
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.054	\$3.231	\$3.361
Horas extras	\$3.731.770	\$5.899.702	\$5.770.837
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$2.287.202	\$3.615.927	\$3.536.946
Bonificación por hora	\$1.000	\$1.000	\$1.000
Costo bonificaciones	\$1.222.000	\$1.826.000	\$1.717.000
Alimentación y hospedaje	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$29.432.592</b>	<b>\$34.631.001</b>	<b>\$35.131.198</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>			
Costo mantenimiento y reparación	\$5.427.202	\$1.182.685	\$7.312.818
Costo consumibles	\$1.901.209	\$9.809.538	\$9.526.092
Gal/h	3,5	3,5	3,5
Costo combustible	\$31.702.749	\$51.259.016	\$49.914.907
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$42.631.160</b>	<b>\$65.851.239</b>	<b>\$70.353.817</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$131.210.275</b>	<b>\$159.547.546</b>	<b>\$163.874.971</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$107.373</b>	<b>\$87.375</b>	<b>\$95.443</b>
Administración central (10%)	\$13.121.028	\$15.954.755	\$16.387.497
<b>COSTO ANUAL</b>	<b>\$144.331.303</b>	<b>\$175.502.300</b>	<b>\$180.262.468</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$118.111</b>	<b>\$96.113</b>	<b>\$104.987</b>

Tabla 73. Costos históricos L70B.

Año de adquisición					
2002	\$62.321.567				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$70.000.000				
Horas de producción anual	2177	2150	2067	907	1106
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$6.232.157	\$6.232.157	\$6.232.157	\$6.232.157	\$0
Costo de capital	\$11.417.311	\$11.417.311	\$11.417.311	\$11.417.311	\$11.417.311

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Seguros	\$1.012.517	\$964.302	\$918.383	\$874.650	\$511.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$18.661.984</b>	<b>\$18.613.769</b>	<b>\$18.567.850</b>	<b>\$18.524.118</b>	<b>\$11.928.311</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$800.000	\$810.000	\$850.000	\$899.300	\$935.500
Salario anual	\$9.600.000	\$9.720.000	\$10.200.000	\$10.791.600	\$11.226.000
% de trabajo del operador	80%	80%	80%	80%	80%
Salario final	\$7.680.000	\$7.776.000	\$8.160.000	\$8.633.280	\$8.980.800
Prestaciones sociales	\$4.707.072	\$4.765.910	\$5.001.264	\$5.291.337	\$5.504.332
Costo de horas extras por hora de máquina	\$2.874	\$2.910	\$3.054	\$3.231	\$3.361
Horas extras	\$6.257.101	\$6.256.741	\$6.312.249	\$2.930.465	\$3.717.266
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$3.834.977	\$3.834.757	\$3.868.777	\$1.796.082	\$2.278.312
Bonificación por hora	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000
Costo bonificaciones	\$2.177.000	\$2.150.000	\$2.067.000	\$907.000	\$1.106.000
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$30.006.914</b>	<b>\$30.309.345</b>	<b>\$31.149.331</b>	<b>\$25.441.765</b>	<b>\$27.586.711</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$487.500	\$3.778.108	\$7.385.568	\$13.043.018	\$22.958.049
Costo consumibles	\$2.488.455	\$3.509.745	\$8.982.841	\$8.893.847	\$1.691.088
Gal/h	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Costo combustible	\$46.801.483	\$49.246.911	\$53.624.863	\$25.461.077	\$32.152.526
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$53.377.438</b>	<b>\$60.134.764</b>	<b>\$73.593.272</b>	<b>\$50.997.942</b>	<b>\$60.401.663</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$102.046.337</b>	<b>\$109.057.879</b>	<b>\$123.310.453</b>	<b>\$94.963.825</b>	<b>\$99.916.685</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$46.875</b>	<b>\$50.725</b>	<b>\$59.657</b>	<b>\$104.701</b>	<b>\$90.341</b>
Administración central (10%)	\$10.204.634	\$10.905.788	\$12.331.045	\$9.496.383	\$9.991.668
<b>COSTO ANUAL</b>	<b>\$112.250.971</b>	<b>\$119.963.666</b>	<b>\$135.641.498</b>	<b>\$104.460.208</b>	<b>\$109.908.353</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$51.562</b>	<b>\$55.797</b>	<b>\$65.622</b>	<b>\$115.171</b>	<b>\$99.375</b>

Tabla 74. Costos históricos 928f.

Año de adquisición					
1997	\$120.000.000				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$70.000.000				
Horas de producción anual	1085	795	1592	1031	1346



PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Costo de capital	\$21.984.000	\$21.984.000	\$21.984.000	\$21.984.000	\$21.984.000
Seguros	\$1.012.517	\$964.302	\$918.383	\$874.650	\$511.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$22.996.517</b>	<b>\$22.948.302</b>	<b>\$22.902.383</b>	<b>\$22.858.650</b>	<b>\$22.495.000</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$800.000	\$810.000	\$850.000	\$899.300	\$935.500
Salario anual	\$9.600.000	\$9.720.000	\$10.200.000	\$10.791.600	\$11.226.000
% de trabajo del operador	50%	50%	50%	50%	50%
Salario final	\$4.800.000	\$4.860.000	\$5.100.000	\$5.395.800	\$5.613.000
Prestaciones sociales	\$2.941.920	\$2.978.694	\$3.125.790	\$3.307.086	\$3.440.208
Costo de horas extras por hora de máquina	\$2.874	\$2.910	\$3.054	\$3.231	\$3.361
Horas extras	\$3.118.491	\$2.313.539	\$4.861.684	\$3.331.102	\$4.523.906
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$1.911.323	\$1.417.968	\$2.979.726	\$2.041.633	\$2.772.702
Bonificación por hora	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000
Costo bonificaciones	\$1.085.000	\$795.000	\$1.592.000	\$1.031.000	\$1.346.000
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$19.207.498</b>	<b>\$17.891.138</b>	<b>\$23.399.240</b>	<b>\$20.990.221</b>	<b>\$23.695.816</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$1.514.990	\$14.048.434	\$9.492.274	\$3.881.047	\$3.561.960
Costo consumibles	\$2.553.050	\$4.838.932	\$7.564.567	\$2.326.735	\$500.000
Gal/h	3	3	3	3	3
Costo combustible	\$19.993.284	\$15.608.489	\$35.401.527	\$24.807.407	\$33.539.628
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$27.661.324</b>	<b>\$38.095.855</b>	<b>\$56.058.368</b>	<b>\$34.615.189</b>	<b>\$41.201.588</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$69.865.339</b>	<b>\$78.935.295</b>	<b>\$102.359.990</b>	<b>\$78.464.059</b>	<b>\$87.392.404</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$64.392</b>	<b>\$99.290</b>	<b>\$64.296</b>	<b>\$76.105</b>	<b>\$64.927</b>
Administración central (10%)	\$6.986.534	\$7.893.530	\$10.235.999	\$7.846.406	\$8.739.240
<b>COSTO ANUAL</b>	<b>\$76.851.873</b>	<b>\$86.828.825</b>	<b>\$112.595.989</b>	<b>\$86.310.465</b>	<b>\$96.131.644</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$70.831</b>	<b>\$109.219</b>	<b>\$70.726</b>	<b>\$83.715</b>	<b>\$71.420</b>

Tabla 75. Costos históricos WB150.

Año de adquisición					
2007	\$100.000.000				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>

*PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL*

Valor comercial actual	\$60.000.000				
Horas de producción anual	1472	1821	1490	1568	1097
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$10.000.000	\$10.000.000	\$10.000.000	\$10.000.000	\$10.000.000
Costo de capital	\$18.320.000	\$18.320.000	\$18.320.000	\$18.320.000	\$18.320.000
Seguros	\$867.871	\$826.544	\$787.185	\$749.700	\$438.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$29.187.871</b>	<b>\$29.146.544</b>	<b>\$29.107.185</b>	<b>\$29.069.700</b>	<b>\$28.758.000</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$497.000	\$680.000	\$800.000	\$900.000	\$936.200
Salario anual	\$5.964.000	\$8.160.000	\$9.600.000	\$10.800.000	\$11.234.400
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$5.964.000	\$8.160.000	\$9.600.000	\$10.800.000	\$11.234.400
Prestaciones sociales	\$3.655.336	\$5.001.264	\$5.883.840	\$6.619.320	\$6.885.564
Costo de horas extras por hora de máquina	\$1.704	\$2.332	\$2.743	\$3.086	\$3.210
Horas extras	\$2.508.422	\$4.245.758	\$4.087.075	\$4.838.658	\$3.521.370
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$1.537.412	\$2.602.225	\$2.504.969	\$2.965.614	\$2.158.248
Bonificación por hora	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000
Costo bonificaciones	\$1.472.000	\$1.821.000	\$1.490.000	\$1.568.000	\$1.097.000
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$20.487.934</b>	<b>\$27.356.184</b>	<b>\$29.305.924</b>	<b>\$32.675.192</b>	<b>\$30.896.581</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación		\$4.980.380	\$23.342.612	\$20.078.562	\$23.104.159
Costo consumibles	\$351.860	\$5.156.173	\$4.692.232	\$2.638.986	\$5.685.348
Gal/h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Costo combustible	\$22.603.774	\$29.793.563	\$27.611.116	\$31.440.360	\$22.779.205
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$26.555.634</b>	<b>\$43.530.116</b>	<b>\$59.245.960</b>	<b>\$57.757.908</b>	<b>\$55.168.712</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$76.231.440</b>	<b>\$100.032.844</b>	<b>\$117.659.069</b>	<b>\$119.502.800</b>	<b>\$114.823.293</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$51.788</b>	<b>\$54.933</b>	<b>\$78.966</b>	<b>\$76.214</b>	<b>\$104.670</b>
Administración central (10%)	\$7.623.144	\$10.003.284	\$11.765.907	\$11.950.280	\$11.482.329
<b>COSTO ANUAL</b>	<b>\$83.854.584</b>	<b>\$110.036.129</b>	<b>\$129.424.975</b>	<b>\$131.453.080</b>	<b>\$126.305.623</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$56.966</b>	<b>\$60.426</b>	<b>\$86.862</b>	<b>\$83.835</b>	<b>\$115.137</b>

Tabla 76. Costos históricos CASE580.

Año de adquisición		
2012	\$70.014.401	
<b>Año</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$60.000.000	
Horas de producción anual	1215	1585
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>		
Depreciación	\$7.001.440	\$7.001.440
Costo de capital	\$12.826.638	\$12.826.638
Seguros	\$749.700	\$438.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$20.577.778</b>	<b>\$20.266.078</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>		
Salario mensual	\$900.000	\$940.000
Salario anual	\$10.800.000	\$11.280.000
% de trabajo del operador	100%	100%
Salario final	\$10.800.000	\$11.280.000
Prestaciones sociales	\$6.619.320	\$6.913.512
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.073	\$3.210
Horas extras	\$3.734.186	\$5.087.850
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$2.288.683	\$3.118.343
Bonificación por hora	\$1.000	\$1.000
Costo bonificaciones	\$1.215.000	\$1.585.000
Alimentación y hospedaje	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$30.540.789</b>	<b>\$33.984.705</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>		
Costo mantenimiento y reparación	5148213	9212619
Costo consumibles	\$350.000	\$4.365.160
Gal/h	2	2
Costo combustible	\$19.489.815	\$26.330.020
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$28.588.028</b>	<b>\$43.507.799</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$79.706.595</b>	<b>\$97.758.583</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$65.602</b>	<b>\$61.677</b>
Administración central (10%)	\$7.970.660	\$9.775.858
<b>COSTO ANUAL</b>	<b>\$87.677.255</b>	<b>\$107.534.441</b>

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

COSTO HORARIO	\$72.162	\$67.845
---------------	----------	----------

Tabla 77. Costos históricos 12H.

Año de adquisición				
2010	\$240.232.359			
<b>Año</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$240.000.000			
Horas de producción anual	1173	1510	1439	1218
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>				
Depreciación	\$24.023.236	\$24.023.236	\$24.023.236	\$24.023.236
Costo de capital	\$44.010.568	\$44.010.568	\$44.010.568	\$44.010.568
Seguros	\$3.306.177	\$3.148.740	\$2.998.800	\$1.752.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$71.339.981</b>	<b>\$71.182.544</b>	<b>\$71.032.604</b>	<b>\$69.785.804</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>				
Salario mensual	\$780.000	\$850.000	\$899.300	\$1.078.600
Salario anual	\$9.360.000	\$10.200.000	\$10.791.600	\$12.943.200
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$9.360.000	\$10.200.000	\$10.791.600	\$12.943.200
Prestaciones sociales	\$5.736.744	\$6.251.580	\$6.614.172	\$7.932.887
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.263	\$3.556	\$3.762	\$4.512
Horas extras	\$3.827.377	\$5.369.138	\$5.413.449	\$5.495.616
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$2.345.800	\$3.290.745	\$3.317.903	\$3.368.263
Bonificación por hora	\$1.500	\$1.500	\$1.500	\$1.500
Costo bonificaciones	\$1.759.500	\$2.265.000	\$2.158.500	\$1.827.000
Alimentación y hospedaje	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$28.555.358</b>	<b>\$33.116.502</b>	<b>\$34.179.224</b>	<b>\$37.566.966</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>				
Costo mantenimiento y reparación	\$3.131.000	\$0	\$3.669.000	\$1.538.000
Costo consumibles	\$2.164.778	\$406.242	\$864.886	\$2.129.496
Gal/h	3	3	3	3
Costo combustible	\$23.029.884	\$33.578.081	\$34.624.499	\$30.350.124
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$31.925.662</b>	<b>\$37.584.323</b>	<b>\$42.758.385</b>	<b>\$37.617.620</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$131.821.001</b>	<b>\$141.883.370</b>	<b>\$147.970.212</b>	<b>\$144.970.390</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$112.379</b>	<b>\$93.962</b>	<b>\$102.829</b>	<b>\$119.023</b>

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Administración central (10%)	\$13.182.100	\$14.188.337	\$14.797.021	\$14.497.039
COSTO ANUAL	\$145.003.101	\$156.071.707	\$162.767.234	\$159.467.429
COSTO HORARIO	\$123.617	\$103.359	\$113.111	\$130.926

Tabla 78. Costos históricos PQ190.

Año de adquisición		
2012	\$140.000.000	
<b>Año</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$120.000.000	
Horas de producción anual	678	960
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>		
Depreciación	\$14.000.000	\$14.000.000
Costo de capital	\$25.648.000	\$25.648.000
Seguros	\$1.499.400	\$876.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$41.147.400</b>	<b>\$40.524.000</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>		
Salario mensual	\$1.350.000	\$1.400.000
Salario anual	\$16.200.000	\$16.800.000
% de trabajo del operador	100%	100%
Salario final	\$16.200.000	\$16.800.000
Prestaciones sociales	\$9.928.980	\$10.296.720
Costo de horas extras por hora de máquina	\$4.351	\$4.512
Horas extras	\$2.949.881	\$4.331.520
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$1.807.982	\$2.654.789
Bonificación por hora	\$2.000	\$2.000
Costo bonificaciones	\$1.356.000	\$1.920.000
Alimentación y hospedaje	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$38.126.443</b>	<b>\$42.003.029</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>		
Costo mantenimiento y reparación	\$4.672.065	\$12.256.310
Costo consumibles	\$2.337.865	\$3.215.244
Gal/h	3	3
Costo combustible	\$16.313.697	\$23.921.280
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$26.923.627</b>	<b>\$42.992.834</b>

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

COSTO TOTAL ANUAL	\$106.197.470	\$125.519.862
COSTO HORARIO	\$156.633	\$130.750
Administración central (10%)	\$10.619.747	\$12.551.986
COSTO ANUAL	\$116.817.217	\$138.071.849
COSTO HORARIO	\$172.297	\$143.825

Tabla 79. Costos históricos 710A.

Año de adquisición					
2008	\$143.772.540				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$110.000.000				
Horas de producción anual	1575	1723	1578	1130	671
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$14.377.254	\$14.377.254	\$14.377.254	\$14.377.254	\$14.377.254
Costo de capital	\$26.339.129	\$26.339.129	\$26.339.129	\$26.339.129	\$26.339.129
Seguros	\$1.591.098	\$1.515.331	\$1.443.173	\$1.374.450	\$803.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$42.307.481</b>	<b>\$42.231.714</b>	<b>\$42.159.556</b>	<b>\$42.090.833</b>	<b>\$41.519.383</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$1.000.000	\$1.500.000	\$1.200.000	\$1.270.000	\$1.300.000
Salario anual	\$12.000.000	\$13.800.000	\$14.400.000	\$15.240.000	\$15.600.000
% de trabajo del operador	80%	80%	80%	80%	80%
Salario final	\$9.600.000	\$11.040.000	\$11.520.000	\$12.192.000	\$12.480.000
Prestaciones sociales	\$5.883.840	\$6.766.416	\$7.060.608	\$7.472.477	\$7.648.992
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.471	\$3.991	\$4.165	\$4.408	\$4.512
Horas extras	\$5.464.726	\$6.877.156	\$6.572.249	\$4.980.901	\$3.027.552
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$3.349.331	\$4.215.009	\$4.028.131	\$3.052.794	\$1.855.587
Bonificación por hora	2200	2200	2200	2200	2200
Costo bonificaciones	\$3.463.900	\$3.790.600	\$3.471.600	\$2.486.000	\$1.476.200
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$33.112.561</b>	<b>\$38.215.117</b>	<b>\$38.392.628</b>	<b>\$36.067.772</b>	<b>\$32.488.331</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$4.776.000	\$8.964.361	18988135	\$13.229.900	\$8.779.692
Costo consumibles	\$3.720.959	\$6.552.534	\$10.078.636	\$6.698.080	\$2.697.509
Gal/h	3	3	3	3	3
Costo combustible	\$29.013.296	\$33.828.210	\$35.090.207	\$27.189.495	\$16.719.978
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	\$41.110.255	\$52.945.105	\$67.756.978	\$50.717.475	\$31.797.179
COSTO TOTAL ANUAL	\$116.530.297	\$133.391.937	\$148.309.162	\$128.876.080	\$105.804.893
COSTO HORARIO	\$74.011	\$77.418	\$93.986	\$114.050	\$157.682
Administración central (10%)	\$11.653.030	\$13.339.194	\$14.830.916	\$12.887.608	\$10.580.489
COSTO ANUAL	\$128.183.327	\$146.731.131	\$163.140.078	\$141.763.688	\$116.385.382
COSTO HORARIO	\$81.412	\$85.160	\$103.384	\$125.455	\$173.451

Tabla 80. Costos históricos BW211.

Año de adquisición					
2009	\$126.897.429				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$110.000.000				
Horas de producción anual	561	1103	1645	1382	1454
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$12.689.743	\$12.689.743	\$12.689.743	\$12.689.743	\$12.689.743
Costo de capital	\$23.247.609	\$23.247.609	\$23.247.609	\$23.247.609	\$23.247.609
Seguros	\$1.591.098	\$1.515.331	\$1.443.173	\$1.374.450	\$803.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$37.528.450</b>	<b>\$37.452.683</b>	<b>\$37.380.524</b>	<b>\$37.311.802</b>	<b>\$36.740.352</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$650.000	\$680.000	\$700.000	\$740.600	\$800.000
Salario anual	\$2.600.000	\$8.160.000	\$8.400.000	\$8.887.200	\$9.600.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$2.600.000	\$8.160.000	\$8.400.000	\$8.887.200	\$9.600.000
Prestaciones sociales	\$1.593.540	\$5.001.264	\$5.148.360	\$5.446.965	\$5.883.840
Costo de horas extras por hora de máquina	\$2.039	\$2.134	\$2.196	\$2.324	\$2.510
Horas extras	\$1.144.089	\$2.353.251	\$3.612.831	\$3.211.260	\$3.650.042
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$701.212	\$1.442.307	\$2.214.304	\$1.968.181	\$2.237.111
Bonificación por hora	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000
Costo bonificaciones	\$561.000	\$1.103.000	\$1.645.000	\$1.382.000	\$1.454.200
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$11.950.606</b>	<b>\$23.585.758</b>	<b>\$26.760.536</b>	<b>\$26.779.206</b>	<b>\$28.825.193</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$12.000	\$3.688.855	561495	\$1.683.093	\$410.640
Costo consumibles	\$289.185	\$364.428	\$890.769	\$1.905.948	\$8.178.862
Gal/h	3	3	3	3	3

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Costo combustible	\$10.337.541	\$21.655.552	\$36.580.095	\$33.252.993	\$36.235.756
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	\$14.238.726	\$29.308.835	\$41.632.359	\$40.442.034	\$48.425.258
COSTO TOTAL ANUAL	\$63.717.782	\$90.347.276	\$105.773.419	\$104.533.042	\$113.990.802
COSTO HORARIO	\$113.579	\$81.910	\$64.300	\$75.639	\$78.387
Administración central (10%)	\$6.371.778	\$9.034.728	\$10.577.342	\$10.453.304	\$11.399.080
COSTO ANUAL	\$70.089.560	\$99.382.004	\$116.350.761	\$114.986.346	\$125.389.882
COSTO HORARIO	\$124.937	\$90.102	\$70.730	\$83.203	\$86.226

Tabla 81. Costos históricos SD77.

Año de adquisición			
2011	\$140.000.000		
<b>Año</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$120.000.000		
Horas de producción anual	588	1410	1192
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>			
Depreciación	\$14.000.000	\$14.000.000	\$14.000.000
Costo de capital	\$25.648.000	\$25.648.000	\$25.648.000
Seguros	\$1.574.370	\$1.499.400	\$876.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	\$41.222.370	\$41.147.400	\$40.524.000
<b>COSTO DE MANEJO</b>			
Salario mensual	\$770.000	\$814.660	\$850.000
Salario anual	\$9.240.000	\$9.775.920	\$10.200.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%
Salario final	\$9.240.000	\$9.775.920	\$10.200.000
Prestaciones sociales	\$5.663.196	\$5.991.661	\$6.251.580
Costo de horas extras por hora de máquina	\$2.274	\$2.406	\$2.510
Horas extras	\$1.335.837	\$3.391.957	\$2.991.920
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$818.734	\$2.078.930	\$1.833.748
Bonificación por hora	\$1.000	\$1.000	\$1.000
Costo bonificaciones	\$587.500	\$1.410.000	\$1.192.000
Alimentación y hospedaje	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	\$23.385.307	\$28.532.068	\$28.469.248
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>			
Costo mantenimiento y reparación	2727563	\$3.320.945	\$9.958.317



PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Costo consumibles	\$536.000	\$1.239.324	\$3.985.956
Gal/h	2,5	2,5	2,5
Costo combustible	\$10.886.933	\$28.272.263	\$24.751.880
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	\$17.750.496	\$36.432.532	\$42.296.153
COSTO TOTAL ANUAL	\$82.358.173	\$106.112.000	\$111.289.401
COSTO HORARIO	\$140.184	\$75.257	\$93.364
Administración central (10%)	\$8.235.817	\$10.611.200	\$11.128.940
COSTO ANUAL	\$90.593.991	\$116.723.200	\$122.418.341
COSTO HORARIO	\$154.203	\$82.782	\$102.700

Tabla 82. Costos históricos CA250-1.

Año de adquisición	
2013	\$170.000.000
<b>Año</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$150.000.000
Horas de producción anual	1242
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>	
Depreciación	\$17.000.000
Costo de capital	\$31.144.000
Seguros	\$1.095.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	\$49.239.000
<b>COSTO DE MANEJO</b>	
Salario mensual	\$770.000
Salario anual	\$9.240.000
% de trabajo del operador	100%
Salario final	\$9.240.000
Prestaciones sociales	\$5.663.196
Costo de horas extras por hora de máquina	\$2.510
Horas extras	\$3.117.420
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$1.910.667
Bonificación por hora	\$1.000
Costo bonificaciones	\$1.242.000
Alimentación y hospedaje	\$4.800.000
Viáticos	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	\$27.173.283

<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>	
Costo mantenimiento y reparación	\$0
Costo consumibles	\$1.568.862
Gal/h	3
Costo combustible	\$30.948.156
Otros gastos	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$36.117.018</b>
COSTO TOTAL ANUAL	\$112.529.301
COSTO HORARIO	\$90.603
Administración central (10%)	\$11.252.930
COSTO ANUAL	\$123.782.231
COSTO HORARIO	\$99.664

Tabla 83. Costos históricos CA250-2.

Año de adquisición	
2013	\$167.000.000
<b>Año</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$150.000.000
Horas de producción anual	853
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>	
Depreciación	\$16.700.000
Costo de capital	\$30.594.400
Seguros	\$1.095.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	<b>\$48.389.400</b>
<b>COSTO DE MANEJO</b>	
Salario mensual	\$770.000
Salario anual	\$9.240.000
% de trabajo del operador	100%
Salario final	\$9.240.000
Prestaciones sociales	\$5.663.196
Costo de horas extras por hora de máquina	\$2.510
Horas extras	\$2.141.030
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$1.312.237
Bonificación por hora	\$1.000
Costo bonificaciones	\$853.000
Alimentación y hospedaje	\$4.800.000
Viáticos	\$1.200.000

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	\$25.209.463
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>	
Costo mantenimiento y reparación	\$0
Costo consumibles	\$492.436
Gal/h	3
Costo combustible	\$21.255.054
Otros gastos	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	\$25.347.490
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	\$98.946.353
<b>COSTO HORARIO</b>	\$115.998
Administración central (10%)	\$9.894.635
<b>COSTO ANUAL</b>	\$108.840.989
<b>COSTO HORARIO</b>	\$127.598

Tabla 84. Costos históricos BG210B.

Año de adquisición					
2009	\$143.660.336				
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$115.000.000				
Horas de producción anual	129	375	392	271	89
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$14.366.034	\$14.366.034	\$14.366.034	\$14.366.034	\$14.366.034
Costo de capital	\$26.318.574	\$26.318.574	\$26.318.574	\$26.318.574	\$26.318.574
Seguros	\$1.663.420	\$1.584.210	\$1.508.771	\$1.436.925	\$839.500
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	\$42.348.027	\$42.268.817	\$42.193.378	\$42.121.532	\$41.524.107
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$600.000	\$750.000	\$780.000	\$810.000	\$850.000
Salario anual	\$2.400.000	\$9.000.000	\$9.360.000	\$9.720.000	\$10.200.000
% de trabajo del operador	100%	100%	100%	100%	100%
Salario final	\$2.400.000	\$9.000.000	\$9.360.000	\$9.720.000	\$10.200.000
Prestaciones sociales	\$1.470.960	\$5.516.100	\$5.736.744	\$5.957.388	\$6.251.580
Costo de horas extras por hora de máquina	\$1.619	\$2.024	\$2.105	\$2.186	\$2.294
Horas extras	\$208.889	\$759.044	\$825.192	\$592.419	\$204.166
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$128.028	\$465.218	\$505.760	\$363.093	\$125.133
Bonificación por hora	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000	\$2.000
Costo bonificaciones	\$258.000	\$750.000	\$784.000	\$542.000	\$178.000

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	\$9.816.641	\$22.016.299	\$22.951.737	\$23.058.500	\$22.958.879
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$0	\$0	\$2.097.551	\$1.985.143	\$2.488.107
Costo consumibles	\$572.300	\$275.000	\$249.384	\$929.187	\$160.080
Gal/h	2	2	2	2	2
Costo combustible	\$1.584.721	\$4.908.330	\$5.811.306	\$4.347.111	\$1.478.468
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	\$5.757.021	\$8.783.330	\$11.758.242	\$10.861.441	\$7.726.655
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>					
COSTO TOTAL ANUAL	\$57.921.690	\$73.068.446	\$76.903.357	\$76.041.473	\$72.209.641
COSTO HORARIO	\$449.005	\$194.849	\$196.182	\$280.596	\$811.344
Administración central (10%)	\$5.792.169	\$7.306.845	\$7.690.336	\$7.604.147	\$7.220.964
COSTO ANUAL	\$63.713.859	\$80.375.290	\$84.593.692	\$83.645.620	\$79.430.605
COSTO HORARIO	\$493.906	\$214.334	\$215.800	\$308.655	\$892.479

Tabla 85. Costos históricos LEEBOY.

Año de adquisición					
1996	\$66.461.373	10 años			
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor comercial actual	\$60.000.000				
Horas de producción anual	0	0	205	87	235
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación			\$0	\$0	\$0
Costo de capital			\$12.175.724	\$12.175.724	\$12.175.724
Seguros			\$787.185	\$749.700	\$438.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>			\$12.962.909	\$12.925.424	\$12.613.724
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual		INACTIVA	\$800.000	\$846.400	\$900.000
Salario anual			\$9.600.000	\$10.156.800	\$10.800.000
% de trabajo del operador			40%	40%	40%
Salario final			\$3.840.000	\$4.062.720	\$4.320.000
Prestaciones sociales			\$2.353.536	\$2.490.041	\$2.647.728
Costo de horas extras por hora de máquina			\$2.039	\$2.157	\$2.294
Horas extras			\$418.018	\$187.692	\$539.090
Prestaciones sociales sobre horas extras			\$256.203	\$115.036	\$330.408

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Bonificación por hora		\$2.000	\$2.000	\$2.000
Costo bonificaciones		\$410.000	\$174.000	\$470.000
Alimentación y hospedaje		\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos		\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>		\$13.017.797	\$12.913.090	\$14.307.226
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>				
Costo mantenimiento y reparación		\$587.212	\$419.880	\$1.824.398
Costo consumibles		\$133.000	\$280.000	\$184.436
Gal/h		2	2	2
Costo combustible		\$3.039.076	\$1.395.567	\$3.903.820
Otros gastos		\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>		\$7.359.288	\$5.695.447	\$9.512.654
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>		\$33.339.993	\$31.533.960	\$36.433.604
<b>COSTO HORARIO</b>		\$162.634	\$362.459	\$155.037
Administración central (10%)		\$3.333.999	\$3.153.396	\$3.643.360
<b>COSTO ANUAL</b>		\$36.673.993	\$34.687.356	\$40.076.964
<b>COSTO HORARIO</b>		\$178.898	\$398.705	\$170.540

Tabla 86. Costos históricos DD110.

Año de adquisición					
2009	\$94.643.316	10 años	\$52.053.826		
<b>Año</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Valor actual	\$90.000.000				
Horas de producción anual	983	205	425	479	723
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$9.464.332	\$9.464.332	\$9.464.332	\$9.464.332	\$9.464.332
Costo de capital	\$17.338.655	\$17.338.655	\$17.338.655	\$17.338.655	\$17.338.655
Seguros	\$1.301.807	\$1.239.816	\$1.180.778	\$1.124.550	\$657.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	\$28.104.794	\$28.042.803	\$27.983.765	\$27.927.537	\$27.459.987
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$770.000	\$810.000	\$800.000	\$950.000	\$988.200
Salario anual	\$6.160.000	\$9.720.000	\$9.600.000	\$11.400.000	\$11.858.400
% de trabajo del operador	60%	60%	60%	60%	60%
Salario final	\$3.696.000	\$5.832.000	\$5.760.000	\$6.840.000	\$7.115.040
Prestaciones sociales	\$2.265.278	\$3.574.433	\$3.530.304	\$4.192.236	\$4.360.808
Costo horas extras por hora trabajada	Costo fijo de tiempo extra y bonificaciones de \$500.000 mensuales				

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Horas extras					
<b>Costo operador</b>	\$5.961.278	\$9.406.433	\$9.290.304	\$11.032.236	\$11.475.848
Costo bonificaciones	\$6.000.000	\$6.000.000	\$6.000.000	\$6.000.000	\$6.000.000
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	\$23.273.321	\$30.338.802	\$30.320.648	\$33.948.072	\$34.951.696
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$321.000	\$1.535.000	\$4.732.637	\$1.311.505	\$1.909.528
Costo consumibles	\$599.600	\$408.000	\$260.000	\$879.784	\$1.118.288
Gal/h	3	3	3	3	3
Costo combustible	\$18.104.518	\$4.024.831	\$9.450.785	\$11.525.459	\$18.015.714
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	\$22.625.118	\$9.567.831	\$18.043.422	\$17.316.748	\$24.643.530
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	\$74.003.233	\$67.949.436	\$76.347.834	\$79.192.357	\$87.055.213
<b>COSTO HORARIO</b>	\$75.321	\$331.461	\$179.642	\$165.329	\$120.408
AIU 10%	\$7.400.323	\$6.794.944	\$7.634.783	\$7.919.236	\$8.705.521
<b>COSTO ANUAL</b>	\$81.403.557	\$74.744.380	\$83.982.618	\$87.111.592	\$95.760.734
<b>COSTO HORARIO</b>	\$82.853	\$364.607	\$197.606	\$181.861	\$132.449

Tabla 87. Costos históricos HYSTER.

Año	2009	2010	2011	2012	2013
Valor comercial actual	\$60.000.000				
Horas de producción anual	251	205	411	449	676
<b>COSTO DE PROPIEDAD</b>					
Depreciación	\$6.463.422	\$6.463.422	\$6.463.422	\$6.463.422	\$6.463.422
Costo de capital	\$11.840.988	\$11.840.988	\$11.840.988	\$11.840.988	\$11.840.988
Seguros	\$867.871	\$826.544	\$787.185	\$749.700	\$438.000
<b>TOTAL COSTO PROPIEDAD</b>	\$19.172.281	\$19.130.954	\$19.091.595	\$19.054.110	\$18.742.410
<b>COSTO DE MANEJO</b>					
Salario mensual	\$750.000	\$780.000	\$670.000	\$708.860	\$770.400
Salario anual	\$3.000.000	\$9.360.000	\$8.040.000	\$8.506.320	\$9.244.800
% de trabajo del operador	60%	60%	60%	60%	60%
Salario final	\$1.800.000	\$5.616.000	\$4.824.000	\$5.103.792	\$5.546.880
Prestaciones sociales	\$1.103.220	\$3.442.046	\$2.956.630	\$3.128.114	\$3.399.683
Costo de horas extras por hora de máquina	\$3.234	\$3.363	\$2.889	\$3.057	\$3.322
Horas extras	\$811.743	\$689.496	\$1.187.408	\$1.372.430	\$2.245.672
Prestaciones sociales sobre horas extras	\$497.517	\$422.592	\$727.762	\$841.162	\$1.376.372

*PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL*

Bonificación por hora	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000	\$1.000
Costo bonificaciones	\$251.000	\$205.000	\$411.000	\$449.000	\$676.000
Alimentación y hospedaje	\$4.280.612	\$4.420.749	\$4.592.032	\$4.706.880	\$4.800.000
Viáticos	\$1.070.153	\$1.105.187	\$1.148.008	\$1.176.720	\$1.200.000
<b>TOTAL COSTO MANEJO</b>	<b>\$9.814.244</b>	<b>\$15.901.071</b>	<b>\$15.846.840</b>	<b>\$16.778.098</b>	<b>\$19.244.607</b>
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>					
Costo mantenimiento y reparación	\$0	\$0	\$0	\$123.018	\$1.756.122
Costo consumibles	\$76.284	\$532.000	\$54.752	\$4.804.580	\$517.079
Gal/h	2	2	2	2	2
Costo combustible	\$3.083.450	\$2.683.220	\$6.092.976	\$7.202.409	\$11.229.712
Otros gastos	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000	\$3.600.000
<b>TOTAL COSTO OPERACIÓN</b>	<b>\$6.759.734</b>	<b>\$6.815.220</b>	<b>\$9.747.728</b>	<b>\$15.730.007</b>	<b>\$17.102.913</b>
<b>COSTO TOTAL ANUAL</b>	<b>\$35.746.259</b>	<b>\$41.847.246</b>	<b>\$44.686.163</b>	<b>\$51.562.215</b>	<b>\$55.089.930</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$142.415</b>	<b>\$204.133</b>	<b>\$108.725</b>	<b>\$114.838</b>	<b>\$81.494</b>
Administración central (10%)	\$3.574.626	\$4.184.725	\$4.468.616	\$5.156.221	\$5.508.993
<b>COSTO ANUAL</b>	<b>\$39.320.885</b>	<b>\$46.031.970</b>	<b>\$49.154.780</b>	<b>\$56.718.436</b>	<b>\$60.598.923</b>
<b>COSTO HORARIO</b>	<b>\$156.657</b>	<b>\$224.546</b>	<b>\$119.598</b>	<b>\$126.322</b>	<b>\$89.643</b>

### 19.3 Producción maquinaria

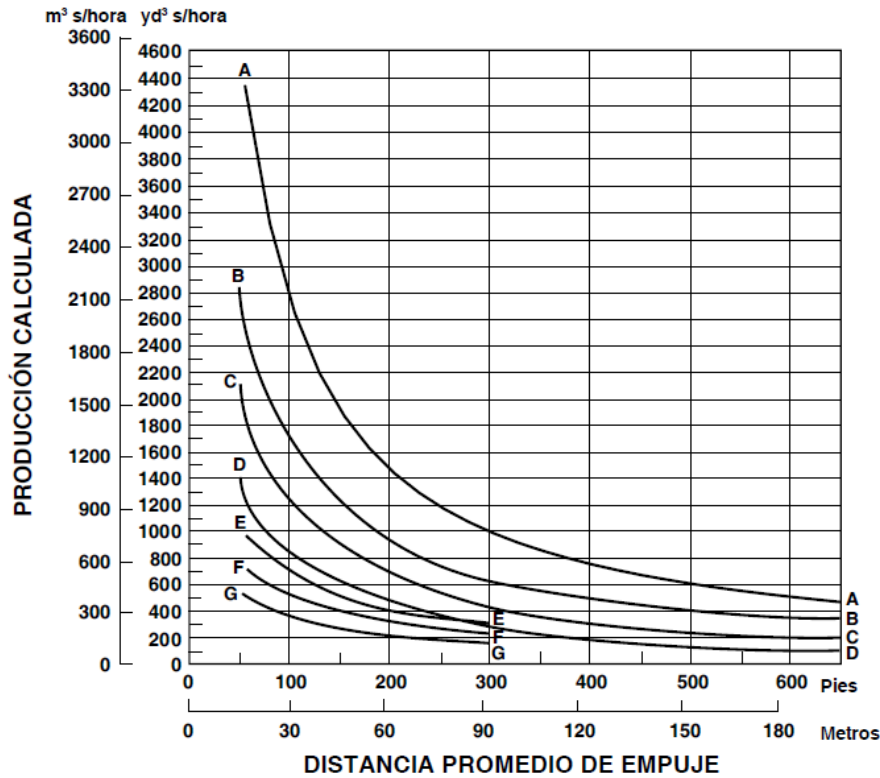


Ilustración 11. Gráfica de producción para tractores de orugas según distancia promedio de empuje(Caterpillar, 2010).

## 19.4 Juicio de expertos

Tabla 88. Inversión en infraestructura de transporte en Colombia(Vera, 2013).

Inversión en infraestructura de transporte	
Año	%PIB
2002	0,70
2003	0,60
2004	0,70
2005	0,80
2006	0,85
2007	0,90
2008	1,00
2009	1,50
2010	1,60
2011	1,70
2012	2,00
2013	2,20



## 19.5 Precios unitarios

Tabla 89. Muestra de licitaciones para la determinación de los precios unitarios.

N° Obra	Entidad	Obra
1	INVÍAS	MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA: SARDINATA - CUCUTA, SECTOR SARDINATA – EL ZULIA ENTRE EL PR0+0000 AL PR10+0000; RUTA 70 TRAMO 09
2	INVÍAS	CONSTRUCCIÓN Y PAVIMENTACIÓN CARRETERA BADILLO - SAN JUAN DEL CESAR, RUTA 8004A EN LOS DEPARTAMENTOS DEL CESAR Y GUAJIRA
3	INVÍAS	MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA PUERTO LOPEZ - PUERTO GAITAN (RUTA 4008), DEPARTAMENTO DEL META.
4	INVÍAS	MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA PUENTE NACIONAL- BUCARAMANGA(PALENQUE), SECTOR Oiba - Bucaramanga (Palenque), DEPARTAMENTO DE SANTANDER
5	INVÍAS	MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA BARRANCA DE UPIA - MONTERREY - AGUAZUL DEPARTAMENTO DE CASANARE
6	INVÍAS	MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL SECTOR PR32+0500 AL PR36+0000 DE LA CARRETERA PASTO - MOJARRAS, RUTA 2502. DEPARTAMENTO DE NARIÑO.
7	INVÍAS	CONSTRUCCION DEL PUENTE SAN JORGE EN LA CARRETERA CAUCASIA - PLANETA RICA, RUTA 2513, DEPARTAMENTO DE CORDOBA.
8	INVÍAS	MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA PUERTO GAITAN - PUENTE ARIMENA RUTA 4009, DEPARTAMENTO DEL META
9	INVÍAS	GESTIÓN PREDIAL, SOCIAL, AMBIENTAL Y MEJORAMIENTO DE LA TRONCAL NORTE DE NARIÑO ENTRE EL PR60+240 AL PR66+090 EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO
10	INVÍAS	GESTIÓN PREDIAL, SOCIAL, AMBIENTAL Y TERMINACIÓN DE ACCESOS AL TÚNEL DE LA LÍNEA - OBRAS ANEXAS DEL PROYECTO "CRUCE DE LA CORDILLERA CENTRAL"
11	INVÍAS	MEJORAMIENTO Y CONSTRUCCION, GESTIÓN SOCIAL, PREDIAL Y AMBIENTAL DEL PROYECTO: ESPRIELLA - RIO MATAJE EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO
12	INVÍAS	MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA CAUYA - SUPIA - LA PINTADA, RUTA 2508, SECTOR CAUYA-SUPIA-LA FELISA (PR00+0000 - PR61+0000)
13	INVÍAS	MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS LOS PATIOS-LA CALERA-GUASCA Y EL SALITRE-BRICEÑO. DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA
14	INVÍAS	MEJORAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA ANSERMANUEVO – LA VIRGINIA. RUTA 23 TRAMO 2302
15	Gobernación de Antioquia	MEJORAMIENTO DE SUPERFICIE DE RODADURA MEDIANTE ESTABILIZACIÓN, BACHEO, DOBLE RIEGOS, IMPRIMACIÓN REFORZADA Y OTROS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE LAS SUBREGIONES DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA
16	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS: MONTERREY - YOPAL- LA CABUYA SECTOR AGUAZUL - YOPAL - HATO COROZAL, RUTA 65 TRAMOS 6512, 6513 Y 6514, DEPARTAMENTO DEL CASANARE

PLAN DE REPOSICIÓN A CINCO AÑOS DE MAQUINARIA UTILIZADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

17	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS: BUCARAMANGA - SAN ALBERTO, SECTOR RIO NEGRO - SAN ALBERTO RUTA 45A08; BARRANCABERMEJA - CRUCE RUTA 45 (LA LIZAMA) RUTA 66 TRAMO 6602 DEPARTAMENTO DE SANTANDER
18	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA (HATILLO CRUCE DON MATIAS) - TARAZA, RUTA 25 TRAMO 2510 Y 2511, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.
19	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS: MOJARRAS - POPAYÁN RUTA 25 TRAMO 2503. Y VARIANTE DE POPAYÁN RUTA 25CCB, DEPARTAMENTO DEL CAUCA.
20	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA SINCELEJO - CALAMAR - BARRANQUILLA, SECTOR CARRETO - CALAMAR - PR54+0000, RUTA 25 TRAMOS 2515 Y 2516. DEPARTAMENTOS DE BOLÍVAR Y ATLÁNTICO
21	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS: SAN JUAN DE PASTO - MOJARRAS, SECTOR CANO MOJARRAS, RUTA 25 TRAMO 2502. Y CEBADAL - SANDONÁ - PASTO, SECTOR LA FLORIDA -PASTO RUTA 2501B, DEPARTAMENTO DE NARIÑO.
22	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS: PEREIRA - MANIZALES, SECTOR CHINCHINÁ - ESTACIÓN URIBE. RUTA 29 TRAMO 2902; TRES PUERTAS - PUENTE LIBERTAD, SECTOR TRES PUERTAS - LA MANUELA RUTA 50 TRAMO 5005; TRES PUERTAS - LA ESTRELLA. RUTA 50CLO2; QUIEBRA DE VÉLEZ - IRRÁ - LA FELISA, SECTOR LA ESTRELLA - LA FELISA RUTA 29 TRAMO 2903; CAUYA - LA PINTADA, SECTOR LA FELISA - LA PINTADA RUTA 25 TRAMO 2508 DEPARTAMENTOS DE CALDAS.
23	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS: ALTAMIRA- ORRAPIHUASI -DEPRESION EL VERGEL-FLORENCIA RUTA 2003 Y 2003A; PITALITO - GARZÓN RUTA 45 TRAMO 4504. Y VARIANTE DE GARZÓN RUTA 45HL, DEPARTAMENTOS DE CAQUETA Y HUILA.
24	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS: GARZÓN - RIO LORO - NEIVA RUTA 45 TRAMO 4505 Y CANDELARIA - LABERINTO, SECTOR LA PLATA - LABERINTO, RUTA 24 TRAMO 2402. DEPARTAMENTO DEL HUILA
25	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS: BARBOSA - TUNJA RUTA 62 TRAMO 6209 Y CHIQUINQUIRA - TUNJA RUTA 60 TRAMO 6008, DEPARTAMENTO DE BOYACA
26	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA: LORICA-CHINÚ, RUTA 78 TRAMO 7801; LORICA- SAN ONOFRE, SECTOR LORICA - COVENAS - TOLÚ-TOLUVIEJO, RUTA 90 TRAMO 9004. DEPARTAMENTOS DE CÓRDOBA Y SUCRE.
27	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA PUERTO ARAUJO - LANDÁZURI - BARBOSA, SECTORES PUERTO ARAUJO - CIMITARRA Y LANDÁZURI - BARBOSA RUTA 62 TRAMOS 6207 Y 6208, DEPARTAMENTO DE SANTANDER.
28	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LAS CARRETERAS: DUITAMA -RUTA 55 TRAMO 5503 Y SOGAMOSO - AGUAZUL, SECTOR SOGAMOSO - EL CRUCERO RUTA 62 TRAMO 6211. DEPARTAMENTO DE BOYACA
29	INVÍAS	MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE LAS CARRETERAS EL TIGRE - DABEIBA - SANTAFÉ DE ANTIOQUIA, RUTA 62 TRAMO 6202 Y 6203, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.

30	INVÍAS	CONSTRUCCION DE LA SEGUNDA CALZADA DEL SECTOR PRIMAVERA (PR95+000) - CAMILO C (81+900) EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA (INCLUYE GESTIÓN SOCIAL, PREDIAL Y AMBIENTAL)
----	--------	--

Tabla 90. Precio promedio de actividades para excavadoras de orugas.

N° Obra	Actividad	
	Excavación en material común de la explanación y canales	Remoción de derrumbes
1	-	-
2	\$3.625	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	-	-
7	\$5.146	-
8	-	-
9	\$3.500	-
10	\$4.611	\$2.306
11	\$2.800	-
12	-	-
13	-	\$3.596
14	-	-
15	-	-
16	\$4.500	\$2.000
17	\$2.660	-
18	\$5.435	\$3.261
19	\$2.000	\$2.400
20	-	\$2.260
21	\$4.167	\$2.500
22	\$3.300	-
23	\$4.500	\$2.700
24	-	\$2.667
25	-	\$3.200
26	-	-
27	\$3.625	\$2.900
28	\$5.333	\$3.200
29	\$5.435	\$3.261
30	\$2.838	-
Promedio	\$3.967	\$2.789

**Tabla 91. Precio promedio de actividades para cargadores sobre llantas.**

	<b>Actividad</b>
<b>N° Obra</b>	<b>Remoción de derrumbes</b>
1	-
2	-
3	-
4	\$3.488
5	-
6	-
7	-
8	-
9	\$2.222
10	-
11	\$2.222
12	\$2.255
13	-
14	-
15	-
16	-
17	\$1.700
18	-
19	-
20	-
21	-
22	\$2.167
23	-
24	-
25	-
26	-
27	-
28	-
29	-
30	\$3.639
Promedio	\$2.528

Tabla 92. Precio promedio de actividades para tractores sobre orugas.

N° Obra	Actividad	
	Conformación de terraplén	Disposición de materiales en zona de deposito
1	-	-
2	\$2.333	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	-	-
7	\$2.459	-
8	\$3.250	-
9	-	-
10	\$2.784	\$1.740
11	\$2.500	-
12	-	-
13	-	-
14	-	-
15	-	-
16	\$2.000	-
17	\$2.568	-
18	\$3.024	-
19	-	-
20	-	-
21	-	-
22	-	-
23	\$2.780	-
24	-	-
25	\$2.140	-
26	-	-
27	\$1.700	-
28	-	-
29	-	-
30	\$3.275	-
Promedio	\$2.568	\$1.740

Tabla 93. Precio promedio de actividades para motoniveladoras.

N° Obra	Actividad	
	Nivelación de sub-base	Nivelación de base
1	-	-
2	\$4.000	\$4.667
3	-	\$4.800
4	\$8.649	\$8.889
5	-	-
6	\$2.857	\$3.333
7	\$6.147	\$6.147
8	-	\$4.800
9	\$3.125	\$4.971
10	\$4.971	-
11	\$5.000	\$5.000
12	\$3.331	\$4.442
13	-	-
14	\$4.162	\$4.162
15	-	-
16	\$2.857	\$3.333
17	\$3.363	\$3.923
18	\$4.237	\$4.237
19	\$3.143	\$3.143
20	-	-
21	\$2.857	\$3.333
22	\$3.429	\$4.000
23	\$3.971	\$4.633
24	\$3.971	\$4.633
25	\$3.057	\$3.567
26	\$3.971	\$4.633
27	\$3.143	\$3.667
28	\$3.057	\$3.567
29	\$4.943	-
30	\$3.275	\$3.275
Promedio	\$3.979	\$4.398

Tabla 94. Precio promedio de actividades para compactadores.

N° Obra	Actividad			
	Compactación de mezcla densa en caliente tipo MCD-2	Compactación de terraplenes	Compactación de sub-base	Compactación de base
1	\$4.176	-	-	-
2	\$5.333	\$1.333	\$2.286	\$2.667
3	\$4.400	-	-	\$4.000
4	\$7.750	\$3.720	\$5.027	\$5.167
5	\$3.570	-	-	-
6	\$7.000	-	\$2.143	\$2.500
7	\$6.112	\$2.037	\$5.093	\$5.093
8	-	\$2.000	-	\$4.000
9	-	-	\$2.000	-
10	-	\$2.567	\$3.300	\$3.300
11	\$5.868	\$1.600	\$3.200	\$3.200
12	\$4.393	-	\$2.306	\$3.075
13	\$4.058	-	-	-
14	\$6.341	\$1.057	\$2.378	\$2.378
15	-	-	-	-
16	\$6.000	\$1.800	\$2.714	\$3.167
17	-	\$2.032	\$2.903	\$3.387
18	\$5.933	\$2.871	\$2.662	\$2.662
19	\$5.000	-	\$2.286	\$2.286
20	-	-	-	-
21	\$4.667	-	\$2.143	\$2.500
22	\$5.466	-	\$2.571	\$3.000
23	\$8.533	\$1.700	\$2.429	\$2.833
24	-	-	\$2.446	\$2.853
25	\$5.333	\$1.712	\$2.446	\$2.853
26	\$4.666	-	\$2.743	\$3.200
27	\$4.666	\$1.500	\$2.143	\$2.500
28	\$5.333	-	\$2.446	\$2.853
29	\$5.360	-	\$3.105	-
30	\$3.093	\$2.320	\$2.320	\$2.320
Promedio	\$5.403	\$2.018	\$2.743	\$3.121

**Tabla 95. Precio promedio de actividades para pavimentadoras.**

<b>Actividad</b>	
<b>N° Obra</b>	<b>Colocación de mezcla asfáltica</b>
1	\$5.336
2	\$8.333
3	\$7.600
4	\$13.333
5	\$5.460
6	\$7.667
7	\$8.584
8	-
9	-
10	-
11	\$7.721
12	\$8.786
13	\$7.798
14	\$10.749
15	-
16	\$8.333
17	\$9.067
18	\$10.405
19	\$8.000
20	\$9.667
21	\$7.667
22	\$12.000
23	\$10.333
24	\$8.333
25	\$9.000
26	\$7.667
27	\$7.667
28	\$8.333
29	\$10.496
30	-
<b>Promedio</b>	<b>\$8.875</b>



**Tabla 96. Precio promedio de actividades para retroexcavadoras cargadoras.**

N° Obra	Actividad
	Excavaciones varias sin clasificar
1	-
2	\$4.815
3	-
4	-
5	-
6	\$4.038
7	-
8	\$3.333
9	\$3.800
10	\$3.712
11	\$3.800
12	\$3.417
13	\$5.870
14	-
15	\$5.351
16	\$3.333
17	\$3.567
18	\$4.238
19	\$3.333
20	\$5.650
21	\$4.200
22	\$3.167
23	-
24	-
25	-
26	\$5.000
27	\$4.250
28	-
29	\$4.238
30	-
Promedio	\$4.237

Tabla 97. Precios unitarios para la producción de materiales granulares.

Máquina	Costo
Excavadora de orugas	\$2.100
Cargador	\$2.000

Estos precios son los estimados por la empresa de acuerdo con su producción interna de materiales granulares.

## 19.6 Proyección de variables

### Range of Typical Lifetime Repair Costs from the Literature [2,5,6]

Equipment Type	Initial Cost without Tires (%)		
	Operating Conditions		
	Favorable	Average	Unfavorable
Crane	40-45	50-55	60-70
Excavator crawler	50-60	70-80	90-95
Excavator wheel	75	80	85
Loader track	80-85	90	100-105
Loader wheel	50-55	60-65	75
Motor grader	45-50	50-55	55-60
Scraper	85	90-95	105
Tractor crawler	85	90	95
Tractor wheel	50-55	60-65	75
Truck, off-highway	70-75	80-85	90-95

Ilustración 12: Factor de condición de operación propuesto por Construction Equipment for Engineers, Estimators, and Owners(Gransberg P. &, 2006).

Tabla 98. Variación anual del salario mínimo legal en Colombia para periodo 2009-2013(Banco de la República, 2014).

Año	Incremento salarial
2009	7,7%
2010	3,6%
2011	4,0%
2012	5,8%
2013	4,0%
Promedio	5,0%

Tabla 99. Inflación proyectada para periodo 2014-2018(Grupo Bancolombia, 2014).

Año	Inflación proyectada Colombia
2014	2,80%
2015	3,43%
2016	3,63%
2017	3,48%
2018	3,33%

Tabla 100. Inflación proyectada para periodo 2014-2018 Estados Unidos(Fondo Monetario Internacional, 2014).

Año	Inflación proyectada Estados Unidos
2014	1,40%
2015	1,60%
2016	1,80%
2017	1,99%
2018	1,98%

Tabla 101. ICCP histórico para el grupo equipos(DANE, 2014).

Año	Equipos
2000	81,58
2001	85,73
2002	87,05
2003	93,46
2004	97,14
2005	100,00
2006	104,87
2007	111,21
2008	117,93
2009	119,42
2010	120,35
2011	122,44
2012	125,49
2013	126,21

## 19.7 Costo del capital

Tabla 102. Prima de riesgo para Explanan S. A.

PRIMA RIESGO COMPAÑÍA			
Factor	Puntaje 0-4	Menor riesgo	Mayor riesgo
		<b>0</b>	<b>4</b>
Tamaño de la compañía	3	Multinacional	Pequeña
Acceso a capital patrimonial	2	Transa en Bolsa	Unipersonal
Acceso a capital financiero	2	Muy fácil	Imposible
Participación de mercado	3	Monopolio	Pequeño
Nivel de la gerencia	1	Muy preparado	Experiencial
Dependencia de empleados claves	3	Atomización	Único gerente
Capacidad de acceso a publicidad y mercadeo	3	Disponibilidad ilimitada	No disponibilidad
Flexibilidad líneas de producción	1	Muy flexible	Rigidez absoluta
Producción propia	1	100%	0%

Concentración proveedores	2	Atomización	Único proveedor
Concentración de clientes	3	Atomización	Único cliente
Posibilidad de economías de escala	2	Alta	Nula
Capacidad de distribución	2	Cobertura ilimitada	Difícil cobertura
Manejo de información integrada	3	SI Integrado	Información manual
Sistema de auditoría	3	Permanente	Inexistente
Sistemas de Calidad	3	Certificado	No existente
Riesgo geográfico	2	Zona de alta seguridad	Zona de baja seguridad
Sistema de manejo ambiental	2	Certificado	No existente
Prima máxima	4,80%		
<b>Total prima compañía</b>	<b>2,7%</b>		

### 19.8 Resultados modelo de reposición

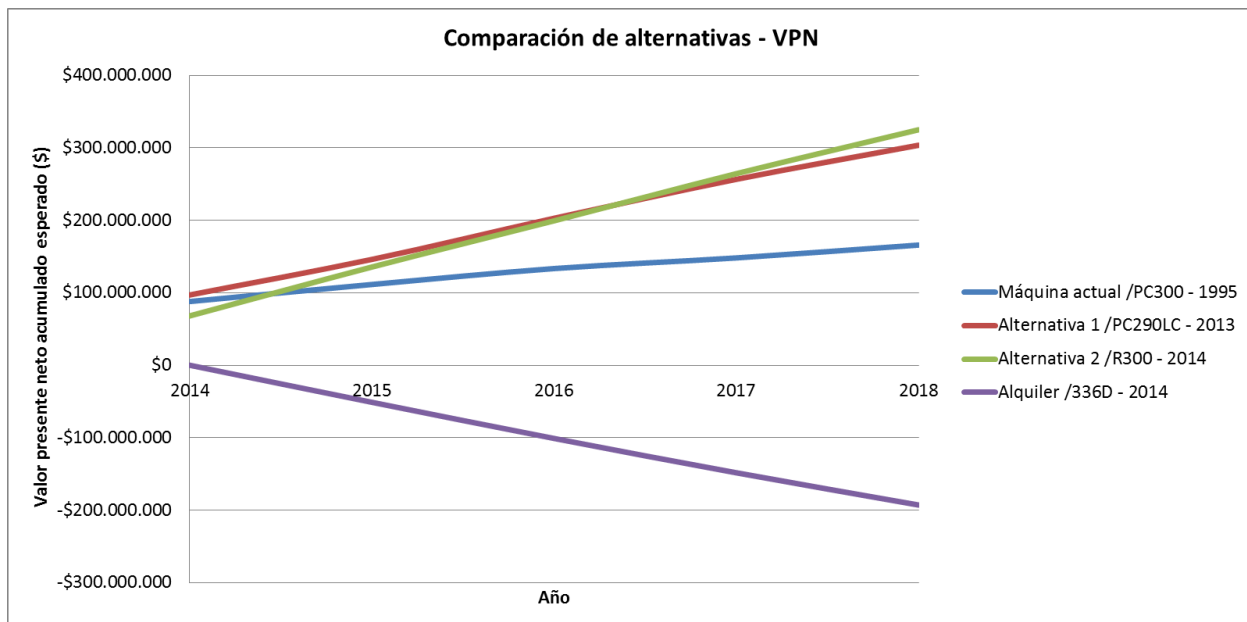


Ilustración 13. Resultados PC300-1.

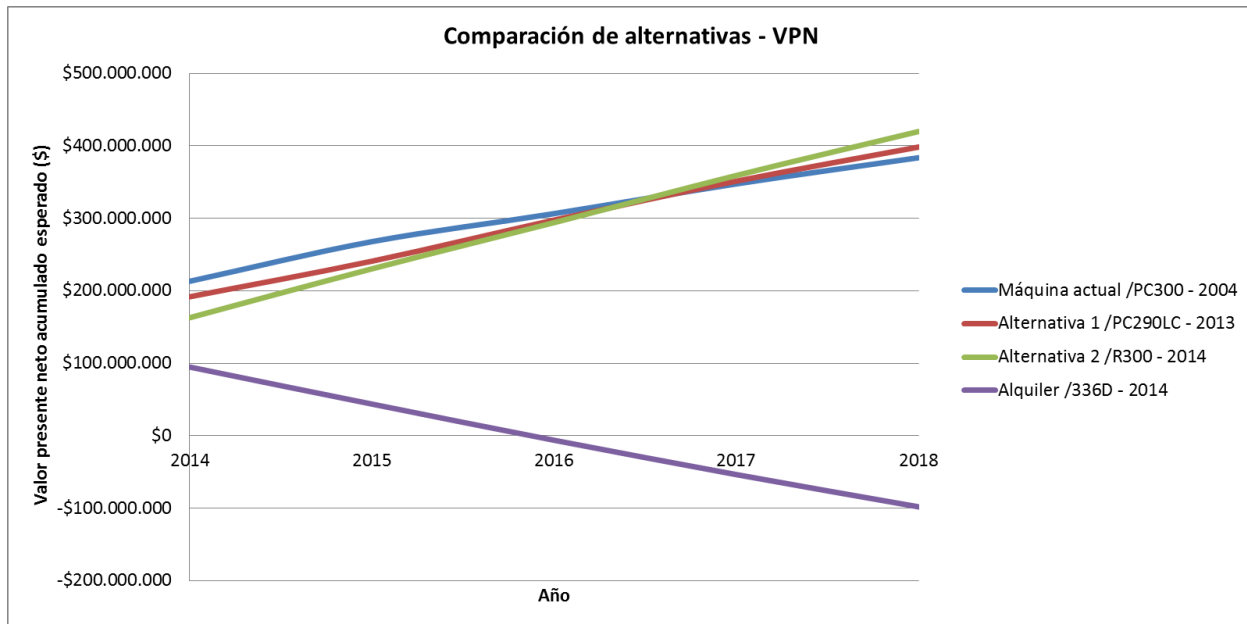


Ilustración 14. Resultados PC300-3.

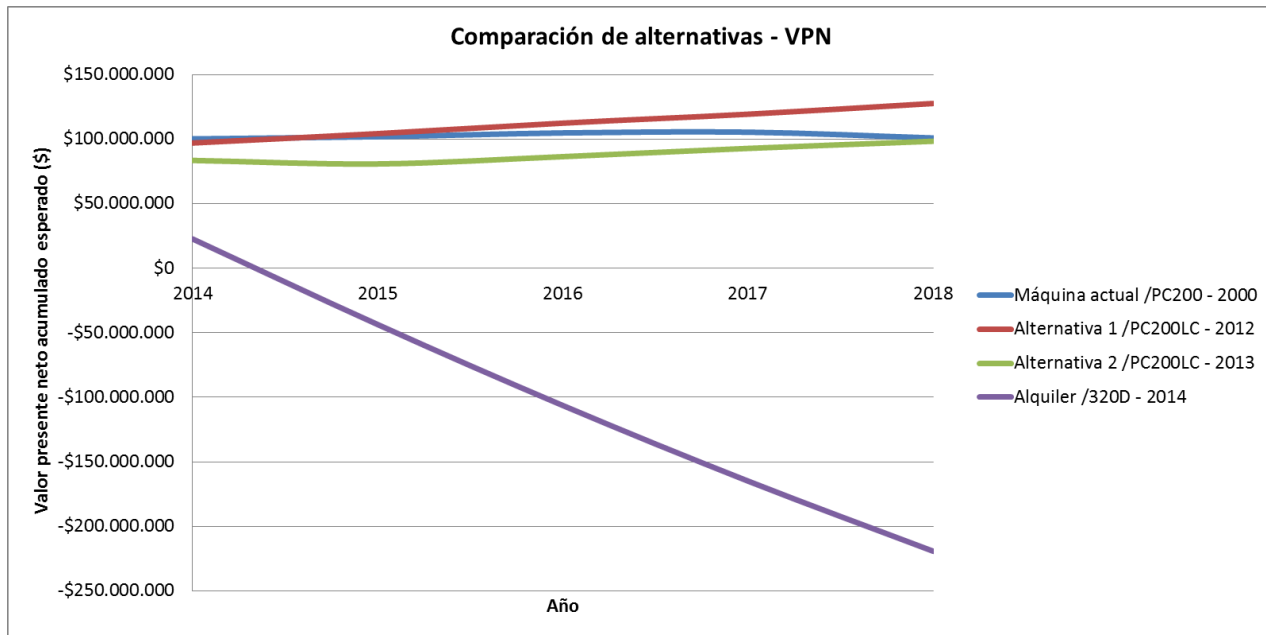


Ilustración 15. Resultados PC200.

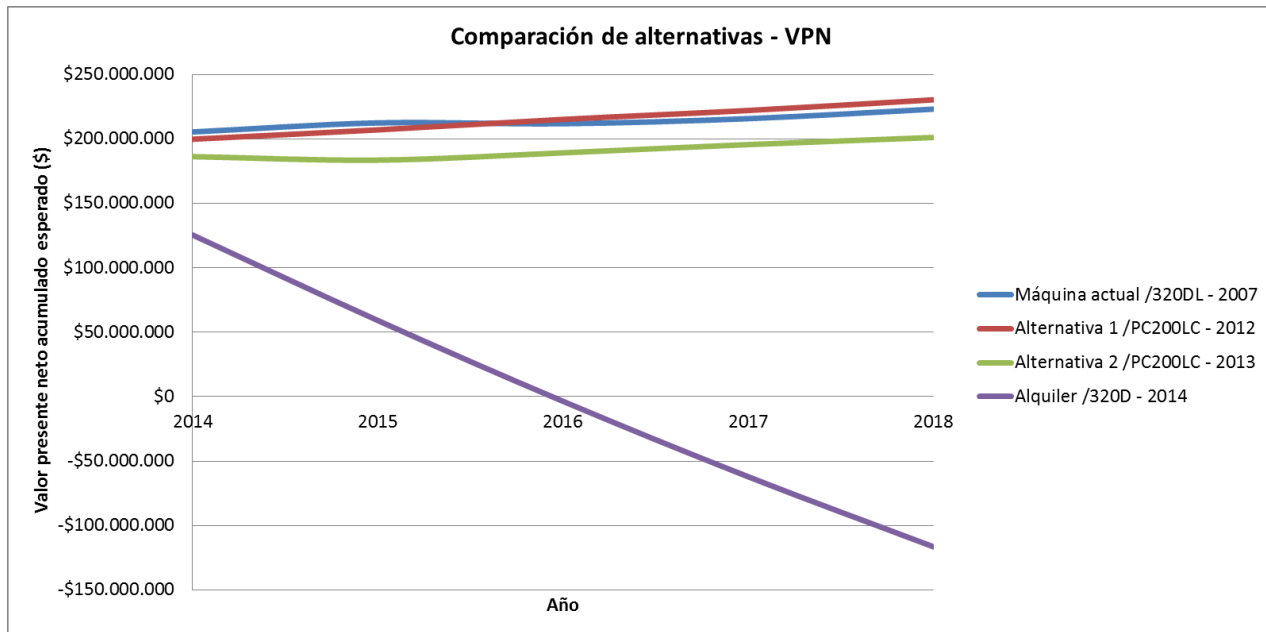


Ilustración 16. Resultados 320DL.

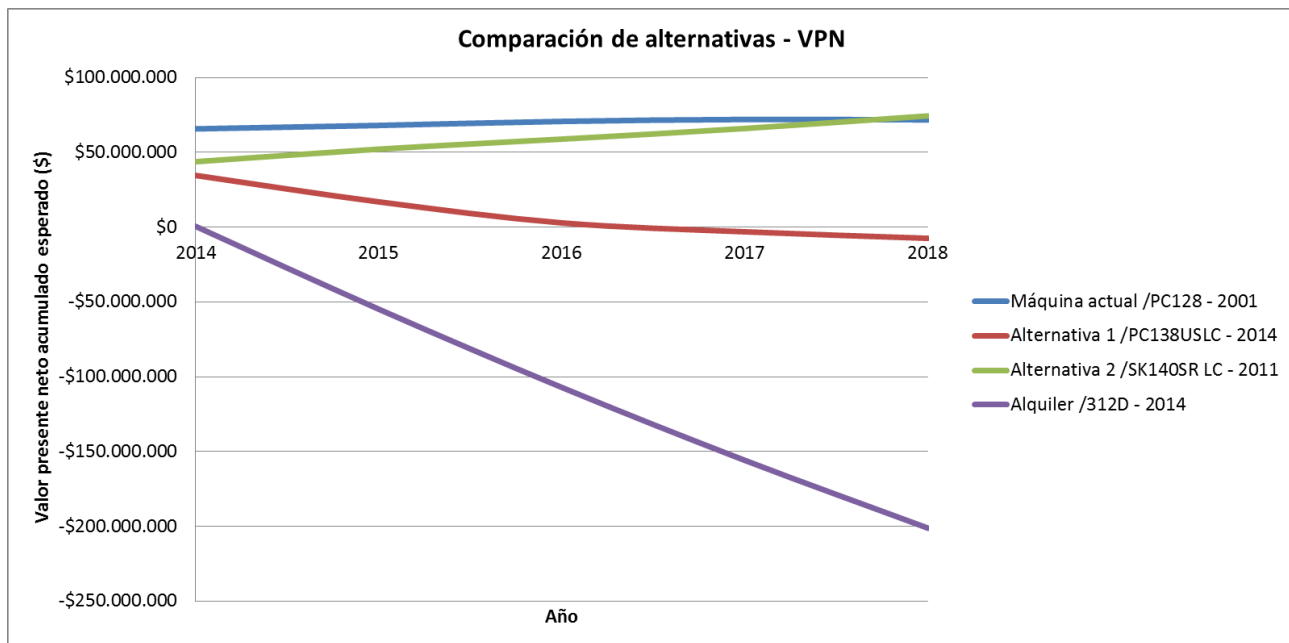


Ilustración 17. Resultados PC128.

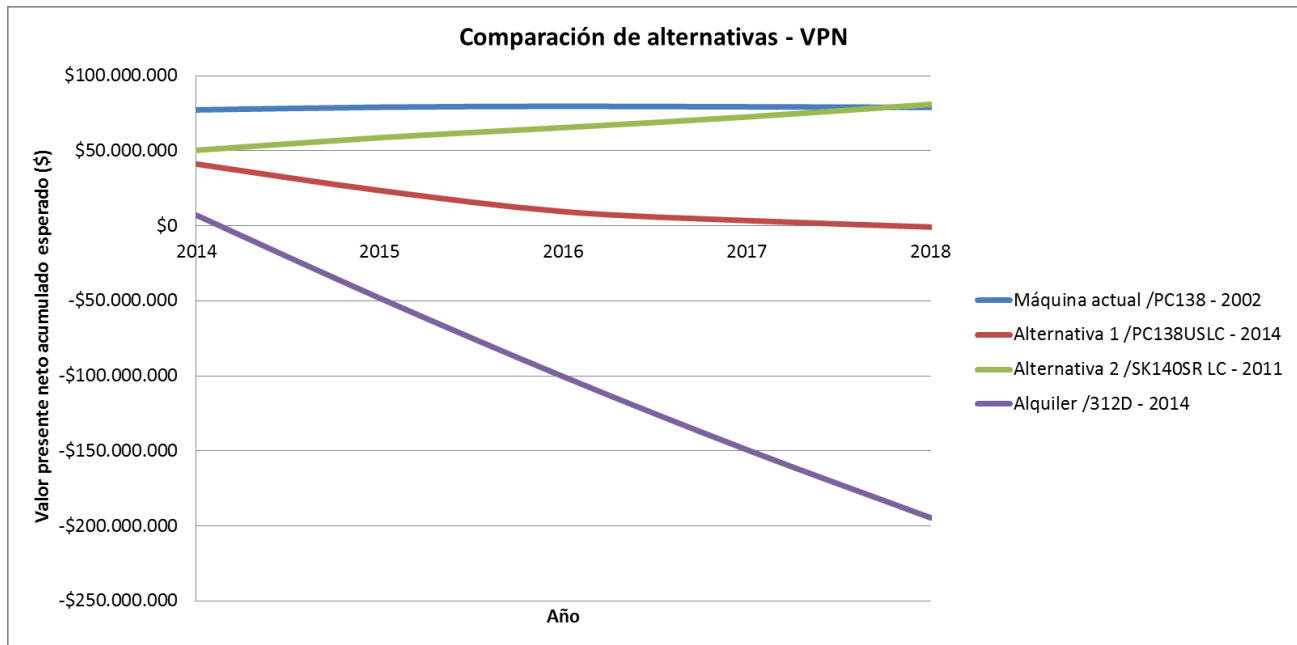


Ilustración 18. Resultados PC138.

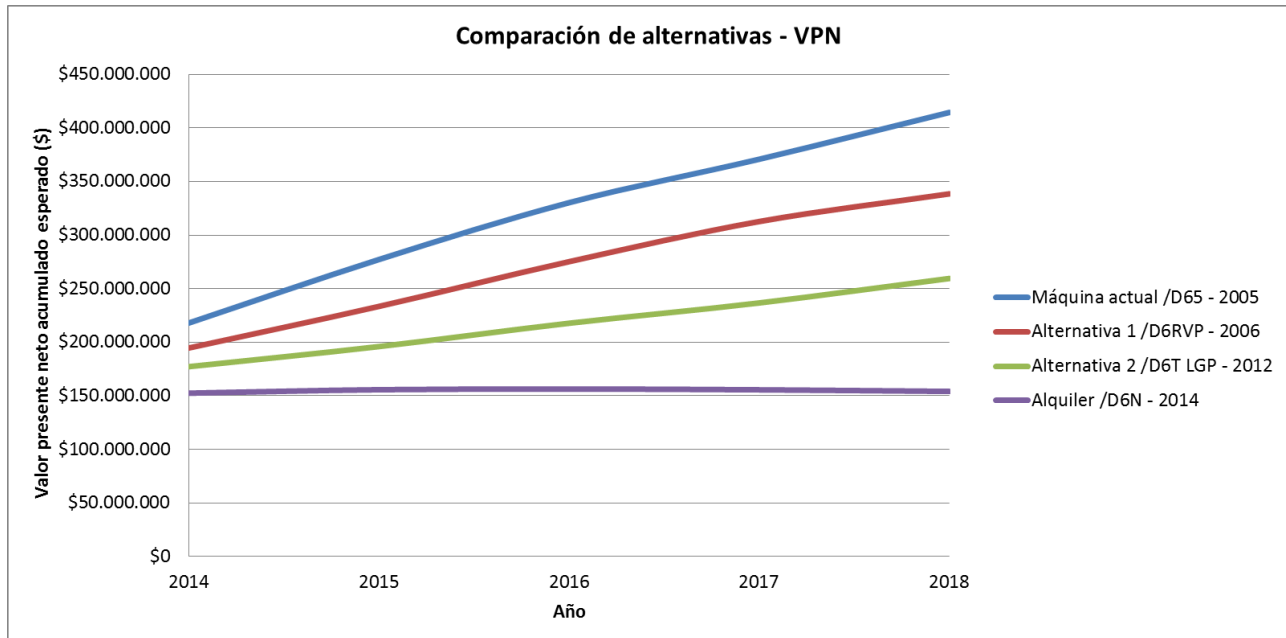


Ilustración 19. Resultados D65.

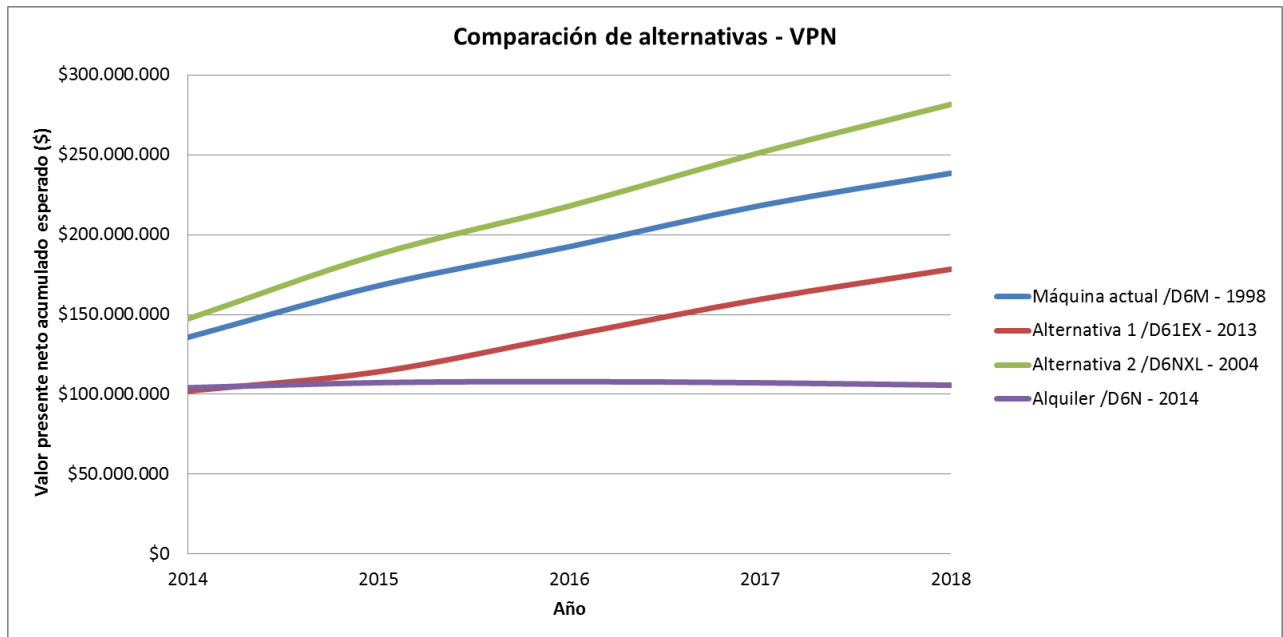


Ilustración 20. Resultados D6M.

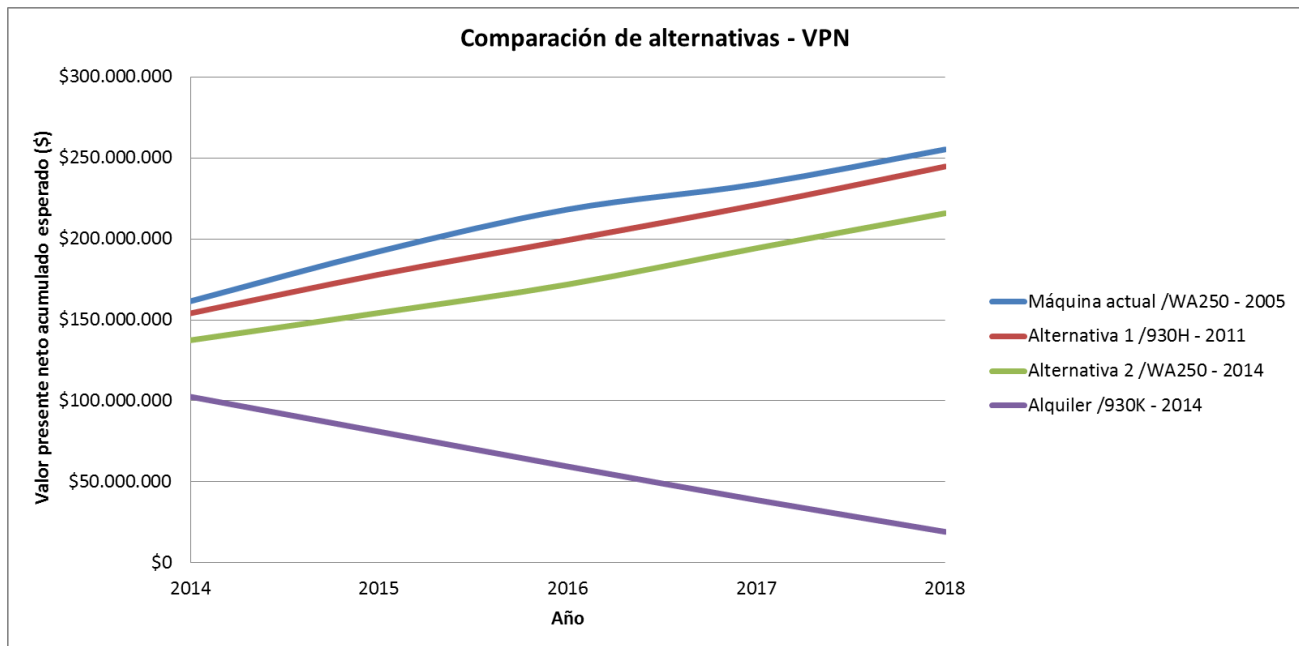


Ilustración 21. Resultados WA250.



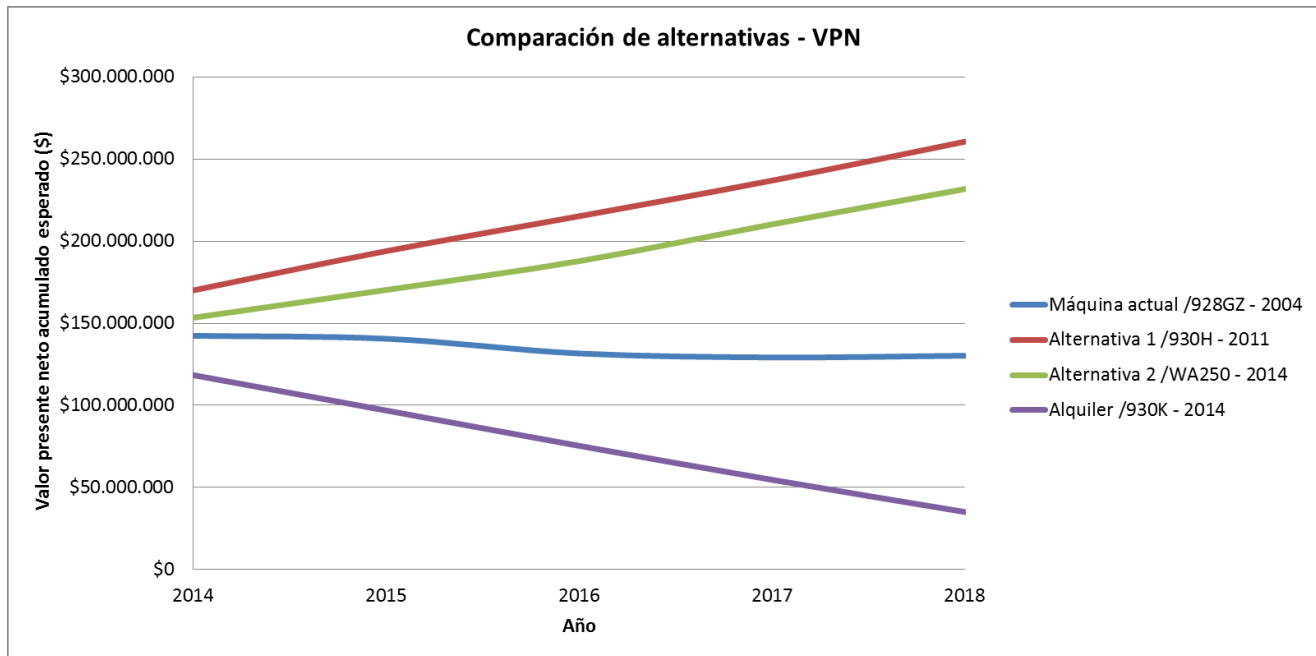


Ilustración 22. Resultados 928GZ.

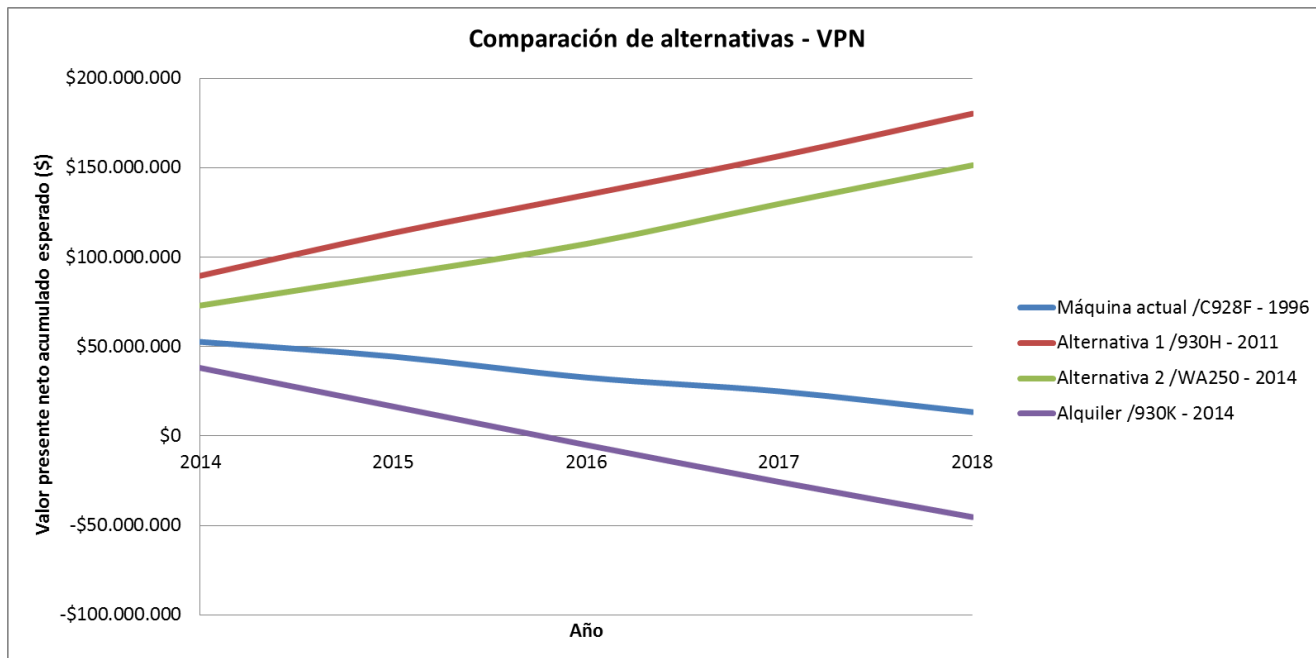


Ilustración 23. Resultados C928F.

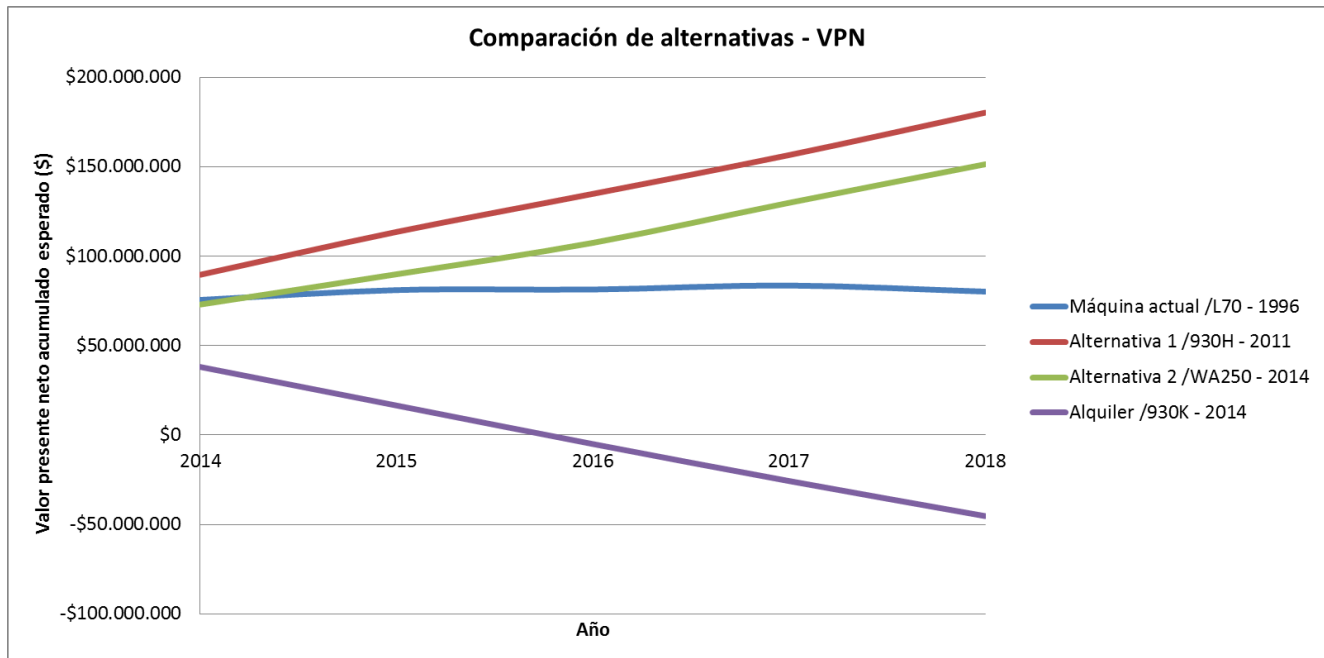


Ilustración 24. Resultados L70.

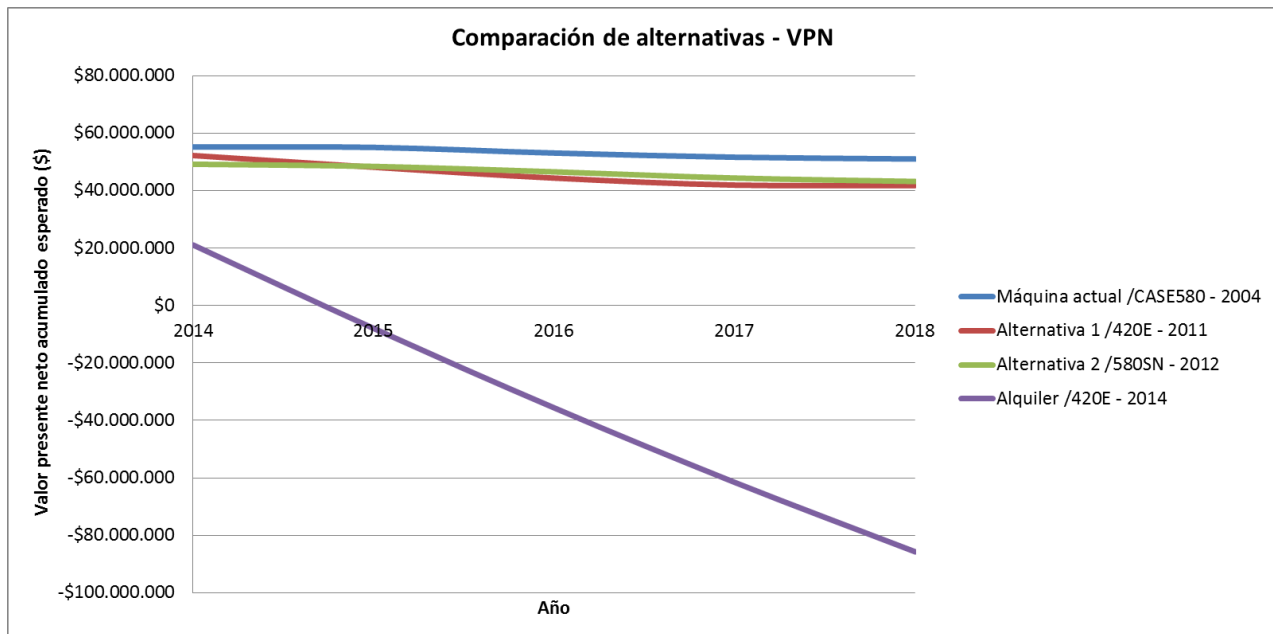


Ilustración 25. Resultados CASE580.

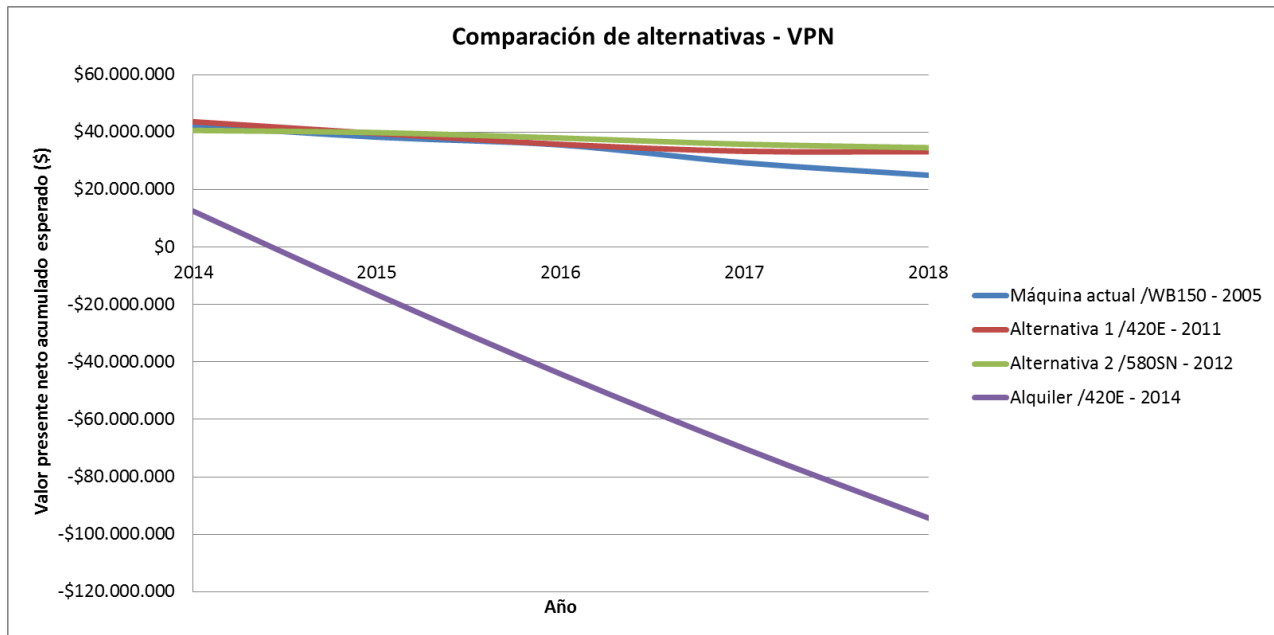


Ilustración 26. Resultados WB150.

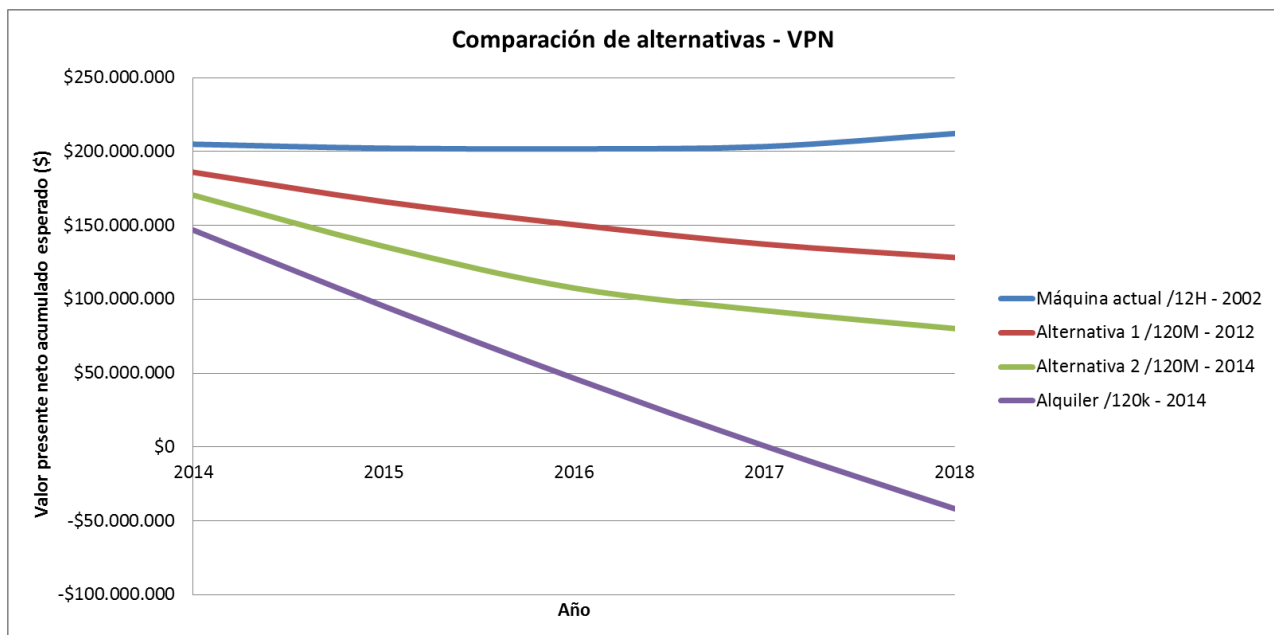


Ilustración 27. Resultados 12H.

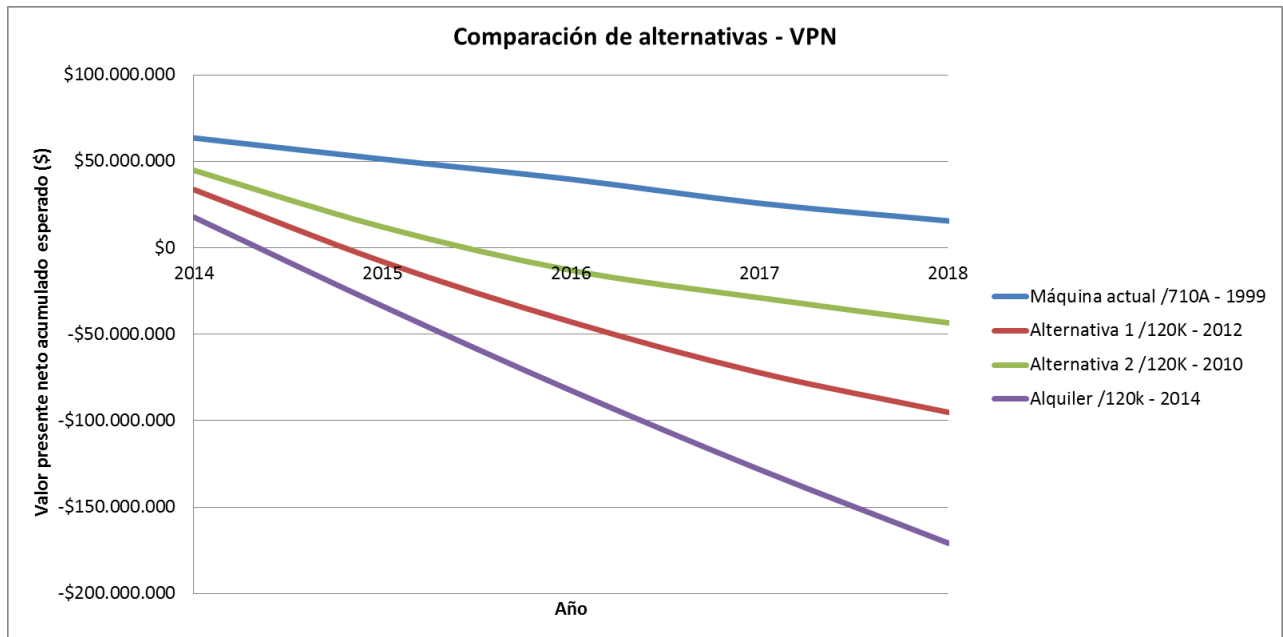


Ilustración 28. Resultados 710A.

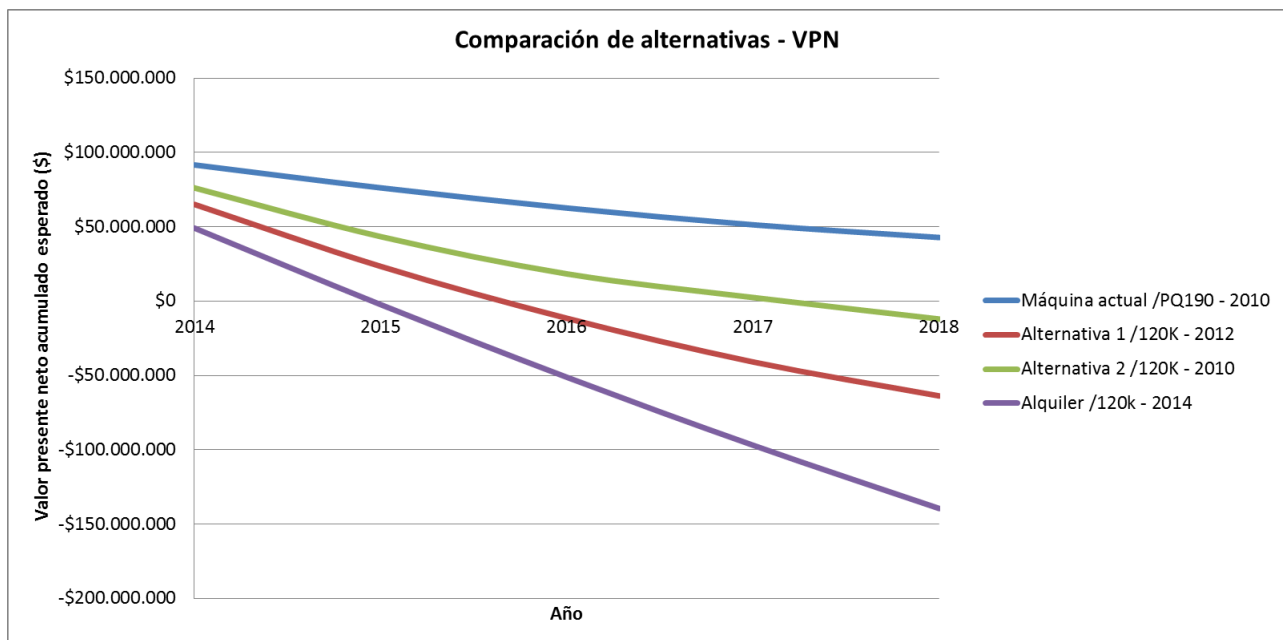


Ilustración 29. Resultados PQ190.

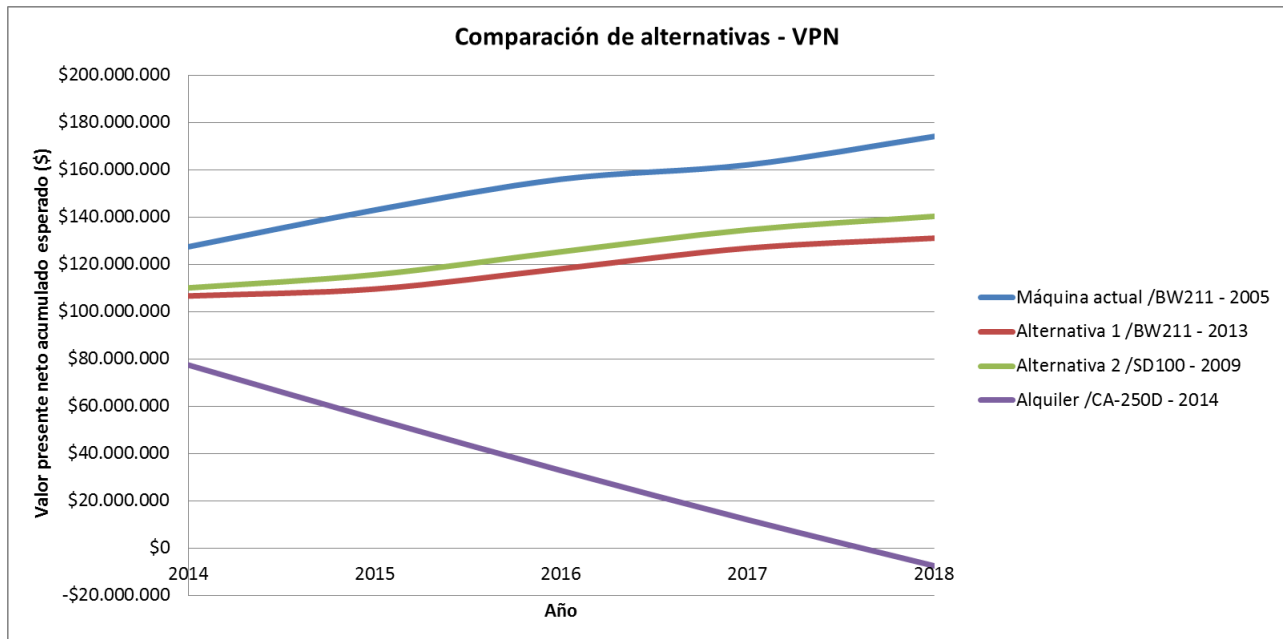


Ilustración 30. Resultados BW211.

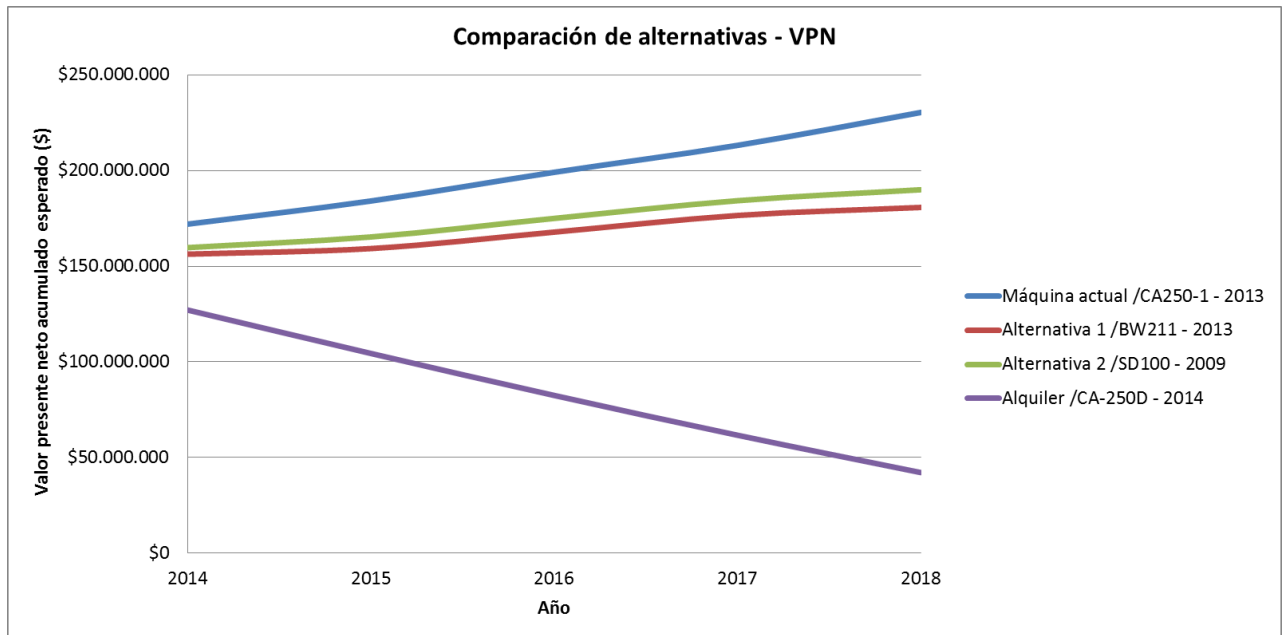


Ilustración 31. Resultados CA250-1.

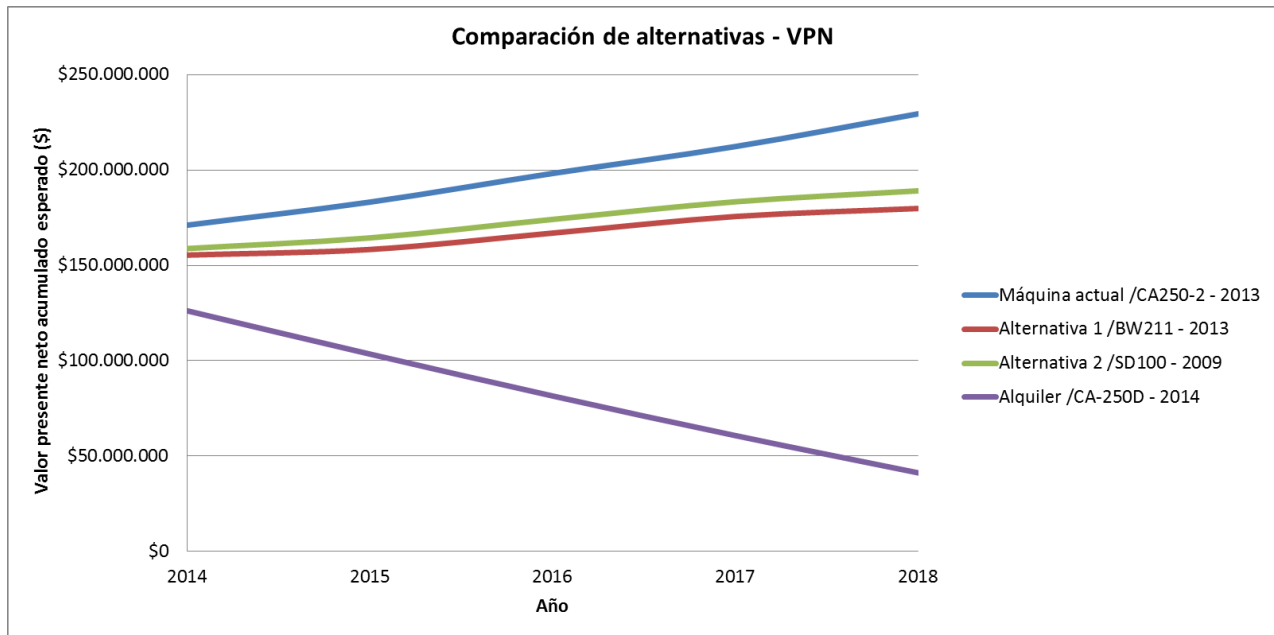


Ilustración 32. Resultados CA250-2.

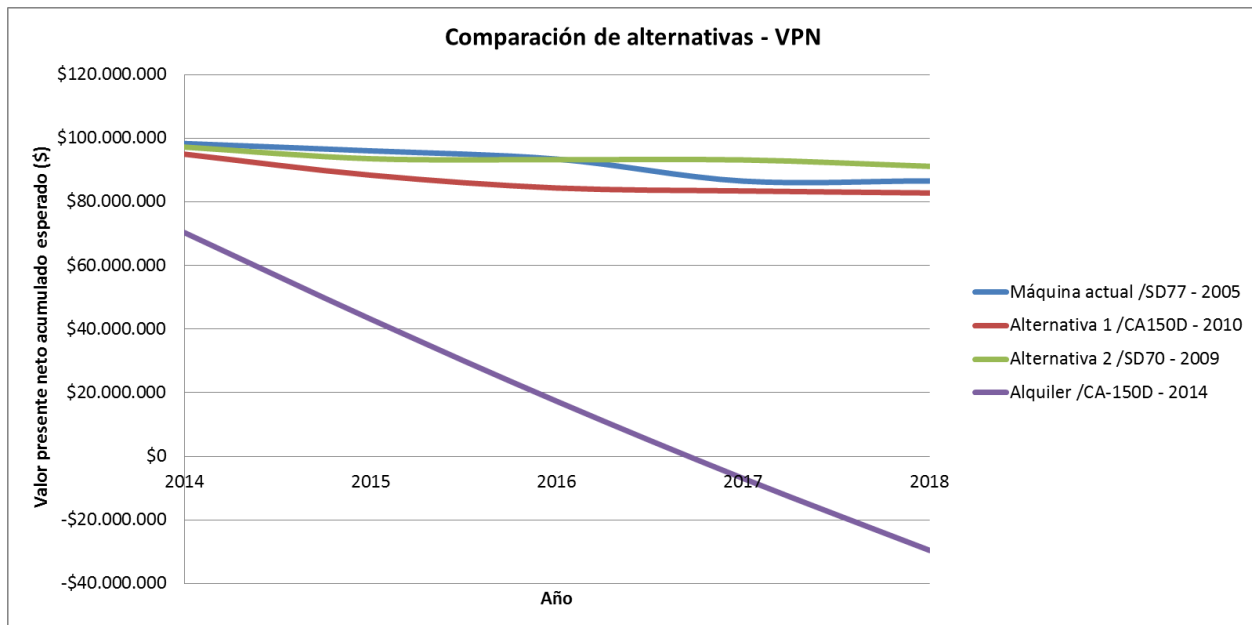


Ilustración 33. Resultados SD77.

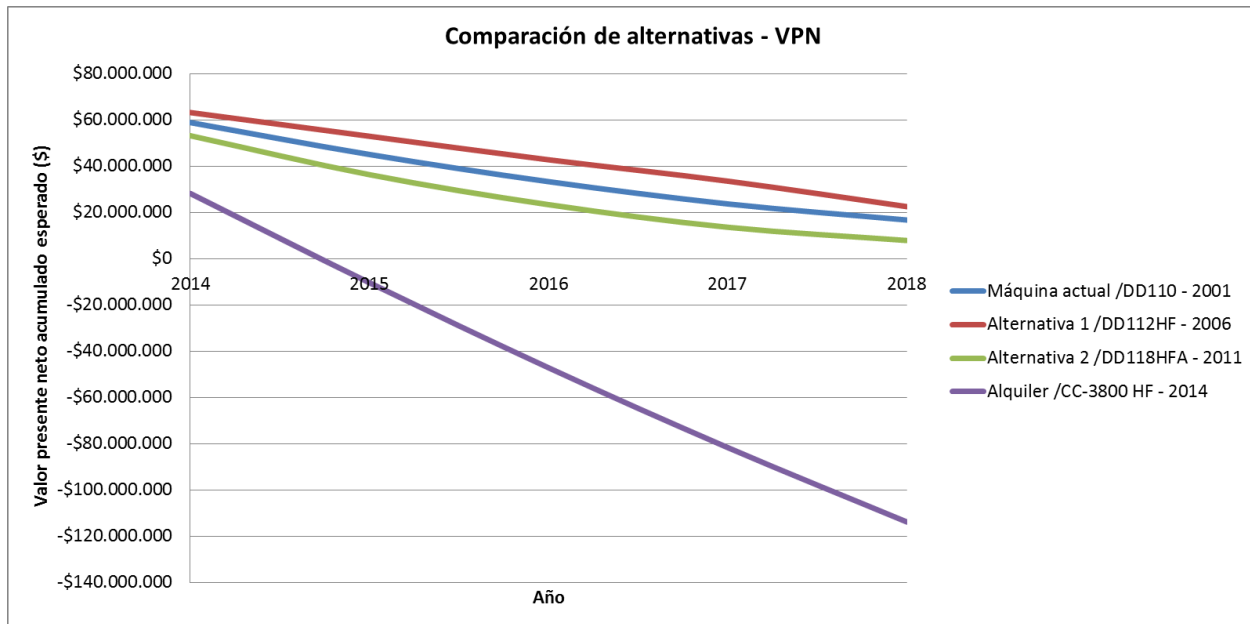


Ilustración 34. Resultados DD110.

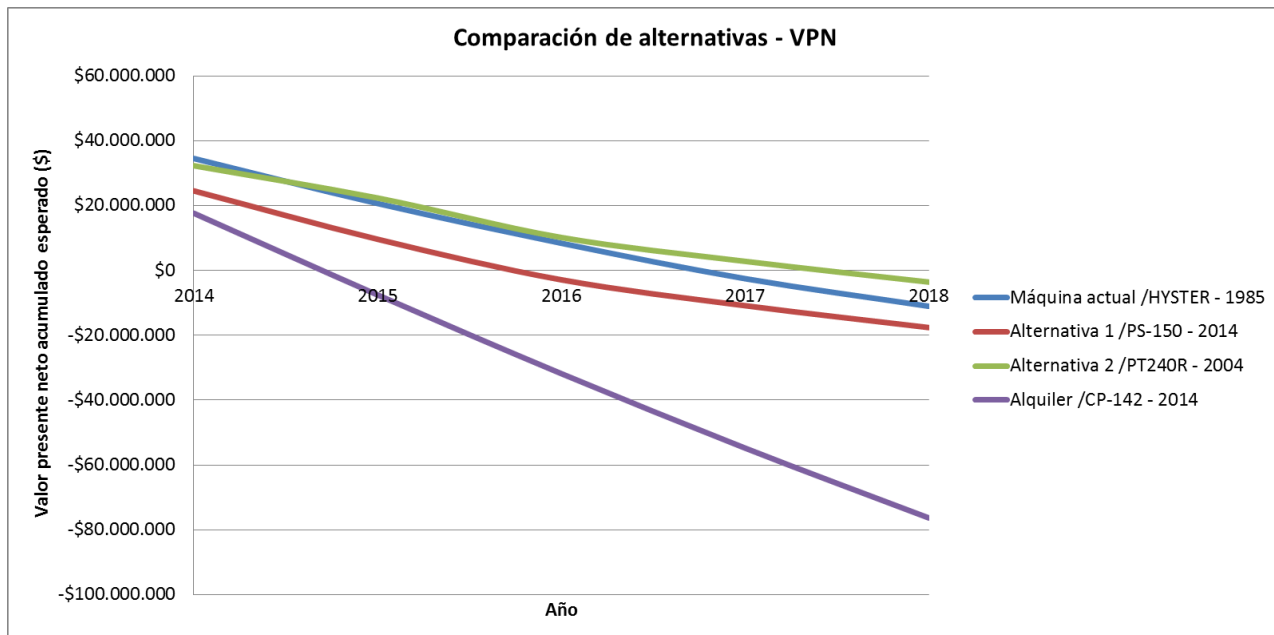


Ilustración 35. Resultados HYSTER.

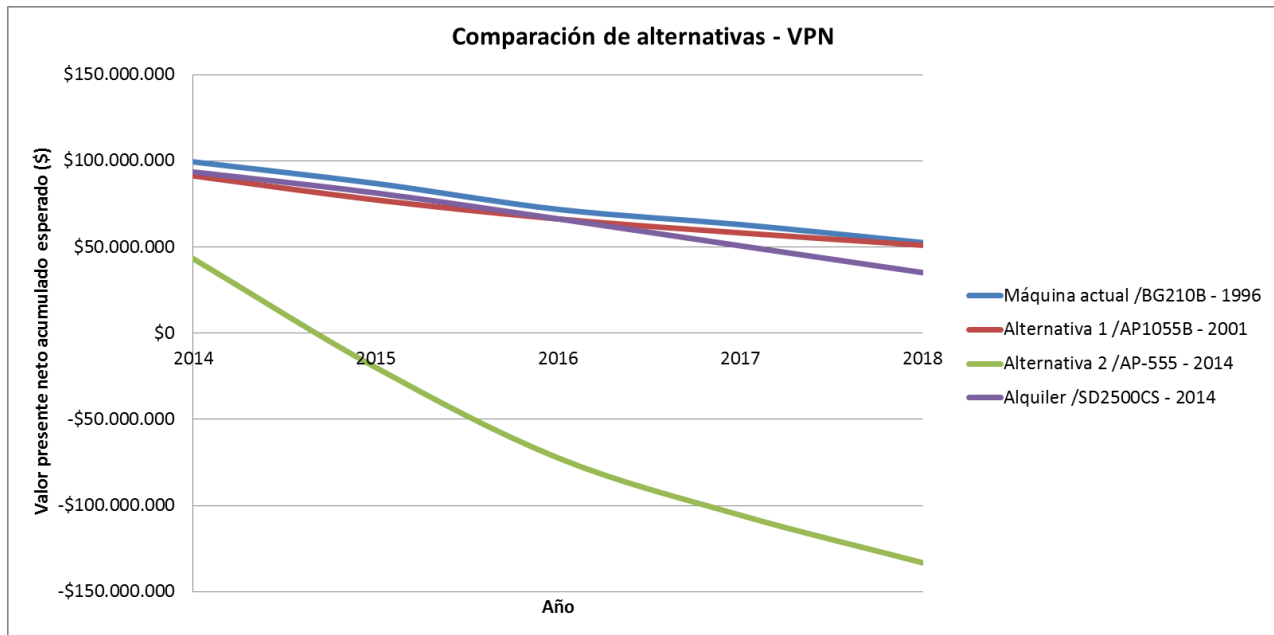


Ilustración 36. Resultados BG210B.

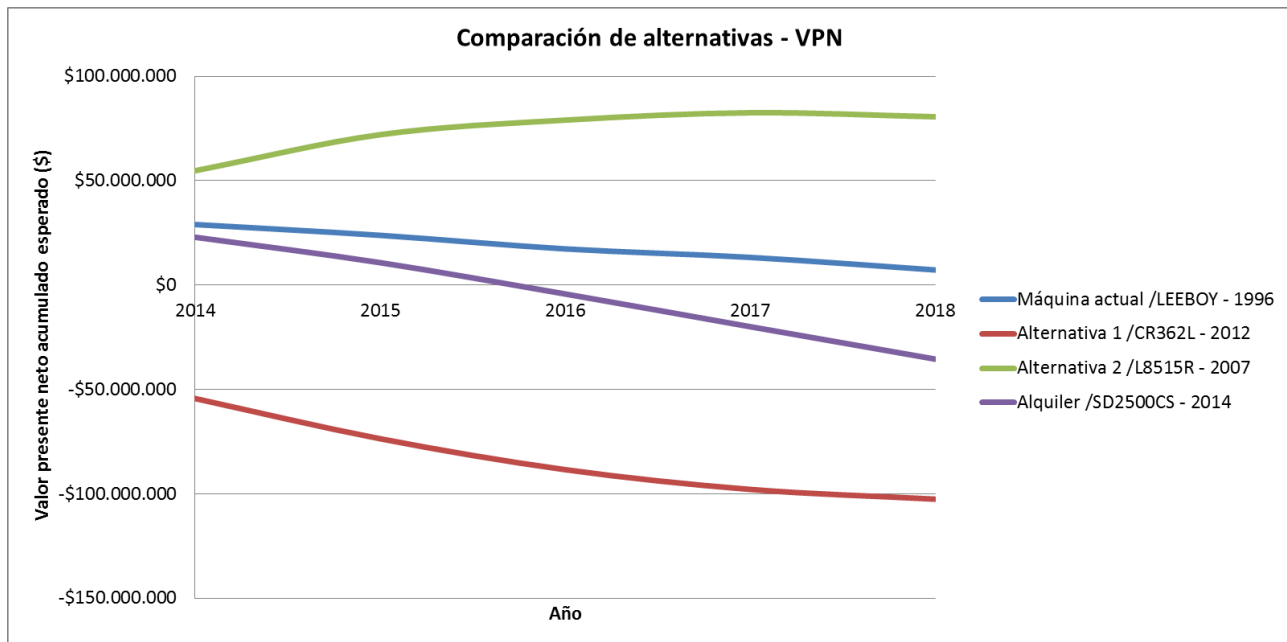


Ilustración 37. Resultados LEEBOY.



## 20 Bibliografía

A. Shash, A. (2012). *Financial Analysis for Replacement of Construction*. Recuperado el 2 de febrero de 2014, de Equipment in Saudi Arabia: <http://epress.lib.uts.edu.au/journals/index.php/AJCEB/article/view/2939>

Agencia Nacional de Infraestructura. (2014). [www.infraestructura.org.co](http://www.infraestructura.org.co). Recuperado el 20 de septiembre de 2014, de <http://www.infraestructura.org.co/10congreso/aplicacion/qr/descargas/miercoles/tarde/andrade.pdf>

Banco de la República. (2014). [www.banrep.gov.co](http://www.banrep.gov.co). Recuperado el 30 de mayo de 2014, de <http://obiee.banrep.gov.co/analytics/saw.dll?Go&Path=/shared/Consulta+Series+Estadisticas+des+Excel/1.+Salarios/1.1+Salario+minimo+legal+en+Colombia/1.1.1+Serie+historica&Options=rdf&NQUser=salarios&NQPassword=salarios&lang=es>

Banco de la República. (2014). [www.banrep.gov.co](http://www.banrep.gov.co). Recuperado el 25 de febrero de 2014, de <http://www.banrep.gov.co/es/inflacion-basica>

Bethel, S. K. (2006). *Asset Valuation (Equipment)*. En F. C. Valuation, *Business Valuation Resource Guide*. Perfect Paperback.

Bloomberg. (5 de mayo de 2014). [www.bloomberg.com](http://www.bloomberg.com). Recuperado el 5 de mayo de 2014, de <http://www.bloomberg.com/markets/rates-bonds/government-bonds/us/>

Brealey, A. &. (2011). *Principles of Corporate Governance*. New York: McGraw Hill.

Caterpillar. (enero de 2010). *Manual de rendimiento Caterpillar. Edición 40*. Peoria, Illinois, U.S.A.

Collier, C. A. (1984). [ascelibrary.org](http://ascelibrary.org). Recuperado el 3 de febrero de 2014, de [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1984\)110%3A2\(248\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9364(1984)110%3A2(248))

Damodaran, A. (2014). <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>. Recuperado el 13 de abril de 2014, de <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>

DANE. (2014). [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co). Recuperado el 13 de abril de 2014, de <http://www.dane.gov.co/index.php/es/precios-e-inflacion/indice-de-costos-de-la-construccion-pesada-iccp>

Departamento Nacional de Planeación. (2010). *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 - Resumen Ejecutivo*. Recuperado el 3 de febrero de 2014, de Departamento Nacional de Planeación: <https://www.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=4-J9V-FE2pl%3D&tabid=1238>

Dolce, J. (1984). *Fleet Management*. Nueva York: McGraw-Hill, Inc.

Escorsa, P., & Maspons, R. (2014). *LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA, UN REQUISITO INDISPENSABLE PARA LA INNOVACION*. Recuperado el 7 de febrero de 2014, de <http://docencia.udea.edu.co/ingenieria/semgestionconocimiento/documentos/Mod8IntelgComptlnn v.pdf>

Escuela de Ingenieros Militares. (1984). *Producción y empleo del equipo de construcción*. Bogotá.

Fondo Monetario Internacional. (2014). *www.imf.org*. Recuperado el 14 de septiembre de 2014, de <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2014/01/weodata/download.aspx>

Gillespie, J. S. (noviembre de 2004). *THE REPLACE/REPAIR DECISION FOR HEAVY EQUIPMENT*. Recuperado el 2 de febrero de 2014, de [http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online\\_reports/pdf/05-r8.pdf](http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/05-r8.pdf)

Gómez, P. D. (2008). *Apuntes de Econometría*. Recuperado el 2 de Febrero de 2014, de Departamento de Economía Universidad de Cantabria: <http://ocw.unican.es/ciencias-sociales-y-juridicas/econometria/econometria/apuntes/tema8.pdf>

Gransberg, D. D., Popescu, C. M., & Ryan, R. C. (2006). Cost of Owning and Operating Construction Equipment. En *Construction Equipment Management For Engineers, Estimators, and Owners* (págs. 20-24). Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Gransberg, P. &. (2006). *Construction equipment management for engineers, estimators and owners*. Boca Ratón: CRC.

Grupo Bancolombia. (6 de marzo de 2014). *Investigaciones Económicas*. Recuperado el 31 de Mayo de 2014, de Tabla Macroeconómicos Proyectados: <http://investigaciones.bancolombia.com/inveconomicas/home/homeinfo.aspx>

Hernández, I. B. (2011). *www.uaeh.edu.mx*. Recuperado el 23 de abril de 2014, de [http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P\\_Presentaciones/huejutla/administracion/administracion%20estrategica%20financiera/estructura\\_financiera.pdf](http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/huejutla/administracion/administracion%20estrategica%20financiera/estructura_financiera.pdf)

Hon-lun Yip, H. F.-h. (27 de octubre de 2013). *Predicting the maintenance cost of construction equipment: Comparison between general regression neural network and Box–Jenkins time series models*. Recuperado el 3 de febrero de 2014, de [http://ac.els-cdn.com/S0926580513001921/1-s2.0-S0926580513001921-main.pdf?\\_tid=26d1c780-8ce9-11e3-b1d7-00000aab0f6b&acdnat=1391442055\\_c7bd5965e67dba5a172bfd5cde14ecb](http://ac.els-cdn.com/S0926580513001921/1-s2.0-S0926580513001921-main.pdf?_tid=26d1c780-8ce9-11e3-b1d7-00000aab0f6b&acdnat=1391442055_c7bd5965e67dba5a172bfd5cde14ecb)

Hurtado, S. H. (2014). *www.ub.edu*. Recuperado el 20 de mayo de 2014, de [http://www.ub.edu/histodidactica/index.php?option=com\\_content&view=article&id=21:criterio-de-expertos-su-procesamiento-a-traves-del-metodo-delphy&catid=11&Itemid=103](http://www.ub.edu/histodidactica/index.php?option=com_content&view=article&id=21:criterio-de-expertos-su-procesamiento-a-traves-del-metodo-delphy&catid=11&Itemid=103)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *Citas y notas de pie de página NTC 147*. Bogotá: ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *Documentación. Referencias bibliográficas para libros, folletos e informes. NTC 1160 segunda actualización*. Bogotá: ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). *Documentación. Referencias bibliográficas para publicaciones seriadas. NTC 1308 segunda actualización*. Bogotá: ICOTEC.

Jazmine Escobar Pérez & Ángela Cuervo Martínez. (2008). *www.unal.edu.co*. Recuperado el 15 de septiembre de 2014, de [http://www.humanas.unal.edu.co/psicometria/files/7113/8574/5708/Articulo3\\_Juicio\\_de\\_expertos\\_27-36.pdf](http://www.humanas.unal.edu.co/psicometria/files/7113/8574/5708/Articulo3_Juicio_de_expertos_27-36.pdf)

León, A., Castellanos, O., & Montañez, V. (2014). Recuperado el 14 de Abril de 2014, de Tendencias Actuales en el Entendimiento de la Vigilancia Tecnológica como Instrumento de Inteligencia en la Organización: <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/eventos/index/assoc/HASH49bb.dir/doc.pdf>

Mauney, D. A. (2012). *Using Financial/Decision Analysis Risk Optimization to Prioritize Maintenance Expenditures, Justify Maintenance Spending and Maximise the NPV Savings of The Maintenance Function*. Recuperado el marzo de 2014, de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.144.7308&rep=rep1&type=pdf>

Morgan, J. (5 de mayo de 2014). *www.ambito.com*. Recuperado el 5 de mayo de 2014, de <http://www.ambito.com/economia/mercados/riesgo-pais/info/?id=4>

Nunnally, S. (2000). *Managing Construction Equipment*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Princeton. (2014). *Net Present Value*. Recuperado el 2 de Febrero de 2014, de [http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Net\\_present\\_value.html](http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Net_present_value.html)

R. L. Peurifoy, C. J. (2002). *Construction Planning, Equipment and Methods*. Nueva York: McGraw Hill.

*Ritchie Bros*. (2014). Recuperado el junio de 2014, de [www.rbauction.com](http://www.rbauction.com)

UPME. (2013). *Precios de ACPM principales ciudades*. Recuperado el marzo de 2013, de [http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta\\_Series.aspx?idModulo=3&tipoSerie=135&fechainicial=01/01/2004&fechafinal=01/10/2012](http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=3&tipoSerie=135&fechainicial=01/01/2004&fechafinal=01/10/2012)

Vera, S. C. (enero de 2013). *anif.co*. Recuperado el mayo de 2014, de <http://anif.co/sites/default/files/uploads/Inversion%20en%20infraestructura.pdf>

Vorster, M. &. (1987). *ascelibrary.org*. Recuperado el 3 de febrero de 2014, de [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1987\)113:3A1\(125\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9364(1987)113:3A1(125))

Yale. (1997). *Linear Regression*. Recuperado el 2 de Febrero de 2014, de <http://www.stat.yale.edu/Courses/1997-98/101/linreg.htm>

Zane W. Mitchell, J. (28 de abril de 1998). *A Statistical Analysis Of Construction Equipment Repair Costs Using Field Data & The Cumulative Cost Model*. Blacksburg, Virginia, Estados Unidos.