

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil Logística



**ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN DE GASTOS EN CONVENIO DE
MANTENCIÓN Y COMPRA DE REPUESTOS EN EQUIPOS
MÉDICOS CRÍTICOS EN EL HOSPITAL REGIONAL DE
CONCEPCIÓN.**

Miguel Andrés Hernández Guzmán

Informe de Proyecto de Título para optar al Título de
Ingeniero Civil Logístico.

Profesor Guía:

Marcial Sáez Leiva

Profesores Informantes:

Patricio Cea Echeverría

Patricio Sáez Bustos

Claudio Wandersleben Arriagada

Concepción, Julio 2016

Resumen.

El “Hospital Clínico Regional de Concepción Dr. Guillermo Grant Benavente” tiene la necesidad de implementar una metodología con el propósito de **asignar planes de mantenimiento a las familias de equipos críticos**: Incubadoras, Máquinas de Anestesia, Monitores Desfibriladores y Monitores Multiparámetro. Un equipo crítico se define como **aquel equipo clínico que por su función, complejidad y/o frecuencia de utilización, su falla o funcionamiento inadecuado condiciona gran riesgo para los pacientes, los operadores y el equipo de salud** (Superintendencia de salud, 2014).

El estudio se centró en la aplicación del método de análisis multicriterio conocido como **Analytic Hierarchy Process¹ (AHP)**, que, aplicado a cada familia, entregó como resultado la clasificación de los equipos que la componen (en porcentaje). Esta priorización se hizo en base a las **variables** que se consideraron, relacionadas con la Operatividad y el Costo de los equipos y sus componentes. Finalmente, se asignó un **Plan de Mantenimiento Full**, el más robusto, para el 20% mayor, y para los restantes (80% menor), un **Plan de Mantenimiento Simple**, que considera menos aspectos que el primer plan, pero satisfaciendo las necesidades básicas de los equipos asignados², obteniendo como resultado un ahorro que bordea el 20% en comparación con la situación actual. Adicionalmente, se realizó un modelo en **Cadenas de Markov (C. de M.)** que permitió conocer las probabilidades de estado estable para cada equipo en particular, es decir, la **probabilidad de que, en un tiempo muy lejano, un equipo esté Operativo (o No operativo)**, así como también estimar el momento en que podrían fallar.

Ambos métodos utilizados fueron automatizados en planillas Microsoft Excel, es decir, sólo requieren ingresar los datos de entrada al modelo respectivo y se resuelve automáticamente, evitando fallas en el proceso de resolución, ineficiencias en cuanto al tiempo de desarrollo del ejercicio y aplicando la mínima intervención usuaria.

Palabras clave: Plan de Mantenimiento – Equipo crítico – AHP – C. de M.

¹ En español: Proceso de Jerarquía Analítica (PJA).

² La asignación será en base al principio de Pareto del 80-20.

Abstract.

The “Hospital Clínico Regional de Concepción Dr. Guillermo Grant Benavente” have the necessity to implement a methodology in order to assign maintenance plans to the families of critical equipment: Incubators, Anesthesia Machines, Defibrillator Monitors and Multiparameter Monitors. A critical equipment is defined as the clinical equipment that, because of his function, complexity and/or utilization frequency, its failure or inadequate operation conditions is a big risk to the patients, operators and to the health team.

The research is focused in the application of the multicriterion analysis method known as **Analytic Hierarchy Process (AHP)**, which applied to each family, brings as result the classification of equipment that compose it (in percentage). This prioritization was realized based on considered **variables**, related to Operability and Cost of the equipment and his components. Finally, it was assigned a **Full Maintenance Plan**, more robust, to the higher 20%, and to the remaining, (lower 80%), a **Simple Maintenance Plan**, which considers lower aspects that the first plan, but satisfy the basic necessities of the assigned equipment, resulting in savings about 20% in contrast to the current situation. Additionally, it was realized a **Markov Chain (MC)** model, which brought the knowledge of the steady state probabilities to each particular equipment, that is to say, the **probability that, in a large period of time, an equipment will be Operative (Or Not Operative)**, and also estimate the moment it could be failed.

Both utilized methods were automatized in a Microsoft Excel spreadsheet, which only needs to add the input data to the respective model and it be solved automatically, avoiding failures in the resolution process, inefficiencies with development time of the exercise and applying the minimum user intervention.

Keywords: Maintenance Plan – Critical equipment – AHP – MC.

Dedicatoria.

A mis padres Margarita Guzmán Cárcamo y Carlos Hernández San Martín, que siempre me brindaron su apoyo incondicional, no solo en mi proyecto de título, sino en toda mi carrera y en cada etapa de mi vida.

A toda mi familia, quienes siempre me dan una palabra de aliento para seguir adelante en este largo camino.

Finalmente, a mi novia Carolina Quiroz Valdebenito, siempre comprensiva y sostenedora, día a día entregándome fuerza e ímpetu, uno de los pilares fundamentales junto con mis padres en todo este proceso.

Agradecimientos.

A todos quienes de alguna manera aportaron en mi formación personal y profesional, desde mi primer día de Escuela hasta mi último día de Universidad, cada una de experiencias, positivas y negativas, las llevo guardadas en lo más profundo de mí, porque ellas son las que hoy me hacen la persona que soy.

A mis verdaderos amigos y a los que se quedaron en el camino, que con su ayuda emocional e intelectual aportaron a mi vida.

A mi jefe de carrera, el Sr. Patricio Cea Echeverría, por su disponibilidad para resolver cada inquietud que tuve a lo largo de la carrera.

A todos los profesores que tuve en la Universidad, especialmente a los de la Facultad de Ingeniería, que con sus cátedras y consejos me hicieron crecer como persona y como profesional.

A mi profesor guía, el Sr. Marcial Sáez Leiva, que siempre estuvo disponible cuando necesité de su ayuda y consejos, brindándome su tiempo y espacio, además de su confianza.

Al Sr. Patricio Sáez Bustos, que con su ayuda intelectual pude superar barreras que se interponían en el transcurso del proyecto.

Finalmente, a la Srta. Constanza Mendoza Ríos, que me facilitó sus conocimientos e investigaciones que aportaron en el desarrollo de este estudio.

Índice de contenidos.

Capítulo 1. Introducción	1
1. 1. Presentación del tema.....	1
1. 2. Objetivos.	2
1. 2. 1. Objetivo general.	2
1. 2. 2. Objetivos específicos.	2
1. 2. 3. Objetivo personal.	2
1. 3. Justificación del problema.....	3
1. 4. Delimitación del problema.....	4
1. 5. Metodología.	6
Capítulo 2. Marco teórico	8
2. 1. Analytic Hierarchy Process (AHP).	8
2. 1. 1. Ventajas del AHP.....	9
2. 1. 2. Diagrama de árbol.	10
2. 1. 3. Fundamentos AHP.	10
2. 1. 4. Comparaciones pareadas.	13
2. 1. 5. Ratio de Consistencia.....	15
2. 1. 6. Vector Propio.	19
2. 1. 7. VPs Variables Cualitativas.....	24
2. 1. 8. VPs para Variables Cuantitativas.....	25
2. 1. 9. Jerarquización de las alternativas.....	27
2. 1. 10. Asignación.	28
2. 1. 11. Diagrama de Pareto.....	30

2. 2. Cadenas de Markov (C. de M.)	31
2. 2. 1. Denotación.	32
2. 2. 2. Propiedades esenciales.	33
2. 2. 3. Matriz de probabilidades de transición.	34
2. 2. 4. Representación gráfica de estados.	38
2. 2. 5. Probabilidades de estado estable (Matriz $P(n)$ y Ecc. de estado estable).	39
Capítulo 3. Situación actual del HGGB.	41
3. 1. Antecedentes generales de HGGB.	41
3. 1. 1. Misión.	42
3. 1. 2. Visión.	42
3. 1. 3. Valores.	42
3. 2. Ubicación.	43
3. 3. Organigrama institucional.	44
3. 4. Datos de entrada.	45
Capítulo 4. Aplicación AHP.	46
4. 1. Descripción de los elementos del método AHP.	47
4. 1. 1. Meta: Priorización de equipos.	47
4. 1. 2. Variables primarias:	47
4. 1. 3. Variables secundarias:	47
4. 1. 4. Alternativas:	47
4. 2. Obtención de datos.	48
4. 2. 1. Operatividad.	48
4. 2. 2. Costos.	51
4. 3. Encuestas.	52

4. 4. Comparaciones pareadas.....	55
4. 5. Vectores propios (Representativos) y Variables ponderadas.....	57
4. 6. Desarrollo del método.....	60
4. 7. Jerarquización de los equipos.....	63
4. 8. Asignación.	64
4. 9. Diagrama de Pareto.....	65
4. 10. Costos de Mantenimiento.....	66
4. 11. Costos en Prestaciones Clínicas.....	69
4. 12. Costos totales de mantenimiento Actuales, Post-método y comparación.....	73
4. 12. 1. Situación Actual vs Posterior.....	75
4. 12. 2. Ahorro en Costos de mantenimiento anuales por escenario de demanda.	77
Capítulo 5. Aplicación C. de M.	78
5. 1. Denotación.....	78
5. 2. Cumplimiento de las propiedades esenciales de C. de M.	78
5. 3. Matriz de transiciones.....	79
5. 4. Matriz de probabilidades de transición.....	83
5. 5. Representación gráfica de estados.....	84
5. 6. Probabilidades de estado estable (Matriz $P(n)$ y Ecc. de estado estable).....	84
Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones.	89
6. 1. Conclusiones.....	89
6. 2. Recomendaciones.....	90
Capítulo 7. Referencias Bibliográficas.	91

Capítulo 8. Anexos.	93
8. 1. Anexo A: Detalle de las familias de equipos (Marca, Modelo y N° Serie).	93
8. 1. 1. Incubadoras.	94
8. 1. 2. Máquinas de Anestesia.....	94
8. 1. 3. Monitores Desfibriladores.....	95
8. 1. 4. Monitores Multiparámetro.	96
8. 2. Anexo B: Obtención de costos de equipos y componentes desde la web de Mercado Público.	97
8. 3. Anexo C: Detalle de las encuestas realizadas a los cuatro expertos de HGGB.	103
8. 4. Anexo D: Detalle de las comparaciones pareadas de las variables según los cuatro expertos del HGGB.	108
8. 5. Anexo E: Procedimiento para la obtención de la asignación de Planes de Mantenimiento a través de la planilla con el método AHP Automatizado.	113
8. 6. Anexo F: Procedimiento para la obtención de la Matriz de probabilidades de transición de estado estable $P(n)$ mediante el modelo automatizado de C. de M.....	129
8. 7. Anexo G: Proceso de obtención de las probabilidades de estado estable π_j a través de las ecuaciones de estado estable mediante el uso del modelo precargado en una planilla Microsoft Excel usando la herramienta Solver.	132

Índice de tablas.

Tabla 1: Escala Fundamental de Saaty.	11
Tabla 2: Matriz comparación por pares de m variables.....	13
Tabla 3: Formato encuestas de comparación pareada.....	14
Tabla 4: Comprobación de consistencia.	15
Tabla 5: Tabla de Consistencia Aleatoria.	16
Tabla 6: Ejemplo cálculo VPR.....	21
Tabla 7: Forma generalizada de ponderación de variables.	22
Tabla 8: Ponderación final de las variables.....	23
Tabla 9: Matriz de comparación pareada para Variables Cualitativas.....	24
Tabla 10: Matriz de datos de Variables Cuantitativas.	25
Tabla 11: Matriz de datos de Variables Cuantitativas normalizada.....	25
Tabla 12: VPs de las Variables secundarias Cuantitativas.....	26
Tabla 13: Matriz final de valores a ponderar.	26
Tabla 14: Multiplicación de matrices de ponderación final.....	27
Tabla 15: Ponderación final de las Alternativas.	28
Tabla 16: Asignación de un Plan de Mantenimiento por principio de Pareto.	29
Tabla 17: Formato Matriz general de transiciones de dos estados.	34
Tabla 18: Línea de tiempo generada aleatoriamente.....	34
Tabla 19: Matriz general de transiciones de dos estados.....	36
Tabla 20: Forma general Matriz de probabilidades de transición para s estados.	37
Tabla 21: Matriz general de probabilidades de transición de dos estados.....	37
Tabla 22: Cálculo de la matriz $P(n)$	39
Tabla 23: Equipos en estudio.	45
Tabla 24: Ejemplo cálculo porcentaje tiempo inoperativo del componente.	48
Tabla 25: Ejemplo cálculo porcentaje tiempo inoperativo ponderado del equipo.....	50
Tabla 26: Adaptación Escala Fundamental de Saaty.	52
Tabla 27: Resumen Variables primarias y secundarias.....	59
Tabla 28: Ponderación final de las variables.....	59

Tabla 29: Datos familia Monitores Desfibriladores.....	60
Tabla 30: Datos familia Monitores Desfibriladores proporcionales.	61
Tabla 31: Datos familia Monitores Desfibriladores normales (VPs).....	62
Tabla 32: Priorización de la familia Monitores Desfibriladores.	63
Tabla 33: Asignación Planes de Mantenimiento a la familia Monitores Desfibriladores. ..	64
Tabla 34: Resumen costos de mantenimiento actuales HGGB.....	66
Tabla 35: Resumen costos de mantenimiento actuales HGGB (proporcional).....	66
Tabla 36: Tabla de conversión Simple – Semi-Full – Full.	67
Tabla 37: Estimación Costo marginal Full (s/IVA).	67
Tabla 38: Resumen costo total mantenimiento familia Monitores Desfibriladores.....	68
Tabla 39: Costos totales de mantenimiento por familia.....	68
Tabla 40: Costo total anual de mantenimiento.....	68
Tabla 41: Comparación escenario actual contra el posterior al método.	69
Tabla 42: Resumen costos de Prestaciones Clínicas.....	70
Tabla 43: Obtención Costo total Actual extrasistema familia M. Multiparámetro.....	71
Tabla 44: Obtención Costo total Post-método extrasistema familia M. Multiparámetro. ...	72
Tabla 45: Resumen ahorro en costos de mantenimiento totales por escenario.....	74
Tabla 46: Ahorro porcentual promedio de 1.000 soluciones.....	76
Tabla 47: Registros de fallo monitor desfibrilador Nihon Kohden Tec 3500.....	79
Tabla 48: Ejemplo Diagrama de Gantt registros de fallo (estado).....	80
Tabla 49: Ejemplo Diagrama de Gantt registros de fallo (días).....	80
Tabla 50: Línea de tiempo para el cálculo de transiciones ($i \rightarrow i$).	81
Tabla 51: Cálculo de transiciones.	81
Tabla 52: Línea de tiempo para el cálculo de transiciones ($i \rightarrow j$).	82
Tabla 53: Matriz de transiciones definitoria del problema.	82
Tabla 54: Obtención Matriz de probabilidades de transición de una etapa.	83
Tabla 55: Obtención Matriz de estado estable.	85
Tabla 56: Matriz de probabilidades de estado estable.	86
Tabla 58: Detalle familia Máquinas de Anestesia.....	94
Tabla 57: Detalle familia Incubadoras.	94

Tabla 59: Detalle familia Monitores Desfibriladores.....	95
Tabla 60: Detalle familia Monitores Multiparámetro.	96

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1: Ventajas del método AHP.....	9
Ilustración 2: Diagrama de Árbol.....	10
Ilustración 3: Representación gráfica de estados de una C. de M.....	38
Ilustración 4: Ubicación HGGB.....	43
Ilustración 5: Organigrama institucional HGGB.	44
Ilustración 6: Diagrama de Árbol aplicado.	46
Ilustración 7: Representación gráfica de estados de la C. de M. aplicado.	84
Ilustración 8: Incubadora Drager Isolette C2000.	93
Ilustración 9: Máquina de Anestesia Datex Ohmeda Aespire S5.	93
Ilustración 10: Monitor Desfibrilador Nihon Kohden Tec 5531E.....	93
Ilustración 11: Monitor Multiparámetro Mediana YM-6000.....	93
Ilustración 12: ¿Qué es Mercado Público?.....	97

Índice de Gráficos.

Gráfico 1: Diagrama de Pareto.....	30
Gráfico 2: Diagrama de Pareto aplicado.	65
Gráfico 3: Comparación situación Actual vs Post-método.	75
Gráfico 4: Ahorro en mantenimiento anual por escenario/Ahorro porcentual.	77

Abreviaciones.

HGGB: Hospital Clínico Regional de Concepción Doctor Guillermo Grant Benavente.

AHP: Analytic Hierarchy Process.

CR: Ratio de Consistencia.

CI: Índice de Consistencia.

VP(s): Vector(es) Propio(s).

VPR: Vector Propio Representativo.

C. de M.: Cadena(s) de Markov.

v.a.: Variable aleatoria.

F : Frecuencia.

tc : Transición continua.

Ecc: Ecuación(es).

Capítulo 1. Introducción.

1. 1. Presentación del tema.

Cumplir con las necesidades de la población aqueja a cualquier tipo de entidad pública, más aún cuando se trata del área de salud, ya que tener en las manos la responsabilidad de entregar atención de salud de alta complejidad a los más de dos millones (2.000.000) de habitantes sólo de la octava región, es decir, más de dos millones de potenciales pacientes, sin contar al resto de los usuarios del centro sur de Chile, obliga a cumplir con exigentes estándares de calidad para así poder entregar un servicio adecuado, a un paciente adecuado, en un tiempo adecuado y en las condiciones que éste lo requiera³.

Dentro de todos los servicios percibidos por un usuario cuando se le presta atención dentro de un consultorio, hospital, clínica, o afines, se encuentra el tener como intermediario un **equipo médico**, tal como un monitor, medidores de presión, ecotomógrafo, entre otros, proceso de gran relevancia, ya que el equipo con el cual se trabaja debe estar en las condiciones mínimas necesarias para operar. Esto se logra ya que cada uno de ellos cuenta con un **plan de mantenimiento**. El problema radica en que el HGGB no cuenta con un método que le permita decidir qué plan de mantenimiento asignar a cada equipo en particular, sólo asignan un (1) plan por familia, sin considerar que hay equipos con mayores y menores necesidades. Es por esto que la tarea principal fue separar las familias en dos (2) grupos según su relevancia, para ya no asignar únicamente un plan general por familia, sino que dos planes (Simple y Full) adaptados a las necesidades de los equipos según las variables estudiadas.

³ Adaptación de la definición de Logística al foco del estudio.

1. 2. Objetivos.

1. 2. 1. Objetivo general.

Desarrollar un modelo de asignación de planes de mantenimiento a 4 familias de equipos críticos, logrando un equilibrio entre costos de mantención y productividad.

1. 2. 2. Objetivos específicos.

1. Elaborar un modelo general de asignación de planes de mantenimiento en base a tiempos inoperativos y costos asociados al equipo en general.
2. Establecer los planes de mantenimientos a aplicar a los equipos médicos definidos.
3. Proponer el modelo final de mantenimiento de equipos, aplicado a la totalidad de ellos (por familia), considerando Tiempos inoperativos y Costos asociados a los **componentes**, además de Tiempos inoperativos, Costos y Frecuencia de inoperatividad asociada a los **equipos**, asignando un plan óptimo según sus necesidades a cada uno de ellos.
4. Comparar la situación actual con la situación utilizando el modelo propuesto, en base a los costos finales de mantenimiento.

1. 2. 3. Objetivo personal.

Realizar un aporte a la comunidad, mejorando la calidad percibida por el paciente a la hora de internarse y que, además, la metodología pueda ser replicada en otros organismos de la salud, con el fin de que el grupo social beneficiado sea mayor.

1. 3. Justificación del problema.

El HGGB, así como cualquier otra entidad pública, tiene la responsabilidad de entregar un servicio de calidad, satisfaciendo la necesidad social, para ello, los procesos internos deben ser cada vez más eficientes, trabajando bajo una filosofía de mejora continua, es por esto que se justifica el hecho de implementar una metodología que permita asignar de manera más exacta un plan de mantenimiento a los equipos médicos, adaptado a las necesidades de éste, ya que el impacto que genera se ve reflejado a nivel de **productividad** (eficiencia, operatividad y disponibilidad) de las máquinas, que se traducen en una atención temprana y de calidad hacia el paciente.

Como se mencionó en el párrafo anterior, los beneficios son palpables en términos de productividad más que en costos, al menos en el área de mantenimiento, ya que actualmente HGGB cuenta sólo con planes de mantenimiento Simples y la inclusión de un plan Full incrementó los costos totales del ejercicio, pero no así los costos totales para el hospital, ya que **en ciertas situaciones en que un equipo no se encuentre operativo para, por ejemplo una cirugía, se debe arrendar un pabellón completamente equipado (o una sala correspondiente a la necesidad de equipos), incluyendo al personal, en una clínica privada para poder cumplir con el servicio, costos en los cuales tiene que incurrir HGGB al no contar con un equipo disponible**, situación que incrementa de sobremanera los costos para una cirugía, que podrían ser evitados al contar con un equipo más productivo, que pueda estar disponible en el momento en que se requiera.

1. 4. Delimitación del problema.

El proyecto se enmarca en el área de equipos médicos del HGGB, cuya finalidad es adaptar una metodología de análisis multicriterio, llamada AHP, al área de la salud, con el fin de priorizar equipos médicos pertenecientes a una familia para la toma de decisiones, con el objeto de asignar planes de mantenimiento, Simple o Full, a los equipos con menor o mayor valor de ponderación, respectivamente.

Los datos de entrada al modelo fueron de dos (2) tipos: Operatividad y Costos. Los del primer grupo se obtuvieron de las hojas de vida de cada familia de equipos con un historial de cinco (5) años (2011 – 2015) proporcionadas por el Sr. Patricio Sáez, Jefe del Departamento de Equipos Médicos e Ingeniería Hospitalaria, y los datos de Costos se extrajeron desde las más recientes licitaciones publicadas hasta el presente año (2016), en el sitio web de Mercado Público.

Los elementos que se extrajeron desde las hojas de vida fueron:

- Fecha de emisión,
 - Fecha de reparación,
 - Marca,
 - Modelo,
 - Número de serie, y
 - Componente que ocasionó el fallo.
- } Asociados al reporte de fallo del equipo.
- } Asociados al equipo.

Se utilizó el supuesto de que se trabaja bajo el caso más adverso, lo cual implica que si existe un déficit de equipos en un instante x , el hospital no cuenta con la opción de préstamos desde otros servicios ni equipos en *back up*, tampoco se puede cerrar el cupo de atención, pues el costo del descontento es difícil de cuantificar. Dado lo anterior, para calcular el costo del déficit de equipos en un instante x , se consideró el servicio de externalización en Prestaciones Clínicas, costos particulares para cada familia que se presentarán en el **Capítulo 4. 11.**

Los costos que se extrajeron desde el sitio web de Mercado Público fueron los de componentes y equipos, se seleccionaron aquellos ofertados en las más recientes licitaciones publicadas hasta el año actual, calculando un promedio de todas las ofertas, y se obtuvo un valor representativo, además, algunos costos fueron facilitados por HGGB.

HGGB cuenta con cinco (5) familias de equipos críticos:

- Incubadoras (22),
- Máquinas de Anestesia (24),
- Monitores (Multiparámetro (12) y Sistemas médicos (154)),
- Monitores Desfibriladores (Novacare (38), Arquimed AR (5) y Arquimed Gore (18)),
y
- Ventiladores (97).

De lo anterior, la información de las hojas de vida recaudó información suficiente sólo para las cuatro (4) primeras familias antes mencionadas, por lo tanto, **se excluyó de todo tipo de estudio a la familia Ventiladores**, pues ésta no contaba con el número de serie asociado al registro de fallo, además, del mismo documento antes mencionado se obtuvo que de la familia Monitores Desfibriladores, los correspondientes a Arquimed AR y Arquimed Gore carecían de historial de fallos suficiente para aplicar el estudio, por lo tanto, de la familia mencionada, **sólo se trabajó con Monitores Desfibriladores Novacare**. Finalmente, de la familia Monitores, **se trabajó únicamente con los Monitores Multiparámetro**, pues la recopilación de información para los Monitores de Sistemas médicos requería una gran inversión de tiempo de trabajo. En consecuencia, las familias a trabajar fueron: **Incubadoras, Máquinas de Anestesia, Monitores Desfibriladores Novacare⁴ y Monitores Multiparámetro**.

Adicional a lo anterior, se incluyó un modelo de C. de M. que el HGGB puede utilizar para, una vez realizada la asignación, estimar el momento en que podría fallar un equipo, usando como elementos de entrada los mismos extraídos desde las hojas de vida.

⁴ En adelante “Monitores Desfibriladores”.

1. 5. Metodología.

Se utilizó el método **AHP** automatizado en una planilla Microsoft Excel (con soporte para 200 equipos y 100 componentes) para la priorización de equipos médicos, pertenecientes a cada familia, para una posterior asignación en base a su nivel de ponderación con respecto a las variables y relevancia de éstas en el estudio. El método necesita como entrada una **Meta** que se busca alcanzar, **Variables** (o Criterios) sobre las cuales se estudiaron los equipos en cuestión, que a su vez contienen **Variables secundarias** (o Sub-criterios) pertenecientes a la Variable madre y también **Alternativas** a priorizar, que para este caso fueron todos los equipos de una familia en particular. Luego, todas las variables se comparan unas con otras, por pares, para determinar cuáles son las más y menos relevantes, todo esto en base a encuestas realizadas a expertos en el área, provenientes de HGGB. Finalmente, con los datos de todas las variables correspondientes a todos los equipos y su relevancia, se obtiene la priorización de los equipos, para luego, aplicando el principio de Pareto, asignar un plan Full al 20% más importante de los equipos (respecto de las variables en estudio) y un plan Simple al 80% restante.

Una vez obtenida la asignación, el HGGB puede utilizar el método de **C. de M.** automatizado en una planilla Microsoft Excel para estimar el momento en que podría fallar un equipo, usando como elementos de entrada principalmente las Fechas de emisión y Reparación de un fallo (con soporte para 15 registros). Con estos datos, el modelo crea una línea de tiempo y calcula la cantidad de transiciones (en días) que hay desde un día Operativo a otro día Operativo, de un día Operativo a No Operativo, No Operativo a Operativo y No Operativo a No Operativo, creando una matriz cuadrada de 2x2 llamada Matriz de Transiciones, luego esa matriz se normaliza por fila y se obtiene la Matriz de probabilidades de Transición. Finalmente, al multiplicar esta última matriz por sí misma un número muy grande de veces se logra observar que las probabilidades tienden a estabilizarse en un punto, obteniendo así la Matriz de probabilidades de Estado Estable.

El ejercicio anterior puede corroborarse fácilmente resolviendo con la herramienta Solver⁵ de Microsoft Excel un modelo precargado en la planilla, que calcula también las probabilidades de estado estable con el método de sistemas de ecuaciones, así se puede comprobar que se llegó al valor correcto. El HGGB puede utilizar esta última matriz, Matriz de probabilidades de Estado Estable, para estimar la probabilidad de que un equipo pase de un estado Operativo a No Operativo (lo que es lo mismo, la probabilidad de que un equipo falle) en un tiempo suficientemente alto (transcurridos una gran cantidad de días), dato de gran utilidad para el hospital, pues así se puede predecir cuándo un equipo fallará y de ser necesario aplicar ciertas mínimas modificaciones a la asignación entregada por el AHP.

En los **Capítulos 4 y 5** se detallan a fondo los dos métodos mencionados en los párrafos anteriores, en todos sus niveles: Datos de entrada, Desarrollo y Resultados. Se incluyeron tablas que ejemplifican los métodos propuestos y se puedan entender de manera más práctica. Finalmente, en el **Capítulo 4. 12** se comparó la situación actual del HGGB con el escenario después de la implementación de los métodos, para detallar cómo se vio beneficiado el hospital con esta propuesta.

⁵ Cargar el complemento Solver en Microsoft Excel: <https://support.office.com/es-es/article/Cargar-el-complemento-Solver-612926fc-d53b-46b4-872c-e24772f078ca>

Capítulo 2. Marco teórico.

2. 1. Analytic Hierarchy Process (AHP).

El modo por el cual se obtuvo la solución fue mediante un análisis multicriterio, el método aplicado fue el Analytic Hierarchy Process (AHP). Esta herramienta fue planteada por el PhD En Matemáticas de la Universidad de Yale, Profesor de la Universidad de Pittsburgh y Miembro Correspondiente Extranjero de la Real Academia de Ciencias Exacta, Físicas y Naturales de España (entre otros títulos), Thomas L. Saaty, en el transcurso de los años 70, desde entonces ha sido constantemente optimizado y refinado, convirtiéndolo hoy en una de las más prácticas y poderosas herramientas para el análisis multicriterio de alternativas en la toma de decisiones.



Thomas L. Saaty
(1926 – Actualidad)

Saaty lo define como “un modelo útil para solucionar cuantitativamente los problemas (...) El proceso se puede aplicar a problemas reales y es específicamente útil para asignar recursos” (Saaty, 1997).

2. 1. 1. Ventajas del AHP.

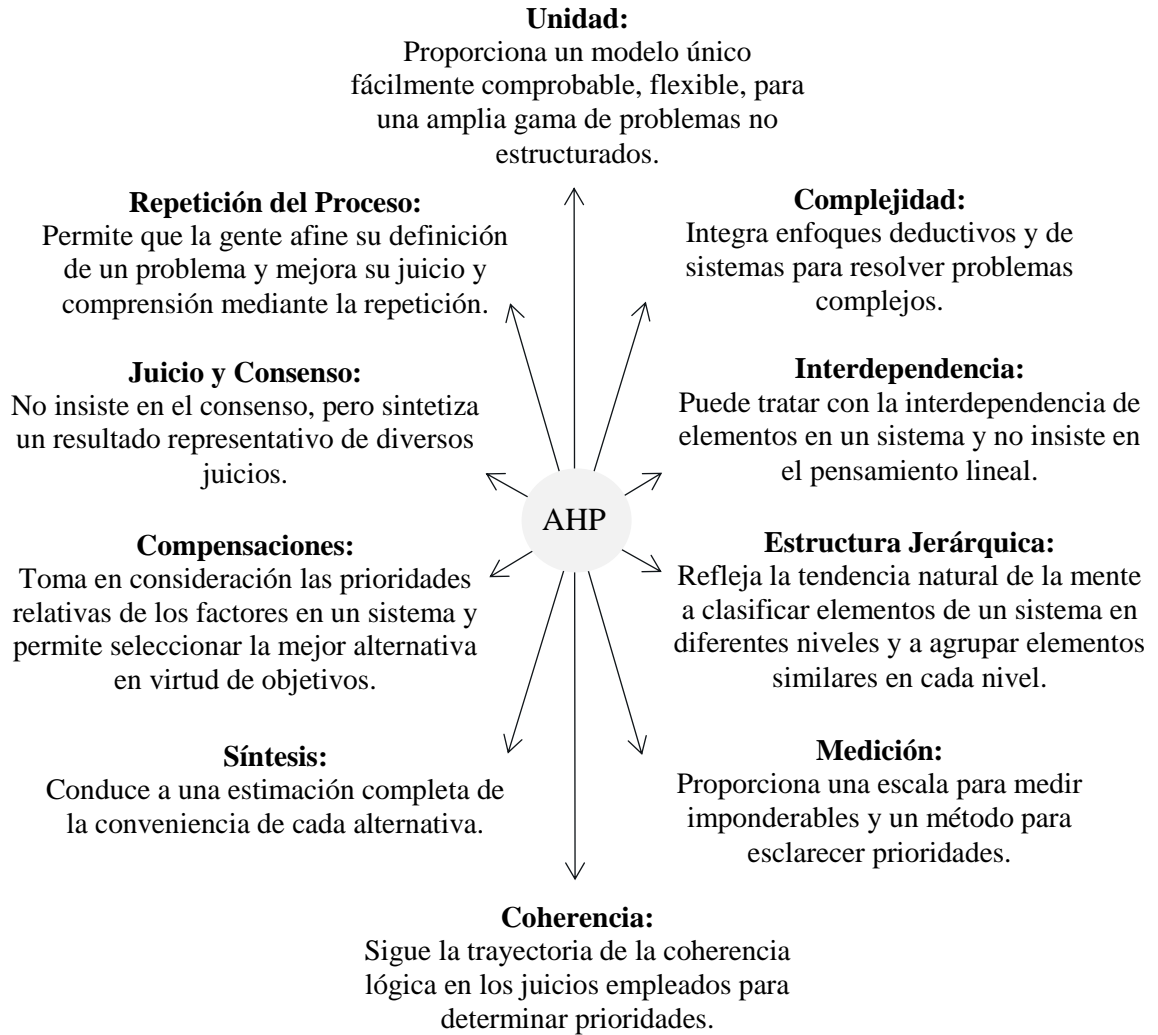


Ilustración 1: Ventajas del método AHP.

(Saaty, 1997).

2. 1. 2. Diagrama de árbol.

Como una forma de ordenar el problema, Saaty plantea que una buena herramienta es crear un árbol que esclarezca cada uno de sus niveles, de la siguiente manera:

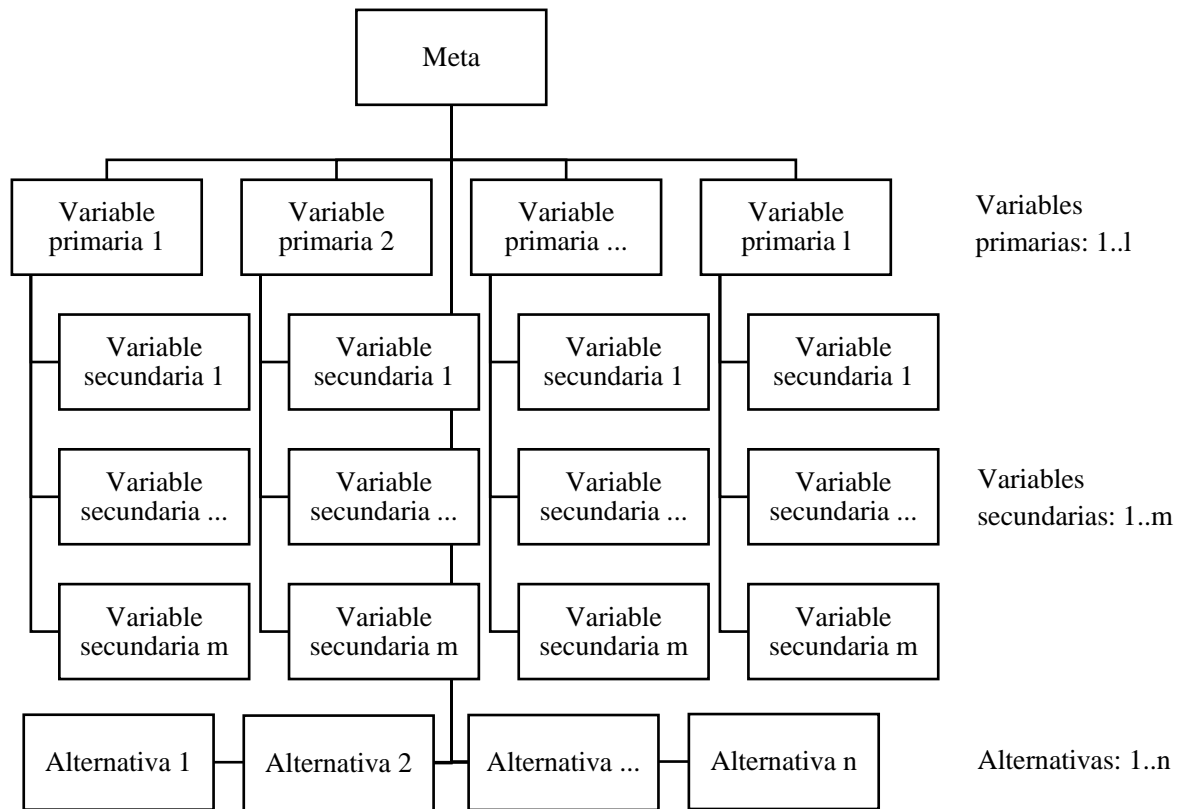


Ilustración 2: Diagrama de Árbol.

Elaboración propia, adaptado de Saaty (1997).

2. 1. 3. Fundamentos AHP.

Thomas L. Saaty plantea que el método tiene tres (3) bases fundamentales principales en los cuales se rige, ellos son:

- Fundamentos psicológicos,
- Fundamentos matemáticos, y
- Contrastes empíricos.

i. Fundamentos psicológicos.

A partir de observaciones de psicólogos realizadas a finales del siglo XIX, se plantea que “la mente humana está muy bien diseñada para realizar comparaciones por pares, es decir, de dos en dos, pero no trabaja muy bien cuando se requiere hacer comparaciones globales” (Aznar, 2015). Es por esto que Saaty plantea la Escala Fundamental, para realizar comparaciones pareadas de cada variable, asignándole respectivamente una intensidad en importancia de la siguiente manera:

Tabla 1: *Escala Fundamental de Saaty.*

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual Importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al mismo objetivo
2	Débil	Entre Igual Importancia e Importancia Moderada
3	Importancia moderada	Experiencia y juicio ligeramente a favor de una actividad de otra
4	Más moderado	Entre Importancia Moderada y Fuerte Importancia
5	Fuerte importancia	Experiencia y juicio fuertemente a favor una actividad de otra
6	Más fuerte	Entre Fuerte Importancia e Importancia Muy Fuerte
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Una actividad es muy fuertemente favorecida sobre otra, esta dominancia demostrada en práctica
8	Muy, muy fuerte	Entre Importancia Muy Fuerte e Importancia Extrema
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del orden más alto posible de afirmación

(Saaty, 1997).

ii. Fundamentos matemáticos.

Los instrumentos utilizados en la elaboración del método, principalmente compuesto por matrices, debe cumplir con la siguiente robustez matemática:

- Reciprocidad: Para cada elemento de la matriz de comparación por pares en la ubicación $a_{ij} = X \exists a_{ji} = \frac{1}{X}$. (Ver página 13).
- Homogeneidad. Si una variable A tiene igual importancia que una variable B, entonces el elemento asociado a la variable A, $a_{ij} = a_{ji} = 1$. Además $a_{ii} = 1, \forall i$. (Ver página 13).
- Consistencia: Satisfacer $a_{ik} * a_{kj} = a_{ij}, \forall 1 \leq i, j, k \leq q$. (Ver página 15).

(Aznar, Guijarro, & Estruch, 2015)

En las siguientes secciones pueden verse aplicadas las tres (3) propiedades antes mencionadas.

iii. Contrastes empíricos.

Dentro de las áreas (prácticamente todas) en las cuales se pueden encontrar innumerables aplicaciones del método AHP se encuentran:

- Sociedad,
- Ciencia y Educación,
- Economía y Transporte,
- Localización,
- Asignación de recursos,
- Marketing,
- Producción,
- Ambiente,
- Planificación,
- Sector público,
- Sanidad,
- Evaluación de sistemas,
- Decisiones grupales,
- Conflictos internacionales,
- Nuevas tecnologías,
- Valoración,
- Pensamiento y Ética,
- Entre otras.

(Aznar, Guijarro, & Estruch, 2015).

2. 1. 4. Comparaciones pareadas.

Como se mencionó en los Fundamentos psicológicos, la mente humana trabaja bien al realizar comparaciones de dos en dos, es por esto que la Escala Fundamental plantea una serie de valores con los cuales se pueden comparar dos variables, ellos deben ser ubicados en una matriz de comparación pareada, siempre cuadrada, que cumpla con las propiedades de los Fundamentos matemáticos: Reciprocidad, Homogeneidad y Contingencia. La matriz queda de la siguiente manera:

Tabla 2: Matriz comparación por pares de m variables.

	A	B	...	m
A	1	a	...	b
B	1/a	1	...	c
...	...	...	...	d
m	1/b	1/c	1/d	1

- La matriz anterior es válida $\forall a, b, c, d = 1..9$.
- Puede observarse que la matriz cumple con dos de las propiedades planteadas en los Fundamentos matemáticos: Reciprocidad y Homogeneidad, la Contingencia se estudia en la sección 2. 1. 5.
- Reciprocidad: Claramente, el elemento $a_{AB} = X$ tiene su contraparte recíproca en el elemento $a_{BA} = \frac{1}{X}$, lo mismo sucede con las demás intersecciones.
- Homogeneidad: De igual manera, $a_{AA} = a_{BB} = \dots = a_{mm} = 1$.

Elaboración propia, adaptada de Saaty (1997).

Para definir qué grado de relevancia tiene una variable con respecto a otra, es necesario consultarlo a un experto en la materia. Una manera práctica de traspasar un juicio cualitativo de un experto a números, basándose en la Escala Fundamental, es realizando encuestas con el siguiente formato:

Tabla 3: *Formato encuestas de comparación pareada.*

Var	Grado de relevancia									Var
	E	M	B	P	I	P	B	M	E	
A										B
A										C
A										...
A										<i>m</i>
B										C
B										D
B										...
B										<i>m</i>
...										...
<i>m - 1</i>										<i>m</i>

Elaboración propia, adaptada de Aznar, Guijarro, & Estruch (2015).

Donde:

- I: Igual,
- P: Poca más,
- B: Bastante más,
- M: Mucha más, y
- E: Extremadamente más.

El encuestado debe marcar con una X el **grado de relevancia que tiene la variable A respecto a la B**, si su marca está del lado izquierdo de la I, o, el **grado de relevancia que tiene la variable B respecto a la A**, si su marca está del lado derecho de la I.

Una vez teniendo las encuestas, su valor representativo y traspasado a la matriz de comparación por pares, el paso a seguir es comprobar la tercera propiedad de los Fundamentos psicológicos, la Consistencia de la matriz.

2. 1. 5. Ratio de Consistencia.

El ratio de consistencia (CR) de la matriz de comparación por pares mide el **grado de coherencia en los valores situados, extraídos directamente de las encuestas** (pasados por la Escala Fundamental), por lo tanto, “permite conocer si la información que se está introduciendo es correcta o no” (Aznar, 2015). Es de gran importancia el cálculo de este valor, pues es común ver inconsistencias al realizar encuestas, ya que el experto puede no estar familiarizado con el tema y no es raro caer en confusiones, también puede darse el caso de que el decisor (o el grupo de decisores) que aplican el método, al traspasar los valores a la matriz de comparación pareada, puedan incurrir en desaciertos. Para conocer si una matriz es consistente o no, el CR de ésta debe responder a los siguientes valores:

Tabla 4: *Comprobación de consistencia.*

	Tamaño de la matriz	Porcentaje máximo de CR
Toda Matriz de comparación pareada de tamaño 2x2 es consistente, con CR = 0%.	2x2	0%
	3x3	5%
	4x4	9%
	5x5	10%
	...	10%
	nxn	10%

(Saaty, 1997).

Para calcular el CR, primero se debió calcular el Índice de Consistencia (CI), se muestra un ejemplo aplicado en la página 17 en donde se calculó el CI con el que posteriormente se obtuvo el CR.

Para el cálculo del CR, también hay que tener conocimiento de la Consistencia Aleatoria, un valor tabulado y constante dependiente de cada tamaño de matriz, la consistencia aleatoria es “la consistencia media de diez mil (10.000) matrices construidas aleatoriamente” (Aznar, 2015). Los valores de consistencia aleatoria se muestran a continuación.

Tabla 5: *Tabla de Consistencia Aleatoria.*

Tamaño de la matriz	Consistencia aleatoria
1x1	0
2x2	0
3x3	0,52
4x4	0,89
5x5	1,11
6x6	1,25
7x7	1,35
8x8	1,4
9x9	1,45
10x10	1,49

(Saaty, 1997).

Dados los tres (3) indicadores antes mencionados (CR, CI, Consistencia Aleatoria), se procede a mostrar un ejemplo de cómo calcular el CR, apoyándose de las siguientes formulas:

- $CI = \frac{\lambda_{max} - Rango\ matriz}{2}$
- $CR = \frac{CI}{Consistencia\ aleatoria}$

Se tiene una Matriz de Comparación Pareada (Matriz Original) de tres (3) variables (A, B y C), por lo tanto, de Rango tres (3), con la siguiente información:

	A	B	C
A	1	7	5
B	1/7	1	1
C	1/5	1	1

Los pasos a seguir para obtener el CR son los siguientes:

1. Normalizar por columna la Matriz Original.

	A	B	C
A	1	7	5
B	1/7	1	1
C	1/5	1	1
Σ	1,3429	9,0000	7,0000

	A	B	C
A	0,7447	0,7778	0,7143
B	0,1064	0,1111	0,1429
C	0,1489	0,1111	0,1429

2. Calcular el Promedio por fila de la matriz resultante.

	A	B	C		Promedio
A	0,7447	0,7778	0,7143	→	0,7456
B	0,1064	0,1111	0,1429		0,1201
C	0,1489	0,1111	0,1429		0,1343

3. Multiplicar la Matriz Original por Vector Promedio, obteniendo el Vector Fila Total (VFT).

	A	B	C		Promedio	VFT
A	1	7	5		0,7456	2,2579
B	1/7	1	1	*	0,1201	0,3609
C	1/5	1	1		0,1343	0,4035

4. Dividir término a término el VFT con el vector Promedio.

VFT	Promedio	
2,2579	0,7456	3,0284
0,3609	0,1201	= 3,0048
0,4035	0,1343	3,0047

5. Calcular el promedio de los elementos de la matriz resultante, obteniendo λ_{\max} .

$$\lambda_{\max} = \frac{3,0126}{3}$$

6. Calcular el Índice de Consistencia, $CI = \frac{\lambda_{\max} - \text{Rango matriz}}{2}$.

$$CI = \frac{0,00631665}{1}$$

7. Finalmente, calcular el Ratio de Consistencia, $CR = \frac{CI}{\text{Consistencia aleatoria}}$, de la **Tabla 5** se tiene que la Consistencia aleatoria para una matriz de Rango 3 es 0,52.

$$CR = \frac{0,00631665}{0,52} = 1,21\%$$

De la **Tabla 4** se sabe que el CR para una matriz de 3x3 debe ser como máximo 5%, por lo tanto, la Matriz Original estudiada es una matriz consistente.

2. 1. 6. Vector Propio.

Otra de las características de las matrices de comparación pareada es que cuentan con un Vector Propio (VP), que puede definirse como el vector representativo de la matriz, se aprecia de manera más clara el cálculo del VP en el siguiente ejemplo aplicado a la misma matriz a la que se le calculó el CR anteriormente:

Se tiene una Matriz de Comparación Pareada (Matriz Original) de tres (3) variables (A, B y C), por lo tanto, de Rango tres (3), con la siguiente información:

	A	B	C
A	1	7	5
B	1/7	1	1
C	1/5	1	1

1. Se multiplica la Matriz Original por sí misma,
2. Se suman las filas de la **Matriz Resultante**, obteniendo el vector **Suma**,
3. Éste último se normaliza, finalmente
4. Se repite el procedimiento hasta que **el Vector Resultante sea exactamente igual** (con 4 decimales como medida estándar de guía) **al Vector Resultante del producto anterior**, obteniendo el VP.

Elaboración propia, adaptado de Aznar, Guijarro, & Estruch (2015).

Producto 1.

(Matriz Original)² = Matriz Resultante

	A	B	C	Suma	Vector Resultante
A	3,0000	19,0000	17,0000	39,0000	0,7479
B	0,4857	3,0000	2,7143	6,2000	0,1189
C	0,5429	3,4000	3,0000	6,9429	0,1332
				Σ 52,1429	Σ 1

Producto 2.

	A	B	C	Suma	Vector Resultante
A	27,4571	171,8000	153,5714	352,8286	0,7470
B	4,3878	27,4571	24,5429	56,3878	0,1194
C	4,9086	30,7143	27,4571	63,0800	0,1336
				Σ 472,2963	Σ 1

Producto 3.

	A	B	C	Suma	Vector Resultante
A	2261,5273	14151,1110	12649,7282	29062,3665	0,7471
B	361,4208	2261,5273	2021,5873	4644,5354	0,1194
C	404,3175	2529,9456	2261,5273	5195,7904	0,1336
				Σ 38902,6924	Σ 1

Producto 4.

	A	B	C	Suma	VP
A	15343517,8047	96009373,6453	85823118,5040	197176009,9541	0,7471
B	2452089,1001	15343517,8047	13715624,8065	31511231,7113	0,1194
C	2743124,9613	17164623,7008	15343517,8047	35251266,4668	0,1336
				Σ 263938508,1322	Σ 1

Luego de tener el CR y el VP de cada matriz de comparación pareada correspondiente a cada encuestado, ya se encuentran completas, sin embargo, se tienen varias opiniones, como encuestados existan, respecto a un mismo caso, por lo tanto, el siguiente paso fue encontrar un VP representativo (VPR) de los VPs de todas las matrices de comparación por pares, es decir, una opinión representativa de las opiniones de todos los expertos, para ello se hizo uso de la Media geométrica, calculándose en cada fila de los VPs aunados, una opción es apoyarse de la función de Microsoft Excel MEDIA.GEOM, como se ejemplifica con los VPs generados aleatoriamente, en la siguiente tabla:

Tabla 6: *Ejemplo cálculo VPR.*

	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4		M.G.		VPR
A	0,0587	0,4482	0,7709	0,4234	Media	0,3044		0,3944
B	0,6900	0,3637	0,1594	0,1374	Geom.	0,2722	Normalizar	0,3528
C	0,2513	0,1882	0,0698	0,4392	→	0,1951	→	0,2528
					Σ	0,7717		Σ 1

Claramente puede observarse en la tabla que el VP representativo de los cuatro (4) VPs consultados anteriormente es resultante de la normalización de la media geométrica de las filas correspondientes a las variables A, B y C de los 4 encuestados.

Elaboración propia, adaptado de Aznar, Guijarro, & Estruch (2015).

Una vez obtenidos los VPs de todas las variables consultadas y calculado su VPR, el paso a seguir es ponderar las variables con los porcentajes de relevancia obtenidos a través de las encuestas, de la siguiente manera:

Tabla 7: *Forma generalizada de ponderación de variables.*

VARIABLES PRIMARIAS	
VPR	
A	a
B	b
...	...
m	c

VARIABLES SECUNDARIAS (A)	VARIABLES SECUNDARIAS (B)	VARIABLES SECUNDARIAS (...)	VARIABLES SECUNDARIAS (m)
VPR	VPR	VPR	VPR
A d	A g	A ...	A j
B e	B h	B ...	B k
...
n f	o i	p ...	q l

Las tablas anteriores se cumplen para:

- A..m Variables primarias.
- A..n Variables secundarias de A primaria.
- A..o Variables secundarias de B primaria.
- A..p Variables secundarias de ... primarias.
- A..q Variables secundarias de m primaria.
- a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l $\in \{0..1\}$
- $\Sigma a..c, \Sigma d..f, \Sigma g..i, \Sigma j..l = 1$

Elaboración propia, adaptado de Aznar, Guijarro, & Estruch (2015).

Tabla 8: Ponderación final de las variables.

Variables		Ponderaciones		
Variables primarias	Variables secundarias	Variables primarias	Variables secundarias	Variables ponderadas
A	A	a	d	$a * d = \alpha$
	B		e	$a * e = \beta$
	...		...	$a * \dots = \dots$
	n		f	$a * f = \chi$
B	A	b	g	$b * g = \delta$
	B		h	$b * h = \varepsilon$
	...		...	$b * \dots = \dots$
	o		i	$b * i = \phi$
...	A	...	...	...
	B		...	...

	p		...	...
m	A	c	j	$c * j = \gamma$
	B		k	$c * k = \eta$
	...		...	$c * \dots = \dots$
	q		l	$c * l = \iota$
Σ		1		1

- Puede observarse claramente en la segunda tabla el **Vector de Variables Ponderadas**, éste será utilizado al final del método para obtener la priorización.

- Para la segunda tabla $\alpha, \beta, \chi, \delta, \varepsilon, \phi, \gamma, \eta, \iota \in \{0..1\}$

Elaboración propia, adaptado de Aznar, Guijarro, & Estruch (2015).

Teniendo el Vector de Variables Ponderadas, se puede pasar a obtener la matriz con los datos de las alternativas correspondientes a las variables que se estudiarán. Hay dos (2) formas de ejecución, dependiendo de la naturaleza de las variables, si son Cualitativas o Cuantitativas. Primero se presentará el procedimiento para las variables Cualitativas, siguiendo por las Cuantitativas, a continuación.

2. 1. 7. VPs Variables Cualitativas.

Variable cualitativa se define como una “característica que recoge una cualidad de los individuos de la muestra...No puede medirse con un instrumento ni lleva asociada una unidad de medida” (Divestadística, s.f.). Por lo tanto, cuando se encuentre con una variable con las características antes mencionadas, el procedimiento a seguir fue el siguiente:

Tabla 9: *Matriz de comparación pareada para Variables Cualitativas.*

	Alternativa 1	Alternativa 2	...	Alternativa n	VP	
Alternativa 1	1	a	...	b	x	
Alternativa 2	1/a	1	...	c	y	
...	...	...	1	...	...
Alternativa n	1/b	1/c	...	1	z	
CR	Ω	$< 10\%^6$			Σ	1

- Para la matriz:

- a, b, c son valores obtenidos de la Escala Fundamental.
- $x, y, z \in \{0..1\}$ y $\Sigma x, y, \dots, z = 1$.
- $\Omega \leq 0,1$.

- Puede observarse que el procedimiento a seguir es idéntico al cálculo del VP y CR para la ponderación de las variables, pero ésta vez, se utilizó el VP resultante para obtención de la priorización final.

Elaboración propia, adaptado de Aznar, Guijarro, & Estruch (2015).

El procedimiento anterior se aplica a todas las Variables Cualitativas en estudio, obteniendo tantos VPs como Variable Cualitativas existan.

⁶ Considerando $n \times n \geq 5 \times 5$ (Ver **Tabla 4**).

2. 1. 8. VPs para Variables Cuantitativas.

Variable cuantitativa se define como una “característica de los individuos de la muestra que puede medirse con un instrumento y lleva asociada una unidad de medida” (Divestadística, s.f.). Por lo tanto, cuando se encuentre con una variable con las características antes mencionadas, el procedimiento a seguir fue el siguiente:

Tabla 10: *Matriz de datos de Variables Cuantitativas.*

	Variable secundaria 1	Variable secundaria 2	...	Variable secundaria m
Alternativa 1	a	b	...	c
Alternativa 2	d	e	...	f
...
Alternativa n	g	h	...	i
Total	x	y	...	z

- Para la matriz:

- a, b, ..., i son datos de las alternativas respecto a las variables secundarias, además son cuantitativos.
- x, y, z son la suma de las columnas correspondientes a cada variable.

- La columna de Totales se calcula con el fin de normalizar la matriz

- Cabe precisar que las Variables secundarias en la matriz son Variables Directas⁷, cuando la variable sea Inversa⁸, se le aplica el cociente $\frac{1}{Variable\ Inversa}$ a todos los elementos respectivos de la variable para convertirla en Directa.

Tabla 11: *Matriz de datos de Variables Cuantitativas normalizada.*

	Variable secundaria 1	Variable secundaria 2	...	Variable secundaria m
Alternativa 1	a/x	b/y	...	c/z
Alternativa 2	d/x	e/y	...	f/z
...
Alternativa n	g/x	h/y	...	i/z

⁷ Definiendo Variable Directa como aquella en la cual “más es mejor”.

⁸ Definiendo Variable Inversa como aquella en la cual “más es peor”.

Una vez teniendo la Matriz de datos de Variables Cuantitativas normalizada, el VP de cada Variable secundaria es su columna asociada, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12: *VPs de las Variables secundarias Cuantitativas.*

	VP 1	VP 2	...	VP m
Alternativa 1	a/x	b/y	...	c/z
Alternativa 2	d/x	e/y	...	f/z
...
Alternativa n	g/x	h/y	...	i/z

Elaboración propia, adaptado de Aznar, Guijarro, & Estruch (2015).

Ya que se tienen todos los VPs asociados a todas las Variables secundarias y las ponderaciones éstas respecto a su Variable primaria, se puede proceder a ponderar los valores de las Alternativas con respecto a las Variables secundarias, de la siguiente manera:

Tabla 13: *Matriz final de valores a ponderar.*

	VPs Variables Cualitativas			VPs Variables Cuantitativas				
	Variable 1	Variable 2	...	Variable 1	Variable 1	Variable 2	...	Variable m
Alt. 1	a	b	...	c	o	p	...	q
Alt. 2	d	e	...	f	r	s	...	t
...
Alt. n	g	h	...	i	u	v	...	w

Las Variables son sólo las secundarias, pues éstas ya tienen su ponderación respecto de sus primarias.

2. 1. 9. Jerarquización de las alternativas.

Finalmente, la matriz anterior se multiplica con el Vector de Variables Ponderadas obtenido anteriormente:

Tabla 14: *Multiplicación de matrices de ponderación final.*

	VPs Variables Cualitativas			VPs Variables Cuantitativas					Variables ponderadas
	V 1	V 2	...	V 1	V 1	V 2	...		V m
Alt. 1	a	b	...	c	o	p	...	q	α
Alt. 2	d	e		f	r	s	...	t	β
...
Alt. n	g	h	...	i	u	v	...	w	χ
									δ
									ε
									...
									ϕ
									...
									...
									...
									...
									γ
									η
									...
									ι

Elaboración propia, adaptado de Aznar, Guijarro, & Estruch (2015).

Como producto de lo anterior, se obtiene un vector con las alternativas ponderadas por relevancia respecto de las variables y la importancia de ellas según opiniones de expertos.

Tabla 15: *Ponderación final de las Alternativas.*

Alternativas	Ponderación
Alternativa 1	φ
Alternativa 2	κ
...	...
Alternativa n	λ
Σ	1

Para la tabla φ, κ y $\lambda \in \{0..1\}$.

Elaboración propia, adaptado de Aznar, Guijarro, & Estruch, (2015).

2. 1. 10. Asignación.

Terminado el método AHP, se procede a la Asignación de un Plan de Mantenimiento, se realizó mediante la jerarquización de las alternativas, ordenando sus ponderaciones de mayor a menor y, basándose en el principio de Pareto del 80 – 20, que se define como “el fenómeno por el cual, en cualquier población que contribuye a un efecto común, unos pocos de los contribuyentes contabilizan el grueso del efecto” (Juran, 2007), también conocido como el principio de los Muchos útiles⁹ y Pocos vitales¹⁰, así, haciendo uso de una Clasificación AB, se asignará el Plan A (el más robusto) al 20% más relevante, y el Plan B (menos completo, pero satisfactor) al 80% restante.

⁹ Según el principio de Pareto, una gran mayoría de la población que, no obstante, supone sólo una pequeña parte del efecto total (Juran, 2007).

¹⁰ Según el principio de Pareto, una pequeña minoría de la población que, no obstante, supone la mayor parte del efecto total (Juran, 2007).

El procedimiento a seguir se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16: *Asignación de un Plan de Mantenimiento por principio de Pareto.*

Alternativas	Ponderación	Orden + a -	Acumulado	Asignación
Alternativa 1	φ	μ	μ	Plan A para las alternativas desde la 1 hasta la i, cuando el Acumulado correspondiente a la alternativa i sea mayor o igual a 0,2. Plan B eoc ¹¹ .
Alternativa 2	κ	ν	$\mu + \nu$	
...	...	...	$\mu + \nu + \dots$	
Alternativa n	λ	o	$\mu + \nu + \dots + o$	
Σ	1	1		

Para la tabla:

- $\varphi, \kappa, \lambda \in \{0..1\}$.
- $\mu, \nu, o \in \{0..1\} \mid \mu > \nu > \dots > o$.

Elaboración propia en base a Clasificación ABC (Pareto, 1909).

Una vez asignado el plan, gráficamente se puede apreciar la conclusión del principio de Pareto a través del Diagrama de Pareto, que es “un gráfico de barras que enumera las categorías en orden descendente de izquierda a derecha, el cual puede ser utilizado por un equipo para analizar causas, estudiar resultados y plantear una mejora continua” (Verdoy, Mahiques, Pellicer, & Prades, 2006).

¹¹ eoc: En otro caso.

2. 1. 11. Diagrama de Pareto.

El Diagrama de Pareto tiene la siguiente forma general:

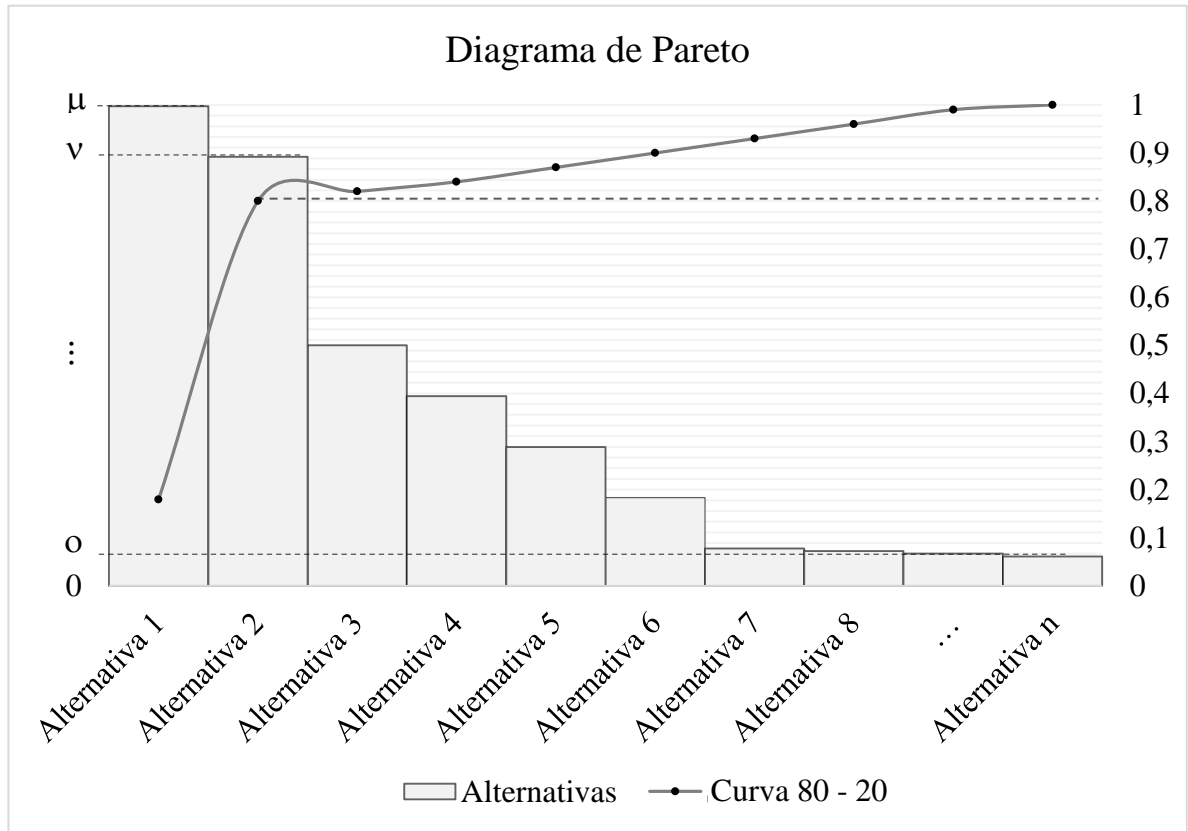


Gráfico 1: Diagrama de Pareto.

Para el gráfico $\mu, v, o \in \{0..1\} \mid \mu > v > \dots > o$.

Elaboración propia, adaptado de Domenech Roldán (s.f.).

Por el principio de Pareto, del gráfico anterior se puede concluir que, aproximadamente, el 20% de las alternativas contribuyen con el 80% a la relevancia del sistema, por lo tanto $\mu + v \approx 0,2$, por lo tanto, se puede deducir que asignar planes de mantenimiento A al 20% de los equipos, aportaría con el 80% de la eficiencia del sistema.

2. 2. Cadenas de Markov (C. de M.).

Una vez teniendo los Planes de mantenimiento asignados, una buena opción es tener la posibilidad de predecir cuándo un equipo puede fallar, para ello, se hizo uso de un modelo establecido por Andrei Andreivich Markov, un matemático ruso con grandes aportes en la teoría de la probabilidad y en los procesos estocásticos. Una de estas contribuciones fueron las Cadenas de Markov (C. de M.), propuso el método en el año 1907, el proceso estocástico es conocido por su “falta de memoria”, ya que plantea que “la probabilidad de que ocurra un evento en un instante $t + 1$ depende solamente de lo que ocurrió en el instante t ” (Markov, 1907), lo anterior se conoce como la Propiedad Markoviana.



Andrei A. Markov
(1856 – 1922)

Las C. de M. se dividen en dos (2) grandes familias, las **C. de M. de tiempo discreto**, que es una descripción de una variable aleatoria (v.a.) $X_t, \forall t = 0..n$ enteros, y **C. de M. de tiempo continuo**, proceso en el cual la variable X_t puede ser observada en cualquier instante $t \geq 0$. Para efectos de éste estudio, se utilizaron las C. de M. de tiempo discreto, ya que no se justifica el uso de la complejidad de las C. de M. de tiempo continuo para el objetivo que se busca, predecir el día en el que puede fallar un equipo, no el momento exacto, pues no tiene gran relevancia.

2. 2. 1. Denotación.

Se denotó un proceso estocástico de tiempo discreto, como:

$$\{X_t\}, \forall t \in T$$

Donde:

- X : Característica medible en el tiempo,
- t : Instante específico en el tiempo, definiendo T como un conjunto discreto,
- X_t : Característica del sistema en el instante t (v.a.), y
- i_t : Estado¹² en que se encuentra X_t .

Para que un proceso estocástico pueda definirse como una C. de M. debe cumplir cuatro (4) propiedades esenciales, las cuales se presentan en la siguiente sección.

¹² En adelante, se llamará estado a toda característica (o valor) en que se puede encontrar X_t .

2. 2. 2. Propiedades esenciales.

- Proceso de estados finito: El conjunto de estados es finito. Los estados representan los valores para la característica observada, por lo que son mutuamente excluyentes (una característica no puede encontrarse en dos estados a la vez). Siendo la cantidad de estados posibles para X_t , y etiquetando los estados como $1, 2, \dots, s$:

$$i_t \in \{ 1, 2, \dots, s \}.$$

- Propiedad Markoviana: La probabilidad de estar en un cierto estado en el próximo instante de tiempo $t + 1$, no depende del histórico de estados transitados, sino que sólo depende del estado actual (en el instante t).

$$P(X_{t+1} = i_{t+1} | X_t = i_t, X_{t-1} = i_{t-1}, \dots, X_1 = i_1, X_0 = i_0) = P(X_{t+1} = i_{t+1} | X_t = i_t)$$

- Probabilidad de transición estacionaria: La probabilidad de pasar de un estado i a un estado j (p_{ij}), en una cantidad de etapas en el tiempo T , no depende del instante en el cual se está.

$$P(X_{t+1} = j | X_t = i) = p_{ij}.$$

- Distribución de probabilidad conocida: La probabilidad de que el proceso se encuentre, en el instante inicial, en cada uno de los s estados, es conocida.

- Probabilidad de que el sistema se encuentre inicialmente en el estado i :

$$P(X_0 = i) = q_i.$$

- Distribución inicial de probabilidad:

$$q = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_s].$$

(Rincon, 2012).

Para definir una C. de M. es necesario contar con una Matriz de probabilidades de transición, en donde se pueda conocer la distribución de probabilidad asociada al proceso en estudio, como se menciona en la última propiedad. Para el caso estudiado, la Matriz de probabilidades de transición no es conocida, pero puede obtenerse a través del siguiente procedimiento:

2. 2. 3. Matriz de probabilidades de transición.

Se tienen dos (2) estados $i_t \in \{i, j\}$ definidos en un instante de tiempo $t \in T$ con $T = \{1, 2, \dots, n\}$, instantes en los cuales ocurren una serie de eventos. La Matriz de transiciones que define el problema tiene la siguiente forma:

Tabla 17: *Formato Matriz general de transiciones de dos estados.*

	i	j
i		
j		

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907).

La v.a. X_t puede adoptar cualquiera de los dos estados (incluso más de una vez) durante el transcurso del proceso. El sistema se transparentó en una línea de tiempo que muestre el estado en que se encuentra X_t en el instante t , de la siguiente manera:

Tabla 18: *Línea de tiempo generada aleatoriamente.*

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	n
i_t	j	j	j	i	i	i	j	j	j	...	i

La tabla fue generada aleatoriamente con una probabilidad de ocurrencia del 50% para el estado i y un 50% para el estado j .

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907).

Una vez terminado el proceso, se suma la cantidad de instantes de tiempo que X_t se encontró en un estado y se le resta uno¹³ (1) por cada transición continua de estados (F_{tc} , ver nota al pie donde se aclara que por cada n estados consecutivos hay $n - 1$ transiciones), se repite el procedimiento para ambos estados, obteniendo así dos elementos de la Matriz de transiciones. Se utilizó la misma línea de tiempo anterior generada aleatoriamente para ejemplificar el proceso, como se muestra a continuación:

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	n
i_t	j	j	j	i	i	i	j	j	j	...	i
	⏟			⏟			⏟				
	tc_j			tc_i			tc_j				

Para el caso en la línea de tiempo:

$$\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = i) - 1 = (4 + \dots) - F_{tc_i} \quad \sum_{k=1}^n (i_k | i_k = j) - 1 = (6 + \dots) - F_{tc_j}$$

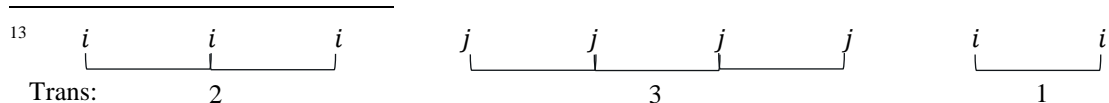
Y además:

$$F_{tc_i} = 1 + \dots$$

$$F_{tc_j} = 2 + \dots$$

Traspassando la información a la Matriz de transiciones:

	i	j
i	$\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = i) - F_{tc_i}$	
j		$\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = j) - F_{tc_j}$

¹³ 

Para el cálculo de la cantidad de transiciones de $i \rightarrow j$ basta con calcular la frecuencia (definiendo Frecuencia de transición del estado i al estado j , como F_{ij}) con la que, en la línea de tiempo, existe una transición del estado i al j , para el caso contrario es recíproco, como se ejemplifica a continuación:

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	n
i_t	j	j	j	i	i	i	j	j	j	...	i

$\underbrace{\hspace{10em}}_{j \rightarrow i}$
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{i \rightarrow j}$

Para el caso en la línea de tiempo:

$$F_{i \rightarrow j} = 1 + \dots$$

$$F_{j \rightarrow i} = 1 + \dots$$

Así, la Matriz de transiciones queda de la siguiente manera:

Tabla 19: Matriz general de transiciones de dos estados.

	i	j
i	$\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = i) - F_{tc_i}$	$F_{i \rightarrow j}$
j	$F_{j \rightarrow i}$	$\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = j) - F_{tc_j}$

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907).

Una vez teniendo la Matriz de transiciones completa, se procede a calcular la **Matriz de probabilidades de transición** (P), ésta contiene, como se deduce de su nombre, las probabilidades de transición del estado i al j (p_{ij}), la cual tiene la siguiente forma general:

Tabla 20: Forma general Matriz de probabilidades de transición para s estados.

$$P = \begin{array}{c|ccccc|c} & & & & & \sum_{j=1}^s p_{ij} \\ & p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1s} & \mathbf{1} \\ & p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2s} & \mathbf{1} \\ & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ & p_{s1} & p_{s2} & \dots & p_{ss} & \mathbf{1} \end{array}$$

Esta matriz se obtiene normalizando por fila la Matriz de transiciones.

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907).

De lo anterior, la Matriz general de probabilidades de transición para este caso es:

Tabla 21: Matriz general de probabilidades de transición de dos estados.

$$\begin{array}{c|cc|c} & i & j & \sum_{j=1}^s p_{ij} \\ \hline i & \frac{\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = i) - F_{tc_i}}{\left[\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = a) - F_{tc_i} \right] + F_{i \rightarrow j}} & \frac{F_{i \rightarrow j}}{\left[\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = i) - F_{tc_i} \right] + F_{i \rightarrow j}} & \mathbf{1} \\ j & \frac{F_{j \rightarrow i}}{\left[\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = j) - F_{tc_j} \right] + F_{j \rightarrow i}} & \frac{\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = j) - F_{tc_j}}{\left[\sum_{k=1}^n (i_k | i_k = j) - F_{tc_j} \right] + F_{j \rightarrow i}} & \mathbf{1} \end{array}$$

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907).

2. 2. 4. Representación gráfica de estados.

Una vez obtenida la Matriz de probabilidades de transición, una buena opción es elaborar un diagrama que represente los estados del proceso y la probabilidad de transición de uno a otro, ya que contar con una manera gráfica de ver el problema, puede apoyar a una mejor comprensión del mismo. A continuación se muestra un diagrama general para la representación de los estados:

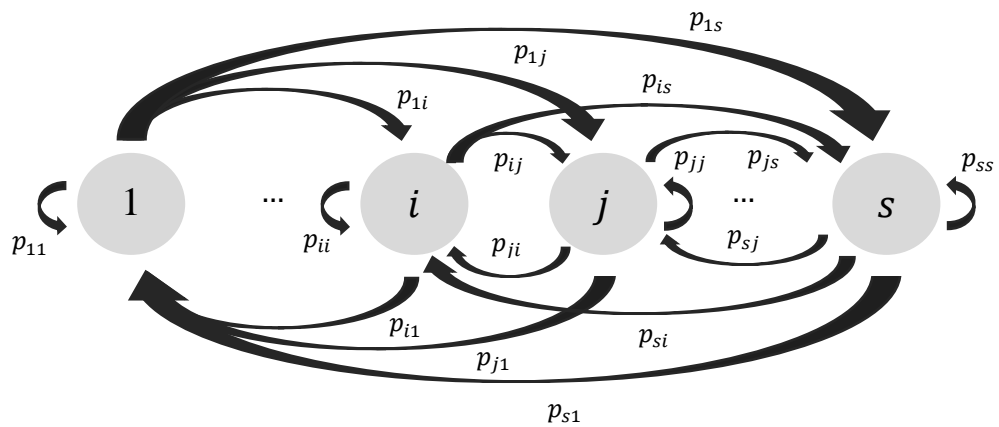


Ilustración 3: Representación gráfica de estados de una C. de M.

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907).

2. 2. 5. Probabilidades de estado estable (Matriz $P^{(n)}$ y Ecc. de estado estable).

Ahora que se tiene la Matriz de probabilidades de transición (P), cabe definir la **Matriz de probabilidades de transición de n etapas (instantes en el tiempo)**, aquella en la cual se observa la probabilidad de estar en un estado j en n etapas en el tiempo, dado que actualmente se está en un estado i , por lo tanto, si la C. de M. está en el estado i en el instante m , entonces ¿Cuál es la probabilidad de que esté en el estado j en el periodo $m + n$?

Definiendo:

- Probabilidad de transición de i a j en n etapas: $p_{ij}^{(n)}$, y
- Matriz de probabilidades de transición de n etapas: $P^{(n)}$, se obtiene que:

$$P(X_{m+n} = j | X_m = i) = P(X_n = j | X_0 = i) = P_{ij}^{(n)}$$

Se define la Matriz de transición de n etapas ($\forall n > 1$): $P^{(n)}$.

El ij – ésimo elemento de $P^{(n)}$ está dado por el ij – ésimo elemento de la n – ésima potencia de la matriz de transición de una (1) etapa (la obtenida en la **Tabla 21**), es decir: $p_{ij}^{(n)} = P_{ij}^{(n)}$. De lo anterior, se deduce que **la n – ésima matriz $P^{(n)}$ está dada por la n – ésima potencia de la matriz de transición de una etapa $P = P^{(1)}$** , como se observa a continuación:

Tabla 22: Cálculo de la matriz $P^{(n)}$.

$$\begin{array}{c}
 \text{Producto} \\
 \\
 P^{(n)} =
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 1 \\
 \\
 2 \\
 \\
 \dots \\
 \\
 n
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \left| \begin{array}{cccc}
 p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1s} \\
 p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2s} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 p_{s1} & p_{s2} & \dots & p_{ss}
 \end{array} \right| \\
 * \\
 \left| \begin{array}{cccc}
 p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1s} \\
 p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2s} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 p_{s1} & p_{s2} & \dots & p_{ss}
 \end{array} \right| \\
 * \dots * \\
 \left| \begin{array}{cccc}
 p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1s} \\
 p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2s} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 p_{s1} & p_{s2} & \dots & p_{ss}
 \end{array} \right|
 \end{array}$$

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907).

Cuando se eleva una matriz P a una potencia suficientemente alta, las probabilidades de transición comienzan a estabilizarse, es decir, cuando $\lim_{n \rightarrow \infty} P^{(n)}$, obteniendo así la **Matriz de probabilidades de estado estable**. Los elementos de la matriz, ahora llamados π , conocidos como las Probabilidades de estado estable, indican la probabilidad de encontrarse en un estado j en el largo plazo e independientemente del estado inicial i . De lo anterior se tiene que:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_{ij}^{(n)} = \pi_j, \forall j \in i_t \{1, 2, \dots, s\}$$

(Markov, 1907).

Esto último también puede obtenerse a través de un método más sofisticado¹⁴, con las Ecuaciones de estado estable, resolviendo un sistema de ecuaciones que da como resultado los valores de $\pi_j, \forall j \in i_t \{1, 2, \dots, s\}$, de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l}
 \left[\pi_1 \quad \pi_2 \quad \dots \quad \pi_s \right] * \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1s} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{s1} & \dots & p_{ss} \end{bmatrix} \\
 \pi_1 = p_{11} * \pi_1 + p_{21} * \pi_2 + \dots + p_{s1} * \pi_s \\
 \pi_2 = p_{12} * \pi_1 + p_{22} * \pi_2 + \dots + p_{s2} * \pi_s \\
 \dots \\
 \pi_s = p_{1s} * \pi_1 + p_{2s} * \pi_2 + \dots + p_{ss} * \pi_s \\
 \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_s = 1
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \dots \\ \dots \\ \dots \end{array}} \right\} \text{Ecuaciones de estado estable}$$

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907).

Finalmente, π se utiliza como una estimación del estado en cual se encontrará un sistema en el largo plazo.

¹⁴ También utilizado como una manera de corroborar los valores de π obtenidos por el método anterior.

Capítulo 3. Situación actual del HGGB.

3. 1. Antecedentes generales de HGGB.

El **Hospital Clínico Regional de Concepción Doctor Guillermo Grant Benavente**, popularmente conocido como el Hospital Regional de Concepción “es un centro de atención ambulatoria de Chile ubicado en la ciudad de Concepción. Atiende a las operaciones más riesgosas de la Región del Biobío, y es el hospital más grande del país” (Concepción.cl, 2016). Su nombre fue otorgado el 28 de Octubre de 1969 por la Ley 17.222 en honor a un prestigioso médico, el Dr. Guillermo Grant Benavente, quien también fue su director por varios años.



Guillermo Grant B.
(1887 – 1960)

RUT : 61.602.189 – 3 **Dirección** : San Martín n° 1436, Concepción.

Fono : +56 41 2722500 **Web** : • <http://hospitalregional.cl>
• comunicacioneshggb@ssconcepcion.cl
• oirshggb@ssconcepcion.cl

Con una superficie de más de 50.000 m², un total de 4.458 funcionarios y 20 voluntarios laicos y espirituales, HGGB al año 2015 alcanzó una producción de:

- + 3.130.000 Exámenes,
- + 175.000 Atenciones de urgencia,
- + 6.600 Intervenciones quirúrgicas,
- + 26.000 Cirugías,
- + 1.400 Pacientes ambulatorios y hospitalizados atendidos, y
- 3.429 Nuevos nacimientos, entre otros logros.

Cuenta Pública Participativa. (2015). (s.f.). Recuperado de
<http://www.hospitalregional.cl/main-public-accounts.html>

3. 1. 1. Misión.

Entregar atención de salud de alta complejidad, con buen trato, compromiso y calidad a los usuarios del centro sur de Chile, para mejorar su calidad de vida en coordinación con la red de salud y centros de formación asistencia-docente, construyendo relaciones de confianza.

3. 1. 2. Visión.

Ser un Hospital de Alta Complejidad líder en el centro sur de Chile.

3. 1. 3. Valores.

- *Compromiso*
- *Calidad*
- *Buen trato*
- *Excelencia*
- *Confianza*

Misión y Visión. (2014). Recuperado el 23 de marzo de 2014, de <http://www.hospitalregional.cl/main-mission.html>

3. 2. Ubicación.

“El establecimiento se encuentra ubicado en el área centro urbano de la ciudad de Concepción, en el cuadrante conformado por las calles San Martín, Janequeo, Roosevelt y Galvarino.”

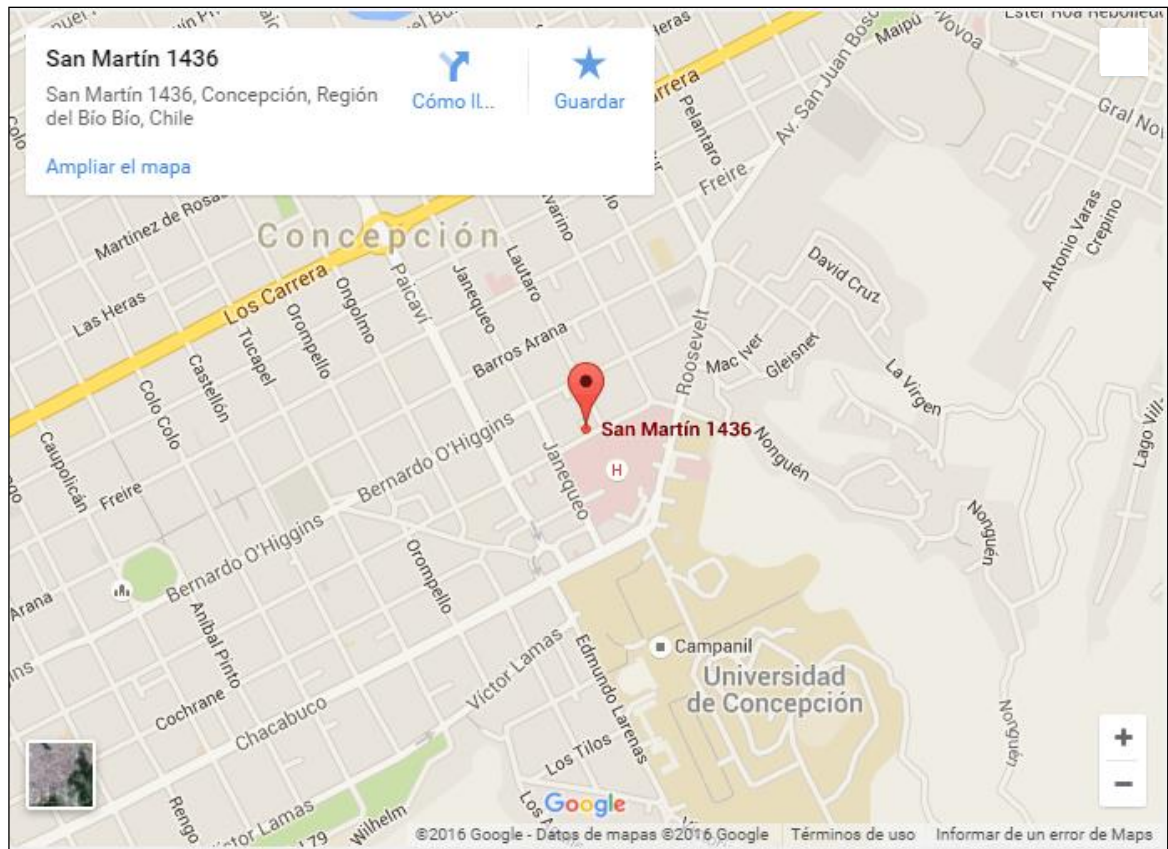


Ilustración 4: Ubicación HGGB.

Ubicación. (2012). Recuperado el 09 de abril de 2012, de <http://www.hospitalregional.cl/main-map.html>

3. 3. Organigrama institucional.

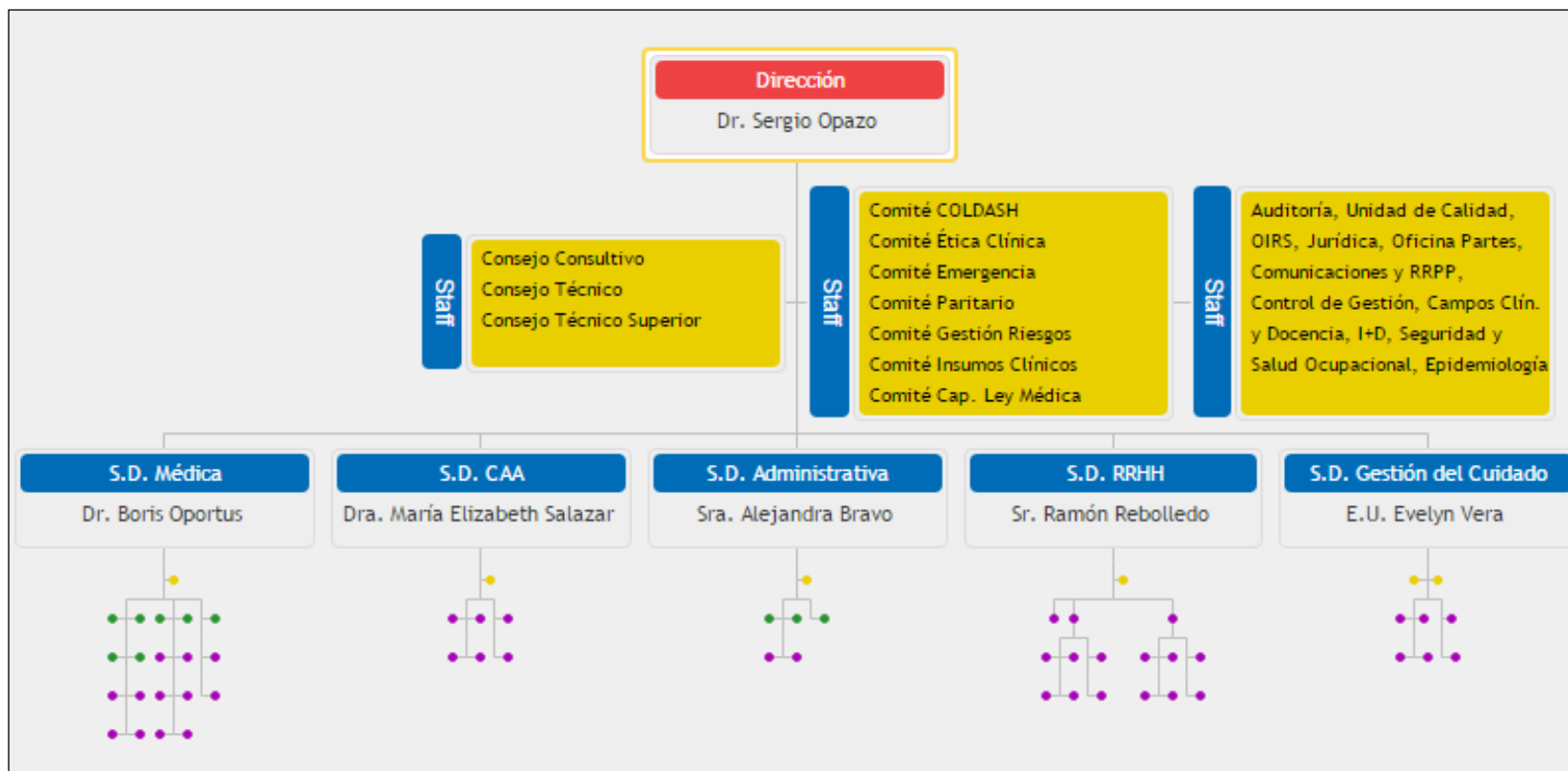


Ilustración 5: Organigrama institucional HGGB.

Organigrama Institucional. (2014). Recuperado el 20 de agosto de 2014, de <http://www.hospitalregional.cl/main-organigram.html>

3. 4. Datos de entrada.

Como se mencionó en las secciones anteriores, se trabajó sobre cuatro (4) familias de equipos médicos críticos: Incubadoras, Máquinas de Anestesia, Monitores Desfibriladores y Monitores Multiparámetro.

Las familias de equipos críticos estudiadas, la cantidad por familia y el total de equipos en estudio se resume en la siguiente tabla:

Tabla 23: *Equipos en estudio.*

Familia	Cantidad de equipos
Incubadoras	22
Máquinas de Anestesia	24
Monitores Desfibriladores	38
Monitores Multiparámetro	12
Total de equipos	96

Elaboración propia en base a hojas de vida de familias, facilitada por el Sr. Patricio Sáez, Jefe del Departamento de Equipos Médicos e Ingeniería Hospitalaria.

En los **Capítulos 4 y 5** se detalla exhaustivamente el procedimiento para la confección de los modelos automatizados de AHP y C. de M., respectivamente, desde la extracción de datos hasta los resultados.

El detalle de cada familia de equipos, que incluye la marca, modelo y número de serie del material médico, se presenta en el Anexo A.

A continuación se presenta el procedimiento el detalle de la aplicación del método AHP seguido por el posterior empleo de C. de M.

Capítulo 4. Aplicación AHP.

Este método jerarquiza las **alternativas** estudiadas en orden porcentual de relevancia en base a ciertos **criterios** (variables) que determinan la **meta** a alcanzar, para ello, es una buena opción, como se mencionó anteriormente, guiarse por un diagrama que especifique claramente los tres (3) niveles del proceso: Alternativas, Criterios y Meta, como se observa a continuación:

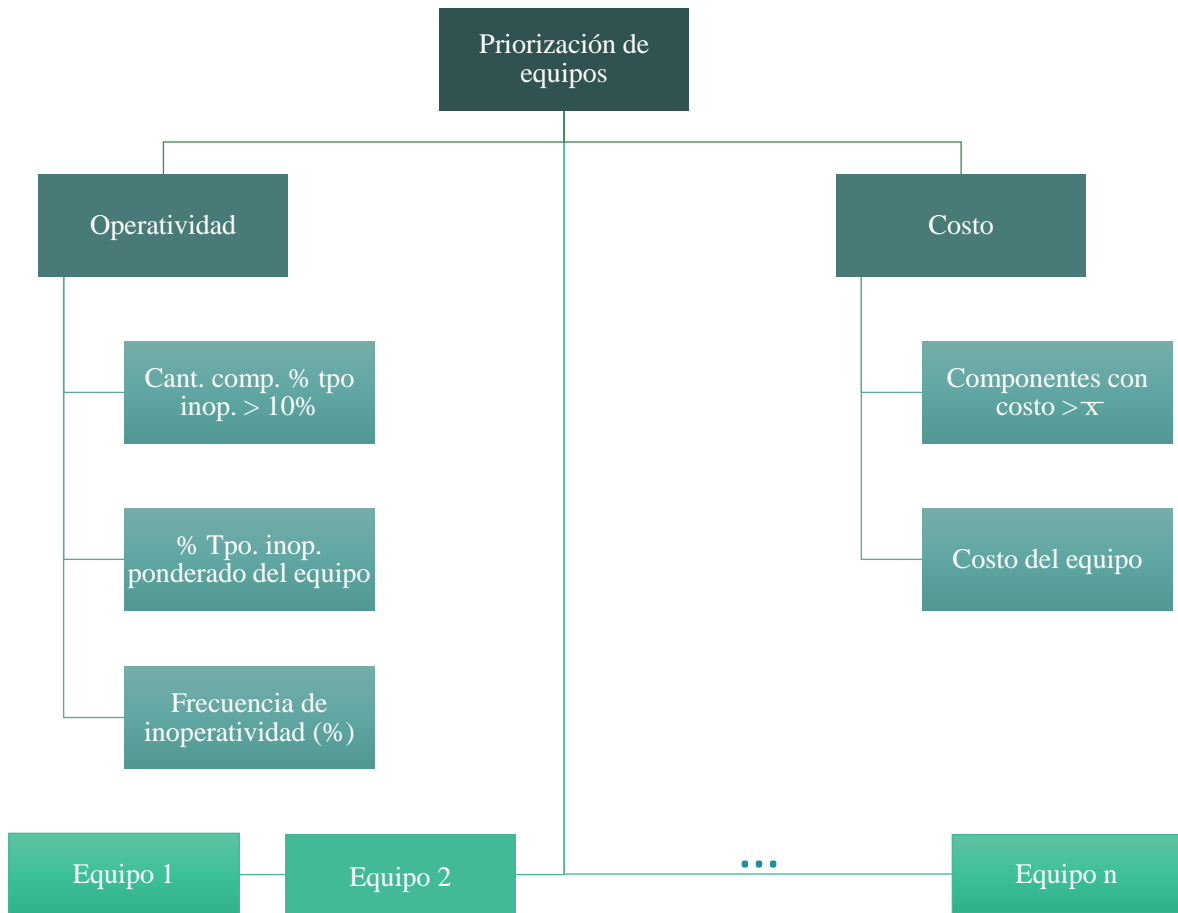


Ilustración 6: Claramente se ve en el primer nivel la Meta a conseguir, la Priorización de equipos (en la siguiente sección estará explicado con mayor detalle). En el segundo nivel se encuentran las Variables primarias, que a su vez contienen Variables secundarias (o criterios primarios y secundarios, respectivamente). Finalmente, en el último nivel se ubican las Alternativas, que para éste caso serán los Equipos a jerarquizar.

Elaboración propia en base a Saaty (1997) y al Objetivo de HGGB.

4. 1. Descripción de los elementos del método AHP.

4. 1. 1. **Meta:** Priorización de equipos.

La priorización de equipos tiene como fin obtener un orden jerarquizado de ellos para luego asignar los planes de mantenimiento.

4. 1. 2. **Variables primarias:**

- **Operatividad:** Contiene lo relacionado al nivel de operatividad de los equipos y sus componentes, y
- **Costo:** Contiene lo relacionado a los costos de los equipos y sus componentes.

4. 1. 3. **Variables secundarias**¹⁵:

i. **Operatividad:**

- Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%,
- Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo, y
- Frecuencia de inoperatividad (%).

ii. **Costo:**

- Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio, y
- Costo del equipo.

4. 1. 4. **Alternativas:**

- Equipo 1,
- Equipo 2,
- ...,
- Equipo n.

Los equipos fueron jerarquizados por orden de relevancia porcentual.

¹⁵ Mayor detalle de las Variables Secundarias (explicación, justificación y modo de cálculo) en los capítulos venideros.

4. 2. Obtención de datos.

4. 2. 1. Operatividad.

Como se mencionó anteriormente, la mayor parte de la información fue recopilada de las hojas de vida de las familias, éstas contienen el historial de mantenciones, fallas y reparaciones de la totalidad de los equipos por un periodo de 5 años (2011 – 2015), cada uno identificado con un respectivo **número de serie**. Al contar con el historial de fallas y el componente asociado, se procedió a calcular (en algunos casos estimar) la cantidad de días que un componente estuvo fuera de funcionamiento, para luego compararlo con el total de días que se estudió el equipo y obtener así el porcentaje de tiempo que el componente estuvo inoperativo. A continuación se muestra un ejemplo de cómo se obtiene este valor, aplicado al equipo Nihon Kohden Tec 5531E (n° serie: 803) de la familia Incubadoras:

Tabla 24: *Ejemplo cálculo porcentaje tiempo inoperativo del componente.*

Fecha Emisión	Fecha Reparación	Marca	Modelo	N° Serie	Comp.	Periodo estudio (días)	Tpo. Inop. (días)	Tpo. Inop. (%)
20-02-2012								
20-11-2012	12-02-2014	Nihon Kohden	Tec 5531E	803	Batería	1175	442	37,62%
25-05-2015								

- Las fechas destacadas con color **Azul** son aquellas de las cuales se extrae el **Periodo de estudio**, o sea, 20-02-2012 y 25-05-2015 son las fechas de la primera y última observación que se le realizó al equipo, respectivamente (aunque en estas fechas no haya registro de falla, se realizó observación, como mantención preventiva, inspección visual, entre otras, por lo tanto, está dentro del periodo de estudio).

- El **Tiempo inoperativo** en días se calcula mediante la diferencia de días calendario que hay entre la **Fecha de emisión** y la **Fecha de reparación** de la falla.

- Finalmente, el **Tiempo inoperativo** en porcentaje se calcula con el cociente entre el **Tiempo inoperativo** en días y el **Periodo de estudio**, multiplicado por 100.

Elaboración propia en base a hoja de vida de la familia Incubadoras.

Del mismo modo, se aplica el procedimiento anterior a todos los componentes de todos los equipos en estudio, analizando un total de mil doscientos sesenta (1.260) observaciones distintas. Al contar con todos los tiempos inoperativos (%) se puede estimar el porcentaje del tiempo inoperativo ponderado del equipo, esto está realizado en base a la Fiabilidad¹⁶ de sistemas, considerando que el equipo es un **Sistema en serie**, los cuales se caracterizan porque el sistema está en operación sólo si todos sus componentes operan (Solé, 2009), por lo tanto, el fallo de cualquiera de sus componentes provoca el fallo del sistema, esto dado que los componentes seleccionados para ser estudiados son sólo aquellos cruciales, es decir, que **el fallo de alguno de ellos provoca inmediata y totalmente el fallo del equipo**. Por consiguiente, se tiene que el sistema formado por n componentes está descrito por:

X_i : Estado del componente i , $\forall i = 1..n$.

$X_i = 1$: El componente funciona.

$X_i = 0$: El componente no funciona.

X_S : Estado del sistema.

$X_S = 1$: El componente funciona.

$X_S = 0$: El componente no funciona.

R_i : Fiabilidad del componente i , $\forall i = 1..n$.

R_S : Fiabilidad del sistema.

Definiendo la fiabilidad del sistema como “la probabilidad de que todos los componentes del sistema funcionen” (Mallor & Santos, 2003), se obtiene que:

$$\begin{aligned}
 R_S &= P(X_S = 1) = P(X_1 = 1, X_2 = 1, \dots, X_n = 1) = P(X_1 = 1) * P(X_2 = 1) * \dots * P(X_n = 1) \\
 &= R_1 * R_2 * \dots * R_n = \prod_{i=1}^n R_i \qquad \qquad \qquad \text{(Mallor & Santos, 2003).}
 \end{aligned}$$

¹⁶ Probabilidad de buen funcionamiento de algo (RAE).

Luego, haciendo $Q_S = 1 - R_S$ se obtiene la “desconfianza”¹⁷ del sistema, o bien, como se le llama a lo largo del informe, el **porcentaje del tiempo inoperativo ponderado del equipo**, aplicado a todos los equipos en estudio. En la siguiente tabla se muestra cómo aplicar lo anterior al equipo Mediana YM-6000 (n° serie: 130711070001) de la familia Monitores Multiparámetro:

Tabla 25: Ejemplo cálculo porcentaje tiempo inoperativo ponderado del equipo.

Marca	Modelo	N° Serie	Cable de poder	Cable paciente ECG	Cuff
Mediana	YM-6000	130711070001	19,89%	18,70%	19,09%

Marca	Modelo	N° Serie	Main board	NV RAM	PANI
Mediana	YM-6000	130711070001	0%	0%	11,65%

Marca	Modelo	N° Serie	Sensor SPO ₂	Tarjeta fuente de poder	Tiempo inoperativo ponderado (%)
Mediana	YM-6000	130711070001	13,25%	0%	59,61%

Dado que en éste modelo se trabajó con tiempos **inoperativos**, el cálculo del porcentaje del tiempo inoperativo ponderado no se realizó directamente con R_i sino que con Q_i , de este modo, de la definición de **Sistema en serie** se sabe que $Q_i = 1 - R_i$, por lo tanto $Q_S = \prod_{i=1}^n Q_i = 59,61\%$.

Elaboración propia en base a hoja de vida de la familia Monitores Multiparámetro.

¹⁷ Una manera de describir lo contrario a Fiabilidad.

A través de los procesos anteriores y aplicados a todas las familias, se pueden obtener gran cantidad de las variables en consideración para la posterior aplicación del método, sin embargo, aún resta calcular la **Frecuencia de inoperatividad**, el detalle de la obtención de los datos para esta variable, se presenta en el **Capítulo 5. 3.**

4. 2. 2. Costos.

El costo asociado a los **equipos** con los que trabaja HGGB también es una variable de gran relevancia en el estudio, pues vale tener presente la cantidad de dinero que tuvo que invertirse en un equipo que si no tiene una mantención adecuada, puede ocasionar un fallo irreparable en el mismo, lo mismo ocurre con los **componentes**, si en algún momento uno de los componentes que cae en inoperatividad es de un precio muy alto, los beneficios de tener un plan de mantenimiento que cubra la obtención de éstos serán mayores.

El HGGB obtiene los equipos y sus repuestos (que no están cubiertos por un contrato de mantención) mediante licitaciones publicadas en la web de **Mercado Público**¹⁸, “una plataforma electrónica donde los 850 organismos públicos de Chile realizan en forma eficiente y transparente sus procesos de compras y los proveedores ofrecen sus productos y servicios” (Mercado Público, s.f.), está administrada por la Dirección ChileCompra, “la institución que administra el Sistema de Compras Públicas de Chile” (Dirección ChileCompra, s.f.).

Para efectos de este informe, **se utilizó Mercado Público como referente para encontrar los costos de los equipos con los que cuenta el Hospital y los componentes que requieren comprar para la reparación**, considerando como costo apropiado aquel asociado a la licitación más recientemente publicada.

El procedimiento para obtener los costos requeridos se encuentra en el Anexo B, donde se realiza un ejemplo para encontrar costos asociados a componentes de un equipo de la familia Monitores Desfibriladores.

¹⁸ Web de Mercado Público: <https://www.mercadopublico.cl>

4. 3. Encuestas.

Una vez teniendo todos los datos anteriormente mencionados, se procede a la comparación de las variables una a una por pares, definiendo cuáles son más importantes y en qué nivel (**para todas las familias a las cuales se les aplicó AHP rige la misma ponderación**), para luego sopesar los valores de las variables con su respectiva relevancia, para ello, se realizaron encuestas a cuatro (4) expertos en el área, provenientes de HGGB, que facilitaron sus conocimientos con el fin de aportar a la resolución del problema. Para definir los grados de relevancia se hizo uso de la Escala fundamental de Saaty, sin embargo, para efectos de este estudio se usó una modificación más compacta a la regla, obviando las ponderaciones intermedias que no aportan de gran manera a esta problemática en particular, quedando la tabla de la siguiente manera:

Tabla 26: *Adaptación Escala Fundamental de Saaty.*

Intensidad de Relevancia	Definición	Explicación
1	Igual relevancia	Dos actividades contribuyen igualmente al mismo objetivo
3	Poca más relevancia	Experiencia y juicio ligeramente a favor de una actividad de otra
5	Bastante más relevancia	Experiencia y juicio fuertemente a favor una actividad de otra
7	Mucha más relevancia	Una actividad es muy fuertemente favorecida sobre otra, esta dominancia demostrada en práctica
9	Extremadamente más relevancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del orden más alto posible de afirmación

Elaboración propia, adaptada de la Escala Fundamental de Saaty (1997).

El formato de las encuestas fue el mencionado en el **Capítulo 2. 1. 4**, adaptado a las variables ahora estudiadas, como se muestra a continuación:

- Para comparación Bivariada:

Comparación variables primarias/secundarias.

(Variable primaria según corresponda).

A: Variable A a comparar.

B: Variable B a comparar.

Grado de relevancia											
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var	
A										B	

- Para comparación Trivariada:

Comparación variables primarias/secundarias.

(Variable primaria según corresponda).

A: Variable A a comparar.

B: Variable B a comparar.

C: Variable C a comparar.

Grado de relevancia											
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var	
A										B	
A										C	
B										C	

Nomenclatura:

- I: Igual.
- P: Poca más.
- B: Bastante más.
- M: Mucha más.
- E: Extremadamente más.

Experto 1.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A		X								B

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A		X								B
A				X						C
B						X				C

Comparación variables secundarias.

Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

B: Costo del equipo.

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A		X								B

El detalle de las encuestas de los cuatro consultados se encuentra en el Anexo C.

4. 4. Comparaciones pareadas.

El siguiente paso es decodificar la información de las encuestas al lenguaje AHP, es decir, llevarlas a datos que puedan ser leídos por el modelo, para ello se hizo uso de la adaptación de la Escala Fundamental de la **Tabla 26**. A diferencia de lo presentado en el Marco teórico, para encontrar el VP y el CR desde la Matriz de comparación pareada sólo se debe ingresar la información en ella y el VP con el CR serán **calculados automáticamente**, gracias a la automatización en una planilla Microsoft Excel. De lo anterior, el formato de la Matriz de comparación por pares junto con el VP y el CR se muestra a continuación:

- Para comparación Bivariada:

Comparación variables primarias/secundarias.

(Variable primaria según corresponda).

A: Variable A a comparar.

B: Variable B a comparar.

	A	B	VP
A	1		
B	1/○	1	
CR	0%	= 0%	Σ 1

- Para comparación Tivariada:

Comparación variables primarias/secundarias.

(Variable primaria según corresponda).

A: Variable A a comparar.

B: Variable B a comparar.

C: Variable C a comparar.

	A	B	C	VP
A	1			
B	1/○	1		
C	1/○	1/○	1	
CR		< 5%		Σ 1

Experto 1.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

	A	B	VP 1
A	1	7	0,8750
B	1/7	1	0,1250
CR	0%	= 0%	Σ 1

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

	A	B	C	VP 1
A	1	7	3	0,6694
B	1/7	1	1/3	0,0879
C	1/3	3	1	0,2426
CR	0,68%	< 5%	Σ	1

Comparación variables secundarias.

Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

B: Costo del equipo.

	A	B	VP 1
A	1	7	0,8750
B	1/7	1	0,1250
CR	0%	= 0%	Σ 1

El detalle de las comparaciones de los cuatro expertos se dispone en el Anexo D.

4. 5. Vectores propios (Representativos) y Variables ponderadas.

Como se mencionó anteriormente, al contar con varias opiniones de expertos, es necesario unirlos en una opinión representativa de las demás, para ellos se hizo uso de la función de Microsoft Excel: MEDIA.GEOM, que calcula la media geométrica de cada fila de los VPs de todas las opiniones aunadas. Cabe destacar que este proceso también se automatizó, como se ve a continuación:

- Para comparación Bivariada:

Comparación variables primarias/secundarias.

(Variable primaria según corresponda).

A: Variable A a comparar.

B: Variable B a comparar.

	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4	Media Geom.	→	M.G.	→	Normalizar	→	VPR
A											
B											
					Σ					Σ	1

- Para comparación Trivariada:

Comparación variables primarias/secundarias.

(Variable primaria según corresponda).

A: Variable A a comparar.

B: Variable B a comparar.

C: Variable C a comparar.

	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4	Media Geom.	→	M.G.	→	Normalizar	→	VPR
A											
B											
C											
					Σ					Σ	1

Nomenclatura:

- VP_i : Vector propio experto $i, \forall i = 1..4$
- M.G.: Media geométrica

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4	Media Geom.	M.G.	Normalizar	VPR
A	0,8750	0,9000	0,8750	0,2500	→	0,6442	→	0,7769
B	0,1250	0,1000	0,1250	0,7500		0,1850		0,2231
					Σ	0,8293	Σ	1

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4	Media Geom.	M.G.	Normalizar	VPR
A	0,6694	0,5109	0,5109	0,6370	→	0,5776	→	0,5874
B	0,0879	0,0691	0,0691	0,1047		0,0814		0,0828
C	0,2426	0,4200	0,4200	0,2583		0,3243		0,3298
					Σ	0,9833	Σ	1

Comparación variables secundarias.

Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

B: Costo del equipo.

	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4	Media Geom.	M.G.	Normalizar	VPR
A	0,8750	0,9000	0,8333	0,8333	→	0,8599	→	0,8630
B	0,1250	0,1000	0,1667	0,1667		0,1365		0,1370
					Σ	0,9965	Σ	1

Ahora que se tienen todas las ponderaciones de todas las variables por separado, se puede proceder a obtener el Vector de variables ponderadas, que como se vio anteriormente, posee todas las variables ponderadas con su respectiva Variable primaria, de la siguiente manera:

Tabla 27: *Resumen Variables primarias y secundarias.*

Variables primarias	Variables secundarias
Operatividad	Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.
	Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.
	Frecuencia de inoperatividad (%).
Costo	Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.
	Costo del equipo.

Tabla 28: *Ponderación final de las variables.*

Variables primarias	Variables secundarias	Variables ponderadas
0,7769	0,5874	0,4564
	0,0828	0,0643
	0,3298	0,2562
0,2231	0,8630	0,1925
	0,1370	0,0306

El siguiente paso es trabajar las variables, obteniendo sus datos y los respectivos VPs para luego multiplicarlos con el Vector de variables ponderadas adquirido anteriormente, consiguiendo así, la Ponderación final de las alternativas respecto a las variables estudiadas. Para este caso particular, las variables consideradas son todas de carácter cuantitativo, por lo tanto, el procedimiento para obtener sus VPs se ejemplifica a continuación, aplicado a la familia Monitores Desfibriladores (el procedimiento automatizado se detalla en el Anexo E).

4. 6. Desarrollo del método.

Considerando la siguiente asignación:

Variables primarias	Variables secundarias
Operatividad (A)	(A) Cantidad de componentes con % tiempo inoperativo > 10%. (B) Tiempo inoperativo (%) ponderado del equipo. (C) Frecuencia de inoperatividad (%).
Costo (B)	(A) Componentes con un costo mayor al promedio. (B) Costo del equipo.

Los datos correspondientes a cada variable se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 29: *Datos familia Monitores Desfibriladores.*

Equipos	A			B	
	A	B	C	A	B
00344	2	0,3475	0,0007	4	4216000
00653	1	0,3120	0,0007	4	4216000
803	1	0,3762	0,0009	4	4216000
822	2	0,8245	0,0007	4	4216000
912	1	0,6038	0,0009	4	4216000
933	1	0,5190	0,0007	4	4216000
01038	1	0,1194	0,0013	4	4216000
1053	2	0,7619	0,0009	4	4216000
1614	1	0,1570	0,0013	4	4216000
1615	1	0,5212	0,0007	4	4216000
01765	1	0,1980	0,0005	4	4216000
00020625	1	0,5677	0,0007	4	4216000
...
X05GO63355	2	0,3570	0,0007	4	1649925
X06C083081	2	0,7777	0,0007	4	1649925
XO5G063356	2	0,6923	0,0007	4	1649925

Luego se aplica la proporcionalidad a las variables inversas, de la **Tabla 27** se puede observar que todas las variables en estudio son Inversamente proporcionales (menos es mejor), por lo tanto la tabla proporcional queda como se muestra a continuación:

Tabla 30: *Datos familia Monitores Desfibriladores proporcionales.*

Equipos	A			B	
	A	B	C	A	B
00344	0,5000	2,8776220	1517,0000	0,2500	0,0000002
00653	1,0000	3,2046414	1519,0000	0,2500	0,0000002
803	1,0000	2,6583710	1175,0000	0,2500	0,0000002
822	0,5000	1,2129119	1518,0000	0,2500	0,0000002
912	1,0000	1,6560694	1146,0000	0,2500	0,0000002
933	1,0000	1,9269341	1345,0000	0,2500	0,0000002
01038	1,0000	8,3770492	766,0000	0,2500	0,0000002
1053	0,5000	1,3124284	1163,0000	0,2500	0,0000002
1614	1,0000	6,3700624	766,0000	0,2500	0,0000002
1615	1,0000	1,9185581	1437,0000	0,2500	0,0000002
01765	1,0000	5,0503979	1904,0000	0,2500	0,0000002
00020625	1,0000	1,7614288	1518,0000	0,2500	0,0000002
...
X05GO63355	0,5000	2,8013910	1450,0000	0,2500	0,0000006
X06C083081	0,5000	1,2857965	1490,0000	0,2500	0,0000006
XO5G063356	0,5000	1,4444722	1531,0000	0,2500	0,0000006

Finalmente, los VPs de las variables se obtienen normalizando la matriz anterior, así, los VPs quedan de la siguiente manera:

Tabla 31: Datos familia Monitores Desfibriladores normales (VPs).

Equipos	A			B	
	A	B	C	A	B
00344	0,0177515	0,0201636	0,0306799	0,0263158	0,0183481
00653	0,0355030	0,0224551	0,0307204	0,0263158	0,0183481
803	0,0355030	0,0186273	0,0237633	0,0263158	0,0183481
822	0,0177515	0,0084989	0,0307002	0,0263158	0,0183481
912	0,0355030	0,0116042	0,0231768	0,0263158	0,0183481
933	0,0355030	0,0135021	0,0272014	0,0263158	0,0183481
01038	0,0355030	0,0586984	0,0155018	0,0263158	0,0183481
1053	0,0177515	0,0091962	0,0235206	0,0263158	0,0183481
1614	0,0355030	0,0446353	0,0154916	0,0263158	0,0183481
1615	0,0355030	0,0134434	0,0290620	0,0263158	0,0183481
01765	0,0355030	0,0353884	0,0385067	0,0263158	0,0183481
00020625	0,0355030	0,0123424	0,0307002	0,0263158	0,0183481
...
X05GO63355	0,0177515	0,0196295	0,0293249	0,0263158	0,0468843
X06C083081	0,0177515	0,0090096	0,0301339	0,0263158	0,0468843
XO5G063356	0,0177515	0,0101215	0,0309631	0,0263158	0,0468843

Una vez obtenidos todos los VPs, el posterior paso es multiplicar la matriz anterior por el Vector de variables ponderadas obtenido en la **Tabla 28**, dando como resultado la priorización de los equipos de la familia Monitores Desfibriladores.

4. 7. Jerarquización de los equipos.

Tabla 32: *Priorización de la familia Monitores Desfibriladores.*

Equipos	Ponderación	Equipos	Ponderación
00344	2,289%	101141507	1,901%
00653	3,115%	101141512	2,248%
803	2,912%	A2F41A437	2,076%
822	2,214%	A2F41A438	2,023%
912	2,851%	A2F41A447	1,959%
933	2,967%	T073E90103	2,030%
01038	2,958%	T08K107746	2,926%
1053	2,035%	T09L117364	2,899%
1614	2,867%	T09L117366	3,065%
1615	3,014%	TO4163585	3,211%
01765	3,397%	TO4L66470	3,055%
00020625	3,049%	TO6F80538	3,554%
401453	2,331%	TO6I83693	3,226%
12217797	2,492%	TO7E90122	2,275%
13702576	2,206%	TO9K116316	2,918%
14173297	2,106%	US00575093	2,945%
30619096	2,807%	X05GO63355	2,338%
101078191	3,166%	X06C083081	2,290%
101112312	1,967%	XO5G063356	2,318%

Ahora que se tiene la ponderación de los equipos, se puede pasar a la jerarquización de ellos, para ver claramente cuáles son los más relevantes dentro de la familia y así asignarles posteriormente un Plan de mantenimiento Full, por lo tanto, la tabla anterior se ordenó de mayor a menor según el valor de ponderación.

4. 8. Asignación.

Tabla 33: *Asignación de Planes de Mantenimiento a la familia Monitores Desfibriladores.*

Equipos	Asignación		Equipos	Asignación	
TO6F80538	3,554%	Plan Full	30619096	2,807%	Plan Simple
01765	3,397%	Plan Full	12217797	2,492%	Plan Simple
TO6I83693	3,226%	Plan Full	X05GO63355	2,338%	Plan Simple
TO4163585	3,211%	Plan Full	401453	2,331%	Plan Simple
101078191	3,166%	Plan Full	XO5G063356	2,318%	Plan Simple
00653	3,115%	Plan Full	X06C083081	2,290%	Plan Simple
T09L117366	3,065%	Plan Full	00344	2,289%	Plan Simple
TO4L66470	3,055%	Plan Simple	TO7E90122	2,275%	Plan Simple
00020625	3,049%	Plan Simple	101141512	2,248%	Plan Simple
1615	3,014%	Plan Simple	822	2,214%	Plan Simple
933	2,967%	Plan Simple	13702576	2,206%	Plan Simple
01038	2,958%	Plan Simple	14173297	2,106%	Plan Simple
US00575093	2,945%	Plan Simple	A2F41A437	2,076%	Plan Simple
T08K107746	2,926%	Plan Simple	1053	2,035%	Plan Simple
TO9K116316	2,918%	Plan Simple	T073E90103	2,030%	Plan Simple
803	2,912%	Plan Simple	A2F41A438	2,023%	Plan Simple
T09L117364	2,899%	Plan Simple	101112312	1,967%	Plan Simple
1614	2,867%	Plan Simple	A2F41A447	1,959%	Plan Simple
912	2,851%	Plan Simple	101141507	1,901%	Plan Simple

Como se mencionó en el Marco Teórico, la asignación se realizó mediante el Principio de Pareto, por lo tanto, se asignaron Planes de mantenimiento Full a aquellos equipos que su porcentaje de jerarquización acumulado alcanza el valor ingresado a preferencia del usuario (el modelo se encarga de realizar la asignación correspondiente), para el caso anterior, se consideró un valor de asignación de planes Full a aquellos que superen el 20% de relevancia acumulada. En el equipo n° serie T09L117366 se alcanza el valor de jerarquización acumulado de 22,73%, por lo tanto, todos los equipos anteriores a él en la jerarquización adquieren **Plan de mantenimiento Full**, y el 77,27% restante, un **Plan de mantenimiento Simple**.

4. 9. Diagrama de Pareto.

Gráficamente, la situación anterior se ve representada de la siguiente manera:

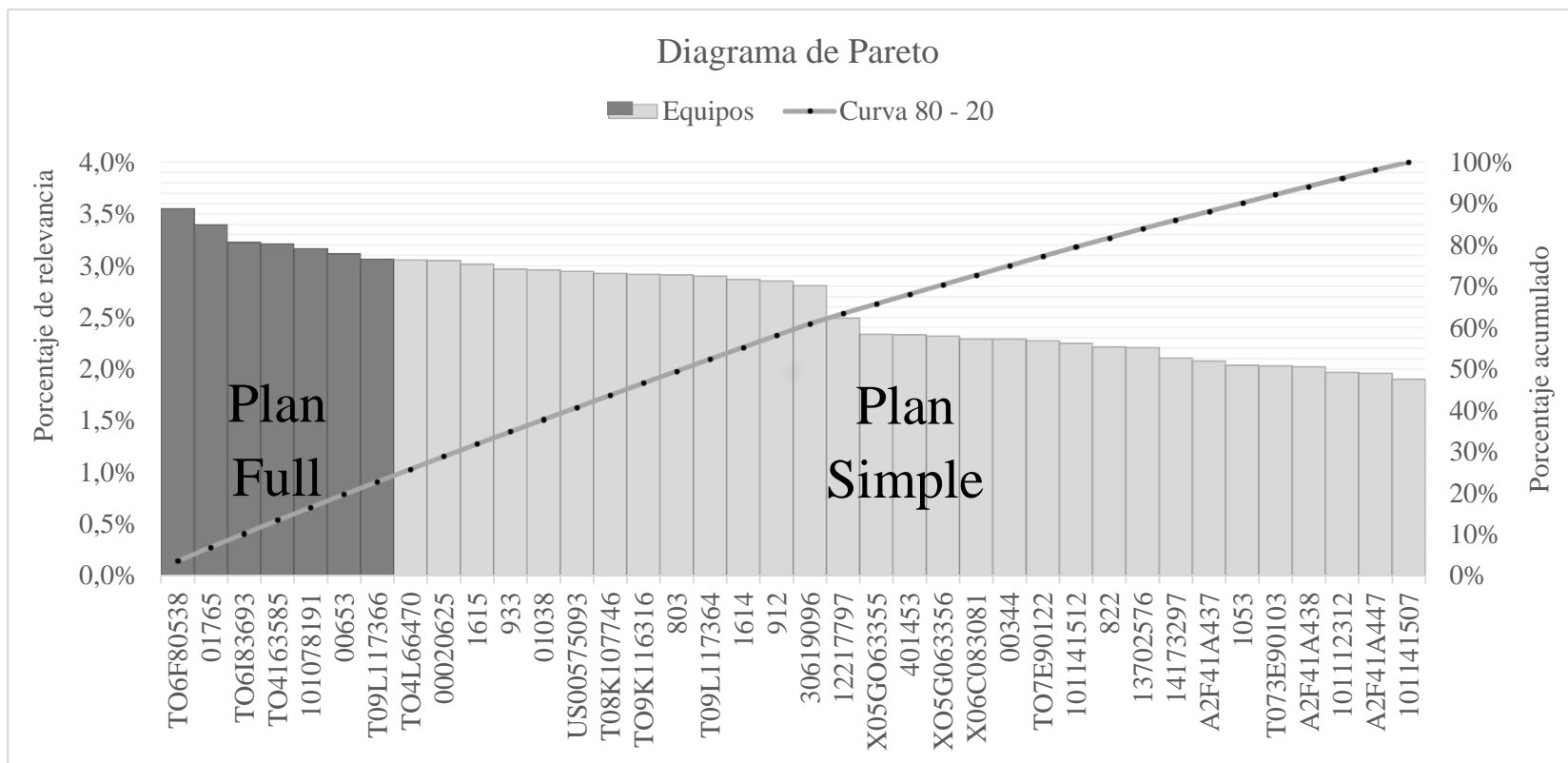


Gráfico 2: Diagrama de Pareto aplicado.

4. 10. Costos de Mantenimiento.

Después de la anterior asignación, sólo resta conocer cuál fue el nuevo costo (mayor) de mantenimiento en los que debe incurrir el HGGB por la integración de un Plan Full a sus equipos, para ello se presentan los costos actuales de mantenimiento a continuación:

Tabla 34: *Resumen costos de mantenimiento actuales HGGB.*

Familia	Cantidad equipos	Costo anual (s/IVA)	Costo anual (+ IVA)	Tipo Plan
Incubadoras	22	\$ 17.160.000	\$ 20.420.400	Simple
Máquinas de Anestesia	24	\$ 11.730.000	\$ 13.958.700	Simple
Monitores Desfibriladores	61	\$ 5.720.000	\$ 6.806.800	Simple
Monitores	172	\$ 67.704.000	\$ 80.567.760	Semi-Full

Facilitados por el Sr. Patricio Sáez, Jefe del Departamento de Equipos Médicos e Ingeniería Hospitalaria.

Sin embargo, tomando en cuenta que en este estudio sólo se tomaron particiones de las familias Monitores Desfibriladores (Novacare) y Monitores (Multiparámetro), los nuevos costos proporcionales de mantenimiento considerados fueron los siguientes:

Tabla 35: *Resumen costos de mantenimiento actuales HGGB (proporcional).*

Familia	Cantidad equipos	Costo anual (s/IVA)	Costo anual (+ IVA)	Tipo Plan
Incubadoras	22	\$ 17.160.000	\$ 20.420.400	Simple
Máquinas de Anestesia	24	\$ 11.730.000	\$ 13.958.700	Simple
M. Desfibriladores (Novacare)	38	\$ 3.563.279	\$ 4.240.302	Simple
Monitores (Multiparámetro)	12	\$ 4.723.535	\$ 5.621.007	Semi-Full

Luego, para poder aproximar un costo de Plan de mantenimiento Full desde el Simple y el Semi-Full se utilizó la siguiente tabla de conversión:

Tabla 36: *Tabla de conversión Simple – Semi-Full – Full.*

	Semi-Full	Full
Simple	75%	125%
Semi-Full	-	50%

El usuario puede variar estos porcentajes a uno más adecuado según su percepción La estimación del costo del plan varía automáticamente.

De las dos últimas tablas presentadas se estimó el Costo s/IVA marginal (para un equipo, dividiendo el Costo mensual s/IVA por la cantidad de equipos por familia) de un Plan de mantenimiento Full, multiplicando el Costo marginal anual s/IVA por el factor correspondiente en la tabla anterior, para luego aplicarlo al total de equipos a los que se les asignó este tipo de plan.

Tabla 37: *Estimación Costo marginal Full (s/IVA).*

Familia	Costo marginal anual (s/IVA)	Tipo Plan	Costo marginal anual Full (s/IVA)
Incubadoras	\$ 780.000	Simple	\$ 1.755.000
Máquinas de Anestesia	\$ 488.750	Simple	\$ 1.099.688
M. Desfibriladores (Novacare)	\$ 93.770	Simple	\$ 210.984
Monitores (Multiparámetro)	\$ 393.628	Semi-Full	\$ 590.442

Elaboración propia, en base a **Tabla 34** y **Tabla 36**.

Por lo tanto, para la familia Monitores Desfibriladores estudiada en el caso, los costos totales de mantenimiento son:

Tabla 38: *Resumen costo total mantenimiento familia Monitores Desfibriladores.*

Tipo Plan	Costo total anual (s/IVA)	Costo total anual (+IVA)
Simple	\$ 2.906.885	\$ 3.459.193
Full	\$ 1.476.885	\$ 1.757.493
Σ	\$ 4.383.770	\$ 5.216.687

Luego, aplicando el mismo procedimiento anterior a todas las familias, considerando relación 80% – 20% y basándose en la misma tabla de conversión de Simple – Semi-Full – Full, los totales por familia son los siguientes:

Tabla 39: *Costos totales de mantenimiento por familia.*

Tipo Plan	Incubadoras	Máquinas de Anestesia	Monitores Desfibriladores	Monitores Multiparámetro
Simple	\$ 14.820.000	\$ 9.775.000	\$ 2.906.885	\$ 3.936.279
Full	\$ 5.265.000	\$ 4.398.750	\$ 1.476.885	\$ 1.180.884

Así, el costo total mensual de mantenimiento es:

Tabla 40: *Costo total anual de mantenimiento.*

Tipo Plan	Costos Totales
Simple	\$ 31.438.164
Full	\$ 12.321.519
Σ	\$ 43.759.683

Luego, la diferencia de la situación actual en contraposición con el escenario posterior a la aplicación del método es:

Tabla 41: Comparación escenario actual contra el posterior al método.

Familia	Costo anual (s/IVA)	
	Actual	Posterior
Incubadoras	\$ 17.160.000	\$ 20.085.000
Máquinas de Anestesia	\$ 11.730.000	\$ 14.173.750
Desfibriladores Novacare	\$ 3.563.279	\$ 4.383.770
Monitores Multiparámetro	\$ 4.723.535	\$ 5.117.163
	Σ \$ 37.176.814	\$ 43.759.683

Costando la situación posterior \$.6.582.869 anuales más que la actual.

4. 11. Costos en Prestaciones Clínicas.

Como se mencionó al inicio del informe, el verdadero beneficio de esta aplicación es en términos de **productividad** de los equipos, es por esto que el costo de mantenimiento debe ser mayor, pues se agregan Planes de mantenimiento Full (más costosos) a los Planes Simples ya contratados, sin embargo, existe un costo aún no considerado, que es aquel en que tiene que incurrir el HGGB al no contar con un equipo disponible cuando se requiere, ya sea porque estuvo en uso o inoperativo, por lo tanto, este servicio se debe subcontratar en alguna clínica privada que ofrezca el servicio requerido para atender al paciente, todo esto con un costo muy elevado.

Para obtener estos costos, se calculó un promedio del cobro por el servicio en cinco (5) clínicas del país, ellas son: Clínica Alemana, Hospital Clínico de la Universidad de Chile, Clínica INDISA, Clínica Santa María y Clínica Universitaria de Concepción, resumidos a continuación:

Tabla 42: Resumen costos de Prestaciones Clínicas.

Equipo	Incubadora	Máquina de Anestesia	Monitor Desfibrilador	Monitor Multiparámetro
Clínica	<i>Día Cama Neonatal</i> ¹⁹	<i>2 horas Pabellón</i> ²⁰	<i>Día Cama U.C.I. - U.T.I.</i> ²¹	
Alemana	\$504.813	\$1.218.477		\$806.093
U. de Chile	\$62.780	\$1.683.992		\$634.498
INDISA	\$462.130	-		\$652.106
Santa María	-	\$1.389.714		\$776.000
U. de Concepción	\$150.000	\$3.367.002		\$550.000
Costo promedio	\$294.931	\$1.914.796		\$683.739

Costos de Prestaciones Clínicas año 2016. Recuperados de:

- Clínica Alemana:
 - <http://www.alemana.cl/wls/arancel/buscarc.htm?idClasificacion=1&pagina=1&cantidad=100>
 - <http://www.alemana.cl/wls/arancel/buscarc.htm%3FidClasificacion%3D1%26pagina%3D1%26cantidad%3D100>
 - <http://www.alemana.cl/wls/arancel/buscar.htm?idClasificacion=2&pagina=2&cantidad=100&total=1191>
- Hospital Clínico de la Universidad de Chile:
 - <https://www.redclinica.cl/Portals/0/Users/014/14/14/ArancelA%C3%91O2016.pdf>
- Clínica INDISA:
 - <http://www.indisa.cl/indisaweb/aranceles/?bt=aranceles.menu>
- Clínica Santa María:
 - http://www.clinicasantamaria.cl/aranceles/aranceles_paso3.asp
- Clínica Universitaria de Concepción:
 - <http://www.cuconcepcion.cl/informacion-para-pacientes/aranceles/listado-de-aranceles/>

¹⁹ En algunos casos, la clínica indicó el costo en particular por un servicio de Incubadora.

²⁰ Una actividad en pabellón tiene una duración aproximada de 1 a 3 horas, por lo tanto se tomó el promedio de los costos de prestación de pabellón de 1 a 3 horas (1, 1 1/2, 2, 2 1/2 y 3 horas).

²¹ Principales salas en las cuales se debe contar con Monitores Desfibriladores y Multiparámetro.

Una vez que se tienen los costos de prestación del servicio, es necesario estimar en qué casos un equipo está en uso o inoperativo y que por consecuencia un paciente deba ser enviado a una clínica de no haber ningún equipo disponible en ese momento. Se cuenta con el porcentaje del tiempo Operativo de cada equipo (1 - % Inoperativo), sin embargo falta el porcentaje del requerimiento de equipos de una familia en un determinado día, para ello se puso la situación en cinco (5) escenarios de requerimiento de equipos, expresados en un porcentaje del total: 20%, 40%, 60%, 80% y 100% (a elección del usuario). A continuación se ejemplifica en procedimiento aplicado en la familia Monitores Multiparámetro:

Tabla 43: *Obtención Costo total Actual en extrasistema familia Monitores Multiparámetro.*

Monitores Multiparámetro: 12 equipos		Escenarios				
Equipos	% Tpo. Op.	20% 3	40% 5	60% 8	80% 10	100% 12
115510050002	78,27%	1	1	1	1	1
124610090001	83,51%	1	1	1		1
124611030008	80,99%	1	1	1		1
127510120003	59,46%	1		1	1	
130711070001	40,39%	1	1			
1369-017986	82,99%	1	1	1		1
1369-017987/...	92,38%	1	1	1	1	1
1369-017990	91,81%	1	1	1	1	1
1393-0002748/...	78,80%	1	1		1	1
1393-000957/...	98,24%	1	1	1	1	1
1393-000958/...	97,35%	1	1	1	1	1
1393-000962/...	86,51%	1	1	1		1
Disponibilidad de equipos		12	11	10	7	10
Déficit de equipos		0	0	0	3	2
Costo día servicio externo				\$683.739		
Costo total servicio externo		\$0	\$0	\$0	\$2.051.217	\$1.367.478

Para obtener el Costo total del servicio externo se usó un número aleatorio entre 0 y 1, el cual en caso de caer dentro del porcentaje Operativo del equipo, arroja 1, en situación contraria la celda queda vacía, así, al sumar la columna correspondiente a cada escenario se puede obtener la cantidad de equipos que estarán disponibles en una situación particular, y en consecuencia, el déficit para cumplir el requerimiento, que multiplicándolo por el costo de un día en extrasistema, se obtendrá el Costo total del servicio externo para ésta familia (diario).

Una vez obtenido el costo total en extrasistema, se puede proceder a calcular este mismo indicador, pero esta vez, en una situación posterior a la aplicación del método, es decir, con la inclusión de Planes de mantenimiento Full. Como consecuencia de la aplicación del método, la familia es más productiva, pues algunos de sus equipos son más operativos por el hecho de tener un Plan de mantenimiento Full, pero ¿Cuánto más operativos? Es un tanto ambiguo, por ende, queda a elección del usuario, el cual puede ingresar cuál es, a su percepción, el porcentaje en que vuelve más operativo a un equipo un Plan Full respecto a un Plan Simple y a un Plan Semi-Full, sin embargo, para efectos de este estudio se consideró que un Plan de mantenimiento Full reduce a la mitad o a un cuarto el porcentaje de tiempo inoperativo de un equipo que actualmente cuenta con un Plan de mantenimiento Simple o Semi-Full, respectivamente. A continuación se ve reflejada la anterior aseveración:

Tabla 44: *Obtención Costo total Post-método en extrasistema familia Monitores Multiparámetro.*

Monitores Multiparámetro: 12 equipos		Escenarios				
Equipos	% Tpo. Op.	20% 3	40% 5	60% 8	80% 10	100% 12
115510050002	78,27%	1	1	1	1	1
124610090001	87,63%	1	1	1	1	1
124611030008	85,74%	1	1	1	1	1
127510120003	59,46%	1		1	1	
130711070001	40,39%	1	1			
1369-017986	82,99%	1	1	1		1
1369-017987/...	92,38%	1	1	1	1	1
1369-017990	91,81%	1	1	1	1	1
1393-0002748/...	78,80%	1	1		1	1
1393-000957/...	98,24%	1	1	1	1	1
1393-000958/...	97,35%	1	1	1	1	1
1393-000962/...	86,51%	1	1	1		1
Disponibilidad de equipos		12	11	10	9	10
Déficit de equipos		0	0	0	1	2
Costo día servicio externo				\$683.739		
Costo total servicio externo		\$0	\$0	\$0	\$683.739	\$1.367.478

Como puede observarse de la comparación de la **Tabla 43** y la **Tabla 44**, en la situación Posterior al método existe un menor déficit de equipos, por lo tanto, un menor costo de servicio en extrasistema.

4. 12. Costos totales de mantenimiento Actuales, Post-método y comparación.

El procedimiento anterior se aplica a todas las familias (considerando los mismos números aleatorios almacenados en una hoja oculta en la planilla, con la finalidad de que la comparación de la situación Actual con la Post-método tenga sentido), así se puede obtener el ahorro en prestaciones de cada familia por escenario, para luego sumarlo con el costo de mantenimiento total (esta vez en términos diarios, para unificar las medidas con los costos de extrasistema) y finalmente obtener el **Costo total de mantenimiento con prestaciones clínicas por escenario**, sin embargo, está en función de números aleatorios (los 1 de las **Tablas 43 y 44**), es por esto que para obtener un valor representativo del Costo total se tomaron los valores de mil (1.000) soluciones distintas y se calculó un promedio por escenario, como se muestra en la **Tabla 45** de la siguiente hoja:

Tabla 45: Resumen ahorro en costos de mantenimiento totales por escenario.

Sol.	Actual Escenario					Posterior Escenario				
	20%	40%	60%	80%	100%	20%	40%	60%	80%	100%
1	\$101.854	\$101.854	\$4.901.326	\$18.030.424	\$32.613.720	\$119.890	\$119.890	\$2.278.282	\$18.048.459	\$32.631.756
2	\$101.854	\$101.854	\$5.111.170	\$16.086.382	\$34.001.653	\$119.890	\$119.890	\$5.129.205	\$15.125.747	\$33.335.950
3	\$101.854	\$101.854	\$7.761.039	\$25.300.800	\$27.437.105	\$119.890	\$119.890	\$7.779.075	\$19.438.026	\$21.710.751
4	\$101.854	\$986.647	\$6.529.982	\$12.149.614	\$43.028.317	\$119.890	\$709.751	\$6.548.017	\$9.569.114	\$40.447.817
5	\$101.854	\$101.854	\$4.110.411	\$26.035.874	\$35.822.572	\$119.890	\$119.890	\$3.444.707	\$21.540.577	\$35.840.607
6	\$101.854	\$101.854	\$7.593.739	\$12.991.863	\$43.481.757	\$119.890	\$119.890	\$5.013.239	\$13.009.898	\$41.584.996
7	\$101.854	\$101.854	\$9.675.836	\$16.064.293	\$37.788.703	\$119.890	\$119.890	\$9.693.871	\$15.103.659	\$32.314.736
8	\$101.854	\$101.854	\$986.647	\$27.762.915	\$33.972.408	\$119.890	\$119.890	\$1.004.682	\$26.413.472	\$32.622.965
9	\$101.854	\$691.716	\$1.576.508	\$14.200.831	\$29.445.778	\$119.890	\$709.751	\$1.299.613	\$13.923.936	\$27.801.405
10	\$101.854	\$101.854	\$2.166.370	\$21.766.139	\$32.202.823	\$119.890	\$119.890	\$1.889.474	\$21.489.243	\$31.537.120
...
999	\$101.854	\$101.854	\$8.940.762	\$17.346.685	\$41.870.682	\$119.890	\$119.890	\$5.129.205	\$17.364.720	\$39.973.921
1000	\$101.854	\$101.854	\$3.196.374	\$23.680.935	\$35.895.995	\$119.890	\$119.890	\$1.299.613	\$21.647.753	\$34.935.360
\bar{X}	\$103.624	\$315.583	\$5.957.562	\$21.211.089	\$35.987.915	\$120.774	\$251.136	\$4.707.137	\$19.501.955	\$34.222.805

Ahorro promedio de 1.000 soluciones por Escenario					
	20%	40%	60%	80%	100%
Ahorro día	\$ -17.150	\$ 64.447	\$ 1.250.425	\$ 1.709.134	\$ 1.765.110
Ahorro semana	\$ -120.053	\$ 451.130	\$ 8.752.977	\$ 11.963.935	\$ 12.355.770
Ahorro mes	\$ -514.514	\$ 1.933.413	\$ 37.512.760	\$ 51.274.008	\$ 52.953.300
Ahorro año	\$ -6.259.921	\$ 23.523.186	\$ 456.405.241	\$ 623.833.768	\$ 644.265.150

4. 12. 1. Situación Actual vs Posterior.

Gráficamente el ahorro puede apreciarse de mejor manera, como se muestra en la siguiente comparación de la situación Actual vs la situación Post-método.

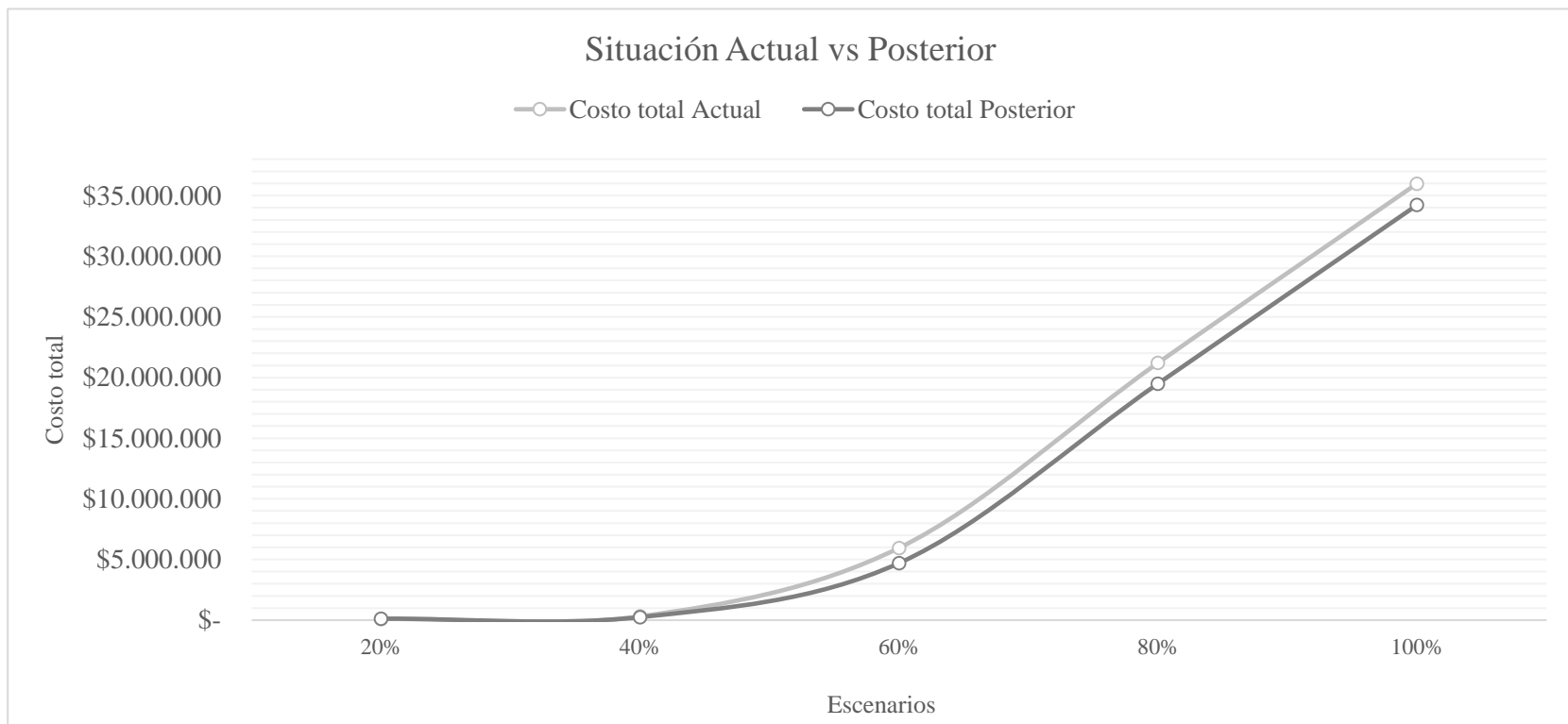


Gráfico 3: Comparación situación Actual vs Post-método.

Claramente puede observarse de la tabla de Ahorro, y más evidente en el anterior gráfico que a **medida que la demanda de equipos aumenta, el ahorro en Costos totales de mantenimiento (Planes + Prestaciones Clínicas) es mayor** (sin embargo, disminuye la diferencia), sólo en la situación con menor necesidad de equipamiento (20% de demanda) existen pérdidas, lo cual es lógico, ya que posterior a la asignación propuesta los equipos beneficiados son más productivos, es decir, tienen una mayor probabilidad de estar operativos en un instante determinado, lo cual implica que haya un menor déficit de equipos con una alta demanda de ellos y por consiguiente, menores costos en tercerización del servicio clínico, por lo tanto, tomando en cuenta que todo lo anterior fue calculado respecto a la conversión de la **Tabla 36**, además basándose en una asignación del 20% de Planes de mantenimiento Full y considerando que un Plan de mantenimiento Full reduce a la mitad o a un cuarto el porcentaje de tiempo inoperativo de un equipo que actualmente cuenta con un Plan de mantenimiento Simple o Semi-Full, respectivamente, **se recomienda el uso de la metodología para asignar Planes de mantenimiento**, con un ahorro porcentual promedio de:

Tabla 46: *Ahorro porcentual promedio de 1.000 soluciones.*

Escenario	20%	40%	60%	80%	100%
Ahorro porcentual	-16,55%	20,42%	20,99%	8,06%	4,90%

4. 12. 2. Ahorro en Costos de mantenimiento anuales por escenario de demanda.

La situación puede apreciarse gráficamente:

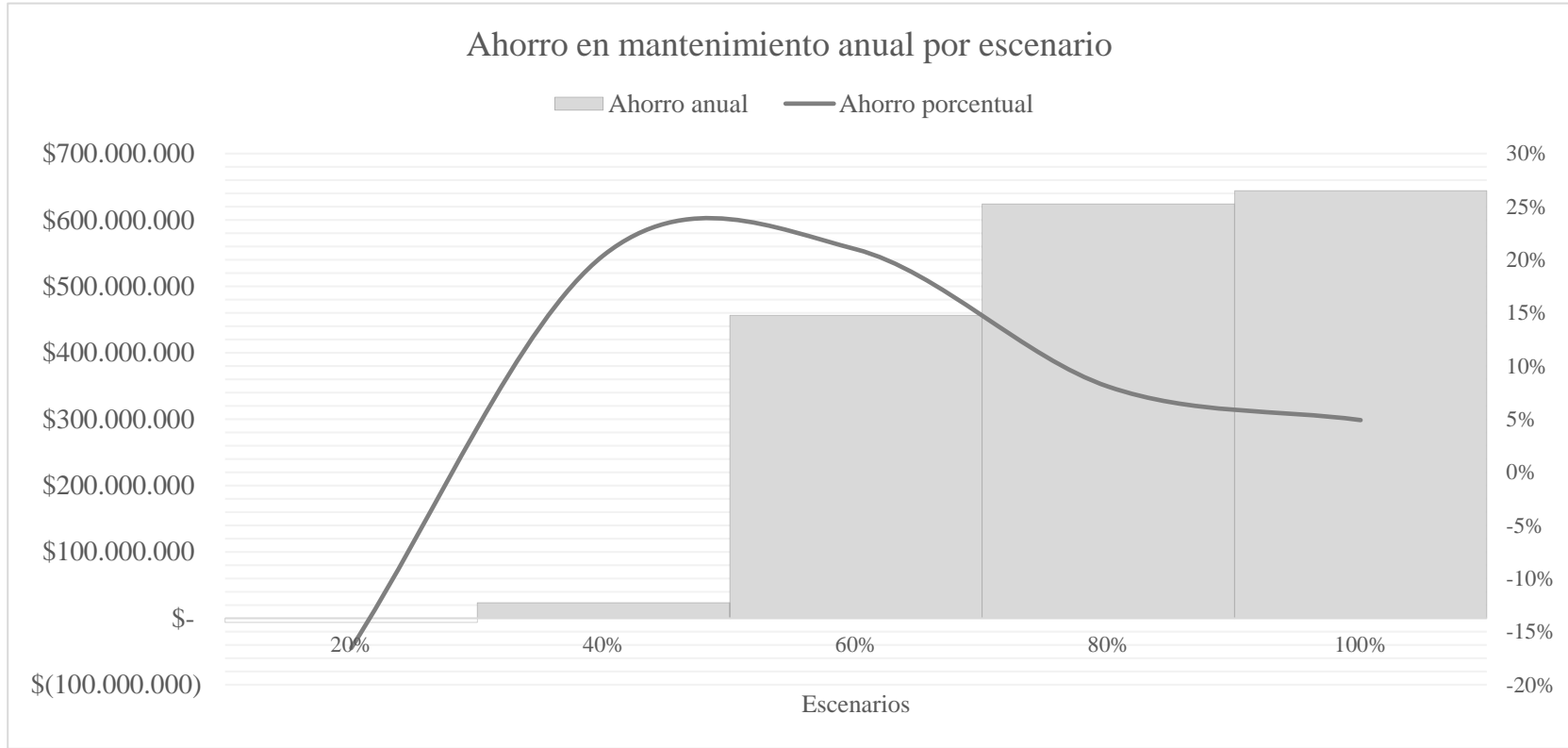


Gráfico 4: Ahorro en mantenimiento anual por escenario superpuesto con ahorro porcentual.

Capítulo 5. Aplicación C. de M.

Se desarrolló un modelo automatizado en un libro Microsoft Excel que en base la Fecha de Emisión y Fecha de Reparación, puede obtener una estimación del estado en el cual se encontraría el sistema en el largo plazo. El modelo se denotó de la siguiente manera:

5. 1. Denotación.

Se denotó un proceso estocástico de tiempo discreto, como:

$$\{X_t\}, \forall t \in T$$

Donde:

- X : Estado del equipo,
- t : Tiempo justo después de conocer el estado del sistema en el t – ésimo día,
- X_t : Estado del equipo en el día t , y
- i_t : Operativo, No Operativo.

5. 2. Cumplimiento de las propiedades esenciales de C. de M.

- Proceso de estados finito: Cumple.
 - Los estados en los cuales puede caer un equipo son Operativo y No Operativo.
 $\therefore i_t \in \{ \text{Operativo, No Operativo} \}$
- Propiedad Markoviana: Cumple.
 - Adaptando la definición de Propiedad Markoviana a la situación de HGGB se obtiene que la probabilidad de que un equipo se encuentre inoperativo un día $t + 1$, depende **única y exclusivamente** del estado correspondiente al día t .
- Probabilidad de transición estacionaria: Cumple.
 - La probabilidad de pasar de un estado Operativo a No Operativo, en una cantidad de etapas en el tiempo, no depende de la etapa en la cual se está.
- Distribución de probabilidad conocida: Cumple (*).
 - (*) Aún no conocida, pero se calculó como se describe a continuación.

5. 3. Matriz de transiciones.

Como se mencionó en el marco teórico, el procedimiento para obtener la distribución de probabilidades que describe el sistema es a través de la Matriz de transiciones, para ello el primer paso es crear una línea de tiempo, ubicando los estados en los cuales se encontraba el sistema en cada instante y estimando así la cantidad de transiciones por estado hacia cada estado. Este procedimiento es realizado por el modelo automatizado²², para ello, basta con insertar las Fechas de Emisión y Reparación de cada registro (ordenadas en orden creciente por Fecha de Emisión luego por Fecha de Reparación), y el modelo se encargó de obtener la cantidad de días que el equipo estuvo Operativo y No Operativo creando una línea de tiempo e intersectando la fechas, obteniendo sólo los días predominantes, obviando los que se encuentran dentro del marco del registro anterior. A continuación puede apreciarse más claramente, aplicando el modelo a modo de ejemplo al equipo Nihon Kohden Tec 3500 (n° serie: 00020625)²³ de la familia Monitores Desfibriladores:

Tabla 47: *Registros de fallo monitor desfibrilador Nihon Kohden Tec 3500 (n° serie: 00020625).*

Fecha Emisión	Fecha Reparación	Marca	Modelo	N° Serie
25-02-2011				
27-02-2012	23-06-2012	Nihon Kohden	Tec 3500	00020625
27-02-2012	14-05-2014			
13-05-2015				

Elaboración propia en base a hoja de vida de familia Monitores Desfibriladores.

De la tabla anterior, el modelo crea una línea de tiempo, ubica las fechas y arma un Diagrama de Gantt en la cual se pueden ver aquellos periodos en que un registro de falla estuvo activo y además sobre cuáles prevaleció, como se muestra a continuación:

²² Independiente de la automatización, se detallará el procedimiento que realiza el modelo para obtener los valores requeridos.

²³ Equipo al cual, mediante el anterior método, se le asignó un Plan de mantenimiento Simple.

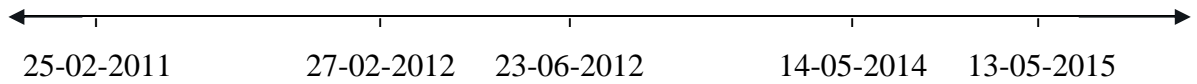


Tabla 48: *Ejemplo Diagrama de Gantt registros de fallo (estado).*

Registro	25-02-2011	27-02-2012	23-06-2012	14-05-2014	13-05-2015
1	Operativo				
2		No Operativo			
3			No Operativo		
4				Operativo	

Elaboración propia, adaptado de Gantt (1910).

En la tabla anterior puede observarse claramente que el registro de fallo tres (3) predomina sobre el dos (2), por lo tanto en el equipo sólo hubo un (1) fallo predominante (**por lo tanto su Frecuencia de inoperatividad también es uno**, luego, se realizó un cociente entre este valor y el periodo de estudio total de cada equipo y se obtuvo la Frecuencia de inoperatividad en porcentaje, que indica **cuán relevante es que un equipo falle x cantidad de veces** respecto a la duración del periodo por el cual fue estudiado).

Ahora el modelo calcula la cantidad de días que hay entre cada fecha de inicio y fin del fallo.

Tabla 49: *Ejemplo Diagrama de Gantt registros de fallo (días).*

Registro predominante	25-02-2011	27-02-2012	14-05-2014	13-05-2015
1	362			
3		797		
4			359	

Elaboración propia, adaptado de Gantt (1910).

Primero se obtuvieron las transiciones de un estado hacia él mismo ($O \rightarrow O$ y $NO \rightarrow NO$), el procedimiento es sumar la cantidad de días que el sistema estuvo en cada estado en transición continua²⁴ (t_c), para ello, se adaptó la línea de tiempo utilizada anteriormente, considerando la cantidad de días que el sistema estuvo en cada estado y así poder calcular la cantidad de transiciones, de la siguiente manera:

Tabla 50: Línea de tiempo para el cálculo de transiciones ($i \rightarrow i$).

Días	1	2	...	362	363	364	...	1159	1160	1161	...	1518
Estado	O	O	...	O	NO	NO	...	NO	O	O	...	O

Ordenando los valores correspondientes a su estado para la posterior suma:

Tabla 51: Cálculo de transiciones.

Registro predominante	Operativo	No Operativo
1	362	
3		797
4	359	
Σ	721	797
Transiciones	$721 - 2 =$	$797 - 1 =$
Cantidad días por estado – Cantidad registros predom. por estado ²⁵	719	796

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907) y Gantt (1910).

²⁴ En el ejemplo, desde el día 1 al 362 el sistema estuvo en t_{cO} (transición continua en el estado Operativo) luego, desde el día 363 al 1159 el sistema estuvo en t_{cNO} (transición continua en el estado NO Operativo).

²⁵ La Cantidad de registros predominantes por estado se refiere al número de transiciones continuas F_{tc} , mencionadas en el marco teórico, con F_{tcO} para la cantidad de transiciones continuas en el estado Operativo y F_{tcNO} para la cantidad de transiciones continuas en el estado No Operativo.

Obtenidos ya dos (2) valores de la matriz de transiciones se sitúan en ella:

	O	NO
O	719	
NO		796

Luego, sólo resta contar la cantidad de transiciones que hay desde un estado O a un NO y viceversa ($F_{O \rightarrow NO}$ y $F_{NO \rightarrow O}$), como se muestra en la siguiente línea de tiempo:

Tabla 52: Línea de tiempo para el cálculo de transiciones ($i \rightarrow j$).

Días	1	2	...	362	363	364	...	1159	1160	1161	...	1518
Estado	O	O	...	O	NO	NO	...	NO	O	O	...	O

⏟
⏟
 $O \rightarrow NO$
 $NO \rightarrow O$

De lo anterior se obtiene que:

- $F_{O \rightarrow NO} = 1^{26}$, y
- $F_{NO \rightarrow O} = 1$.

Por lo tanto, la Matriz de transiciones queda de la siguiente manera:

Tabla 53: Matriz de transiciones definitiva del problema.

	O	NO
O	719	1
NO	1	796

²⁶ Esto es la **Frecuencia de inoperatividad**, la que tiene uso como dato de entrada para el método AHP, de la cual se habla en la página 80.

5. 4. Matriz de probabilidades de transición.

Posteriormente, el último paso para llegar a la Matriz de probabilidades de transición es normalizar por fila la Matriz de transiciones:

Tabla 54: *Obtención Matriz de probabilidades de transición de una etapa.*

O	NO	Σ	→	O	NO	→	$P^{(1)} =$	O	NO	Σ
O	719	1		720	O			$\frac{719}{720}$	$\frac{1}{720}$	O	0,9986	0,0014	1
NO	1	796	797	NO	$\frac{1}{797}$	$\frac{796}{797}$	NO	0,0013	0,9987	1

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907).

Finalmente, se obtuvo la Matriz de probabilidades de transición de una etapa $P^{(1)}$, haciendo cumplir la cuarta propiedad esencial de C. de M. pues ya se conoce una distribución de probabilidad para cada estado.

Una vez obtenida la Matriz de probabilidades de transición P se puede pasar a la elaboración de un diagrama que esquematice la situación, en el cual se pueden observar claramente las probabilidades de transición de los dos estados hacia el otro y hacia el mismo.

5. 5. Representación gráfica de estados.

La representación gráfica de la C. de M. queda de la siguiente manera:

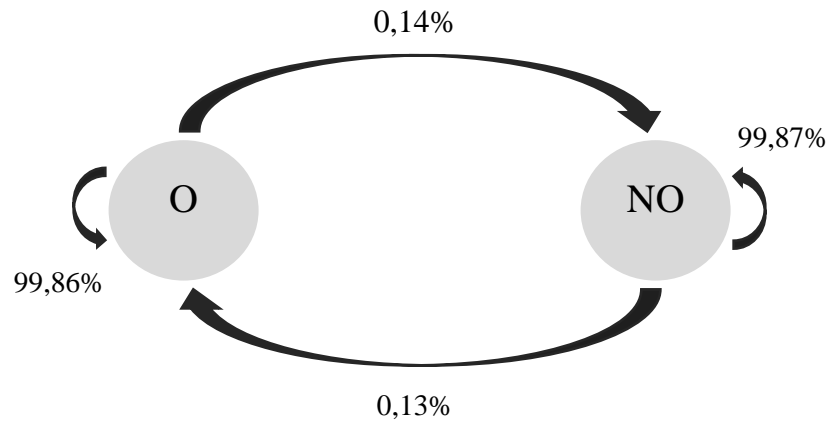


Ilustración 7: Representación gráfica de estados de la C. de M. aplicado.

Elaboración propia, adaptado de Markov (1907).

5. 6. Probabilidades de estado estable (Matriz $P^{(n)}$ y Ecc. de estado estable).

El siguiente ejercicio fue estimar la probabilidad de que un equipo se encuentre en un estado determinado en el largo plazo, pues como se mencionó anteriormente, pasada una gran cantidad de etapas n en el tiempo, las probabilidades de transición comienzan a estabilizarse cuando $\lim_{n \rightarrow \infty} P^{(n)}$. El modelo automatizado es capaz de encontrar el valor de n para el cual las probabilidades de transición se estabilizan, es decir, al realizar la multiplicación de matrices, el producto de la matriz n es igual al producto de la matriz $n - 1$. El procedimiento lo realiza calculando la matriz $P^{(1.000)}$ y luego obtiene cuál de esas 1.000 matrices es la primera en lograr la estabilidad, con una sensibilidad de 10 decimales. En el caso estudiado se pudo obtener que el valor de n para que las probabilidades de $P^{(n)}$ se estabilicen es $n = 16$, por lo tanto, en $P^{(16)}$ se logra el estado estable, pudiendo obtener así los valores de las probabilidades de estado estable π_1 (asociado al estado Operativo) y π_2 (asociado al estado No Operativo), como se muestra a continuación:

De lo anterior, se tiene que la Matriz de probabilidades de estado estable es:

Tabla 56: *Matriz de probabilidades de estado estable.*

	O	NO
O	47,46%	52,54%
NO	47,46%	52,54%

Con:

- $\pi_1 = 47,46\%$ la probabilidad de que en el largo plazo el equipo se encuentre en estado Operativo.
- $\pi_2 = 52,54\%$ la probabilidad de que en el largo plazo el equipo se encuentre en estado No Operativo.

Ya obtenidas las probabilidades de estado estable, se puede corroborar el resultado obtenido anteriormente mediante las ecuaciones de estado estable, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 & [\pi_1 \quad \pi_2] * \begin{bmatrix} 0,9986 & 0,0014 \\ 0,0013 & 0,9987 \end{bmatrix} \\
 (1) \quad & \pi_1 = 0,9986 * \pi_1 + 0,0013 * \pi_2 \\
 (2) \quad & \pi_2 = 0,0014 * \pi_1 + 0,9987 * \pi_2 \\
 (3) \quad & \pi_1 + \pi_2 = 1
 \end{aligned}$$

Resolviendo (considerando 10 decimales):

De (3) $\pi_1 = 1 - \pi_2$

En (2) $\pi_2 = 0,0014(1 - \pi_2) + 0,9987\pi_2$

$$\pi_2 = 0,0014 - 0,0014\pi_2 + 0,9987\pi_2$$

$$\pi_2 + 0,0014\pi_2 - 0,9987\pi_2 = 0,0014$$

$$0,0027\pi_2 = 0,0014$$

$$\pi_2 = \mathbf{0,5254} \quad (4)$$

(4) en (1) $\pi_1 + 0,5254 = 1$

$$\pi_1 = \mathbf{0,4746}$$

$$\pi_1 = 47,46\%$$

$$\pi_2 = 52,54\%$$

Del anterior sistema de ecuaciones puede corroborarse que los valores de π_1 y π_2 obtenidos por el primer método, son los correctos, por lo tanto, se puede concluir en base a la estimación que la probabilidad de que, en el largo plazo, el equipo esté operativo, es menor, con un valor de 47,46%.

El método automatizado en la planilla Microsoft Excel contiene un modelo precargado, en el cual sólo hay que reemplazar los datos de la matriz $P^{(1)}$ y mediante la herramienta Solver se resuelve el sistema de ecuaciones que otorga como solución los valores de π_1 y π_2 para la matriz $P^{(n)}$.

En el Anexo F se detalla el procedimiento para obtener la Matriz de probabilidades de transición de estado estable $P^{(n)}$, usando como datos de entrada sólo las Fechas de Emisión y Reparación de un fallo y en el Anexo G se presentan los pasos para adquirir las probabilidades de estado estable π_j haciendo uso de las ecuaciones de estado estable precargadas a modo de modelo de programación lineal en una planilla Microsoft Excel mediante la herramienta Solver.

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones.

6. 1. Conclusiones.

La demanda diaria del hospital más grande de Chile, sin considerar día ni horario, ubicado además en la segunda ciudad más poblada del país, es muy difícil de estimar, depende de muchos factores y hasta se podría considerar estacionaria, por eso, es bueno situarse en distintos escenarios, desde Optimista, pasando por Conservador (escenario medio) hasta el más Pesimista, del estudio de estas situaciones se llegó a la conclusión que **mientras mayor sea la demanda, también serán mayores los ahorros en mantenimiento** al aplicar la metodología, tendiendo a obtener un mayor beneficio porcentual en el escenario medio, con aproximadamente 21% de beneficio respecto de la situación actual, por lo tanto, existe beneficio monetario. Como ya se observó en la Aplicación del método AHP con el posterior cálculo de los costos correspondientes a las nuevas asignaciones, se puede obtener grandes cantidades de ahorro que rodean los **\$600.000.000 anuales** en los dos escenarios con mayor demanda, sin embargo, esto fue calculado en base a datos sensibles, que pueden ser modificados según el criterio de cada usuario o las necesidades de la institución que utilice la herramienta, pues no todos los hospitales trabajan bajo las mismas condiciones, y de ser replicado el método en otros hospitales, clínicas entre otros, los requerimientos pueden ser totalmente diferentes.

El aplicar el modelo de C. de M. le permite al usuario predecir (estimar) la probabilidad de que un equipo esté en funcionamiento en una cierta cantidad de etapas, dato que se podría complementar con la asignación de planes de mantenimiento y ya no hacerla tan rígida, sino que el decisor podía valerse de ambas soluciones para crear su propia asignación, por lo tanto se podría decir que la herramienta entregada es más bien dinámica, y los dos estudios realizados se complementan uno con otro. Una vez se tenga la asignación propuesta por el método AHP y el principio de Pareto, se puede llevar un control de los equipos, estimando las nuevas probabilidades de operatividad de éstos y llevándolas al modelo en C. de M. para así estar preparado frente a un posible fallo en una estación de alta demanda.

6. 2. Recomendaciones.

Se recomienda la aplicación del método principalmente porque trae beneficios en ambos sentidos, para aquel que ofrece el servicio (HGGB) y aquellos que lo reciben, los pacientes, quienes son los principales favorecidos en el estudio, ya que, alejándose del lado monetario y considerando ahora sólo factores sociales, **al aumentar la operatividad de los equipos, mejora el nivel de atención y la satisfacción de los pacientes y, en consecuencia, aumenta su calidad de vida**, lo cual es difícil de cuantificar, sin embargo, una vida humana no tiene precio.

Se sugiere, para una mejor aproximación del beneficio, realizar nuevos estudios para estimar el valor más adecuado de los datos sensibles, que estén mayormente apegados a la realidad del usuario de la herramienta, ellos son:

- Tabla de conversión de costos de planes,
- Porcentaje de mejora del Plan Simple y Semi-Full respecto a un Plan Full, y
- Porcentaje de asignación de Planes Full.

Capítulo 7. Referencias Bibliográficas.

- Aznar, J., Guijarro, F., & Estruch, V. (12 de Febrero de 2015). *Valoración de futbolistas con el método AHP*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <http://cursovaloracionfutbolistas.upvx.es/ficha>
- Concepción.cl. (2 de Mayo de 2016). *CONCEPCIÓN HOSPITAL REGIONAL*. Obtenido de http://www.xn--concepcin-d7a.cl/portal/salud/Concepci_n_Hospital_Regional.shtml#
- Dirección ChileCompra. (s.f.). *¿Qué es ChileCompra?* Obtenido de http://www.chilecompra.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=2141&Itemid=180
- Divestadística. (s.f.). *Diccionario Estadístico*. Obtenido de http://www.divestadistica.es/es/diccionario_estadistico.html
- Domenech Roldán, J. M. (s.f.). *Diagrama de Pareto - Calidad*. Obtenido de www.jomaneliga.es
- Gantt, H. L. (1910). *Trabajo, salarios y beneficios*.
- HGGB. (2014). *Cuenta Pública Gestión 2014*. Concepción. Obtenido de <http://www.hospitalregional.cl/upload/documents/cp2014.pdf>
- HGGB. (23 de Marzo de 2014). *Misión y Visión*. Obtenido de <http://www.hospitalregional.cl/main-mission.html>
- HGGB. (2015). *Cuenta Pública Participativa*. Concepción. Obtenido de <http://www.hospitalregional.cl/upload/documents/cp2015.pdf>
- Juran, J. M. (2007). *Juran y el liderazgo para la calidad: Manual para ejecutivos*. (J. Bravo, Ed., J. N. Medina, & M. G. Ballester, Trads.) Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Mallor, F., & Santos, J. (5 de Mayo de 2003). *Fiabilidad de sistemas*.
- Mendoza Ríos, C. A. (2014). *Estudio de factibilidad en la implementación de mantenimiento basado en confiabilidad aplicado a equipos médicos críticos*. Memoria de título, Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Concepción.
- Mercado Público. (s.f.). *Chilecompra - MercadoPublico.cl*. Obtenido de <https://www.mercadopublico.cl/Home/Contenidos/QueEsMercadoPublico>

- Rincon, L. (2012). *Introducción a los procesos estocásticos*. Ciudad de Mexico. Obtenido de <http://ya.fciencias.unam.mx/lars/Publicaciones/procesos2012.pdf>
- Saaty, T. L. (1997). *Toma de decisiones para líderes. El proceso analítico jerárquico, la toma de decisiones en un mundo complejo*. (M. Escudey, C. Garuti, E. Martínez, & L. Vargas, Trads.) Pittsburgh: RWS Publications.
- Solé, A. C. (2009). *Fiabilidad y seguridad de procesos industriales*. Marcombo.
- Superintendencia de salud. (Octubre de 2014). *Recomendaciones para la Elaboración e Implementación de un Programa de Mantenimiento Preventivo del Equipamiento Clínico*. Obtenido de http://www.supersalud.gob.cl/observatorio/575/articulos-10249_recurso_1.pdf
- Verdoy, P. J., Mahiques, J. M., Pellicer, S. S., & Prades, R. S. (2006). *Manual de control estadístico de calidad: Teoría y aplicaciones*. Castellón de la Plana, España: Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions.

Capítulo 8. Anexos.

8. 1. Anexo A: Detalle de las familias de equipos (Marca, Modelo y N° Serie).



Ilustración 8: Incubadora Dräger Isolette C2000. Recuperado de: http://www.draeger.com/Sites/enus_us/Pages/Hospital/Isolette-C2000-with-Cabinet-Stand.aspx



Ilustración 9: Máquina de Anestesia Datex Ohmeda Aespire S5. Recuperado de: http://www.frankshospitalworkshop.com/equipment/documents/anaesthesia/service_manuals/Datex_Ohmeda_S5_Aespire_-_Service_manual.pdf



Ilustración 10: Monitor Desfibrilador Nihon Kohden Tec 5531E. Recuperado de: http://www.nihonkohden.de/uploads/media/TEC-5500_13.pdf



Ilustración 11: Monitor Multiparámetro Mediana YM-6000. Recuperado de: <http://www.mediana.co.kr/eng/html/products/products.php?viewnum=64&chsubmwnum=1>

8. 1. 1. Incubadoras.

Tabla 58: *Detalle familia Incubadoras.*

Incubadoras		
Marca	Modelo	N° Serie
Medix	TR 200	1686
Medix	TR200	1692
Fanem	IT 158 TS	CF 1854
Fanem	IT 158 TS	CF 2417
Ohmeda	Care Plus	HCDM 50025
Ohmeda	Care Plus	HCDM 50027
Ohmeda	Care Plus	HCDM 50028
Ohmeda	Care Plus	HCDM50026
Ohmeda	Care Plus	HCDM50029
Ohmeda	Care Plus	HCDM50039
Ohmeda	Giraffe Omnibed	HDGL51799
Ohmeda	Giraffe	HDHL50995
Ohmeda	Giraffe	HDHL50996
Ohmeda	Giraffe	HDHL50997
Ohmeda	Giraffe	HDHL51100
Ohmeda	Giraffe	HDHL51101
Drager	Isolette C2000	RT 16662
Drager	Isolette C2000	RT 16663
Drager	Isolette C2000	RT 16664
Drager	Isolette C2000	RT 16665
Drager	Isolette C2000	RT 16666
Drager	Isolette C2000	RT 16667

Elaboración propia en base a hoja de vida de familia Incubadoras.

8. 1. 2. Máquinas de Anestesia.

Tabla 57: *Detalle familia M. de Anestesia.*

Máquinas de Anestesia		
Marca	Modelo	N° Serie
Drager	Fabius GS	10275
Drager	Fabius GS	10282
Drager	Fabius GS	10296
Drager	Fabius GS	10375
Drager	Fabius GS	10376
Drager	Fabius GS	10857
Blease	Focus 900S	1211106
Blease	Focus 900S	1331106
Datex Ohmeda	Excel 110 Se	AMDB 00143
Datex Ohmeda	Excel 110 Se	AMDB 00299
Datex Ohmeda	Excel 110	AMDW 00435
Datex Ohmeda	Excel 110	AMDX 00212
Datex Ohmeda	Excel 80	AMLD 00518
Datex Ohmeda	Aespire	AMTK 00178
Datex Ohmeda	Aespire S5	AMXG 00442
Datex Ohmeda	Aespire S5	AMXG 00449
Drager	Fabius GS	ARUL 0014
Penlon	Integra Sp2	SP2 0406-40
Penlon	Integra Sp2	SP2 0406-57
Penlon	Integra Sp2	SP2 1006-102
Penlon	Integra Sp2	SP2 1006-81
Penlon	Integra Sp2	SP2 1006-91
Penlon	Integra Sp2	SP2 1006-94
Penlon	Integra Sp2	SP2 1106-22

Elaboración propia en base a hoja de vida de familia Máquinas de Anestesia.

8. 1. 3. Monitores Desfibriladores.

Tabla 59: *Detalle familia Monitores Desfibriladores.*

Monitores Desfibriladores					
Marca	Modelo	N° Serie	Marca	Modelo	N° Serie
Nihon Kohden	Tec 5521E	00344	General Electrics	Cardio Serv	101141507
Nihon Kohden	Tec 5531E	00653	General Electrics	Cardio Serv	101141512
Nihon Kohden	Tec 5531E	803	Cu Medical	Cu Eri	A2F41A437
Nihon Kohden	Tec 5531E	822	Cu Medical	Cu Eri	A2F41A438
Nihon Kohden	Tec 5531 E	912	Cu Medical	Cu Eri	A2F41A447
Nihon Kohden	Tec 5531E	933	Zoll	M Series	T073E90103
Nihon Kohden	Tec 7621K	01038	Zoll	M Series	T08K107746
Nihon Kohden	Tec 5531E	1053	Zoll	M Series	T09L117364
Nihon Kohden	Tec 5531E	1614	Zoll	M Series	T09L117366
Nihon Kohden	Tec 5531E	1615	Zoll	M Series	TO4163585
Nihon Kohden	Tec 5531E	01765	Zoll	M Series	TO4L66470
Nihon Kohden	Tec 3500	00020625	Zoll	M Series	TO6F80538
Physio Control	Lifepack 9B	401453	Zoll	M Series	TO6I83693
Physio Control	Lifepack 9	12217797	Zoll	M Series	TO7E90122
Physio Control	Lifepack 9B	13702576	Zoll	M Series	TO9K116316
Physio Control	Lifepack 9	14173297	Phillips	Smart Biphasics	US00575093
Medtronic	Lifepack 20	30619096	Zoll	Aed Plus	X05GO63355
Marquette	Cardio Serv	101078191	Zoll	Aed Plus	X06C083081
General Electrics	Cardio Serv	101112312	Zoll	Aed Plus	XO5G063356

Elaboración propia en base a hoja de vida de familia Monitores Desfibriladores.

8. 1. 4. Monitores Multiparámetro.

Tabla 60: *Detalle familia Monitores Multiparámetro.*

Monitores Multiparámetro		
Marca	Modelo	N° Serie
Mediana	YM-6000	115510050002
Mediana (Colin)	YM-1000	124610090001
Mediana (Colin)	YM-1000	124611030008
Mediana	YM-6000	127510120003
Mediana	YM-6000	130711070001
Spacelabs	Ultraview SL 2400 +B (Fte Poder)	1369-017986
Spacelabs	Ultraview SL2400 +B (Fte Poder)	1369-017987/1496-049687
Spacelabs	Ultraview SL 2400 +B (Fte Poder)	1369-017990
Spacelabs	Xprezzon +C (Fte Poder)	1393-0002748/1496-115827
Spacelabs	Xprezzon +C (Fte Poder)	1393-000957/1496-049429
Spacelabs	Xprezzon +C (Fte Poder)	1393-000958/1496-049796
Spacelabs	Xprezzon +C (Fte Poder)	1393-000962/1496-049798

Elaboración propia en base a hoja de vida de familia Monitores Multiparámetro.

8. 2. Anexo B: Obtención de costos de equipos y componentes desde la web de Mercado Público: <https://www.mercadopublico.cl>

Ejemplo aplicado a la obtención de costos de componentes “Batería” y “Cable ECG” para equipo Monitor Desfibrilador (Novacare) Nihon Kohden Tec 5531(E).

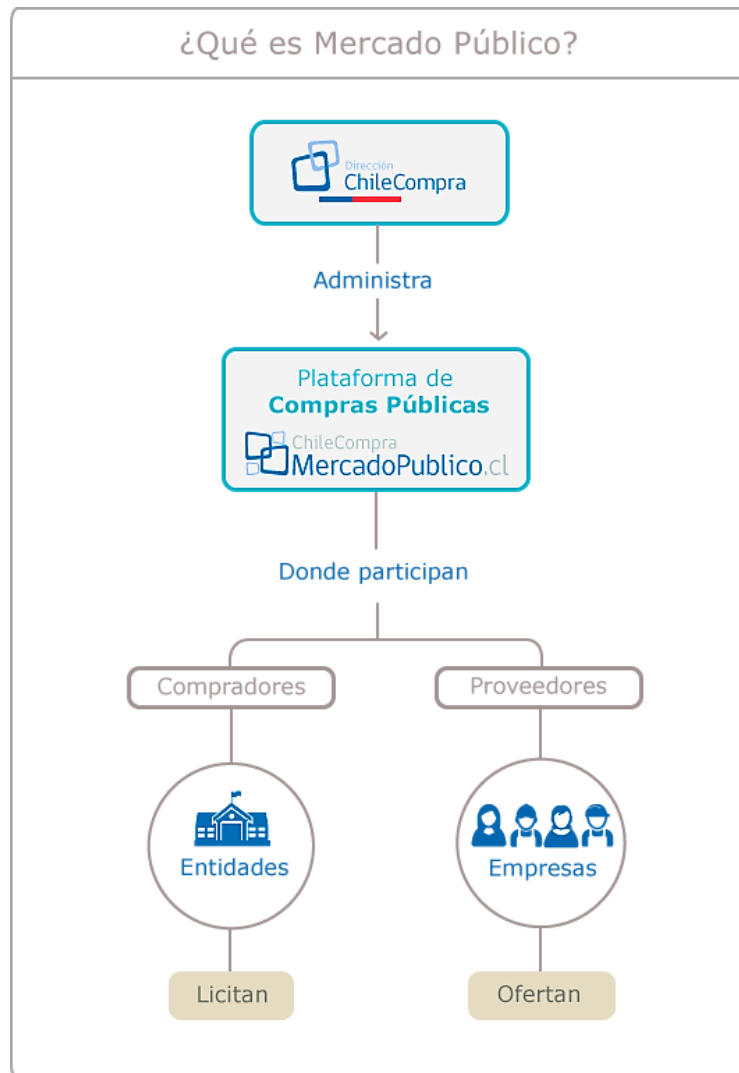
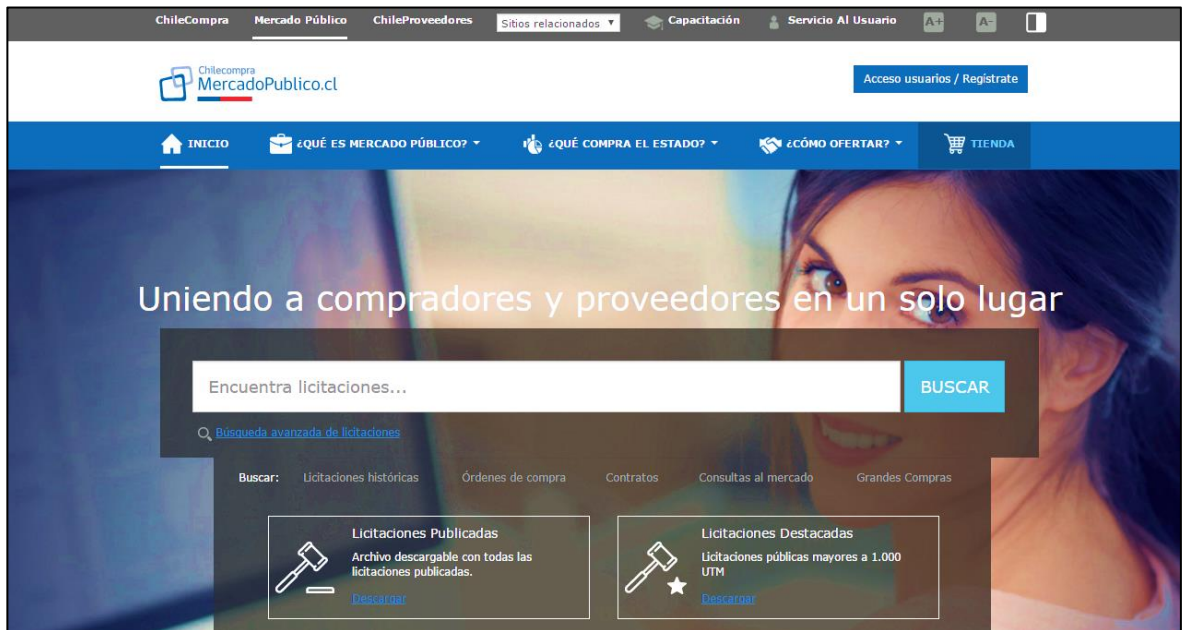


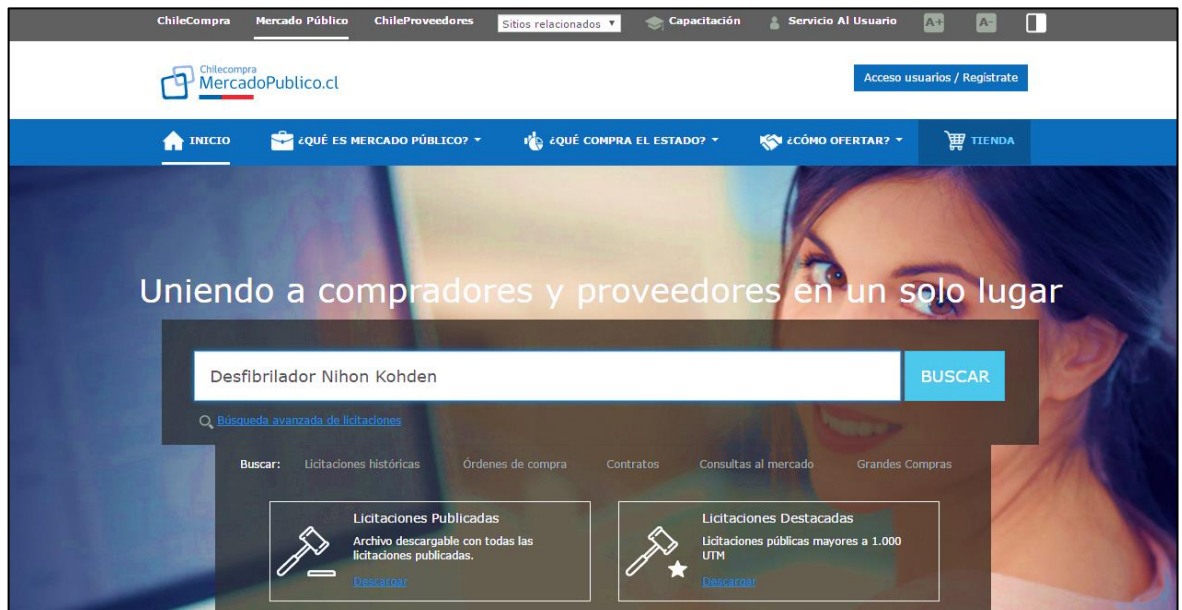
Ilustración 12: ¿Qué es Mercado Público?

¿Qué es Mercado Público?. (s.f.). Recuperado de <https://www.mercadopublico.cl/Home/Contenidos/QueEsMercadoPublico>

1. Entrar a la página web de Mercado Público desde algún navegador de internet ingresando el link <https://www.mercadopublico.cl>.



2. En el cuadro blanco con el texto “Encuentre licitaciones...” ingresar el objeto de la búsqueda, para este caso, se buscaron licitaciones que contengan “Desfibrilador Nihon Kohden”.



- Se muestra el resultado de la búsqueda, en este caso, se encontraron 16 licitaciones con el texto ingresado. Se aplica un filtro a “Adjudicada” para que evitar que se muestren licitaciones sin ofertas (Desiertas).

ChileCompra Mercado Público

Acceso usuarios / Regístrate

INICIO ¿QUÉ ES MERCADO PÚBLICO? ¿QUÉ COMPRA EL ESTADO? ¿CÓMO OFERTAR? TIENDA

Búsqueda de licitaciones

Desfibrilador Nihon Kohden BUSCAR

Búsqueda de licitaciones avanzadas

Buscar: Licitaciones históricas Órdenes de compra Contratos Consultas al mercado Grandes Compras

Se han encontrado 16 resultados.

Rubros (+)
Regiones (+)
Estado (-)
Desierta (o art. 3 ó 9 Ley 19.886) (3)
Adjudicada (13)

Estado	Nº Licitación	Organismo / Descripción	Fecha de Cierre
Desierta	636-310-L116	Servicio de Salud Arica ADQUISICION DE PALAS INTERNAS PARA DESFIBRILADOR NIHON KOHDEN MODELO TEC - 7631E Adquisición de palas de desfibrilación interna de diferentes diámetro para Desfibrilador Nihon kohden. Cotizar precio neto unitario por tipo de producto. Indicar plazo de entrega de los productos	30-05-2016

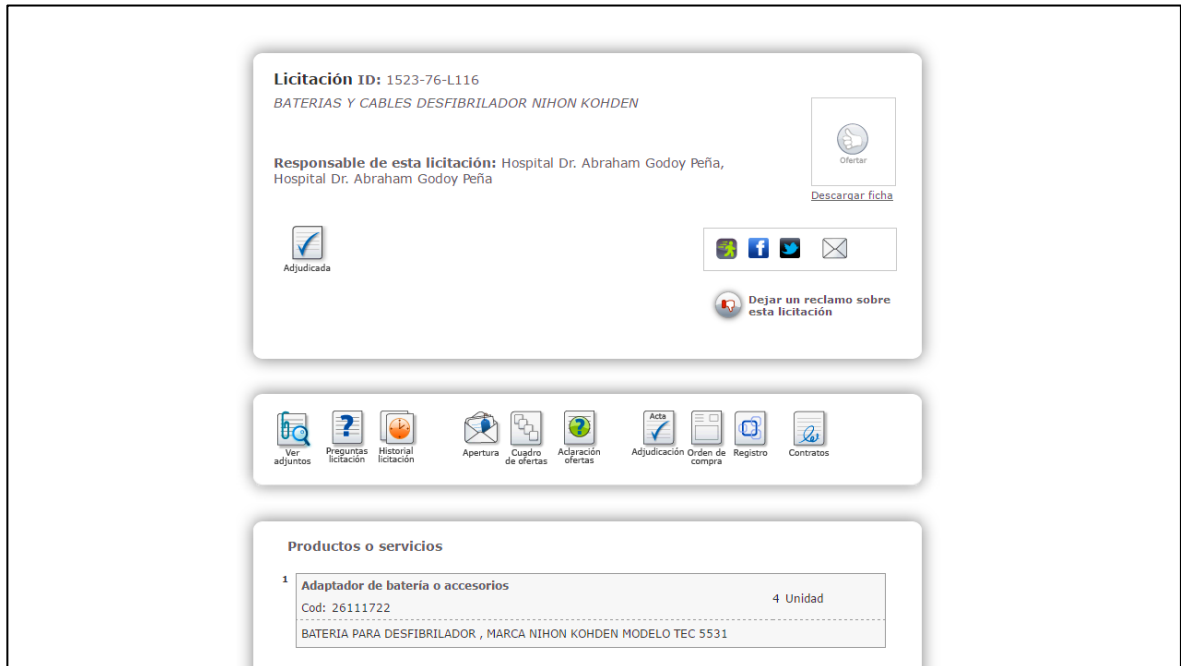
- Se selecciona la licitación más recientemente cerrada (la más actual).

Se han encontrado 13 resultados.

Rubros (+)
Regiones (+)
Estado (-)
Adjudicada (13)
Fecha Cierre (+)
Monto Estimado (+)
Tipo Licitación (+)
Garantías (+)

Estado	Nº Licitación	Organismo / Descripción	Fecha de Cierre
Adjudicada	403-75-L113	Complejo Asistencial Dr. Sotero del Río BATERIAS P/ DESFIBRILADORES NIHON KOHDEN COMPRA EXTRA EMERGENCIA ADULTOS Mº 393	06-05-2013
Adjudicada	636-70-L116	Servicio de Salud Arica SERVICIO DE REPARACION DE DESFIBRILADOR NIHON KOHDEN TEC- 5531E Y MONITOR NIHON KOHDEN BSM- 3562 Servicio de reparación de equipos médicos, de acuerdo a requerimientos especificados en las presentes Bases Administrativas, Técnicas y anexos 1, 2, 3 y 4 (los anexos deben contener la información requerida y ser firmado cada uno de ellos).	10-02-2016
Adjudicada	1523-76-L116	Hospital Dr. Abraham Godoy Peña BATERIAS Y CABLES DESFIBRILADOR NIHON KOHDEN REQUERIMIENTO DE UNIDAD SAR HOSPITAL LAUTARO	25-04-2016
Adjudicada	2790-191-L115	ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE PAINE BATERIA PARA EQUIPO DESFIBRILADOR	19-10-2015

- Se abre una ventana emergente con el detalle de la licitación. Se entra a la opción “Cuadro de ofertas”.



- Se muestra el “Resumen de ofertas”, se entra en “Cuadro Comparativo por Línea”.

Cuadro Comparativo

Apertura de Ofertas en una etapa

Cuadro de Ofertas	Número de Licitación	Nombre de Licitación	Organismo Demandante
	1523-76-L116	BATERIAS Y CABLES DESFIBRILADOR NIHON KOHDEN	Hospital Dr. Abraham Godoy Peña

1 Apertura de ofertas
 2 Aceptación de ofertas
 3 Resumen de ofertas

Resumen de ofertas

Rut Proveedor	Proveedor	Nombre Oferta	Total Oferta	Estado	Anexos
96.636.310-1	ALLMEDICA S.A.	ALLMEDICA S.A.	\$ 561.000	Aceptada	
79.510.190-1	INVERSIONESYSERVICIOSBALDERLTD	BATERIAS Y CABLES PARA DESFIBRILADOR NIHO N KOHDEN	\$ 559.400	Aceptada	
77.017.950-5	Equimed Electronica Ltda.	INSUMOS Y ACCESORIOS MÉDICOS - EQUIMED L TDA.	\$ 858.672	Aceptada	
77.961.550-2	SOCIEDAD COMERCIAL INSUPROMED LIMITADA	ACCESORIOS MONITOR	\$ 572.000	Aceptada	
76.047.684-6	ABIMMEDICAL LIMITADA	ABIMMEDICAL OFERTA BASE	\$ 545.000	Aceptada	
76.843.610-1	INVERMEDICAL SA	INVERMEDICAL		Rechazada	

7. En esta sección se pueden ver todas las ofertas relacionadas al resultado de la búsqueda, en este caso se encontraron ofertas para “BATERIA PARA DESFIBRILADOR, MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531”,

Cuadro Comparativo

Apertura de Ofertas en una etapa

Cuadro de Ofertas	Número de Licitación 1523-76-L116	Nombre de Licitación BATERIAS Y CABLES DESFIBRILADOR NIHON KOHDEN	Organismo Demandante Hospital Dr. Abraham Godoy Peña
-------------------	--------------------------------------	--	---

Respuestas Adicionales Resumen de Ofertas Cuadro Comparativo por Línea Cuadro Comparativo por Proveedor Historial Licitación

1 Apertura de ofertas 2 Aceptación de ofertas 3 Resumen de ofertas

Cuadro Comparativo por Líneas

Descargar este cuadro en Formato Excel

1 Clasificación ONU: 26111722
Cantidad: 4
Nombre: Adaptador de batería o accesorios
Especificaciones del Comprador: BATERIA PARA DESFIBRILADOR , MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531

Proveedor	Nombre de la Oferta	Especificaciones del Proveedor	Cantidad Ofertada	Precio Unitario	Moneda	Monto
ABIMEDICAL LIMITADA	ABIMEDICAL OFERTA BASE	BATERIA NIHON KOHDEN TEC 5531X76X116, MODELO: BAT-110	4	125000	\$	500000
NewLab	COTIZACION 416V	SE OFERTA BATERIA PARA DESFIBRILADOR , MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531. SE ANEXIA MAYOR INFORMACION.	4	110000	\$	440000
EXIMMED 2000	INSUMOS MEDICOS	REF: BAT-NKB-301V BATERIA P NIHON KOHDEN DESFIBRILADOR ESPECIFICACIONES 12 VOLT 2.8 AMP. PARA NIHON KOHDEN CERTIFICACION CE	4	72985	\$	291940
Allmedica S.A	ALLMEDICA S.A.	BATERIA PARA DESFIBRILADOR , MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531 NIHH 12V,3000mah	4	124000	\$	496000
Imp. Dist. Arquimed Ltda.	COTIZACION N 11523	Bateria ECG 1350K TEC5500	4	287820	\$	1151280
Equimed Electronica Ltda.	INSUMOS Y ACCESORIOS MEDICOS - EQUIMED L	BATERIA PARA DESFIBRILADOR NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531. ALTERNATIVA DE NIHH 12V,3000mah. GARANTIA DE 12 MESES.	4	201918	\$	807672
INVERSIONESYSERVICIOSBALDERLTA	BATERIAS Y CABLES PARA DESFIBRILADOR NIHON KOHDEN	Bateria para Equipo Nihon Kodden Modelo TEC 5531	4	133600	\$	534400
SOCIEDAD COMERCIAL INSUPROMED LIMITADA	ACCESORIOS MONITOR	BATERIA PARA DESFIBRILADOR , MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531, ENTREGA 5 DIAS	4	125000	\$	500000

8. Y también para “CABLE ECG PARA DESFIBRILADOR, MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531” en la segunda línea.

Cuadro Comparativo

Apertura de Ofertas en una etapa

Cuadro de Ofertas	Número de Licitación 1523-76-L116	Nombre de Licitación BATERIAS Y CABLES DESFIBRILADOR NIHON KOHDEN	Organismo Demandante Hospital Dr. Abraham Godoy Peña
-------------------	--------------------------------------	--	---

Respuestas Adicionales Resumen de Ofertas Cuadro Comparativo por Línea Cuadro Comparativo por Proveedor Historial Licitación

1 Apertura de ofertas 2 Aceptación de ofertas 3 Resumen de ofertas

SOCIEDAD COMERCIAL INSUPROMED LIMITADA	ON KOHDEN ACCESORIOS MONITOR	BATERIA PARA DESFIBRILADOR , MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531, ENTREGA 5 DIAS	4	125000	\$	500000
--	---------------------------------	---	---	--------	----	--------

2 Clasificación ONU: 26111722
Cantidad: 1
Nombre: Adaptador de batería o accesorios
Especificaciones del Comprador: CABLE ECG PARA DESFIBRILADOR , MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531

Proveedor	Nombre de la Oferta	Especificaciones del Proveedor	Cantidad Ofertada	Precio Unitario	Moneda	Monto
ABIMEDICAL LIMITADA	ABIMEDICAL OFERTA BASE	CABLE DE ECG NIHON KOHDEN CARDIOLIFE 3 LEAD. MODELO: ECG-122	1	45000	\$	45000
NewLab	COTIZACION 416V	SE OFERTA CABLE ECG PARA DESFIBRILADOR , MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531. SE ANEXIA MAYOR INFORMACION.	1	65000	\$	65000
EXIMMED 2000	INSUMOS MEDICOS	REF: CA-RR-45502 CABLE ECG FABRICADO POR R-RUII. MADE IN CHINA ESPECIFICACIONES CABLE ECG PARA NIHON KOHDEN 10 DERIVADAS CERTIFICACION CE	1	32985	\$	32985
Allmedica S.A	ALLMEDICA S.A.	CABLE ECG PARA DESFIBRILADOR , MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531 CON TRES TERMINALES MC059	1	65000	\$	65000
Imp. Dist. Arquimed Ltda.	COTIZACION N 11523	Cable de ECG 3 leads para monitor desfibrilador TEC-5500E	1	288500	\$	288500
Equimed Electronica Ltda.	INSUMOS Y ACCESORIOS MEDICOS - EQ	CABLE ECG 3 DER, CLIP, AHA PARA DESFIBRILADOR NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531, CONECTOR CIRCULAR DE 11 PINES. SE ADJUNTA CATALOGO DE COMPATIBILIDADES Y CERTIFICACIONES.	1	51000	\$	51000
SLI MEDICAL	SLI MEDICAL 4999-16	Cable de ECG para desfibrilador Nihon Kohden, plazo de entrega 5 días, garantía 6 meses	1	35000	\$	35000
INVERSIONESYSERVICIOSBALDERLTA	BATERIAS Y CABLES PARA DESFIBRILADOR NIHON KOHDEN	Cable ECG para equipo Desfibrilador Marca Unimed, código 23405	1	25000	\$	25000
SOCIEDAD COMERCIAL INSUPROMED LIMITADA	ACCESORIOS MONITOR	CABLE ECG 10 DERIVADAS PARA DESFIBRILADOR , MARCA NIHON KOHDEN MODELO TEC 5531, ENTREGA 5 DIAS	1	72000	\$	72000

Volver

9. Finalmente, haciendo uso de una planilla de cálculo Microsoft Excel, se obtiene un promedio de todas las ofertas para cada componente revisado,

	Bateria	Cable ECG
	Ofertas	Ofertas
	\$ 125.000	\$ 65.000
	\$ 110.000	\$ 65.000
	\$ 72.985	\$ 51.000
	\$ 124.000	\$ 35.000
	\$ 287.820	\$ 72.000
	\$ 201.918	
	\$ 133.600	
	\$ 125.000	
Promedio:	\$ 147.540	\$ 57.600

10. Y se ingresan en la planilla “Costos”, en las casillas correspondientes al equipo consultado.

Marca	Modelo	N° Serie	Alimentación AC	Bateria	Cable ECG	Cable Palas	Paletas	Parches
Nihon Kohden	Tec 5521E	00344						
Nihon Kohden	Tec 5531E	00653		\$ 147.540	\$ 57.600			
Nihon Kohden	Tec 5531E	803		\$ 147.540	\$ 57.600			
Nihon Kohden	Tec 5531E	822		\$ 147.540	\$ 57.600			
Nihon Kohden	Tec 5531 E	912		\$ 147.540	\$ 57.600			
Nihon Kohden	Tec 5531E	933		\$ 147.540	\$ 57.600			
Nihon Kohden	Tec 7621K	01038						

11. Se repite el procedimiento hasta encontrar los costos de todos los componentes y equipos.

8. 3. Anexo C: Detalle de las encuestas realizadas a los cuatro expertos de HGGB (incluyendo Experto 1 ya presentado en el **Capítulo 4. 3**).

- Para comparación Bivariada:

Comparación variables primarias/secundarias.

(Variable primaria según corresponda).

A: Variable A a comparar.

B: Variable B a comparar.

Grado de relevancia											
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var	
A										B	

- Para comparación Trivariada:

Comparación variables primarias/secundarias.

(Variable primaria según corresponda).

A: Variable A a comparar.

B: Variable B a comparar.

C: Variable C a comparar.

Grado de relevancia											
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var	
A										B	
A										C	
B										C	

Nomenclatura:

- I: Igual.
- P: Poca más.
- B: Bastante más.
- M: Mucha más.
- E: Extremadamente más.

Experto 1.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A		X								B

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A		X								B
A				X						C
B						X				C

Comparación variables secundarias.

Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

B: Costo del equipo.

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A		X								B

Experto 2.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A	X									B

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A	X									B
A					X					C
B							X			C

Comparación variables secundarias.

Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

B: Costo del equipo.

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A	X									B

Experto 3.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A		X								B

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A						X				B
A				X						C
B	X									C

Comparación variables secundarias.

Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

B: Costo del equipo.

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A			X							B

Experto 4.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A						X				B

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A			X							B
A				X						C
B						X				C

Comparación variables secundarias.

Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

B: Costo del equipo.

Grado de relevancia										
Var	E	M	B	P	I	P	B	M	E	Var
A			X							B

8. 4. Anexo D: Detalle de las comparaciones pareadas de las variables según los cuatro expertos del HGGB (inclusive Experto 1 expuesto en el **Capítulo 4. 4**).

- Para comparación Bivariada:

Comparación variables primarias/secundarias.

(Variable primaria según corresponda).

A: Variable A a comparar.

B: Variable B a comparar.

	A	B	VP
A	1		
B	1/○	1	
CR	0%	= 0%	Σ 1

- Para comparación Tivariada:

Comparación variables primarias/secundarias.

(Variable primaria según corresponda).

A: Variable A a comparar.

B: Variable B a comparar.

C: Variable C a comparar.

	A	B	C	VP
A	1			
B	1/○	1		
C	1/○	1/○	1	
CR		< 5%		Σ 1

Experto 1.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

	A	B	VP 1
A	1	7	0,8750
B	1/7	1	0,1250
CR	0%	= 0%	Σ 1

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

	A	B	C	VP 1
A	1	7	3	0,6694
B	1/7	1	1/3	0,0879
C	1/3	3	1	0,2426
CR	0,68%	< 5%	Σ	1

Comparación variables secundarias.

Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

B: Costo del equipo.

	A	B	VP 1
A	1	7	0,8750
B	1/7	1	0,1250
CR	0%	= 0%	Σ 1

Experto 2.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

	A	B	VP 2
A	1	9	0,9000
B	1/9	1	0,1000
CR	0%	= 0%	Σ 1

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

	A	B	C	VP 2
A	1	9	1	0,5109
B	1/9	1	1/5	0,0691
C	1	5	1	0,4200
CR	3,72%	< 5%	Σ	1

Comparación variables secundarias.

Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

B: Costo del equipo.

	A	B	VP 2
A	1	9	0,9000
B	1/9	1	0,1000
CR	0%	= 0%	Σ 1

Experto 3.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

	A	B	VP 3
A	1	7	0,8750
B	1/7	1	0,1250
CR	0%	= 0%	Σ 1

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

	A	B	C	VP 3
A	1	1/3	3	0,5109
B	3	1	9	0,0691
C	1/3	1/9	1	0,4200
CR	0%	< 5%	Σ	1

Comparación variables secundarias.

Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

B: Costo del equipo.

	A	B	VP 3
A	1	5	0,8333
B	1/5	1	0,1667
CR	0%	= 0%	Σ 1

Experto 4.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad.

B: Costo.

	A	B	VP 4
A	1	1/3	0,2500
B	3	1	0,7500
CR	0%	= 0%	Σ 1

Comparación variables secundarias.

Operatividad.

A: Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.

B: Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.

C: Frecuencia de inoperatividad (%).

	A	B	C	VP 4
A	1	5	3	0,6370
B	1/5	1	1/3	0,1047
C	1/3	3	1	0,2583
CR	3,72%	< 5%	Σ	1

Comparación variables secundarias.

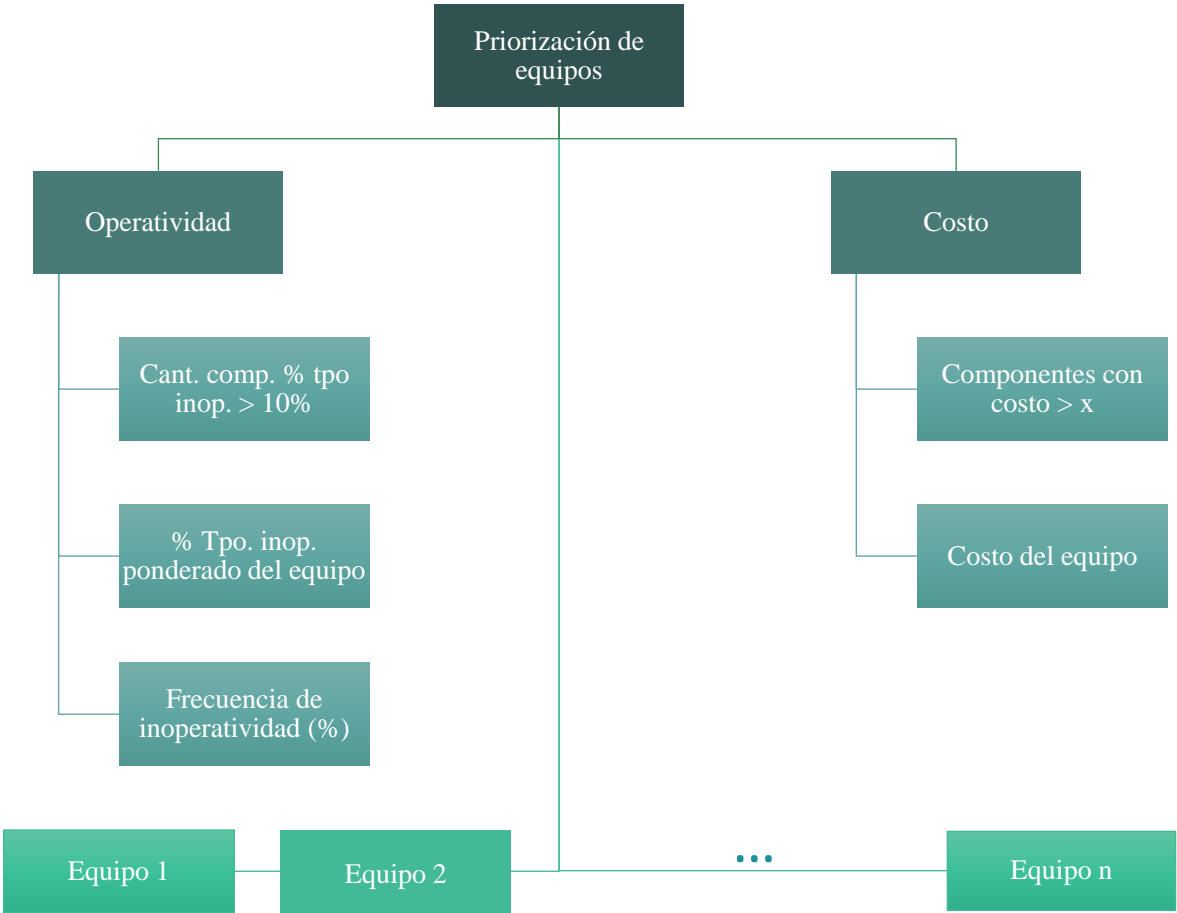
Costo.

A: Cantidad de componentes con un costo mayor al promedio.

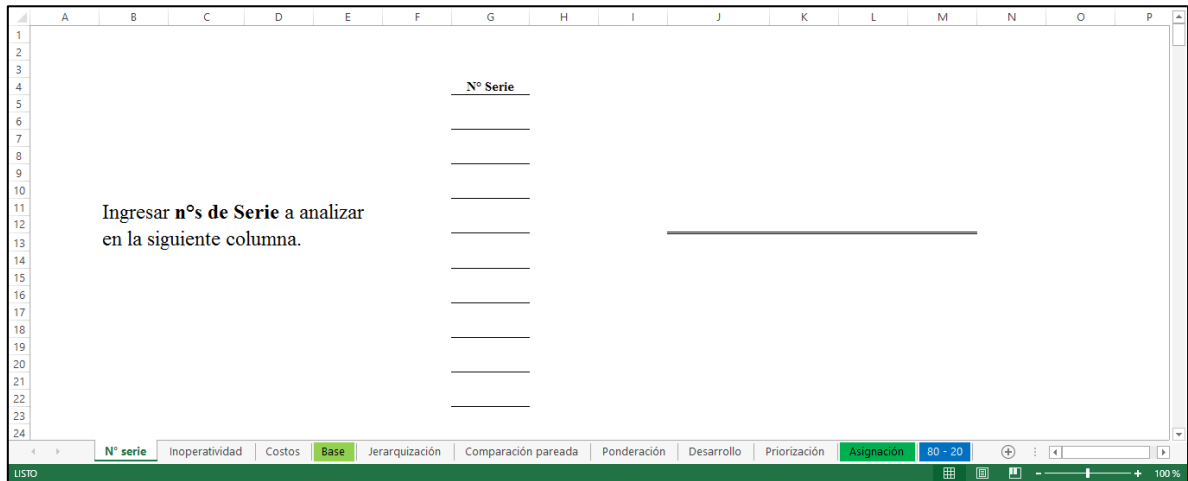
B: Costo del equipo.

	A	B	VP 4
A	1	5	0,8333
B	1/5	1	0,1667
CR	0%	= 0%	Σ 1

8. 5. Anexo E: Procedimiento para la obtención de la asignación de Planes de Mantenimiento a través de la planilla con el método AHP Automatizado.



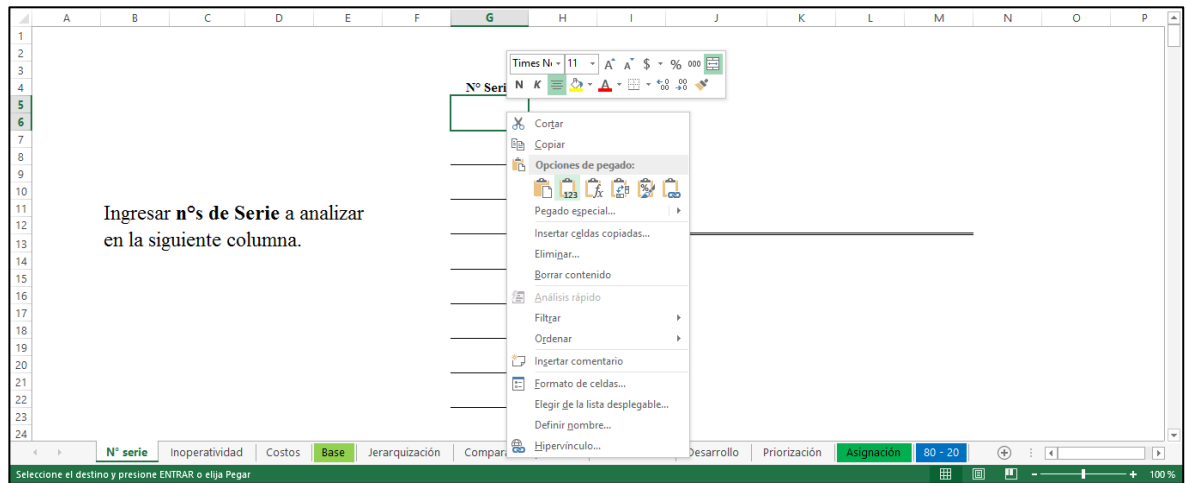
1. Abrir la planilla “AHP (Automatizado)”, en la primera hoja “N° serie” la instrucción pedida es ingresar los n°s de serie de los equipos que se desea analizar. Se estudió la misma familia (Monitores Desfibriladores) del **Capítulo 4. 6**, para efectos de corroborar resultados.



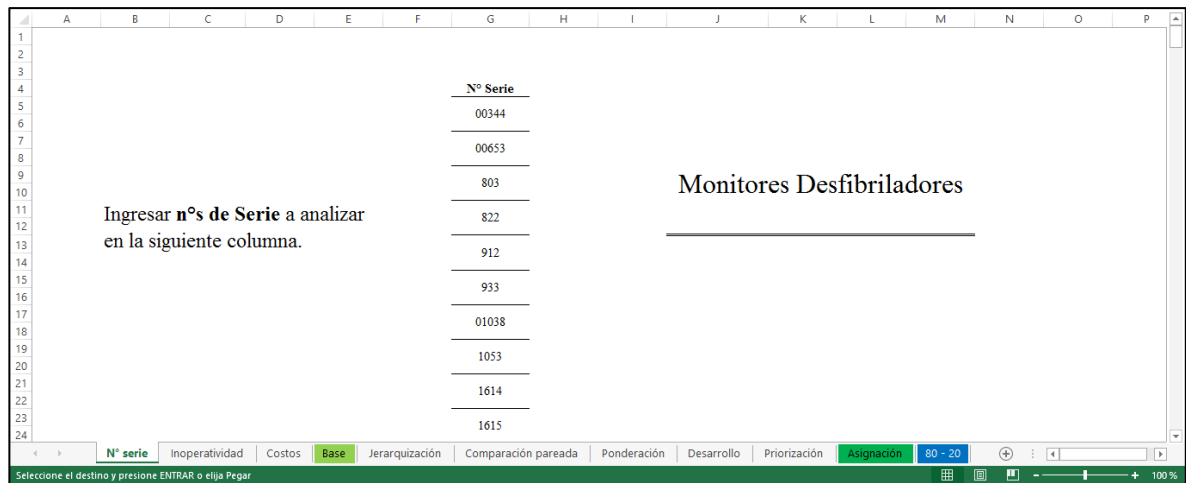
2. De la planilla “Tiempos y Frecuencia de inoperatividad” copiar los n°s de serie de la familia Monitores Desfibriladores.

Marca	Modelo	Numero Serie	Bateria	Cable ECG	Cable Palas	Paletas	Parches Dea	Soporte Cable ECG	Soporte Palas
Nihon Kohden	Tec 5521E	00344	12,33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	00653	31,20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	803	37,62%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	822	58,10%	58,10%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531 E	912	60,38%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	933	51,90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 7621K	01038	11,94%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	1053	59,76%	0%	0%	0%	40,84%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	1614	15,70%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	1615	52,12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

3. Pegar valores en la celda G5 de la planilla “AHP (Automatizado)”.



4. Automáticamente el modelo reconoce la familia estudiada.



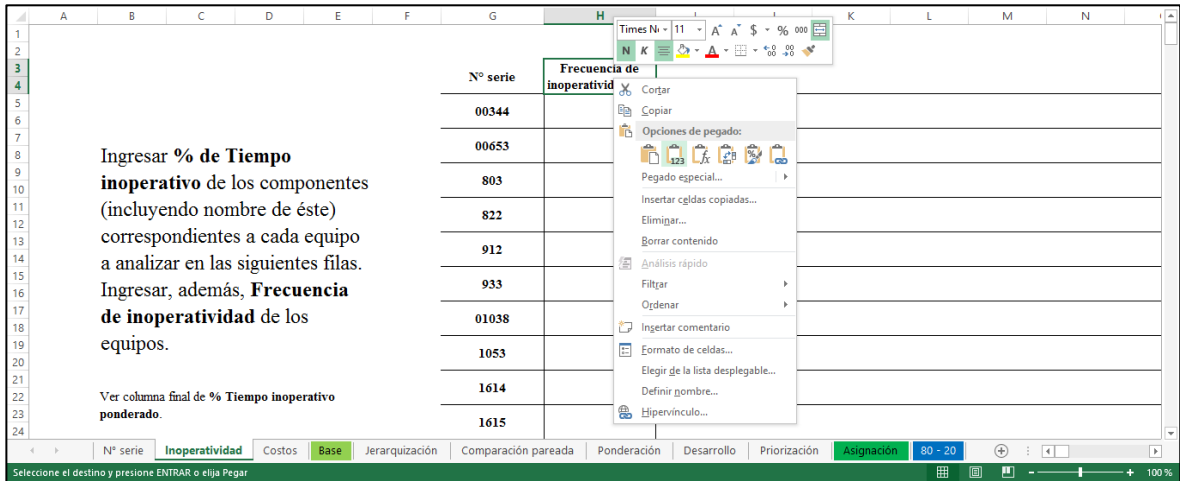
- En la hoja “Inoperatividad” se debe ingresar la Frecuencia de Inoperatividad (%) de los equipos, el nombre de los componentes y sus respectivos porcentajes de inoperatividad.

N° serie	Frecuencia de inoperatividad (%)
00344	
00653	
803	
822	
912	
933	
01038	
1053	
1614	
1615	

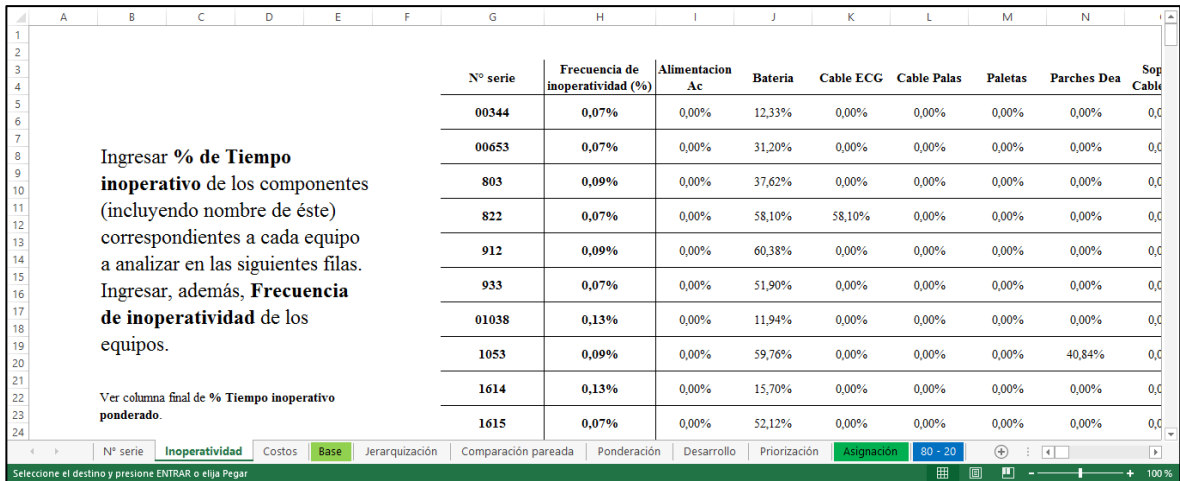
- En el libro “Tiempos y Frecuencia de inoperatividad”, copiar desde la celda E3 hasta el final de la tabla.

Marca	Modelo	Numero Serie	Frecuencia de inoperatividad (%)	Alimentación	Restos	Cable ECG	Cable Palas	Paletas	Parches Dea	Soporte Cable ECG	Soporte Palas
Nihon Kohden	Tec 5521E	00344	0,07%			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	00653	0,07%			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	803	0,09%			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	822	0,07%			58,10%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531 E	912	0,09%			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	933	0,07%			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 7621K	01038	0,13%			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	1053	0,09%			0%	0%	0%	40,84%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	1614	0,13%			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nihon Kohden	Tec 5531E	1615	0,07%			0%	0%	0%	0%	0%	0%

7. Volver a “AHP (Automatizado)” y pegar valores sobre la celda H3.



8. Se completa la tabla con los datos de inoperatividad.



9. Notar la columna final de Porcentaje del tiempo inoperativo ponderado de los equipos obtenidos a través del cálculo de la Fiabilidad como sistema en serie.

	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK
1														
2														
3														
4								Tiempo inop.						
5								pond. (%)						
6								34,75%						
7								31,20%						
8								37,62%						
9								82,45%						
10								60,38%						
11								51,90%						
12								11,94%						
13								76,19%						
14								15,70%						
15								52,12%						
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														

10. En la hoja “Costos” se debe ingresar el costo de cada equipo y de sus componentes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1															
2															
3							N° Serie	Costo Equipo	Alimentacion Ac	Bateria	Cable ECG	Cable Palas	Paletas	Parches Dea	Sop
4															Cable
5							00344								
6															
7							00653								
8															
9							803								
10															
11							822								
12															
13							912								
14															
15							933								
16															
17							01038								
18															
19							1053								
20															
21							1614								
22															
23							1615								
24															

Ingresar Costo de los componentes correspondientes a cada equipo a analizar en las siguientes filas.
Ingresar, además, Costo del equipo.

11. Desde el libro “Costos equipos y componentes”, copiar desde la celda E5 hasta el final de la tabla.

Marca	Modelo	Numero Serie	Costo Equip	Cable ECG	Cable Palas	Paletas	Parches Dea	Soporte Cable ECG	Soporte Palas	Tarjeta Principal
Nihon Kohden	Tec 5521E	00344	\$4.216	\$ 31.900	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 600.000
Nihon Kohden	Tec 5531E	00653	\$4.216	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 600.000
Nihon Kohden	Tec 5531E	803	\$4.216	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 600.000
Nihon Kohden	Tec 5531E	822	\$4.216	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 600.000
Nihon Kohden	Tec 5531 E	912	\$4.216	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 600.000
Nihon Kohden	Tec 5531E	933	\$4.216	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 600.000
Nihon Kohden	Tec 7621K	01038	\$4.216	\$ 31.450	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 600.000
Nihon Kohden	Tec 5531E	1053	\$4.216	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 600.000
Nihon Kohden	Tec 5531E	1614	\$4.216	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 600.000
Nihon Kohden	Tec 5531E	1615	\$4.216	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$ 30.000	\$ 30.000	\$ 600.000

12. Volver a “AHP (Automatizado)” y pegar valores sobre la celda H5.

N° Serie	Costo Equip	Cable ECG	Cable Palas	Paletas	Parches Dea	Soporte Cable
00344						
00653						
803						
822						
912						
933						
01038						
1053						
1614						
1615						

Ingresar Costo de los componentes correspondientes a cada equipo a analizar en las siguientes filas. Ingresar, además, Costo del equipo.

13. Se completa la tabla con los datos de costos.

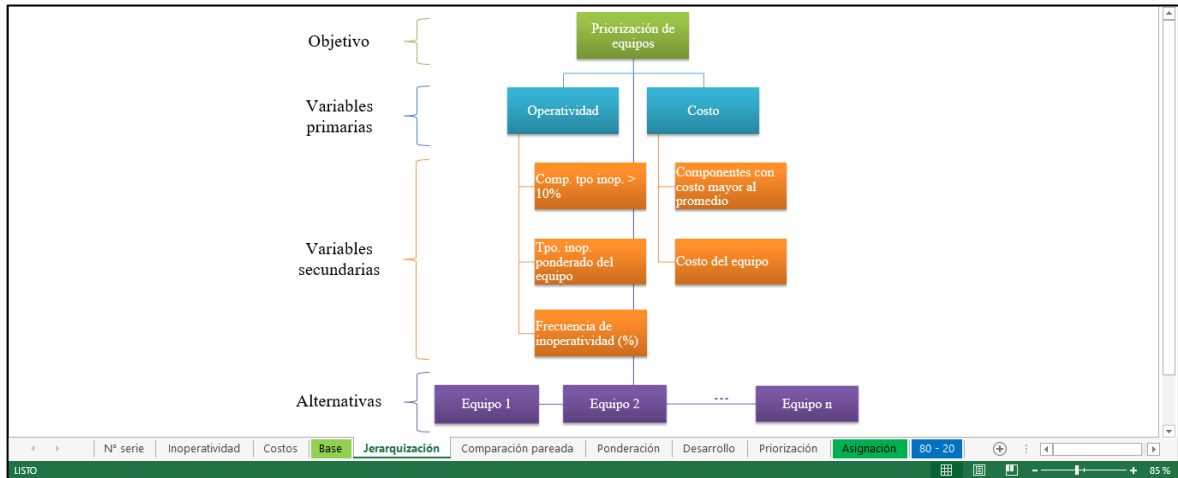
Nº Serie	Costo Equipo	Alimentacion Ac	Bateria	Cable ECG	Cable Palas	Paletas	Parches Dea	Sop Cable
00344	\$ 4.216.000	\$ 5.000	\$ 97.350	\$ 31.900	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$
00653	\$ 4.216.000	\$ 5.000	\$ 102.250	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$
803	\$ 4.216.000	\$ 5.000	\$ 102.250	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$
822	\$ 4.216.000	\$ 5.000	\$ 102.250	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$
912	\$ 4.216.000	\$ 5.000	\$ 102.250	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$
933	\$ 4.216.000	\$ 5.000	\$ 102.250	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$
01038	\$ 4.216.000	\$ 5.000	\$ 165.000	\$ 31.450	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$
1053	\$ 4.216.000	\$ 5.000	\$ 102.250	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$
1614	\$ 4.216.000	\$ 5.000	\$ 102.250	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$
1615	\$ 4.216.000	\$ 5.000	\$ 102.250	\$ 31.000	\$ 247.500	\$ 324.500	\$ 25.000	\$

Ingresar Costo de los componentes correspondientes a cada equipo a analizar en las siguientes filas.
Ingresar, además, Costo del equipo.

14. En la hoja “Base” puede apreciarse un resumen de todos los datos ya ingresados en una sola matriz.

Nº Serie	Frecuencia de inoperatividad (%)	Tiempo inop. pond. (%)	Costo Equipo	Alimentacion Ac	Bateria	Cable ECG	Cable Palas	Paletas	Parches Dea	Soporte Cable ECG	
00344	0,07%	34,75%	\$ 4.216.000	\$ 5000	12,33%	97350	31900	247500	324500	25000	30000
00653	0,07%	31,20%	\$ 4.216.000	\$ 5000	0%	31200	0%	0%	0%	0%	0%
803	0,09%	37,62%	\$ 4.216.000	\$ 5000	0%	102250	31000	247500	324500	25000	30000
822	0,07%	82,45%	\$ 4.216.000	\$ 5000	0%	37,62%	0%	0%	0%	0%	0%
912	0,09%	60,38%	\$ 4.216.000	\$ 5000	0%	58,10%	58,10%	0%	0%	0%	0%
933	0,07%	51,90%	\$ 4.216.000	\$ 5000	0%	60,38%	0%	0%	0%	0%	0%
01038	0,13%	11,94%	\$ 4.216.000	\$ 5000	0%	102250	31000	247500	324500	25000	30000
1053	0,09%	76,19%	\$ 4.216.000	\$ 5000	0%	11,94%	0%	0%	0%	0%	0%
				\$ 5000	0%	165000	31450	247500	324500	25000	30000
				\$ 5000	0%	59,76%	0%	0%	0%	40,84%	0%
				\$ 5000	0%	102250	31000	247500	324500	25000	30000
				\$ 5000	0%	15,70%	0%	0%	0%	0%	0%

15. En la siguiente hoja “Jerarquización” se tiene el árbol que modela la situación estudiada.



16. En la hoja “Comparación pareada” ingresar las repuestas de las encuestas realizadas a expertos en la materia (decodificadas con la Escala fundamental) en las matrices de comparación pareada.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad
B: Costo

Experto

	A	B	VP 1
A	1	1	0,5000
B	1	1	0,5000
CR	0,00%	=0%	1

SIN USO

	A	B	VP 2
A	1	1	0,0000
B	1	1	0,0000
CR	0,00%	=0%	0

SIN USO

	A	B	VP 3
A	1	1	0,0000
B	1	1	0,0000
CR	0,00%	=0%	0

VP 1

0,5000				
0,5000				

Media G.

0,5000
0,5000
Σ 1,0000

Normalizada

0,5000
0,5000
Σ 1

Comparación variables secundarias.

17. Agregar más expertos consultados situándose en la celda “SIN USO” y seleccionar desde la lista desplegable “Experto *i*”.

Comparación variables primarias.
A: Operatividad
B: Costo

Experto: SIN USO

	A	B	VP 1
A	1	1	0,5000
B	1	1	0,5000
CR	0,00%	= 0%	1

	A	B	VP 2
A	1	1	0,0000
B	1	1	0,0000
CR	0,00%	= 0%	0

	A	B	VP 3
A	1	1	0,0000
B	1	1	0,0000
CR	0,00%	= 0%	0

VP 1	VP 2	VP 3
0,5000		
0,5000		

Media G.	Normalizada
0,5000	0,5000
0,5000	0,5000
Σ 1,0000	Σ 1

Comparación variables secundarias.
N° serie | Inoperatividad | Costos | Base | Jerarquización | Comparación pareada | Ponderación | Desarrollo | Priorización | Asignación | 80 - 20

18. Automáticamente se agrega el VP del nuevo experto consultado.

Comparación variables primarias.
A: Operatividad
B: Costo

Experto: Experto 2

	A	B	VP 1
A	1	1	0,5000
B	1	1	0,5000
CR	0,00%	= 0%	1

	A	B	VP 2
A	1	1	0,5000
B	1	1	0,5000
CR	0,00%	= 0%	1

	A	B	VP 3
A	1	1	0,0000
B	1	1	0,0000
CR	0,00%	= 0%	0

VP 1	VP 2	VP 3
0,5000	0,5000	
0,5000	0,5000	

Media G.	Normalizada
0,5000	0,5000
0,5000	0,5000
Σ 1,0000	Σ 1

Comparación variables secundarias.
N° serie | Inoperatividad | Costos | Base | Jerarquización | Comparación pareada | Ponderación | Desarrollo | Priorización | Asignación | 80 - 20

19. Completar todas las matrices de comparación pareada con los valores de la Escala fundamental correspondientes a las encuestas.

Comparación variables primarias.

A: Operatividad
B: Costo

Experto 2

A	A	B	VP 1
	1	7	0,8750
B	1/7	1	0,1250
CR	0,00%	= 0%	1

Experto 3

A	A	B	VP 2
	1	9	0,9000
B	1/9	1	0,1000
CR	0,00%	= 0%	1

Media G.

VP 1	VP 2	VP 3	VP 4
0,8750	0,9000	0,8750	0,2500
0,1250	0,1000	0,1250	0,7500

Normalizada

0,6442	0,7769
0,1850	0,2231
Σ 0,8293	Σ 1

Comparación variables secundarias.

N° serie | Inoperatividad | Costos | Base | Jerarquización | Comparación pareada | Ponderación | Desarrollo | Priorización | Asignación | 80 - 20

20. En la hoja “Ponderación” en las celdas destacadas en verde se aprecia el Vector de variables ponderadas obtenido.

Ponderación de las variables.

Variables primarias	Variables secundarias	Variables primarias	Variables secundarias	Variables ponderadas
Operatividad	Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%	77,69%	58,74%	45,64%
	Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo		8,28%	6,43%
	Frecuencia de inoperatividad (%)		32,98%	25,62%
Costo	Componentes con un costo mayor al promedio.	22,31%	86,30%	19,25%
	Costo del equipo.		13,70%	3,06%

N° serie | Inoperatividad | Costos | Base | Jerarquización | Comparación pareada | Ponderación | Desarrollo | Priorización | Asignación | 80 - 20

21. En la hoja “Desarrollo” se aplica el procedimiento del método AHP,

Variables primarias		Variables secundarias			
Operatividad (A)	(A) Cantidad de componentes con un porcentaje de tiempo inoperativo mayor al 10%.				
	(B) Porcentaje de tiempo inoperativo ponderado del equipo.				
	(C) Frecuencia de inoperatividad (%).				
Costo (B)	(A) Componentes con un costo mayor al promedio.				
	(B) Costo del equipo.				

Datos.		A			B		Proporcional.			
Equipos	A	B	C	A	B	Equipos	A	B	C	A
00344	2	0.3475	0	4	4216000	00344	0.5000000	2,8776220	1517,0000000	0.2500000
00653	1	0.3120	0	4	4216000	00653	1,0000000	3,2046414	1519,0000000	0.2500000
803	1	0.3762	0	4	4216000	803	1,0000000	2,6583710	1175,0000000	0.2500000
822	2	0.8245	0	4	4216000	822	0,5000000	1,2129119	1518,0000000	0.2500000
912	1	0.6038	0	4	4216000	912	1,0000000	1,6560694	1146,0000000	0.2500000
933	1	0.5190	0	4	4216000	933	1,0000000	1,9269341	1345,0000000	0.2500000
01038	1	0.1194	0	4	4216000	01038	1,0000000	8,3770492	766,5000000	0.2500000
1053	2	0.7619	0	4	4216000	1053	0,5000000	1,3124284	1163,0000000	0.2500000
1614	1	0.1570	0	4	4216000	1614	1,0000000	6,3700624	766,0000000	0.2500000

22. Partiendo por situar los Datos, obtener la matriz Proporcional, y

Datos.		A			B		Proporcional.			
Equipos	A	B	C	A	B	Equipos	A	B	C	A
00344	2	0.3475	0	4	4216000	00344	0.5000000	2,8776220	1517,0000000	0.2500000
00653	1	0.3120	0	4	4216000	00653	1,0000000	3,2046414	1519,0000000	0.2500000
803	1	0.3762	0	4	4216000	803	1,0000000	2,6583710	1175,0000000	0.2500000
822	2	0.8245	0	4	4216000	822	0,5000000	1,2129119	1518,0000000	0.2500000
912	1	0.6038	0	4	4216000	912	1,0000000	1,6560694	1146,0000000	0.2500000
933	1	0.5190	0	4	4216000	933	1,0000000	1,9269341	1345,0000000	0.2500000
01038	1	0.1194	0	4	4216000	01038	1,0000000	8,3770492	766,5000000	0.2500000
1053	2	0.7619	0	4	4216000	1053	0,5000000	1,3124284	1163,0000000	0.2500000
1614	1	0.1570	0	4	4216000	1614	1,0000000	6,3700624	766,0000000	0.2500000
1615	1	0.5212	0	4	4216000	1615	1,0000000	1,9185581	1437,0000000	0.2500000
01765	1	0.1980	0	4	4216000	01765	1,0000000	5,0503979	1904,0000000	0.2500000
00020625	1	0.5677	0	4	4216000	00020625	1,0000000	1,7614288	1518,0000000	0.2500000
401453	2	0.2885	0	4	3299570	401453	0,5000000	3,4666129	1517,0000000	0.2500000
12217797	1	0.6516	0	4	3299570	12217797	1,0000000	1,5346359	432,0000000	0.2500000
13702576	2	0.6831	0	4	3299570	13702576	0,5000000	1,4640004	1451,0000000	0.2500000
14173297	-	0.0393	0	4	3299570	14173297	-	25,4137931	737,0000000	0.2500000
30619096	1	0.2717	0	4	5082920	30619096	1,0000000	3,6805175	903,0000000	0.2500000
101078191	1	0.2582	0	4	3299570	101078191	1,0000000	3,8734177	1530,0000000	0.2500000
101112312	3	0.7280	0	4	3299570	101112312	0,3333333	1,3736071	1518,0000000	0.2500000

23. Normalizar, para obtener los VPs de las variables respecto a todas las alternativas.

Normalizada.										
Equipos			A			B				
A	B	C	A	B		A	B	C	A	B
0,500000	2,8776220	1517,000000	0,250000	0,000002	00344	0,0177515	0,0201636	0,0306799	0,0263158	0,0183481
1,000000	3,2046414	1519,000000	0,250000	0,000002	00653	0,0355030	0,0224551	0,0307204	0,0263158	0,0183481
1,000000	2,6583710	1175,000000	0,250000	0,000002	803	0,0355030	0,0186273	0,0237633	0,0263158	0,0183481
0,500000	1,2129119	1518,000000	0,250000	0,000002	822	0,0177515	0,0084989	0,0307002	0,0263158	0,0183481
1,000000	1,6560694	1146,000000	0,250000	0,000002	912	0,0355030	0,0116042	0,0231768	0,0263158	0,0183481
1,000000	1,9269341	1345,000000	0,250000	0,000002	933	0,0355030	0,0135021	0,0272014	0,0263158	0,0183481
1,000000	8,3770492	766,500000	0,250000	0,000002	01038	0,0355030	0,0586984	0,0155018	0,0263158	0,0183481
0,500000	1,3124284	1163,000000	0,250000	0,000002	1053	0,0177515	0,0091962	0,0235206	0,0263158	0,0183481
1,000000	6,3700624	766,000000	0,250000	0,000002	1614	0,0355030	0,0446353	0,0154916	0,0263158	0,0183481
1,000000	1,9185581	1437,000000	0,250000	0,000002	1615	0,0355030	0,0134434	0,0290620	0,0263158	0,0183481
1,000000	5,0503979	1904,000000	0,250000	0,000002	01765	0,0355030	0,0353884	0,0385067	0,0263158	0,0183481
1,000000	1,7614288	1518,000000	0,250000	0,000002	00020625	0,0355030	0,0123424	0,0307002	0,0263158	0,0183481
0,500000	3,4666129	1517,000000	0,250000	0,000003	401453	0,0177515	0,0242907	0,0306799	0,0263158	0,0234441
1,000000	1,5346359	432,000000	0,250000	0,000003	12217797	0,0355030	0,0107533	0,0087368	0,0263158	0,0234441
0,500000	1,4640004	1451,000000	0,250000	0,000003	13702576	0,0177515	0,0102583	0,0293451	0,0263158	0,0234441
-	25,4137931	737,000000	0,250000	0,000003	14173297		0,1780756	0,0149051	0,0263158	0,0234441
1,000000	3,6805175	903,000000	0,250000	0,000002	30619096	0,0355030	0,0257895	0,0182623	0,0263158	0,0152187
1,000000	3,8734177	1530,000000	0,250000	0,000003	101078191	0,0355030	0,0271412	0,0309428	0,0263158	0,0234441
0,3333333	1,3736071	1518,000000	0,250000	0,000003	101112312	0,0118343	0,0096249	0,0307002	0,0263158	0,0234441

24. En la hoja "Priorización" se obtiene el resultado de la aplicación del método AHP en las celdas destacadas en verde, la priorización de las alternativas, que en el siguiente paso se ordenaron para la asignación.

Equipos	A	B	C	A	B	Equipos	Priorización
00344	0,0177515	0,0201636	0,0306799	0,0263158	0,0183481	00344	2,289%
00653	0,0355030	0,0224551	0,0307204	0,0263158	0,0183481	00653	3,115%
803	0,0355030	0,0186273	0,0237633	0,0263158	0,0183481	803	2,912%
822	0,0177515	0,0084989	0,0307002	0,0263158	0,0183481	822	2,214%
912	0,0355030	0,0116042	0,0231768	0,0263158	0,0183481	912	2,851%
933	0,0355030	0,0135021	0,0272014	0,0263158	0,0183481	933	2,967%
01038	0,0355030	0,0586984	0,0155018	0,0263158	0,0183481	01038	2,958%
1053	0,0177515	0,0091962	0,0235206	0,0263158	0,0183481	1053	2,035%
1614	0,0355030	0,0446353	0,0154916	0,0263158	0,0183481	1614	2,867%
1615	0,0355030	0,0134434	0,0290620	0,0263158	0,0183481	1615	3,014%
01765	0,0355030	0,0353884	0,0385067	0,0263158	0,0183481	01765	3,397%
00020625	0,0355030	0,0123424	0,0307002	0,0263158	0,0183481	00020625	3,049%
401453	0,0177515	0,0242907	0,0306799	0,0263158	0,0234441	401453	2,331%
12217797	0,0355030	0,0107533	0,0087368	0,0263158	0,0234441	12217797	2,492%
13702576	0,0177515	0,0102583	0,0293451	0,0263158	0,0234441	13702576	2,066%
14173297	0,1780756	0,0149051		0,0263158	0,0234441	14173297	2,106%
30619096	0,0355030	0,0257895	0,0182623	0,0263158	0,0152187	30619096	2,807%
101078191	0,0355030	0,0271412	0,0309428	0,0263158	0,0234441	101078191	3,166%
101112312	0,0118343	0,0096249	0,0307002	0,0263158	0,0234441	101112312	1,967%

Variables ponderadas		
45,64%		
6,43%		
25,62%	=	
19,25%		
3,06%		
Σ	1	

25. En la hoja “Asignación” ingresar el porcentaje de asignación de Planes Full que se desea en la celda destacada E4. Para este caso se utilizó el 20%.

Ingreso porcentaje de asignación Full: 20%

Equipos	Asignación	Plan
00653	3,115%	Plan Full
803	2,912%	Plan Full
933	2,967%	Plan Simple
00344	2,289%	Plan Simple
822	2,214%	Plan Simple
1614	2,867%	Plan Simple
1615	3,014%	Plan Simple
01765	3,397%	Plan Simple
912	2,851%	Plan Simple
00020625	3,049%	Plan Simple
01038	2,958%	Plan Simple
1053	2,035%	Plan Simple

Principio de Pareto: 80% 20%

Costos	
Mantenimiento mensual	
Plan Simple	\$ 2.906.885
Plan Full	\$ 1.476.885
Total	\$ 4.383.770

Asignación: 80 - 20

26. En el filtro automático de Equipos, seleccionar todos los elementos, excepto “-“.

Ingreso porcentaje de asignación Full: 20%

Principio de Pareto: 80% 20%

Costos	
Mantenimiento mensual	
Plan Simple	\$ 2.906.885
Plan Full	\$ 1.476.885
Total	\$ 4.383.770

Asignación: 80 - 20

27. En el filtro automático de Asignación, ordenar de mayor a menor.

The screenshot shows a software interface with a dropdown menu open over a list of equipment. The dropdown menu options are:

- Ordenar de menor a mayor
- Ordenar de mayor a menor
- Ordenar por color
- Borrar filtro de "Asignación"
- Filtrar por color
- Filtros de número
- Buscar
- (Seleccionar todo)
- 1,901%
- 1,959%
- 1,967%
- 2,023%
- 2,030%
- 2,035%
- 2,076%
- 2,106%
- 2,206%

 The background interface includes:

- Input field: "Ingreso porcentaje de asignación Full: 20%"
- Chart: "Principio de Pareto" with 80% and 20% markers.
- Table: "Costos Mantenimiento mensual"

Plan Simple	\$	2.906.885
Plan Full	\$	1.476.885
Total	\$	4.383.770
- Equipment list (rows 8-22): TO6F80538, 00653, TO6I83693, TO4I63585, 803, 401453, TO9L117366, TO4L66470, 933, 12217797, 13702576, 101141507, US00575093, TO8K107746, TO9K116316.
- Bottom status bar: "LISTO SE ENCONTRARON 38 DE 200 REGISTROS" and "Asignación 80 - 20".

28. Finalmente, se obtuvo la asignación de Planes de mantenimiento y en la esquina superior derecha el Costo total de la asignación (mensual) por plan.

The screenshot shows the software interface with the assignment of maintenance plans completed. The equipment list now includes a third column for the assigned plan:

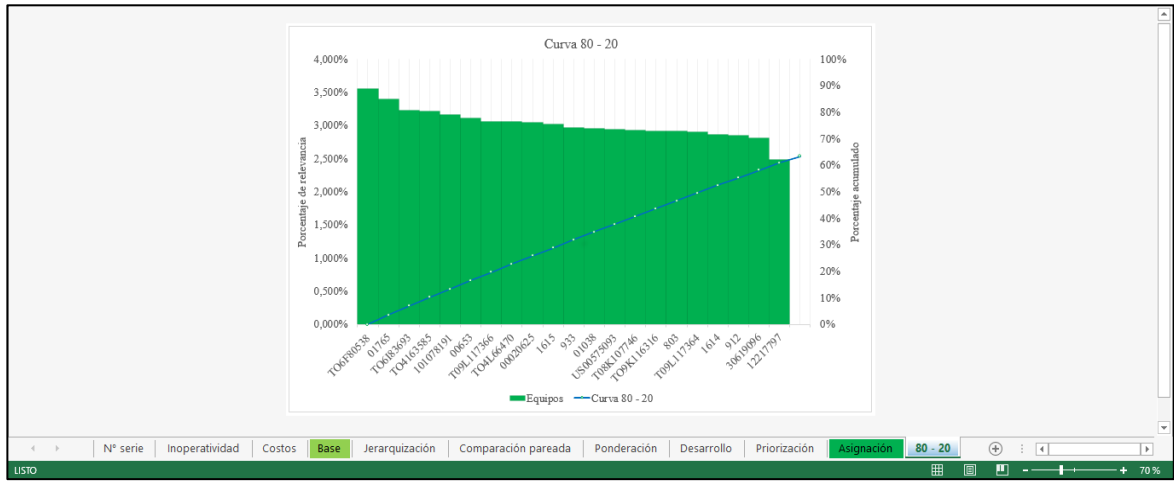
Equipos	Asignación
TO6F80538	3,554% Plan Full
01765	3,397% Plan Full
TO6I83693	3,226% Plan Full
TO4I63585	3,211% Plan Full
101078191	3,166% Plan Full
00653	3,115% Plan Full
TO9L117366	3,065% Plan Full
TO4L66470	3,055% Plan Simple
00020625	3,049% Plan Simple
1615	3,014% Plan Simple
933	2,967% Plan Simple
01038	2,958% Plan Simple
US00575093	2,945% Plan Simple
TO8K107746	2,926% Plan Simple
TO9K116316	2,918% Plan Simple

 The background interface includes:

- Input field: "Ingreso porcentaje de asignación Full: 20%"
- Chart: "Principio de Pareto" with 80% and 20% markers.
- Table: "Costos Mantenimiento mensual"

Plan Simple	\$	2.906.885
Plan Full	\$	1.476.885
Total	\$	4.383.770
- Bottom status bar: "LISTO SE ENCONTRARON 38 DE 200 REGISTROS" and "Asignación 80 - 20".

29. En la hoja final se representa gráficamente la situación.



8. 6. Anexo F: Procedimiento para la obtención de la Matriz de probabilidades de transición de estado estable $P^{(n)}$ mediante el modelo automatizado de C. de M.

$$\mathbf{P}^{(n)} = \left| \begin{array}{cccc} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1s} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{s1} & p_{s2} & \dots & p_{ss} \end{array} \right| * \left| \begin{array}{cccc} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1s} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{s1} & p_{s2} & \dots & p_{ss} \end{array} \right| * \dots * \left| \begin{array}{cccc} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1s} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{s1} & p_{s2} & \dots & p_{ss} \end{array} \right|$$

- Desde la planilla “Entrada C. de M.” seleccionar y copiar la sección correspondiente al equipo que se desea estudiar, para este caso se analizó el equipo de la familia Máquinas de Anestesia, Drager Fabius GS (n° serie 10275).

	Fecha Emisión	Fecha Reparación	Marca	Modelo	Numero Serie	Componente	Periodo de estudio (días)	Tiempo inoperativo (días)
3	31-03-2011	31-03-2011			10275			
4	20-04-2011	05-12-2011	Drager	Fabius Gs	10275	Ventilador	1927	229
5	20-01-2013	16-10-2013	Drager	Fabius Gs	10275	Ventilador	1927	269
6	26-11-2012	21-07-2013	Drager	Fabius Gs	10275	Circuito O2	1927	237
7	05-04-2013	22-11-2013	Drager	Fabius Gs	10275	Tarjeta Principal	1927	227
8	01-09-2013	24-01-2014	Drager	Fabius Gs	10275	Sensor O2	1927	145
9	01-12-2013	08-04-2015	Drager	Fabius Gs	10275	Tarjeta Principal	1927	493
10	21-02-2014	19-12-2014	Drager	Fabius Gs	10275	Sensor O2	1927	298
11	09-06-2015	01-11-2015	Drager	Fabius Gs	10275	Sensor O2	1927	145
12	09-06-2015	07-08-2016	Drager	Fabius Gs	10275	Valvula Conmutadora	1927	425
13	31-03-2011	31-03-2011			10282			
14	04-07-2011	15-07-2011	Drager	Fabius Gs	10282	Valvula Apl	1523	11
15	06-07-2011	23-12-2011	Drager	Fabius Gs	10282	Sensor O2	1523	167
16	23-12-2011	07-05-2012	Drager	Fabius Gs	10282	Manguera	1523	134
17	23-12-2011	07-05-2012	Drager	Fabius Gs	10282	Manguera	1523	134
18	23-12-2011	30-12-2011	Drager	Fabius Gs	10282	Manguera	1523	7

- En la planilla “C. de M. (Automatizado)” copiar valores de lo seleccionado en la celda C4.

Fecha	I	N	K
1		O	NO
2		O	0
3		NO	-1
4		NO	1

	O	NO
O	NO APLICA	NO APLICA
NO	NO APLICA	NO APLICA

3. Automáticamente, se completan las matrices de Transiciones, de Transiciones Normal (Matriz de probabilidades de transición) y de Probabilidades de estado estable,

	Fecha Emisión	Fecha Reparación	Matriz de Transiciones		Matriz de Transiciones Normal		Matriz de Probabilidades de Estado Estable	
			O	NO	O	NO	O	NO
1	31-03-2011						0,2300	0,7700
2	20-04-2011	05-12-2011	592	3	0,9950	0,0050	0,2300	0,7700
3	20-01-2013	16-10-2013						
4	26-11-2012	21-07-2013	2	1326	0,0015	0,9985		
5	05-04-2013	22-11-2013						
6	01-09-2013	24-01-2014						
7	01-12-2013	08-04-2015						
8	21-02-2014	19-12-2014						
9	09-06-2015	01-11-2015						
10	09-06-2015	07-08-2016						
11								
12								
13								
14								
15								

4. Destacando los valores de π_1 , π_2 y el valor de n en el cual se logra el estado estable.

	Matriz de Transiciones		Matriz de Transiciones Normal		Matriz de Probabilidades de Estado Estable		
	O	NO	O	NO	O	NO	
O	592	3	0,9950	0,0050	0,2300	0,7700	Obtenido en $n = 14$
NO	2	1326	0,0015	0,9985	0,2300	0,7700	

8. 7. Anexo G: Proceso de obtención de las probabilidades de estado estable π_j a través de las ecuaciones de estado estable mediante el uso del modelo precargado en una planilla Microsoft Excel usando la herramienta Solver.

$$\begin{array}{l}
 \left[\pi_1 \quad \pi_2 \quad \dots \quad \pi_s \right] * \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1s} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{s1} & \dots & p_{ss} \end{bmatrix} \\
 \pi_1 = p_{11} * \pi_1 + p_{21} * \pi_2 + \dots + p_{s1} * \pi_s \\
 \pi_2 = p_{12} * \pi_1 + p_{22} * \pi_2 + \dots + p_{s2} * \pi_s \\
 \dots \\
 \pi_s = p_{1s} * \pi_1 + p_{2s} * \pi_2 + \dots + p_{ss} * \pi_s \\
 \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_s = 1
 \end{array}$$

- Tomando el caso del Anexo F, en la misma planilla “C. de M. (Automatizado)”, ir a la sección Datos/Solver.

Comprobación.
Con Solver, resolver el modelo con las ecuaciones de estado estable, cargando el modelo destacado con [celda verde]

Probabilidades de estado estable.

$$\begin{vmatrix} \pi_1 & \pi_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0,9950 & 0,0050 \\ 0,0015 & 0,9985 \end{vmatrix}$$

La probabilidad de que, en el largo plazo, el equipo esté operativo, es menor, con un valor de: 0,0000%

Modelo

(1)	π_1	=	$\pi_1 * p_{11} + \pi_2 * p_{12}$	0,000	0
(2)	π_2	=	$\pi_1 * p_{21} + \pi_2 * p_{22}$	π_1 0,0000	0,0000
(3)	$\pi_1 + \pi_2$	=	1	32767	0

VERDADERO
VERDADERO
FALSO

- En la ventana emergente que se abre, seleccionar “Cargar/Guardar”.

Parámetros de Solver

Establecer objetivo: [celda vacía]

Para: Máx Mín Valor de: 0

Cambiando las celdas de variables: [celda vacía]

Sujeto a las restricciones: [lista vacía]

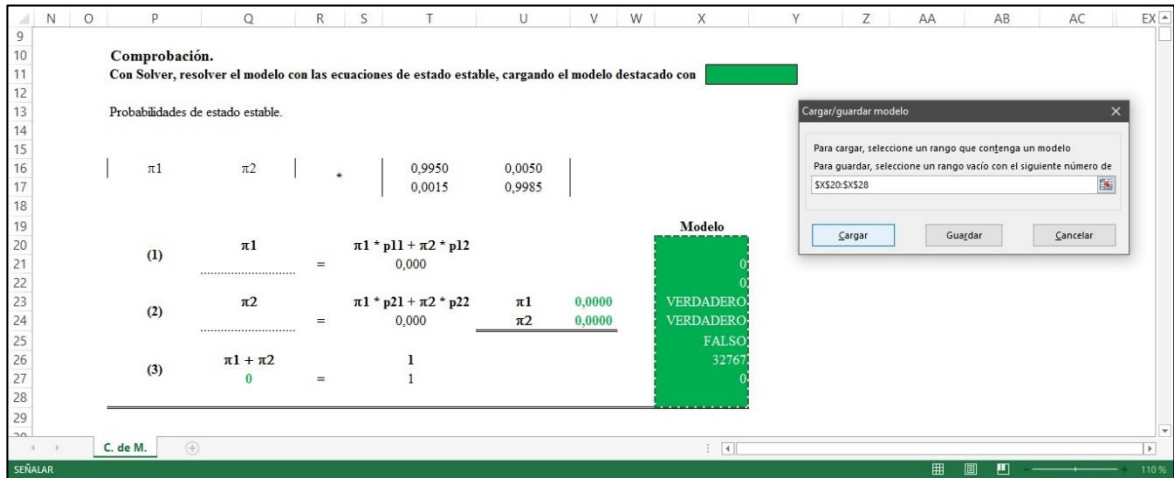
Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución: Simplex LP

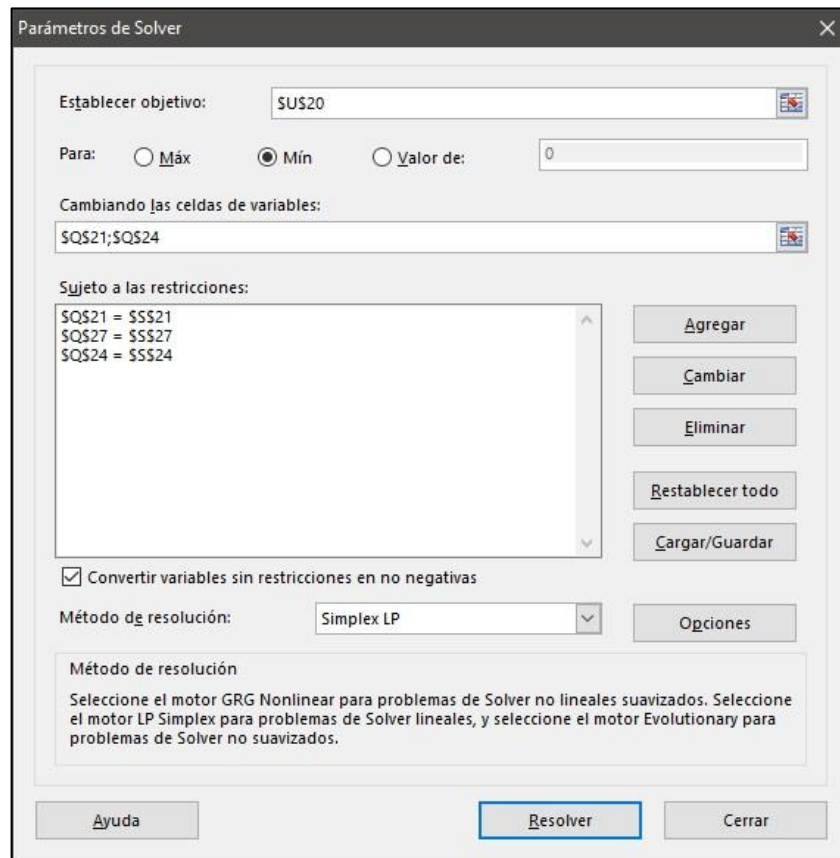
Método de resolución
Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas de Solver no suavizados.

Botones: Ayuda, Resolver, Cerrar, Agregar, Cambiar, Eliminar, Restablecer todo, Cargar/Guardar, Opciones

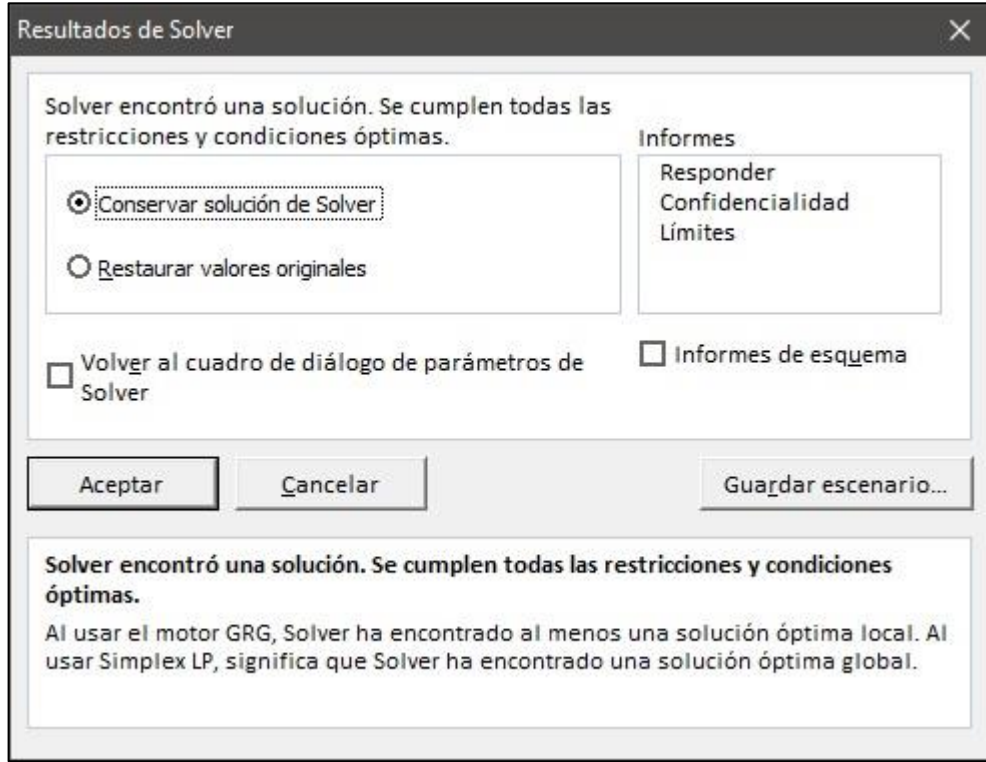
3. Seleccionar las celdas destacadas en verde y presionar el botón “Cargar” (en caso de aparecer una ventana emergente, presionar “Reemplazar”).



4. Se carga el modelo, presionar “Resolver”.



5. Aceptar la solución en la ventana emergente que se muestra.



6. Finalmente, se obtuvieron los valores de π_1 y π_2 en las celdas V23 y V24, con los cuales se pueden corroborar los obtenidos por el anterior método. Luego la conclusión de las probabilidades de estado estable se muestra a la derecha del modelo.

Comprobación.
Con Solver, resolver el modelo con las ecuaciones de estado estable, cargando el modelo destacado con [celda verde]

Probabilidades de estado estable.

π_1	π_2	*	0,9950	0,0050
			0,0015	0,9985

La probabilidad de que, en el largo plazo, el equipo esté operativo, es menor, con un valor de: **22,9996%**

	π_1	π_2	
(1)	0,2300		$\pi_1 * p11 + \pi_2 * p12$ 0,230
(2)	0,7700		$\pi_1 * p21 + \pi_2 * p22$ 0,770
(3)	$\pi_1 + \pi_2$	1	1

Modelo

1
2
VERDADERO
VERDADERO
VERDADERO
32767
0