

# APLICACIÓN DEL MODELO DE COX PARA ESTIMAR EL DESEMPEÑO DE PROVEEDORES DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO.

Antonio Miguel Cruz<sup>1</sup>, Sandra P. Usaquén Perilla<sup>1</sup>, Nidia N y Vanegas Pabón<sup>2</sup>

1. *Facultad de Medicina, Dpto. de Ciencias Básicas Universidad del Rosario, Calle 63D # 24-31 7 de Agosto, Bogotá D.C, Colombia, Email autor contacto: [antonio.miguel@urosario.edu.co](mailto:antonio.miguel@urosario.edu.co)*
2. *Dpto. de equipos médicos Hospital Universitario de la Samaritana, Cra. 8 No. 0 – 55, Bogotá D.C, Colombia, Nidia.vanegas@hus.org.co*

## Resumen

**Objetivo:** El objetivo de este trabajo es (1) encontrar las características de las empresas (18 covariables independientes) de mantenimiento que influyen en la calidad del servicio; (2) determinar cuantitativamente la disminución o incremento del riesgo (modelo de regresión de Cox) en la calidad del servicio en función de estas características. . **Métodos:** Para esto se caracterizó a las empresas prestadoras de servicios de mantenimiento (n=19) mediante una encuesta. También se caracterizó el inventario de equipos, para determinar las empresas que atendían a los mismos. Luego se realizó el seguimiento a la variable tiempo de cambio de estado de los equipos médicos (TAT variable dependiente) usando las órdenes de trabajo (N=1 025). Finalmente se realiza el procesamiento estadístico para cumplir con los objetivos propuestos **Resultados:** Los resultados más importantes de este trabajo evidencian que las covariables que más influyen o impactan la calidad del servicio de mantenimiento son: Tipo de mantenimiento, Existencia de Repuestos en el País, Entrenamiento a usuarios, Complejidad Tecnológica, Distancia entre la empresa y el hospital, y Cantidad de visitas de mantenimiento de la empresa. **Conclusiones:** Los test no paramétricos realizados permitieron comprobar que efectivamente las características de empresas influyen en el desempeño de un proveedor de servicios de mantenimiento (TAT) y (2) el modelo de Cox construido permitió determinar cuantitativamente las covariables más influyentes en el incremento de la variable TAT

## Palabras claves

Disponibilidad de Servicios de Salud, servicios contratados, Análisis por Conglomerados, Servicio de Mantenimiento e Ingeniería en Hospital, Ingeniería Biomédica. (Fuente: DeCS)

## ABSTRACT

**Objective:** The aims of this paper are (1) to obtain the characteristics of maintenance service providers (18 independent covariates) that have a direct impact on performance of service quality, (2) to determine whether the decrease/increase of the risk (Cox regression model) in the service quality in terms of these characteristics. **Methods:** A survey was applied to every maintenance service provider (n = 19) for characterization purposes. Also the equipment inventory was characterized. Then the turnaround time variable was recorded and monitored (TAT dependent variable) for every work order or every service providers (N = 1 025). Finally, a statistical analysis was done to accomplish with the research objectives. **Results:** The most important results of this study showed that the most influential covariates or impact in the quality of maintenance service performance are: type of maintenance, availability of spare parts in the country, training users, technological complexity, distance between the company and the hospital, and the Number of visits of maintenance done by the company. **Conclusions:** The nonparametric test made allowed to determine the characteristics of firms that influence the performance of a maintenance service provider (TAT) and (2) built the Cox model covariates allowed us to determine quantitatively the most influential covariable in the TAT variations

## Key words

Health Services Accessibility, Contract Services, Cluster Analysis, Maintenance and Engineering, Hospital, Biomedical Engineering. (Source: NLM).

## INTRODUCCIÓN

El Outsourcing (de ahora en lo adelante tercerización) se puede definir "...como una estrategia empresarial por medio de la cual una organización delega formalmente funciones misionales y no misionales a otra empresa..." (1-2) para que esta las asuma. Esto se puede realizar porque la empresa no posee, recursos humanos y/o los materiales necesarios para poder asumirlas. La tercerización en el mantenimiento se ha convertido en una actividad indispensable en muchas industrias tales como la de equipos médicos y la de la aviación (3). Por ejemplo Jensen (4) reportó que el 84% de las empresas encuestadas emplean la tercerización en el mantenimiento. Para el caso de los equipos médicos, Tieman estimó que este mercado estaría en el orden de los \$26 billones de dólares para el año 2002 (5). No obstante a la popularidad en el uso de esta práctica (aumento en el uso de esta); se han reportado algunos resultados realmente sorprendentes y contradictorios. De acuerdo con un estudio de consultoría realizado por Deloitte; en un 64% de los casos, las empresas retomaron los servicios tercerizados y los sustituyeron por el servicio en casa o propio. Este mismo estudio encontró que el 44% no obtuvieron ahorros de costo considerables (6). En otro estudio se encontró que entre un 20-25% de los contratos de tercerización firmados fracasan en los dos primeros años de efectuados, y que la mitad fracasan dentro de los cinco años de firmados (7). En la industria de la tercerización se evidencia una necesidad de mejorar las prácticas del servicio. Esto último se soporta en un estudio que demuestra que solamente el 34% (300 empresas encuestadas) de los clientes estaban satisfechos con el servicio de tercerización. Ahora bien, desde la perspectiva de los proveedores del servicio; el 74% del total cree que sus clientes estaban mal preparados para la iniciativa de la tercerización porque a menudo carecen de una estrategia bien desarrollada y de la comprensión clara de cómo funciona este negocio (7). Estos hallazgos sugieren que existe un vacío preocupante entre las expectativas de los clientes y la realidad de cómo se ofrece el servicio de tercerización. Un reciente estudio realizado por Sean MH. (9), investigó las prácticas claves de los métodos de gestión que emplean los proveedores de servicio durante el proceso completo de la tercerización y que impactan en el rendimiento de la calidad del servicio que estas empresas (198 encuestas). Este trabajo estableció un grupo de hipótesis de trabajo intentando demostrar la relación existente e impacto directo que tiene realizar una evaluación estratégica adecuada para elegir un adecuado

proveedor, la integridad contractual, y las prácticas de gestión de la relación entre el cliente y el proveedor en el desempeño final de los servicios de tercerización.

Para el caso específico de la Hipótesis 1 de este trabajo  $H_1$ : La evaluación estratégica tiene un efecto positivo importante efecto sobre el rendimiento o calidad de la tercerización; se encontró que no existió una relación directa fuerte entre estos factores (evaluación estratégica  $\rightarrow$  efecto positivo rendimiento). Además, no se encontró suficiente evidencia para soportar esta hipótesis ( $H_1$ ). Este último resultado implica que esta relación amerita un mejor estudio a recomendación de los propios autores (9). El grado de evaluación estratégica se puede realizar desde dos diferentes perfectivas. Primero, desde la capacidad o evaluación de recursos para proveer los servicios y segundo, desde el riesgo. El primer enfoque evaluativo se basa en el hecho de que, cuando una empresa desea tercerizar ciertos servicios debe considerar en que grado el proveedor tiene los recursos y la capacidad necesarios para ofrecer un servicio sostenible y con la calidad requerida (10).

En la industria médica hay evidencia de que el problema de la relación entre la evaluación y selección de un proveedor de servicios y su desempeño aún no ha sido abordado suficientemente. Por ejemplo, el Instituto para la Investigación de los Cuidados de Emergencia (por sus siglas en inglés ECRI) ha planteado que a pesar de conocerse cuáles son las variables que caracterizan a los proveedores de servicios de mantenimiento y las variables que miden su desempeño "... aún no existe una formulación que permita establecer una relación entre la calidad del servicio de los proveedores y estas variables caracterizadoras..." (11).

Se ha postulado que los elementos que impactan directamente la calidad del proveedor de servicio de mantenimiento se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: las características de sus recursos humanos y de la empresa ( $G_1$ : RU-RE); las características del servicio que ofrecen ( $G_2$ : CServ); las características de la relación contractual ( $G_3$  : CRC) y por último las características de los equipos bajo su cargo ( $G_4$  : CEq) (11) También se han planteado que las variables más usadas para medir la calidad del servicio es el tiempo de cambio de estado de los equipos o tiempo de parada (TAT), el tiempo de respuesta (RT) y la duración de las intervenciones (DR) (12). Sin embargo, como ya se

ha planteado anteriormente la relación entre las variables dependientes TAT, RT y DR y los grupos de variables independientes (de ahora en lo adelante covariables o explicativas)  $G_1$ ;  $G_2$ ;  $G_3$  y  $G_4$ , no ha sido estudiando suficientemente. Por una parte; no se conoce a ciencia cierta si verdaderamente las covariables clasificadas en los grupos  $G_1$ ;  $G_2$ ;  $G_3$  y  $G_4$  influyen en el TAT; y por otro lado no se conoce el tipo de relación entre estas y el TAT, RT y DR.

El otro tema importante a estudiar es el impacto que provoca el aumento de la variable TAT en la calidad del servicio de salud. Es de suponer que si un equipo médico está detenido durante mucho tiempo, este debe afectar el servicio de salud en términos de: oportunidad y/o costos. Más específicamente un equipo medico detenido puede causar cancelación del procedimiento o tratamiento, no admisión del paciente, prolongación del tiempo para realizar el procedimiento, demora en recibir un paciente, demora en iniciar el procedimiento, uso de otros equipos de respaldo, alquiler de equipos entre otros.

Habiendo explicado esto entonces surgen tres preguntas de investigación:

1. ¿Cual son covariables de los grupos  $G_1$ ;  $G_2$ ;  $G_3$  y  $G_4$  de la institución que presta el servicio de mantenimiento que deben incluirse en el análisis de la influencia de estas en el TAT?
2. ¿Cuál es la relación cuantitativa entre la variable TAT y las variables seleccionadas de los grupos  $G_1$ ;  $G_2$ ;  $G_3$  y  $G_4$ ?
3. ¿Cuál es la relación existente entre la variable TAT y las variables que determinan la calidad del servicio de salud?

De estas preguntas de investigación surgen dos hipótesis de trabajo:

Hipótesis 1

$H_{1i}$ : Las variables explicativas o covariables agrupadas en los grupos  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  y  $G_4$  influyen en la calidad del servicio que un proveedor de mantenimiento externo ofrece a una institución de salud.

H<sub>10</sub> Las variables explicativas o covariables agrupadas en los grupos G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> y G<sub>4</sub> no influyen en la calidad del servicio que un proveedor de mantenimiento externo ofrece a una institución de salud.

## Hipótesis 2

H<sub>21</sub>: Las variables de calidad del servicio del proveedor de mantenimiento externo (TAT o disponibilidad) influyen en la calidad del servicio de salud. Si el TAT o disponibilidad aumenta la cantidad de eventos no deseados también aumentará.

H<sub>20</sub> Las variables de calidad del servicio del proveedor de mantenimiento externo (TAT o disponibilidad) no influyen en la calidad del servicio de salud.

La formulación de las hipótesis de manera esquemática se observa en la Figura 1.

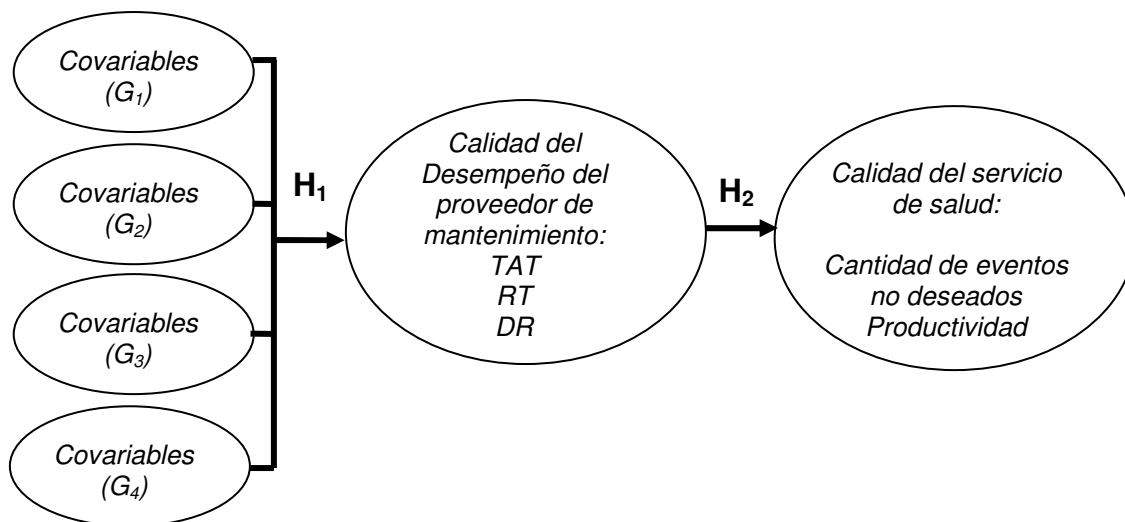


Figura 1. Relaciones entre las hipótesis de investigación

Nota 1 TAT (horas): Cambio de estado de un equipo, es el tiempo que transcurre desde que se detiene hasta que vuelve a entrar en funcionamiento)

RT (horas): Tiempo de respuesta del proveedor de servicios de mantenimiento, es el tiempo que demora desde que se solicita el servicio hasta que llega a la institución de salud)

DR (horas): Duración de la reparación, es el tiempo que demora en resolver una actividad de mantenimiento

En concreto todos los objetivos de la formulación de la investigación en su totalidad son:

1. Determinar cuáles son las características de una empresa que impactan directamente en las variables de calidad del servicio de mantenimiento de equipos médicos que tiene contratos con una institución de salud.
2. Construir un modelo de regresión basado en riesgos proporcionales (Cox) que permita por un lado; determinar cuáles son los elementos que impactan en la calidad del servicio; y por otro determinar cuantitativamente la disminución o incremento del riesgo en la calidad del servicio en función de estos elementos.
3. Determinar la naturaleza de la relación entre la variable TAT o disponibilidad y las variables que determinan el impacto de la calidad del servicio de salud

En este artículo se expondrán solamente los resultados obtenidos de la formulación de la hipótesis de trabajo 1 ( $H_1$ ) y de los objetivos 1 y 2 (variable TAT solamente, (por razones obvias de espacio); y en futuras publicaciones se expondrán los resultados obtenidos de la formulación de la hipótesis de trabajo 2 ( $H_2$ ) y del objetivo 3.

El modelo Cox fue seleccionado debido a: primero, no poder usar un modelo de regresión lineal múltiple, ya que se viola el principio de normalidad; pues las variables dependientes (en este caso TAT) no resultaron tener distribuciones probabilísticas normales; y segundo, este modelo ha demostrado ser útil y el más utilizado cuando lo que se quiere estudiar y medir es el tiempo que transcurre hasta el suceso de un evento dado en función de un grupo de variables explicativas o covariables (13).

El surgimiento de esta investigación fue debido al vacío existente en los aspectos antes mencionados para el caso específico de la tercerización de los servicios de mantenimiento de equipos médicos.

## MÉTODOS

Primeramente se realizó una caracterización del inventario de los equipos médicos en la institución de salud bajo estudio. Para esto se usaron fuentes secundarias de información (base de datos). Se tomó el 100 % de la muestra de equipos de las áreas bajo estudio (494). Sin embargo, solo se pudo hacer posterior seguimiento a 264 equipos (53,4 %) pues el resto no contaban con la información necesaria para hacer la caracterización. Esta se hizo en términos de obsolescencia (calculando el indicador tiempo de explotación versus vida útil), complejidad tecnológica, determinación de los equipos que estaban contratados, tipos de equipos. Luego, una vez identificando a los equipos contratados que eran atendidos por proveedores externos, se procedió a caracterizar a las instituciones proveedoras de servicios de mantenimiento. Se usó una encuesta (fuente primaria de información) para estos propósitos, obteniendo información de los proveedores a través de 18 variables caracterizadoras. En la Tabla 2 se pueden observar las variables obtenidas y su agrupación ( $G_1$ ;  $G_2$ ;  $G_3$  y  $G_4$ ).

Seguidamente se realizó un seguimiento de la variable de calidad del servicio para el mantenimiento TAT (variable dependientes en el modelo de Regresión de Cox:) correctivo y preventivo para cada proveedor de servicios de mantenimiento, considerando al departamento de mantenimiento del hospital como un proveedor más. Para esto se usó como fuente primaria de información las órdenes de trabajo realizadas ( $N = 1\ 025$  órdenes). Después, con todas las variables se elaboró una base de datos y se realizó un procesamiento estadístico de estas. Este consistió en: primero, un estudio descriptivo y univariado para variables numéricas y categóricas, segundo, pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) para las variables dependientes y tercero análisis de correlaciones de Spearman entre las dependientes y las independientes.

Al observarse un comportamiento no normal en las variables dependientes se realizaron pruebas estadísticas no paramétricas. Para cumplir el primer objetivo de esta investigación se realizaron agrupamientos de las variables independientes y pruebas no paramétrica entre estas ( $G_1$ ;  $G_2$ ;  $G_3$  y  $G_4$ ) y la independiente (TAT), esto es: primero, Test de Mann Whitney (usada para comparar diferencia significativa entre grupos de variables categóricas con dos categorías (Si, NO) y una numérica, TAT); segundo, Kruskal Wallis



(usada para comparar diferencias significativas entre grupos de variables categóricas con más de dos categorías y una numérica, TAT). Un segundo análisis realizado (Kaplan-Meier), mediante los tests de Log Rank (Mantel-Cox), Breslow (Generalized Wilcoxon) y Tarone-Ware para cada variable independiente en cada grupo (llamadas de ahora en adelante covariables) en función de la dependiente (TAT), permitieron establecer las variables que finalmente iban a estar en la construcción del modelo de Cox. El criterio utilizado para considerar una variable independiente en la construcción del modelo de Cox consiste en que los tests de Mann-Whitney y de Kruskal-Wallis al igual que los de Kaplan-Meier deben obtener probabilidades  $p < 0,05$ . Esto es, las categorías de las variables creadas tienen diferencias significativas entre ellas en relación con las variables dependientes, en este caso TAT.

Por último se construye el modelo de riesgos proporcionales de Cox, poniendo TAT, en función de las covariables clasificadas en los grupos  $G_1$ ;  $G_2$ ;  $G_3$  y  $G_4$  que resultaron ser significativas ( $p < 0,05$ ) de las pruebas no paramétricas antes mencionadas. El modelo empleado para construirlo fue el de introducir con muestras no censuradas pues todas las órdenes de trabajo fueron terminadas en el período de análisis y seguimiento. El método seguido es el expuesto en (13). El paquete utilizado para hacer todo el procesamiento estadístico utilizado fue el SPSS, versión 17.0.0 (14)

## RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestran las medias del TAT para cada una de las covariables, según las diferentes clasificaciones que se han hecho. En la Tabla 2 se muestran las covariables, los códigos de cada clasificación y las pruebas estadísticas. En la Tabla 3 y Ecuación (1) se muestra el modelo matemático de Cox para las covariables que resultaron ser significativas y que explican de manera conveniente la situación real de los datos registrados. En las Figuras 2 a)-f) se pueden observar los tiempos TAT en horas para cada covariable que resulto ser significativa en el modelo.

Variable (Grupo)	Medias de TAT en horas para las covariables de los grupos divididos en clases				
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
DISTEMHOSP ( $G_1$ )	7,8	33,5	44,0	NA	NA
REPPAIS ( $G_1$ )	136,7	11,5	NA	NA	NA
NCONTRATOS ( $G_1$ )	7,0	39,3	NA	NA	NA
EXPEMMPRE ( $G_1$ )	44,7	16,3	NA	NA	NA
EXPPERSONA ( $G_1$ )	9,0	55,1	NA	NA	NA
INCLUYEREP ( $G_2$ )	34,5	8,2	NA	NA	NA
SERVLINEA ( $G_2$ )	37,9	12,2	NA	NA	NA
NVISITASAÑO ( $G_2$ )	7,83	34,9	76,8	NA	NA
RHCONTRAT ( $G_2$ )	13,6	9,9	59,6	NA	NA
ENTUSUAR ( $G_2$ )	38,9	10,7	NA	NA	NA
ENTECTNIC ( $G_2$ )	5,0	2,0	NA	NA	NA
NEQUIPOS ( $G_3$ )	34,4	8,8	NA	NA	NA
CONTRATO ( $G_3$ )	33,8	11,1	NA	NA	NA
CORRECTIVO ( $G_3$ )	2,9	20,7	NA	NA	NA
DURACCONT ( $G_3$ )	11,1	44,4	NA	NA	NA
COMPLEYECN ( $G_4$ )	37,4	11,8	5,8	NA	NA
OBSOLECENCI ( $G_4$ )	21,9	12,6	10,6	NA	NA
TIPOEQUIPOS ( $G_4$ )	31,4	26,8	5,2	NA	NA

Donde:

C-1, C-2, C-3, C-4 y C-5 son las categorías de las co-variables. Esto se corresponde con la Tabla 2. Para el caso específico de las clases 1 y 2 se corresponden en NO para C-1 y SI para C-2

Las covariables de la Tabla 2 que están ausentes en la Tabla 1 son las que la prueba de Log-Rank,  $p > 0,05$

Tabla 1 Medias de las covariables analizadas

Variable (Grupo)	Descripción	Cód/Valor	Tests Estadísticos para el TAT y las categorías de las variables		
			MW	KW	LR
DISTEMHOSP (G <sub>1</sub> )	Distancia entre el hospital y empresa (Km)	1* = 0-5 2= 5,1-10 3=Mayor a 10,1	NA	0,000	0,000
REPPAIS (G <sub>1</sub> )	Si la empresa tiene repuestos en el país	0 * = NO 1 = SI	0,000	NA	0,000
NCONTRATOS (G <sub>1</sub> )	Cantidad de contratos a cargo de la empresa	1* = 0-10 2= Mayor a 10	NA	0,000	0,000
EXPEMMPRE (G <sub>1</sub> )	Experiencias del empresa (años)	1* = 2,5-10 2= Mayor a 10	NA	0,000	0,000
EXPPERSONA (G <sub>1</sub> )	Experiencia del personal de la empresa (años)	1* = 2 -5 2= Mayor a 5	NA	0,000	0,000
INCLUYEREP (G <sub>2</sub> )	Si el contrato Incluye repuestos	0 * = NO 1 = SI	0,000	NA	0,000
SERVLINEA (G <sub>2</sub> )	Si la empresa tiene servicio de mantenimiento en línea	0 * = NO 1 = SI	0,000	NA	0,000
NVISITASAÑO (G <sub>2</sub> )	Cantidad de visitas (preventivo +correctivo )que realiza al año	1* = 2- 3 2 =4-6 3 = 12	0,000	0,000	0,000
RHCONTRAT (G <sub>2</sub> )	Cantidad de recurso humano destinado a atender el contrato	1* = 1-2 2= 3-4 3= Mayor a 4	NA	0,000	0,000
ENTUSUAR (G <sub>2</sub> )	Si la empresa entrena a los usuarios	0* = NO 1 = SI	0,000	NA	0,000
ENTECTNIC (G <sub>2</sub> )	Si la empresa entrena a los especialistas técnicos	0* = NO 1 = SI	0,000	NA	0,001
NEQUIPOS (G <sub>3</sub> )	Cantidad de equipos en el contrato	1* = 1 - 10 2 =11 - ∞	NA	0,000	0,000
CONTRATO (G <sub>3</sub> )	Tipo de Relación Contractual	0* =Garantía 1= Contrato	0,015	NA	0,017
CORRECTIVO (G <sub>3</sub> )	Tipo de mantenimiento	0 * = Preventivo 1 = Correctivo	0,011	NA	0,007
DURACCONT (G <sub>3</sub> )	Duración del Contrato (años)	0 * = (0,5-1) 1= Mayor a 2	NA	0,000	0,052
TIPOEQUIPOS (G <sub>4</sub> )	Categoría de tipos de equipos (15)	1* = Diagnostico 2= Tratamiento 3= Monitoreo 4= Laboratorio 5= Apoyo	NA	0,044	0,000
OBSOLECENCI (G <sub>4</sub> )	Determina si el equipo alcanzo su vida útil o no	0 * = NO 1 = SI	NA	0,000	0,000
COMPLETECN (G <sub>4</sub> )	Complejidad Tecnológica de los equipos	1 * = Alta 2= Media 3= Baja	NA	0,000	0,000

Donde:

MW, WK y LR: son los Test de Mann Whitney, Kruskal Wallis y Log Rank.

Test Significativo:  $p < 0,05$ . Es decir, La clasificación de las variables influyen en el TAT y deben ser analizadas para la construcción del modelo de Cox

NA: No aplica

El asterisco (\*) es usado para indicar cuál covariable fue tomada como referencia para construir el valor de EXP (B) en el modelo de Cox ( en SPSS: Analizar→Supervivencia→ Regresión de Cox→ Categórica→ Primera)

Tabla 2. Variables analizadas y test estadísticos

Nota 1: Los valores numéricos no se pueden aproximar a un solo decimal después de la coma al perderse exactitud en las pruebas de significancia (sig) y en el % de incremento del riesgo de los coeficientes

Nombre de la Variable/ Grupo	B	ET	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	95,0% IC para Exp(B)	
							Inf	Sup
CORRECTIVO/(G <sub>3</sub> )	-0,368	0,067	29,714	1	0,000	0,69	0,606	0,790
REPPAIS/(G <sub>1</sub> )	0,602	0,352	2,917	1	0,000	1,825	0,915	3,641
ENTUSUAR / (G <sub>2</sub> )	0,786	0,135	33,871	1	0,000	2,195	1,684	2,859
<b>COMPLETECN/ (G<sub>4</sub>)</b>			11,147	2	0,004			
COMPLETECN _CAT(1)	0,346	0,172	4,028	1	0,045	1,413	1,008	1,980
COMPLETECN _CAT(2)	0,515	0,179	8,290	1	0,004	1,673	1,179	2,375
<b>DISTEMHOSP/(G<sub>1</sub>)</b>			19,653	2	0,000			
DISTEMHOSP _CAT(1)	-0,520	0,118	19,257	1	0,000	0,595	0,472	,750
DISTEMHOSP _CAT(2)	-0,247	0,162	2,320	1	0,128	0,781	0,569	1,073
<b>NVISITASANO/(G<sub>2</sub>)</b>			12,149	2	0,002			
NVISITASANO _CAT(1)	-0,332	0,108	9,438	1	0,002	0,718	0,581	0,887
NVISITASANO _CAT(2)	-0,800	0,475	2,835	1	0,092	0,449	0,177	1,140

Donde:

B: es el coeficiente que afecta a la covariable.

ET: es el error estándar.

Sig: es el grado de significancia de la covariable en el modelo. La covariable se tiene en cuenta cuando  $p < 0.05$ .

Exp(B): es el riesgo relativo entre las categorías de las variables

$h(TAT, x = a \text{ versus } x = b, \beta)$

IC: es el intervalo de confianza. Inf: Limite inferior. Sup: Limite superior

gl: son los grados de libertad de la covariable.

Wald: es el test de Wald.

Tabla 3. Covariables en el modelo de Cox

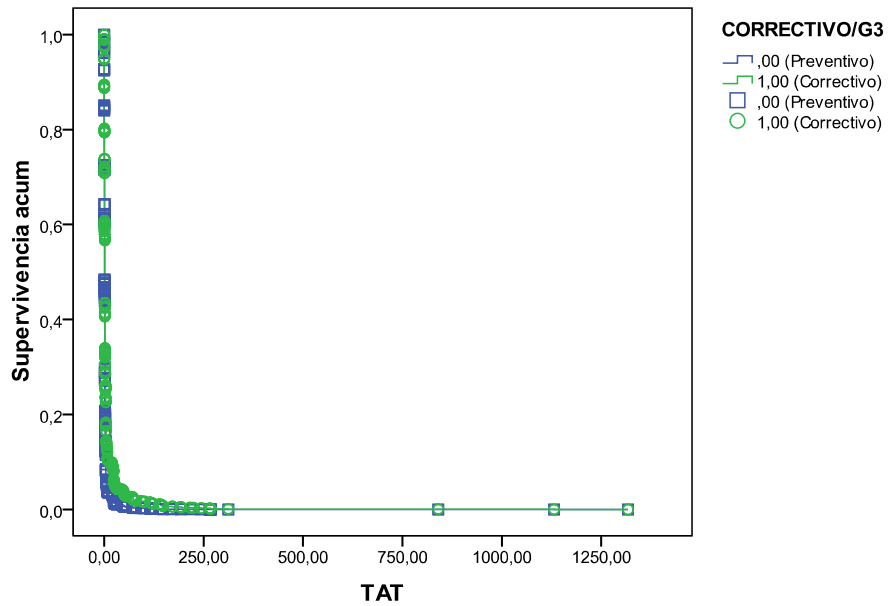
Nota 1: Los valores numéricos no se pueden aproximar a un solo decimal después de la coma pues se pierde exactitud en las pruebas de significancia (sig) y en el % de incremento del riesgo de los coeficientes que acompañan a las covariables

$$\frac{h(TAT)}{h_0(TAT)} = e^{(-0.37 * X_1 + 0.60 * X_2 + 0.79 * X_3 + (0.35, 0.52) * X_4 + (-0.52, -0.25) * X_5 + (-0.33, -0.80) * X_6} \quad (1)$$

Donde:  $X_1$  es tipo de mantenimiento;  $X_2$  es existencia de repuestos en el país,  $X_3$  es si la empresa ofrece entrenamiento a usuarios,  $X_4$  es complejidad tecnológica

de los equipos,  $X_5$  es la distancia que hay del hospital a la empresa, y  $X_6$  es la cantidad de visitas que hace la empresa al hospital.

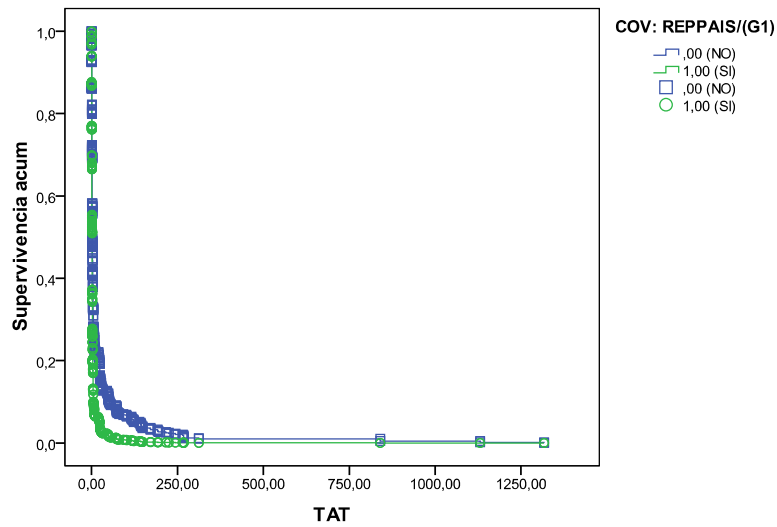
**Función de supervivencia para modelos 1 - 2**



(a)

**Covariable: CORRECTIVO/(G<sub>3</sub>).** Tipo de mantenimiento donde: 0 o 1 significa: intervención correctiva y 0 ó 1 significa: intervención preventiva.

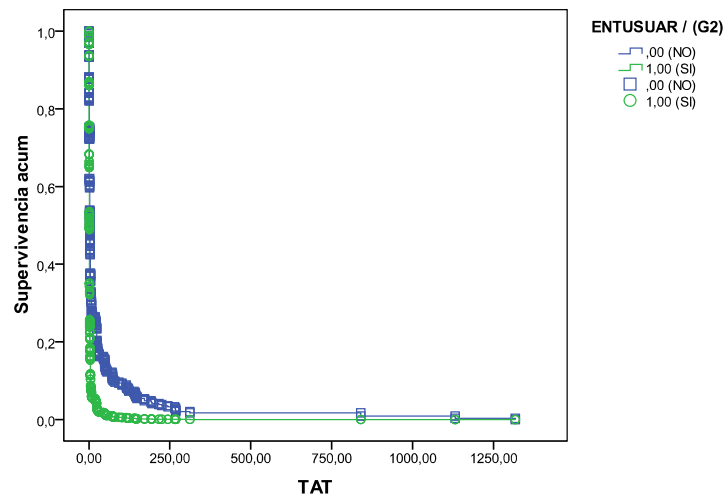
Función de supervivencia para modelos 1 - 2



(b)

**Covariable: REPPAIS/G<sub>1</sub>.** Existencia de Repuestos en el país donde: 0 o 1 significa: la empresa si tiene repuestos en el país y 0 ó 1 significa: la empresa no tiene repuestos en el país.

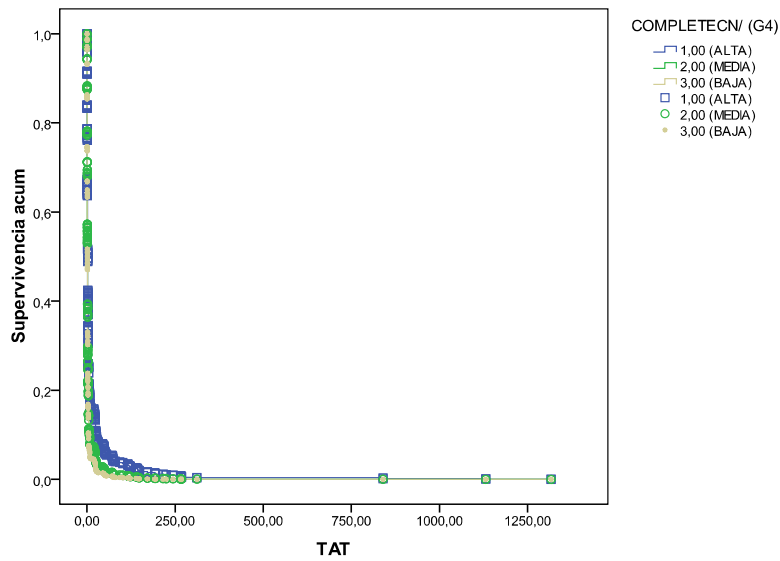
Función de supervivencia para modelos 1 - 2



(c)

**Covariable: ENTUSUAR/(G<sub>2</sub>).** Entrenamiento a usuarios donde: 1 ó 0 significa: la empresa sí entrena a usuarios y 0 ó 1 significa: la empresa no entrena a usuarios.

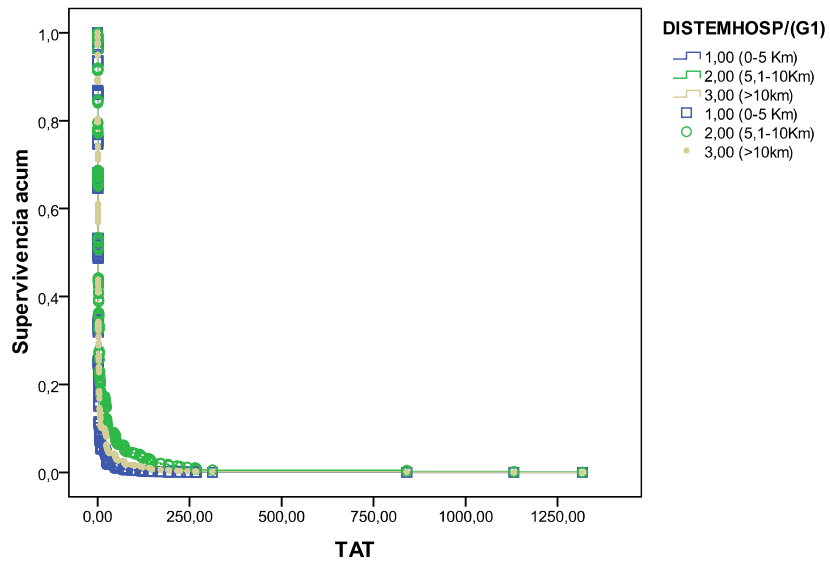
Función de supervivencia para modelos 1 - 3



(d)

**Covariable: COMPLETECN/ (G<sub>4</sub>).** Complejidad Tecnológica donde: 1 ó 0 significa: alta complejidad; 0 ó 2 significa: media complejidad, \* ó 3 significa: baja complejidad.

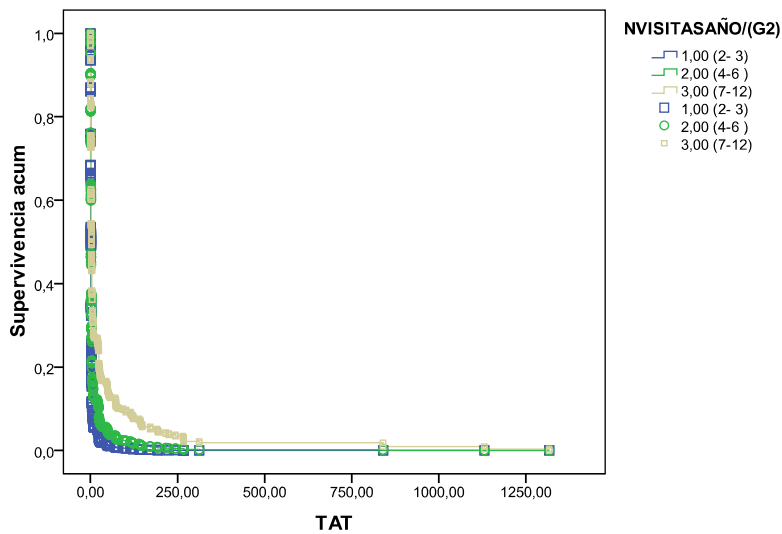
**Función de supervivencia para modelos 1 - 3**



(e)

**Covariable: DISTEMHOSP/(G<sub>1</sub>).** Distancia del hospital a la empresa prestadora del servicio de mantenimiento (Km) donde: 1 ó □ (-5km); o ó 2 (5.1-10Km) y \* ó 3 (>10 Km).

**Función de supervivencia para modelos 1 - 3**



(f)



**Covariable: NVISITASAÑO/(G<sub>1</sub>).** Cantidad de visitas (preventivas) que realiza la empresa prestadora de servicios de mantenimiento al hospital a donde: 1 ó □ (2-3); o ó 2 (4-6Km) y \* ó 3 (7-12).

Figura 2 Tiempos TAT (en horas) para cada covariable que resulto ser significativa en el modelo.

Nota 1: Las curvas para los modelos de supervivencias 1-2 parece unirse al inicio y al final de los tiempos TAT, esto ocurre por la escala del gráfico, el autor puede proveer estos gráficos ampliados demostrando que sí están separados

## DISCUSIÓN

Antes de exponer la interpretación del modelo de Cox es importante aclarar un asunto. Para esta investigación no se midieron los tiempos de supervivencias o de funcionamiento de equipos (lo cual implicaría que a mayor tiempo de supervivencia sería un efecto deseable. Entonces, toda covariable que aumente el riesgo para la supervivencia es un efecto indeseado porque acorta el período de vida de un paciente o funcionamiento de un equipo) sino tiempos de rotura (TAT). Entonces, si estos tiempos aumentan por cualquier motivo, esto es un efecto no deseado. Luego, la interpretación de los resultados se hace a la inversa. Por ejemplo, si una empresa (ejemplo: Existencia de Servicio en Línea) tiene la presencia de una característica en su servicio que aumenta el riesgo de que el TAT sea menor, esto es un efecto deseado porque se disminuye el tiempo que el equipo estará detenido. En pocas palabras, en este contexto: lo que aumente el riesgo para el tiempo de “supervivencia” es un factor deseable, pues se disminuirán los tiempos de TAT.

Los valores de B (exponente de la covariable) y Exp (B) (riesgo relativo h (TAT,  $x = a$  versus  $x = b, \beta$ )) en la Tabla 3 de riesgos proporcionales nos permiten interpretar el modelo como sigue:

- Influencia de la covariable Tipo de mantenimiento (CORRECTIVO) en el TAT: La duración del TAT para una intervención correctiva es mayor que una preventivo. El riesgo de que el TAT sea mayor se incrementa en un 71,70 % ( $1/0,368$ ) cuando la intervención de mantenimiento es correctiva. Ver en la Figura 3a) como la probabilidad de que el TAT sea mayor siempre está por encima en el caso de que el mantenimiento es correctivo (modelo con rótulos o ó 1)
- Influencia de la covariable Existencia de Repuestos en el País (REPPAIS) en el TAT: Cuando se firman contratos o se reciben servicios de mantenimiento de una empresa que posee repuestos en el país; la duración del TAT es menor en comparación con las que no lo poseen. El riesgo de que el TAT sea mayor se incrementa en un 82,5 % ( $(1,825-1)/1$ ) cuando no hay repuestos en el país. Ver en la Figura 3b) como la probabilidad de que el TAT sea mayor siempre está por

encima en el caso de que la empresa no tenga los repuestos en el país (modelo con rótulos 0 ó 1)

- Influencia de la covariable Entrenamiento a usuarios (ENTUSUAR) en el TAT: Cuando se firman contratos o se reciben servicios de mantenimiento de una empresa que entrena a los usuarios de la tecnología; la duración del TAT es menor en comparación con las que no lo hacen. El riesgo a que el TAT sea mayor se incrementa en un 119,5 %  $((2,195-1)/1)$  cuando no se entrenan a los usuarios. Ver en la Figura 3c) como la probabilidad de que el TAT sea mayor siempre está por encima en el caso de que la empresa no entrena a los usuarios (modelo con rótulos 0 ó 1)
- Influencia de la covariable Complejidad Tecnológica (COMPLETECN) en el TAT: Cuando una empresa efectúa actividades de mantenimientos a equipos de complejidad tecnológica creciente (baja a alta); la duración del TAT es mayor a medida que crece la complejidad tecnológica. El riesgo a que el TAT sea mayor es de la siguiente forma:
  - a) Se incrementa en un 41,3 %  $((1,413-1)/1)$  cuando la tecnología es de mediana complejidad en comparación con baja complejidad. Ver como en la Figura 3d) la probabilidad de que el TAT sea mayor siempre está por encima en el caso de que la tecnología sea de complejidad media (modelo con rotulo 0 ó 2)
  - b) Se incrementa en un 67,3 %  $((1,673-1)/1)$  cuando la tecnología es de alta complejidad en comparación con baja complejidad. Ver como en la Figura 3d) la probabilidad de que el TAT sea mayor siempre está por encima en el caso de que la tecnología sea de complejidad alta (modelo con rotulo \* ó 3)
- Influencia de la covariable Distancia que existe de la empresa al hospital (DISTEMHOSP) en el TAT: Cuando se firman contratos o se reciben servicios de mantenimiento de una empresa que está más lejos de la institución de salud en comparación con otra; la duración del TAT es mayor para la que está mas lejos; o

sea el TAT crece con la distancia. El riesgo a que el TAT sea mayor se comporta de la siguiente forma:

- a) Se incrementa en un 68,0 %  $((1,68-1)/1)$  cuando la empresa esta a una distancia entre 5,1-10 km. (comparado con 0-5 Km). Ver como en la Figura 3e) la probabilidad de que el TAT sea mayor siempre está por encima en el caso de que la distancia sea entre 5,1-10 km (modelo con rotulo o ó 2)
  - b) Se incrementa en un 28 %  $((1,28-1)/1)$  cuando la empresa esta a una distancia superior a 10,1 km. (comparado con 0-5 Km). Ver como en la Figura 3e) la probabilidad de que el TAT sea mayor siempre está por encima en el caso de que la distancia sea superior a 10,1 km (modelo con rotulo \* ó 3)
- Influencia de la covariable Cantidad de visitas de mantenimiento de la empresa al hospital (NVISITASAÑO) en el TAT. Cuando se firman contratos o se reciben servicios de mantenimiento de una empresa que tiene un mayor número de visitas de mantenimiento; la duración del TAT es mayor en comparación con otra que hace menos visitas. El riesgo a que el TAT sea mayor se comporta de la siguiente forma:
    - a) Se incrementa en un 39,2 %  $((1,392-1)/1)$  cuando la empresa visita al hospital de 4-6 veces en el año en comparación cuando visita 2 veces. Ver como en la Figura 3e) la probabilidad de que el TAT sea mayor siempre está por encima en el caso de que las visitas de mantenimiento preventivo están entre 4-6 veces (modelo con rotulo o ó 2)
    - b) Se incrementa en un 122,2 %  $((2,222-1)/1)$  cuando la empresa visita al hospital de 7-12 veces en lo adelante en comparación cuando visita 2 veces. Ver como en la Figura 3f) la probabilidad de que el TAT sea mayor siempre está por encima en el caso de que las visitas este entre 7-12 veces y mas (modelo con rotulo \* ó 3)

La validación del modelo se basa en tres pruebas básicamente, estas son: la comprobación de la aleatoriedad de los residuos de para todas las covariables, la

graficación de los residuos de Martingale y la comprobación de la hipótesis de crecimiento proporcional de riesgos para cada covariables (gráficos no se cruzan). La estadística descriptiva para los residuos de todas covariables, demostró que la media de estos es 0. Los histogramas y las pruebas de normalidad muestran una distribución normal con media cero para cada una de ellos. Los gráficos de dispersión muestran una línea de ajuste casi paralela al eje de las x con un  $R^2$  del orden del  $10^{-4}$ - $10^{-5}$ . Esto implica un buen ajuste del modelo, o sea los residuos son aleatorios. Por otra parte, la graficación de los residuos de Martingale también arrojó el mismo resultado: un  $R^2$  del orden del  $10^{-4}$  (ninguna correlación) entre la variable  $X'\beta$  (es la combinación lineal de la media de los coeficientes de regresión corregidos de las covariables) y los residuos acumulados de la función de riesgo.

De la realización de este trabajo se puede concluir que:

1. Los Test no paramétricos primero de Mann Whitney, Kruskal Wallis y luego de Log Rank realizados entre cada variable explicativa o covariables y la variable dependiente TAT, permitieron comprobar la hipótesis 1 de trabajo  $H_1$ : Los grupos de variables  $G_1$ : *RU-RE*;  $G_2$ : *CServ*;  $G_3$  : *CRC* y  $G_4$ : *CEq* si influyen en la desempeño de la calidad del mantenimiento de una empresa; pues las medias de los valores de los tiempos TAT son diferentes y estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ )
2. La obtención del modelo de Cox para la variables TAT en función de las covariables estadísticamente significativas pertenecientes a los grupos  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  y  $G_4$  , permite por una parte, estimar cuantitativamente el impacto que estas producen en el incremento o disminución del riesgo de que el TAT sea mayor; y por la otra; a que las partes que participan en la formulación de contratos de servicios de mantenimiento puedan predecir el comportamiento del TAT en función de las características de las empresas. Esto último permite fijar cláusulas que protejan a ambas partes durante el desarrollo de la relación contractual.

Este trabajo de investigación es factible de ser mejorado de muchas formas. En primer lugar aumentar el tamaño de la muestra, o sea incorporar más hospitales al estudio es

deseable. Esto permite por una parte, incorporar más variables al estudio; como es el caso del tipo de institución (pública o privada) para estudiar como se comportan las empresas prestadoras de servicios de mantenimiento ante el tipo de institución; costo del contrato para estudiar como priorizan las empresas las actividades de mantenimiento ante el monto del contrato y los tipos de servicios hospitalarios donde se encuentran instalados los equipos, con el objetivo de estudiar como la organización logística del hospital permite acceso a los prestadores de servicios de mantenimiento; y por la otra, llegar a conclusiones más generalizadas sobre la influencia de las variables de los grupos  $G_1$ : *RU-RE*;  $G_2$ : *CServ*;  $G_3$ : *CRC* y  $G_4$ : *CEq* en la variable TAT.

### AGRADECIMIENTOS

A COLCIENCIAS por los recursos brindados en la convocatoria 459/08 para la financiación del estudio. El monto del financiamiento fue 38.997.497 MC (Treinta y ocho millones novecientos noventa y siete mil cuatrocientos noventa y siete con cero pesos). Al Hospital Universitario la Samaritana por su apoyo y colaboración en la realización de esta investigación.

### REFERENCIAS

- (1). Ministerio de la Protección Social. Modelo de Evaluación y Gestión del Equipamiento Biomédico. [Internet]. Disponible en: <http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/Library/documents/DocNewsNo14710DocumentNo5095.pdf>. Consultado Enero de 2010.
- (2). Duarte G, Sackett P, Evans S. Migration and outsourcing. *IEEE Manufacturing Engineer* 2004; 24 (6): 44-48.
- (3). Taraci H, Tang K, Teyarachakul S. Learning effects on maintenance outsourcing. *European Journal of Operational Research* 2009; 192 (1): 138-150
- (4). Jensen D. Contract worker services: An inside view. *Aviation Management* 2006. July 1.
- (5) Tieman, J. In need of repairs. *Modern Healthcare* 2002; 32(2): 30–32.
- (6). Landis, KM, Mishra S, Porrello K. Calling a change in the outsourcing market: the realities for the world's largest organizations. *Deloitte Consulting Report*. 2005

- (7). Doig SJ, Ritter RC, Speckhals K, Woolson D. Has outsourcing gone too far? (Cover story). McKinsey Quarterly 2001: 24–37.
- (8). Robinson P, Lowes P, Loughran, C, Moller P, Shields G, Klein E. Why Settle for Less? 2008 Outsourcing Report. Deloitte Consulting Report. 2008
- (9). Sean MH, Benton WC. Unloking the business outsourcing model. Journal of operations management 2009; 27(5): 344-361.
- (10). Barney J. Firm resources and sustained competitive advantage Journal of Management 1991; 17(1): 99–120.
- (11). ECRI. Health Technology. Special report on managing service contract. 1989; 3(4) Winter: 39-21
- (12). Cohen T. Benchmark indicators for medical equipment repair and maintenance. Biomedical Instrumentation and Technology 1995; 29 (4). 308 -320.
- (13) Hosmer WH. Applied Survival Analysis Regression Modeling of time-to-Event Data. 2<sup>nd</sup> Edition. New Jersey: Wiley Series in Probability and Statistics; 2008, p-2
- (14) Paquete Informático SPSS. [Internet ] Disponible en : <http://www.spss.com/es/>. Consultado Enero de 2010
- (15). Ministerio de la Protección Social, "DECRETO NUMERO 4725 DE 2005 (diciembre 26)". [Internet ] Disponible en : <http://www.minproteccionsocial.gov.co/vbeContent/library/documents/DocNewsNo17371DocumentNo6815.pdf>. Consultado Enero de 2010.