

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO ENFOCADO A LA
CONDICION FISICA DE EDIFICACIONES, CASO EDIFICIO GIORDANO
BRUNO**

ROBINSON DAMIAN MORENO MALAVER

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2019**

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO ENFOCADO A LA
CONDICION FISICA DE EDIFICACIONES, CASO EDIFICIO GIORDANO
BRUNO**

ROBINSON DAMIAN MORENO MALAVER

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico

**Director: ING. NELSON IVAN VILLAMIZAR CRUZ
M.S.C. GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2019**

Nota de aceptación

Firma Director

Firma Jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a DIOS. A mi madre y familia que me apoyo durante este camino de luchas constantes. A mi padre que dejo marcado un legado de responsabilidad y honestidad.

Por ultimo agradezco a mi tutor y docentes que me guiaron en este proceso para poder culminar con éxito.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACION.....	13
3. OBJETIVOS	14
3.1. OBJETIVO GENERAL	14
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
4. MARCO REFERENCIAL	15
4.1. MARCO TEORICO	15
4.1.1. Mantenimiento a edificios.....	15
4.1.2. Clasificación del mantenimiento a edificios.....	15
4.1.3. Importancia de planificar un mantenimiento.....	16
4.1.4. Elementos de un edificio.	16
4.1.5. Predicción de deterioro a edificios.....	17
4.1.6. Toma de decisiones basada en el riesgo.	18
4.1.7. Clasificación de los sistemas de un edificio.	18
4.1.8. Modelo de Markov.....	18
4.1.9. Análisis del modo y efecto de fallas (FMEA)	19
4.2. ANTECEDENTES.....	22
4.2.1. Edificio Giordano Bruno.....	24
4.2.2. Mantenimiento del ascensor y equipo de iluminación	25
5. DISEÑO METODOLOGICO	26

6.	RESULTADO Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	28
6.1.	CODIFICACION Y CALIFICACION DE LOS COMPONENTES.....	28
6.2.	ESTADO DE DETERIORO DE LOS COMPONENTES	40
6.2.1.	Primer modulo	44
6.2.2.	Segundo modulo	44
6.2.3.	Tercer modulo.....	45
6.2.4.	Cuarto modulo	46
6.3.	PROYECCION A 5 AÑOS	59
6.4.	PROYECCION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO DEL ASCENSOR	60
7.	CONCLUSIONES.....	66
	BIBLIOGRAFIA.....	68
	ANEXOS	70

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Etapas de la investigación.	26
Figura 2 Estado de deterioro de diferentes componentes del salón 207: a) lámpara; b) techo; c) cableado; d) pared.	29
Figura 3 Ejemplo primer modulo.....	44
Figura 4 Ejemplo segundo modulo.....	45
Figura 5 Ejemplo tercer modulo.....	46
Figura 6 Ejemplo cuarto modulo.....	47
Figura 7 Deterioro de la superestructura del edificio	49
Figura 8 Deterioro de cubiertas, pisos, fachada, puertas y paredes	49
Figura 9 Deterioro de componentes exteriores.....	50
Figura 10 Deterioro de componentes de servicio	50
Figura 11 Diagrama de Pareto de FMEA del ascensor.....	57
Figura 12 Diagrama de Pareto de FMEA del equipo de iluminación	58
Figura 13 Árbol de decisiones componente D1013.....	60

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Criterios de severidad.....	20
Tabla 2 Valores de ocurrencia.....	21
Tabla 3 Valores de detección	22
Tabla 4 Información de equipo de iluminación y sistema de corriente	28
Tabla 6 Estado de la condición.....	30
Tabla 7 Estado de la condición.....	31
Tabla 8 Calificación componente D1013-Ascensor.....	33
Tabla 9 Calificación componente D5022-Equipo de iluminación	37
Tabla 10 Matriz de transición componente D1013-Ascensor	40
Tabla 11 Matriz de probabilidad de transición componente D1013- Ascensor	41
Tabla 12 Matriz de deterioro componente D1013- Ascensor	41
Tabla 13 Matriz de transición componente D5022-Equipo de iluminación	42
Tabla 14 Matriz de probabilidad de transición componente D5022-Equipo de iluminación	43
Tabla 15 Matriz de deterioro componente D5022-Equipo de iluminación.....	43
Tabla 16 Índice de condición y de probabilidad	48
Tabla 17 FMEA ascensor	52
Tabla 18 FMEA equipo de iluminación.	58
Tabla 19 Matriz de deterioro a 5 años del componente D1013- Ascensor	59
Tabla 20 Proyección de costos.....	61

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. INSPECCIONES	70
ANEXO B. CLASIFICACION EDIFICIO	78

RESUMEN

En esta investigación se realizaron inspecciones al edificio Giordano Bruno de la Universidad Santo Tomas, seccional Tunja. Dichas inspecciones se utilizaron para generar calificaciones a los componentes y subcomponentes del edificio. Posteriormente se generaron matrices de deterioro, con esto se evaluó la condición física y se enfocó la investigación en el componente D1013 (ascensor).

Para el componente D1013 se realizó un análisis de modo y efecto de falla, para identificar cuales subcomponentes presentan una mayor probabilidad de falla. Por otra parte, se hallaron índices de condición y probabilidad para determinar en qué estado de deterioro se encontrará el componente año tras año. Por último, se analizó la vida útil de los subcomponentes para estimar costos y definir periodos de mantenimiento e inspecciones.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los edificios tienen varios componentes y subcomponentes que necesitan mantenimiento, dependiendo de su ciclo de vida, algunos de estos requieren más atención; Debido a la falta de mantenimiento, se generan riesgos para la integridad física de las personas que usan cada uno de estos componentes.

La importancia del mantenimiento en activos en todo el mundo ha permitido demostrar un aumento en la vida útil de cada uno de los componentes de un activo. Al mismo tiempo, reduce los costos al rehabilitar y restaurar estos componentes.

Actualmente en Colombia no hay investigaciones de este tipo, por lo que se pretende llevar a cabo un plan de mantenimiento basado en el riesgo, evaluando la condición de deterioro de cada uno de los componentes, del edificio Giordano Bruno de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja.

Al evaluar la condición de deterioro mediante las cadenas de Márkov, se lleva a cabo acciones de mantener, rehabilitar y reemplazar. En donde se quiere mantener la mayoría de los componentes del edificio para evitar sobre costos en reemplazos de estos y generar una baja disponibilidad al encontrarse en estado de falla o deterioro.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mantenimiento de los edificios ha perdido importancia durante varios años. Por lo tanto, dichos activos contienen componentes y subcomponentes que tienden a deteriorarse y disminuir su vida útil tanto interna como externamente, generando costos en el momento de las restauraciones.

Por otro lado, existen varias limitaciones a la hora de realizar el mantenimiento de los edificios, como la falta de recursos y la optimización de cada uno de los componentes de cada sistema que conforman un edificio. Lo que requiere obtener información precisa y actualizada sobre cada uno de estos componentes constituyentes.

Por lo tanto, es necesario identificar una metodología adecuada para el mantenimiento de los diferentes componentes del edificio Giordano Bruno de la Universidad de Santo Tomas, en la seccional Tunja, evaluando condiciones de deterioro y teniendo en cuenta las reparaciones y rehabilitaciones de cada uno de estos componentes. Al tener en cuenta lo anterior se puede llegar a alargar la vida útil de los componentes y generar una reducción de costos de mantenimiento.

2. JUSTIFICACION

El propósito de esta investigación es identificar el estado actual de los componentes de cada sistema del edificio Giordano Bruno, para aplicar una metodología óptima que se ajuste a los parámetros del mantenimiento al evaluar la condición física del mismo. Al realizar un mantenimiento, la vida útil del edificio y sus componentes se incrementa, reduciendo el deterioro que en la mayoría de los casos es inevitable.

Por otro lado, el mantenimiento logra prolongar las características funcionales, conservando la higiene y la estética del edificio. Pero todo esto se logra con programas de rutina creados a través de la planificación y acciones específicas según el tipo de activo.

Además, el objetivo es aumentar la disponibilidad de cada sistema constitutivo del edificio, eliminando los gastos innecesarios causados por la rehabilitación de las diferentes áreas del activo debido a que no tienen un mantenimiento adecuado. Cuando se genera un mantenimiento correctivo de las diferentes zonas, el edificio pierde su valor actual.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar la condición y confiabilidad con un enfoque de planificación basada en el riesgo para los componentes del edificio Giordano Bruno de la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

3.2.1. Categorizar el edificio Giordano Bruno en sistemas y componentes, realizando un sistema de calificación basado en la calidad, confiabilidad y disponibilidad de dichos componentes.

3.2.2. Identificar el estado de deterioro de cada uno de los componentes del edificio Giordano Bruno.

3.2.3. Evaluar el rendimiento de un componente del edificio frente a la accesibilidad y la funcionalidad mediante la planificación para la operación, mantenimiento y rehabilitación.

3.2.4. Estimar la reducción de costos de un componente del edificio para evaluar los resultados obtenidos durante la implementación de la metodología de mantenimiento.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO TEORICO

4.1.1. Mantenimiento a edificios. Generalmente el mantenimiento se resume en un conjunto de ordenamientos y cuidados necesarios para que los edificios logren seguir funcionando adecuadamente. El mantenimiento ha sido desarrollado para preservar y mantener no solo las edificaciones sino todo aquello que dentro de su vida útil pueda deteriorarse. De tal manera que, al ignorarse el mantenimiento, esto requiere un gasto y una reparación puntual cuando algún componente se encuentra en estado de deterioro.¹

El mantenimiento es responsable de ejecutar el trabajo cíclicamente en el equipo y los componentes que conforman los edificios, a fin de mejorar las deficiencias de todas las partes, que están expuestas al deterioro debido al uso constante.

Asimismo, el mantenimiento lleva a cabo acciones encaminadas a la preservación estructural y funcional de cualquier edificio, que deben realizarse a lo largo de todo su ciclo de vida. Con el fin de proporcionar las mismas condiciones iniciales, independientemente del tiempo de uso del edificio.

4.1.2. Clasificación del mantenimiento a edificios. Mantenimiento de obras nuevas: se planifica desde el momento de la fabricación del proyecto, en dicho plan se definen el tiempo de cada ciclo y se comienza al dar por terminada la construcción.

Mantenimiento de obras viejas existentes: En este caso el mantenimiento se proyecta después de efectuar las reparaciones requeridas.

Mantenimiento preventivo: El que debe ser anunciado por el profesional encargado a realizar el proyecto de una obra.

Mantenimiento correctivo: El que se planifica y se ejecuta en las construcciones para evitar al máximo los deterioros.

Mantenimiento planificado: Consiste en las acciones habituales que se le realizan a un activo con una forma preventiva, que se puede estipular sobre la base de un programa establecido con anterioridad o rutinario mediante una sistemática predictiva, que establezca el programa en función de un buen conocimiento del

¹ ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN DE BARCELONA. 1ª Jornada de Mantenimiento de Edificios. (2010). P.9. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/11798/JM%20llibre_B.pdf?sequence=1&isAllowed=y

estado y de la evolución del edificio.

Mantenimiento no planificado: Consiste en las acciones que se le ejecutan a un edificio con un objetivo estrictamente correctivo frente a defectos constructivos que se detectan de forma imprevista o de averías inesperadas.²

4.1.3. Importancia de planificar un mantenimiento. Un plan de mantenimiento preventivo para edificios suministra grandes beneficios tanto para los usuarios y propietarios de este activo. Donde se busca minimizar los fallos de cada uno de los elementos y componentes de un edificio, protegiendo así la inversión realizada. Reportar fallas en la mayoría de los casos es menos costoso que repararlas. Además, la ejecución de un plan ayuda a que los diferentes componentes del edificio alcancen su vida útil de manera planificada. Por otro lado, un edificio en buen estado permite mantener una imagen deseada de la empresa o institución; lo que contribuye positivamente en la moral de los usuarios.

Los costos de mantenimiento y uso de un edificio a lo largo de su vida útil pueden ser más importantes que los de construcción o instalación, de hecho, son más difíciles de predecir.

La ausencia de mantenimiento de un activo resultará en un fallo a corto plazo para cumplir con sus funciones habituales. Los costos de mantenimiento pueden disminuir a medida que aumenta la planificación del mantenimiento. Estos costos pueden ser útiles de dos maneras: analizar y evaluar los resultados de mantenimiento interno y comparar la inversión con los resultados obtenidos. Para conocer los costos de mantenimiento, los conceptos administrativos y técnicos que explican el principio de los trabajos de mantenimiento deben llevar una secuencia, conociendo las distribuciones internas.³

4.1.4. Elementos de un edificio. Cimentación. Por medio de la cimentación se ubican todos los tipos de cargas del edificio y al terreno sobre el que se apoya. En donde se pueden encontrar diversos sistemas de cimentación (pilotes, zapatas, losas, etc.

Estructura: En la actualidad se encuentran varias clases de estructuras como lo son las de hormigón armado, las de acero y las constituidas por muros de ladrillos. Los principales elementos de la estructura son: vigas, los suelos y techos de un edificio

² ARENCIBIA FERNÁNDEZ, J. M. Conceptos fundamentales sobre el mantenimiento de edificios. (2007). *Revista de Arquitectura e Ingeniería*. p.3. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1939/193915927005.pdf>

³ CAMACHO SALAZAR, P. Diseño de un Plan Modelo de Mantenimiento para Edificios del ICE. (2009). p.6. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6196/Dise%C3%B1o_Plan_Modelo_Mantenimiento_Edificios_ICE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

y muros de carga.

Fachadas: constituyen las paredes exteriores del edificio con paramento exterior a la vista. Las fachadas y sus componentes son: paredes, terrazas, ventanas, persianas, etc.)

Cubiertas: Los tejados serán accesibles, solamente, para su mantenimiento y limpieza por personal especializado. Por otra parte, los tejados y azoteas deben estar siempre limpios y libres de vegetación parásita.

Saneamiento o red comunitaria del edificio: Es el conjunto de elementos que sirve para expulsar aguas pluviales recogidas por las azoteas, tejados y patios interiores, y de las aguas residuales y fecales producidas en los edificios, hasta la red pública de alcantarillado. El sistema de saneamiento o alcantarillado está formado, esencialmente, por: Una red vertical, que lo constituyen especialmente: Las bajantes que conducen las aguas. Canales son los receptores de las aguas residuales en tejados. Sumideros son los que recogen aguas en la planta inferior del edificio.⁴

4.1.5. Predicción de deterioro a edificios. El ciclo de vida de un edificio tiene una directriz al deterioro, que se inicia a partir de la adquisición de un activo a la fecha de sustitución y este se encuentra condicionado por la degradación de componentes no reemplazables. Una de las etapas importantes en la planificación de la gestión de activos es realizar adecuadamente la evaluación del estado, lo cual puede estar relacionado con la vigilancia al deterioro.

El ciclo de vida útil de un activo puede ser limitado por la degradación, pero esto no significa que el requisito sea la sustitución de mecanismos del activo. Por otra parte, los propietarios deben ser informados acerca de la condición de su activo y su rendimiento, conociendo las causas que están ocasionando el deterioro del activo. Dado el caso de toma de decisiones de mantenimiento, se gestiona la rehabilitación y reemplazo.

También es necesario tener una buena comprensión de los factores que aceleran o desaceleran el deterioro. Son muchos los factores que pueden llegar a afectar el deterioro de los edificios, tales como efectos ambientales o la aplicación de productos químicos que inducen la reducción de los efectos de estos factores ambientales. El efecto de estos factores se calcula mediante la aplicación de un coeficiente que afecta a la vida útil de los activos.

⁴ JUNTA DE ANDALUCÍA, CONSEJERÍA DE VIVIENDA Y ORDENACIÓN TERRITORIAL. Manual general para el uso, mantenimiento y conservación de edificios y viviendas. (2010). P. 54. Disponible en:

http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/estaticas/sites/consejeria/areas/vivienda/documentos/MV_GENERAL_WEB_ISBN.pdf

4.1.6. Toma de decisiones basada en el riesgo. En la planificación de la vida del activo se debe tener en cuenta los requisitos de rendimiento y la condición para evaluar de forma continua el activo. Para definir los requisitos mínimos de rendimiento, se determina el riesgo de fracaso. Para esta condición se deben tomar las medidas de mantenimiento y las medidas de rehabilitación. Esto significa que cuanto peor es la condición, el riesgo es mayor y la toma de decisiones se hace más difícil.⁵

4.1.7. Clasificación de los sistemas de un edificio. Según UNIFORMAT presenta un formato para la clasificación de elementos de construcción. Elementos, como se define, son los principales componentes comunes de mayoría de los edificios. Dichos elementos suelen realizar una función dada, independientemente de las especificaciones de diseño, método de construcción, o los materiales utilizados. UNIFORMAT garantiza la coherencia en la evaluación económica de los proyectos de construcción en el tiempo y la gestión. Por otra parte, se incluye en todas las etapas del ciclo de vida del edificio de planificación, programación, diseño, construcción, operación y disposición.

Por ejemplo, a partir del Nivel 1, la mayor agrupación elemento, que identifica los principales elementos del grupo tales como la subestructura, e Interiores. Nivel 2 subdivide elementos que incluyen la superestructura, Cierre exterior, y de techo. Nivel 3 elementos como paredes exteriores, ventanas y puertas exteriores. El nivel 4 los elementos individuales en aún más pequeños sub-elementos, por ejemplo, incluyen bases de pared, bases de columnas, el drenaje perimetral y aislamiento.⁶

4.1.8. Modelo de Markov. El modelo de markov es muy importante en el proceso de calificación y diagnóstico de edificios ya que se crean variables, en donde se asigna una función del espacio muestral en algún conjunto (el espacio de estados). Se distinguen diferentes casos, según sea un conjunto continuo o discreto. Es usual interpretar a t como el tiempo transcurrido desde el instante inicial ($t = 0$), y que en cada instante t se lleva a cabo un experimento de cuyo resultado queda determinado un valor.⁷

Las cadenas de Markov son una herramienta para analizar el comportamiento de determinados tipos de procesos estocásticos, esto es, procesos que evolucionan de forma no determinada a lo largo del tiempo en torno a un conjunto de estados. Una

⁵ KESHAVARZRAD, P. La optimización de la gestión de activos de los edificios de la comunidad. (2015). P. 66. Disponible en: <http://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:161629>

⁶ Robert P. Charette, Harold E. Marshall. Uniformat II Classification for Building Elements.(1999). P. 5. Disponible en: <https://arc-solutions.org/wp-content/uploads/2012/03/Charette-Marshall-1999-UNIFORMAT-II-Elemental-Classification....pdf>

⁷ YAZLLE, Jorge. Cadenas de markov. Capítulo 8. P. 1. Disponible en: http://www.unsa.edu.ar/yazlle/public_html/discreta/08-markov.pdf

cadena de Markov, representa un sistema que varía su estado a lo largo del tiempo, siendo cada cambio una transición del sistema.

Formalmente, para definir una cadena de Markov finita hace falta determinar por lo tanto los siguientes elementos: (i) un conjunto de estados del sistema (ii) la definición de transición, (iii) una ley de probabilidad condicional, que defina la probabilidad del nuevo estado en función de los anteriores.⁸

Por tanto, las cadenas de Márkov ayudan a calcular la probabilidad de que ocurra un evento posterior a los datos obtenidos anteriormente, esto se distingue como una serie de datos y eventos independientes. Si en una cadena de markov su estado actual es X_n y su estado previo es X , la probabilidad de un estado futuro sería X_{n+1} . En donde se tomaría en cuenta los eventos anteriores y los actuales para predecir un estado futuro.

El método de cadenas de Márkov se utilizó para generar matrices de deterioro y proyectarlas a 5 años, este método proporciona información de estado subsiguiente de deterioro de los diferentes componentes del edificio. Para poder utilizar las markov se necesita como mínimo dos inspecciones para hallar el estado de deterioro de los siguientes años.

4.1.9. Análisis del modo y efecto de fallas (FMEA). El FMEA es un procedimiento que permite identificar fallas en componentes del edificio Giordano Bruno, evaluando e identificando efectos y causas que provocan dichas fallas y de esta forma generar un mantenimiento para evitar valores de ocurrencia y ampliar los sistemas de detección de las diferentes fallas en cada uno de los componentes y subcomponentes del activo.

Esto resulta ser una investigación sistemática que depende de observaciones y consideraciones, orientadas a “identificación y evaluación de fallas potenciales de un producto, proceso o componente, junto con el efecto que provocan éstas, con el fin de establecer prioridades y decidir acciones de rehabilitación o reparación para reducir las posibilidades de deterioro y, por el contrario, favorecer la confiabilidad del componente del activo.”⁹

⁸ GUANAY FORERO, Y.K. HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, N. Cadenas de markov aplicadas a la toma de decisiones en gestión patrimonial de alcantarillados. (2011) P. 24. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7527/tesis604.pdf;sequence=1>

⁹ MONTALBAN-LOYOLA, E, ARENAS-BERNAL, E.J, TALAVERA-RUZ, M, MAGAÑA-IGLESIAS, R. Herramienta de mejora AMEF (Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial) como documento vivo en un área operativa. Experiencia de aplicación en empresa proveedora para Industria Automotriz. (2015). P.2. Disponible en: https://ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Aplicaciones de la Ingenieria/vol2num5/Revista%20Aplicaciones%20de%20la%20Ingenieria%20V2%20N5_2.pdf

Para realizar el FMEA es necesario calcular la severidad de los efectos (tabla 1), el nivel de ocurrencia de la falla y la detección en donde se evalúan las probabilidades de control de falla.

Tabla 1 Criterios de severidad.

EFFECTO	CRITERIO DE SEVERIDAD	CALIFICACION
Peligro sin alarma	Puede poner en peligro a las personas.El incidente ocurriera sin alarma.	10
Peligro con alarma	El incidente afecta la seguridad de las personas. Ocurriera con alarma.	9
Muy arriba	El componente es inoperable.Con perdida de funcion primaria.	8
Alto	El componente es operable pero con perdida en el funcionamiento.	7
Moderado	El componente es operable, pero el item de la comodidad es reducido.	6
Bajo	El componente es operable con una menor reduccion en el funcionamiento.	5
Muy bajo	La mayoría de personas notan las averias.	4
De menor importancia	Pocas personas notan las averias.	3
Sin importancia	Averias que no comprometen el funcionamiento del componente.	2
Ninguno	Ningun efecto.	1

Fuente. Ingeniería Industrial. (2019). Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). [online] Available at: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>

El criterio de severidad evalúa que tan peligrosa es considerada la falla para el componente, si pone en riesgo a las personas que utilizan dicho componente o por lo contrario no compromete el bienestar de las personas.

Tabla 2 Valores de ocurrencia.

PROBABILIDAD DEL INCIDENTE	PORCENTAJE DE AVERIAS	CALIFICACION
Muy arriba: El indice es casi inevitable	1 en 2	10
	1 en 3	9
Alto: Indices repetitivos	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderado: Indices ocasionales	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2000	4
Bajo: Relativamente pocos incidentes	1 en 15.000	3
	1 en 150.000	2
	1 en 1.500.000	1

Fuente. Ingeniería Industrial. (2019). Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). [online] Available at: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>

En los valores de ocurrencia se evalúa la frecuencia que se presenta cada falla, esto se mide dependiendo los índices con los que se repite la falla y así generar una calificación como se observa en la tabla 2.

Tabla 3 Valores de detección

DETECCION	CRITERIO	CALIFICACION
Seguro	Controles seguros para detectar fallas	1
Muy alto	Controles casi seguros para detectar fallas	2
Alto	Controles con buena oportunidad de detectar, detección inmediata de la falla	3
Altamente moderado	Controles con buena oportunidad de detectar, detección de la falla en la siguiente inspección	4
Moderado	Controles que pueden detectar falla, control en 100% del componente	5
Bajo	Controles que pueden detectar falla, control en menos del 100% del componente	6
Muy bajo	Controles con poca oportunidad de detectar falla	7
Alejado	Controles alejados para detectar falla	8
Muy alejado	Controles que probablemente no detectaran falla	9
Imposible	Certeza absoluta de no detección de falla	10

Fuente. Ingeniería Industrial. (2019). Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). [online] Available at: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>

Los valores de detección (tabla 3) son probabilidades de control de cada falla, estos controles sirven para prevenir la falla durante el proceso de vida útil del componente.

4.2. ANTECEDENTES

Hasta hace pocos años los edificios, se han conservado aplicando únicamente metodologías de mantenimientos correctivos, en donde se reparan las averías y fallas una vez declaradas, con costos significativos por desperfectos colaterales y con molestias considerables para los usuarios. Consecutivamente se han ido aplicando criterios preventivos, que han tratado de minimizar los contratiempos en todos los aspectos: las inspecciones periódicas de las instalaciones pueden reducir ampliamente los gastos y optimizar los rendimientos; No obstante, el mantenimiento preventivo conlleva aspectos positivos.

Los razonamientos preventivos han sido mejorados con otros de tipo predictivo, lo que hacen es medir una serie de parámetros cuya evolución va ligada al desgaste

del activo propiamente dicha (por ejemplo, niveles de vibración, de temperatura, de presión, de carga, etc.). Cuando las medidas de estos niveles sobrepasen los límites aconsejables habrá llegado el momento de la revisión y posible sustitución de piezas cuya vida útil haya terminado.

Las últimas técnicas aplicadas van de la mano con la automatización de las instalaciones, que requieren menor mano de obra en su utilización y que ponen en funcionamiento o detienen automáticamente las instalaciones, normalizando incluso su funcionamiento de acuerdo con lo previamente programado.¹⁰

Por otra parte, en los últimos años se ha visto un aumento en el interés por establecer la durabilidad y la vida útil de los materiales, elementos y sistemas constructivos de los edificios. Este interés ha comenzado de la mano de cuestiones medioambientales y económicas. Por un lado, la durabilidad está claramente relacionada con la búsqueda de un desarrollo sostenible, tema en el que se están invirtiendo muchos esfuerzos a nivel internacional. Por otro lado, los edificios existentes, entendidos como capital inmobiliario, representan una cantidad importante del capital nacional, por lo que los costos de inspección y mantenimiento de estos edificios son de gran importancia para el patrimonio de un país. Estos gastos se pueden reducir estudiando la durabilidad de los sistemas y seleccionando aquellos más duraderos.

En este contexto, el Instituto Valenciano de la Edificación, ha desarrollado el estado del arte de las metodologías de cálculo de la vida útil de materiales, elementos y sistemas que componen los edificios. El principal objetivo del Instituto ha sido el seleccionar aquella metodología que presenta mayores posibilidades de aplicación en España. A partir de las conclusiones del estudio se pretende establecer un método de cálculo que permita prever la vida útil de un determinado sistema constructivo bajo unas determinadas condiciones y con unas determinadas calidades. Los principales resultados que se buscan obtener de la planificación de la vida útil son una base de datos de durabilidades de los diferentes elementos y una planificación del mantenimiento. De esta manera, planificando el mantenimiento del edificio y las necesidades de inversión durante su vida útil, se puede buscar la combinación más rentable para los propietarios.¹¹

En el 2005 W. Trinius y C. Sjöström, demuestran que, en los edificios modernos, el rendimiento normalmente se reduce a lo largo del tiempo. El ritmo de disminución

¹⁰ GARCIA NAVARRO, J. Mantenimiento y conservación de edificios: agentes que intervienen en la gestión y explotación del parque inmobiliario. (1995) p. 2. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/download/1045/1123>

¹¹ MADRIGAL, L. O., LANZAROTE, B. S., BRETONES, J. M. F., FRANCÉS, L. S., & RUIZ, S. G. P. Estado del arte de las metodologías de cálculo de la vida útil de los materiales, elementos y sistemas constructivos de los edificios. (2012). p. 181. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4207500>

del rendimiento depende de la combinación específica de un conjunto de influencias en el cual se identifican y cuantifican estas influencias. El método de los factores considera aspectos como son la calidad del diseño y la construcción, el nivel de mantenimiento, la exposición al uso, el desgaste del material o componente, y la influencia del medioambiente. Debido a estos parámetros, la vida de servicio esperada de los materiales, componentes y edificios completos varía de un caso a otro.

En el 2011 el autor R. Mora dice que el deterioro no es la principal causa que minimiza la vida útil de un activo, en donde explica que las principales causas que provoca el fin de la vida de servicio es la obsolescencia. Ésta puede ser:

- Obsolescencia técnica (por ejemplo, disponibilidad de tecnologías más eficientes)
- Obsolescencia económica (por ejemplo, no disponer de más presupuesto para operar)
- Obsolescencia funcional (por ejemplo, cambio en los requerimientos funcionales)
- Obsolescencia estética

Existen demasiadas investigaciones que han desarrollado diferentes métodos para la determinación de la vida de un activo o de una edificación. En la mayoría de los casos, el primer paso es identificar y cuantificar los factores que afectan a la durabilidad de los elementos y componentes de una edificación. La predicción de la vida de servicio de un edificio y de sus componentes es una tarea muy compleja, ya que cada edificio es diferente en términos de utilización, tipo de construcción, calidad y ambiente.¹²

4.2.1. Edificio Giordano Bruno. El programa arquitectónico del edificio Giordano Bruno fue construido en el año 2003 repartiéndose en cinco pisos así:

- **Primer piso:** Biblioteca, gimnasio, baños y jardines.
- **Segundo piso:** Cafetería, adecuación aulas de clase y laboratorios, baños y auditorios.
- **Tercer piso:** Decanaturas, salas de profesores, aulas de clase y baños.
- **Cuarto piso:** Centro de documentación, salón de proyectos de grado, aulas de clase y baños.
- **Quinto piso:** Rectoría.¹³

¹² ESTEVE MUÑOZ, V.F. Estado del arte de los factores que afectan a la durabilidad de las edificaciones. (2015). P.55. Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/47820/01_Memoria.pdf?sequence=1

¹³ Universidad Santo Tomas 15 años de presencia en Tunja. Primera edición. (2011). P.175. Disponible en: https://issuu.com/ustatunjacomunicaciones/docs/libro_15_a_os_1/120

El campus universitario (edificio Giordano Bruno) con el que cuenta la Universidad Santo Tomas seccional Tunja registra un área construida de 9051 m²; el cual se encuentra en uso desde el año 2004. Este activo presta los servicios de aulas de clase, laboratorios, biblioteca, auditorios, y oficinas para las facultades de Ingenierías (ambiental, civil, industrial y mecánica) y arquitectura.

La universidad dispone de un presupuesto de \$900.000.000 destinado a las reparaciones de todas las edificaciones con las que cuenta la seccional; cabe resaltar que el edificio Giordano Bruno origina el mayor gasto del presupuesto. Para el año 2010 se realizó un reforzamiento a la estructura del edificio, ya que el mismo está construido sobre un terreno de cárcavas; por lo anterior es necesario dar cumplimiento a los requerimientos del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

Según los costos de mantenimiento correctivo en los últimos 5 años se presentó un incremento en el presupuesto; este tipo de mantenimientos abarca entre un 60% y 70% del presupuesto destinado por la universidad. Para el año 2017 fue necesario realizar reparaciones de tipo correctivas en salones y laboratorios, con lo cual la disponibilidad del edificio no estaba en el 100%; por ende, se generaron pérdidas económicas ocasionando un costo de ejecución de \$827.000.000.

La universidad cuenta con un departamento de planta física y servicios generales, los cuales se encargan de realizar las reparaciones correspondientes. Cabe resaltar que, al realizarse un mantenimiento correctivo, la disponibilidad del edificio disminuye y por ende se elevan los costos de mantenibilidad y confiabilidad.

4.2.2. Mantenimiento del ascensor y equipo de iluminación. El mantenimiento que se le realiza actualmente al ascensor del edificio Giordano Bruno es ejecutado por la empresa elevadores integral s.a. la cual tiene un contrato con la universidad por el lapso de un año. Este contrato tiene un valor mensual de \$357.000.

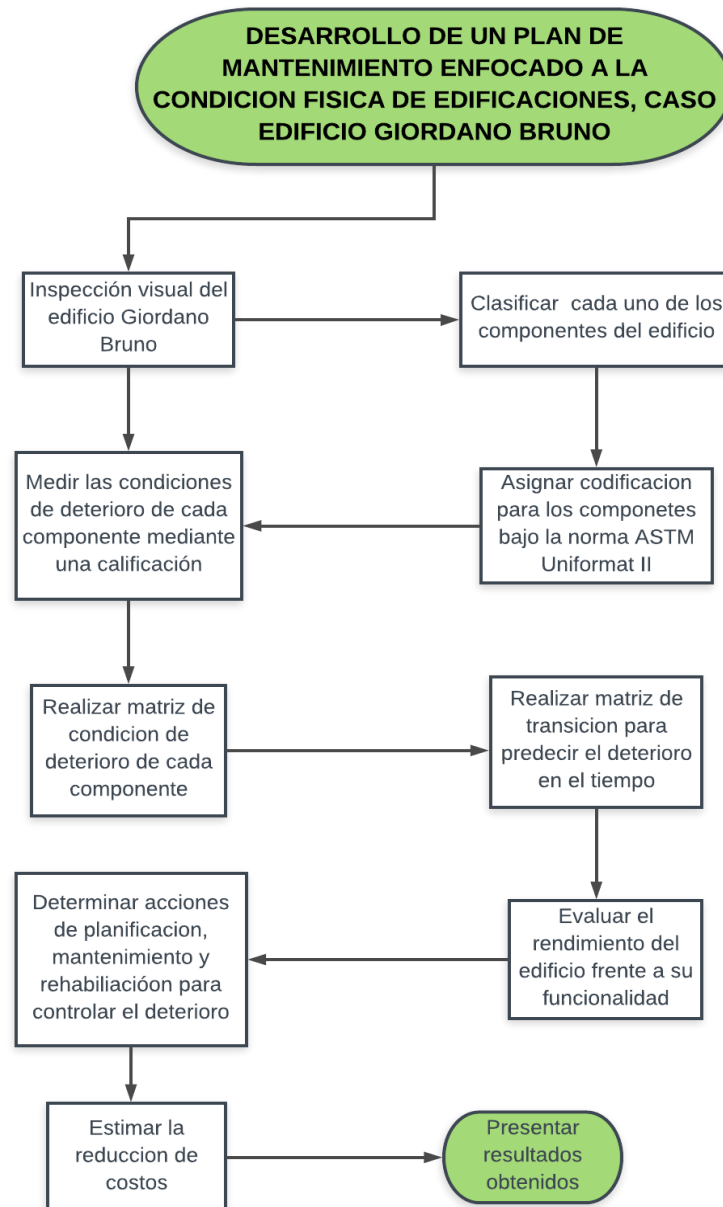
Esta empresa se encarga de realizar inspecciones mensuales en donde verifica el estado de los subcomponentes del ascensor, posteriormente determina si alguno de ellos no se encuentra en óptimas condiciones y procede a reemplazar (mantenimiento correctivo).

El mantenimiento al equipo de iluminación se hace semestral y es un mantenimiento correctivo, este mantenimiento consiste en cambiar los bombillos y lámparas que se encuentran en estado de fallo. Este cambio se le hace a todos los salones y oficinas del edificio Giordano Bruno.

5. DISEÑO METODOLOGICO

Para lograr los objetivos de la investigación se presenta una metodología que se evidencia en un diagrama de bloques en la Figura 1, donde se resumen paso a paso las etapas de dicha investigación.

Figura 1 Etapas de la investigación.



Fuente: Robinson Moreno

La figura 1, presenta un paso a paso de la metodología que se divide en etapas así:

Etapa 1: Recolección de datos, inspección visual de cada uno de los componentes del edificio Giordano Bruno, Clasificación, codificación y calificación de los componentes bajo la norma ASTM Unifomat II.

Etapa 2: Se realizó una matriz de Márkov de deterioro para predecir un estado subsiguiente de los componentes y un FMEA para analizar y buscar fallas potenciales, efectos en los componentes.

Etapa 3: se proyectó el deterioro del ascensor a 5 años mediante las cadenas de Márkov y se realizó un árbol de decisiones para tomar medidas de rehabilitación y mantenimiento.

Etapa 4: Se hizo una proyección de costos de mantenimiento y rehabilitación basado en la variación del IPC y una tabla de actividades de mantenimiento para el ascensor.

6. RESULTADO Y ANALISIS DE RESULTADOS

6.1. CODIFICACION Y CALIFICACION DE LOS COMPONENTES

En la primera etapa, se llevó a cabo una recopilación de información, donde se realizaron inspecciones visuales de la parte interna y externa del edificio Giordano Bruno. La Tabla 4 muestra la información de una sala, una oficina, un laboratorio y un auditorio, esta información corresponde a los equipos de iluminación y los sistemas actuales.

En el anexo A se encuentra la información recopilada en profundidad, en la que se realizó un recorrido por el edificio mediante inspecciones de las salas, laboratorios, auditorios y oficinas. El apéndice también muestra observaciones del estado del cableado, paredes y techos.

Tabla 4 Información de equipo de iluminación y sistema de corriente

SALON/OFICINA	N° DE LAMPARAS	N° DE BOMBILLOS	NIVEL DE ILUMINACION	N° DE TOMAS
207	8	32	872-1326	4
Sala Sistemas 1	8 still led		24-594	29 reguladas
				1 normal
Laboratorio Concretos	24	96	682-1174	4 seguridad
				1 normal
				24 reguladas
				3 trifásicos
Auditorio Mariano Garnica	8 still Led	8 LED	37-356	4 normales
		8 LED en el piso		
Oficina Comunicaciones	4	15	54-487	6 reguladas
				4 normales

Fuente: Robinson Moreno

Por otro lado, se tomaron fotos de cada lugar, lo que evidencia los problemas que cada componente contenía y asignó una calificación según el nivel de deterioro o el estado en el que se encontraron los componentes. La Figura 2 muestra el estado

de deterioro de los diferentes componentes del salón 207; en la parte A se puede ver cómo 3 bombillas no están en condiciones óptimas; En la parte B se evidencia la pintura del techo soplada, así como la humedad; en la parte C se observa el canalón separado y en la parte D hay humedad en la pared.

Figura 2 Estado de deterioro de diferentes componentes del salón 207: a) lámpara; b) techo; c) cableado; d) pared.

A.



B.



C.



D.



Fuente: Robinson Moreno

Posteriormente, el edificio se clasificó utilizando la norma ASTM UNIFORMAT II, esta norma contiene una codificación específica para cada uno de los componentes y subcomponentes. La Tabla 5 muestra tres ejemplos de clasificación y codificación de componentes y subcomponentes del edificio Giordano Bruno de la Universidad Santo Tomas Tunja; Igualmente en el Apéndice se encuentra la información completa.

De acuerdo con la norma ASTM, el edificio está codificado en dos niveles, en el primer nivel están los componentes en general y en el segundo nivel los subcomponentes que se derivan del componente. Un ejemplo de esto es la iluminación y el cableado, que es el componente y, por lo tanto, los dispositivos de cableado, la corriente y los equipos de iluminación que son los subcomponentes.

Tabla 5 Clasificación edificio Giordano Bruno

CODIGO	COMPONENTES	CODIGO	SUBCOMPONENTES
D1010	Elevadores y ascensores	D1013	Ascensor
D5020	iluminación y cableado	D5021	Dispositivos de cableado y corriente
		D5022	Equipos de iluminación
E1090	Otros equipos	E1091	Equipos de mantenimiento

Fuente: Robinson Moreno

Para finalizar la etapa 1, se realizó la calificación de cada uno de los componentes del edificio. Para esto se emplearon siete estados de calificación (tabla 6); cada estado tiene un rango de calificación, la cual se basa en las necesidades de mantenimiento (tabla 7).

Tabla 6 Estado de la condición

Estado de la condicion	Rango de estado	Descripcion
C1	100-98	G+ Clasificacion, Pérdida mínima a ninguna condición
C2	97-91	G Clasificacion, Pérdida de condición leve
C3	90-85	G- Clasificacion, Pérdida de condición menor
C4	84-75	A+ Clasificacion, Condición notable pérdida
C5	74-65	A Clasificacion, Condición significativa pérdida
C6	64-56	A- Clasificacion, Pérdida importante de la condición
C7	<= 55	R Clasificacion, Pérdida de condición severa; en o cerca del fracaso

Fuente. Grussing, MN, Liu, LY, Uzarski, DR, El-Rayes, K., y El-Gohary, N. (2016). Enfoque discreto de Markov para la construcción de modelos de condiciones, confiabilidad y modelado de predicción de vida útil. Diario de funcionamiento de las instalaciones construidas, 30 (5), 04016015. doi: 10.1061 / (asce) cf.1943-5509.0000865

Tabla 7 Estado de la condición

ESTADO	CALIFICACION	NECESIDADES	DEFINICION SEGÚN CALIFICACION
C1	VERDE (+) CI=100-98	El mantenimiento consiste en posibles medidas preventivas (cuando corresponda).	Muestra completa de la sección de componentes o de la muestra de componentes libre de angustia observable o conocida.
C2	VERDE CI=97-91	El mantenimiento consiste en posibles medidas preventivas (cuando corresponda) y reparaciones menores (mantenimiento correctivo) a pocos o algunos subcomponentes. Pocos o algunos subcomponentes.	No hay sección de componentes o capacidad de servicio de la muestra o reducción de la confiabilidad. Algunos, pero no todos los subcomponentes menores (no críticos) pueden sufrir una ligera degradación o pocos subcomponentes importantes (críticos) sufren una leve degradación.
C3	VERDE (-) CI=90-85		Ligera o nula utilidad o reducción de la realización general de la sección o muestra del componente. Algunos, pero no todos, los subcomponentes menores (no críticos) pueden sufrir una degradación menor o más de un subcomponente principal (crítico) pueden sufrir una ligera degradación.
C4	AMARILLO (+) CI=84-75	Mantenimiento o restauración de cualquiera de los siguientes: Reparaciones menores a varios subcomponentes; o	La capacidad de servicio o la fiabilidad de la sección, del componente o la muestra está degradada, pero es adecuada. Muy pocos son los subcomponentes principales (críticos) y estos pueden sufrir un deterioro moderado; quizás muchos subcomponentes menores (no críticos) sufren un grave deterioro.
C5	AMARILLO CI=74-65	Reparación, rehabilitación o reemplazo significativo de uno o más subcomponentes, pero no lo suficiente como para abarcar la sección de componentes en su totalidad; o combinaciones de los mismos.	La sección de componentes, la capacidad de servicio o la confiabilidad de la muestra está definitivamente deteriorada. Algunos, pero no la mayoría de los subcomponentes principales (críticos) pueden sufrir un deterioro moderado y quizás muchos subcomponentes menores (no críticos) sufren un deterioro severo.
C6	AMARILLO (-) CI=64-56		La sección de los componentes o muestra tiene una capacidad de servicio significativo o pérdida de confiabilidad. La mayoría de los subcomponentes pueden sufrir una degradación moderada o algunos subcomponentes importantes (críticos) pueden sufrir una degradación grave.
C7	ROJO (+) CI=55-37	Se requiere mantenimiento o restauración que consiste en reparaciones mayores, rehabilitación o reemplazo de la sección de componentes en su totalidad.	Capacidad significativa de servicio o reducción de la re habilidad en la sección de los componentes o muestra. La mayoría de los subcomponentes están severamente degradados y otros pueden tener diversos grados de degradación.
	ROJO CI=36-11		Capacidad de servicio severa o reducción de la confiabilidad de la sección del componente o la muestra, de manera que apenas pueda realizarla. La mayoría de los subcomponentes están severamente degradados.
	ROJO (-) CI=10-0		La degradación general de la sección de componentes es total. Pocos, si los hay, subcomponentes rescatables. Pérdida completa de la sección de componentes o capacidad de servicio de la muestra.

Fuente. Grussing, MN, Liu, LY, Uzarski, DR, El-Rayes, K., y El-Gohary, N. (2016). Enfoque discreto de Markov para la construcción de modelos de condiciones,

confiabilidad y modelado de predicción de vida útil. Diario de funcionamiento de las instalaciones construidas, 30 (5), 04016015. doi: 10.1061 / (asce) cf.1943-5509.0000865.

Una vez hecha la observación de cada componente, se generó el cuadro de calificación; evaluando en qué estado se encuentra cada subcomponente. Como ejemplos se muestran las calificaciones de los componentes D1013-Ascensor (tabla 8) y D5022-Equipo de iluminación (tabla 9). En el anexo C se encuentra la calificación de todos los subcomponentes del edificio.

Tabla 8 Calificación componente D1013-Ascensor

COMPONENTE	INSPECCION 1		INSPECCION 2		INTERVALO OBSERVACION	SECCION
	CALIFICACION	ESTADO	CALIFICACION	ESTADO		
D1013	95	C2	90	C3	1 AÑO	ALARMA
D1013	95	C2	92	C2	1 AÑO	AMORTIGUADOR
D1013	98	C1	95	C2	1 AÑO	BASTIDOR DE LA CABINA
D1013	95	C2	92	C2	1 AÑO	BOTONERA
D1013	90	C3	87	C3	1 AÑO	CABECERO DE PUERTA
D1013	95	C2	93	C2	1 AÑO	CABINA
D1013	93	C2	90	C3	1 AÑO	CABLE MULTIPLE
D1013	95	C2	90	C3	1 AÑO	CABLES DE LA SUSPENSION
D1013	95	C2	93	C2	1 AÑO	CABLES DE MANIOBRA
D1013	95	C2	91	C3	1 AÑO	CABLES DE TRACCION
D1013	91	C3	90	C3	1 AÑO	CABLES DEL CONTRAPESO
D1013	97	C2	95	C2	1 AÑO	CHASIS DE CABINA
D1013	95	C2	93	C2	1 AÑO	COMANDO DE CABINA
D1013	97	C2	96	C2	1 AÑO	CONEXIONES DE FUERZA
D1013	99	C1	98	C1	1 AÑO	CONTRAPESO

Tabla 8 (continuación)

COMPONENTE	INSPECCION 1		INSPECCION 2		INTERVALO OBSERVACION	SECCION
	CALIFICACION	ESTADO	CALIFICACION	ESTADO		
D1013	95	C2	90	C3	1 AÑO	CORONA DENTADA
D1013	98	C1	97	C2	1 AÑO	CORTINA ELECTRONICA
D1013	95	C2	91	C3	1 AÑO	CUADRO DE MANIOBRA
D1013	99	C1	98	C1	1 AÑO	FOSO
D1013	90	C3	80	C3	1 AÑO	FRENO
D1013	98	C1	97	C2	1 AÑO	GRUPO TRACTOR
D1013	96	C2	95	C2	1 AÑO	GUIAS DE CONTRAPESO
D1013	99	C1	97	C2	1 AÑO	GUIAS DE RODILLOS
D1013	95	C2	90	C3	1 AÑO	HEMBRILLA
D1013	89	C3	84	C4	1 AÑO	HIDRAULICO DE APERTURA
D1013	98	C1	84	C4	1 AÑO	HIDRAULICO DE CIERRE
D1013	84	C4	82	C4	1 AÑO	INTERRUPTOR DE RECORRIDO
D1013	84	C4	82	C4	1 AÑO	INTERRUPTOR FINAL DE RECORRIDO

Tabla 8 (continuación)

COMPONENTE	INSPECCION 1		INSPECCION 2		INTERVALO OBSERVACION	SECCION
	CALIFICACION	ESTADO	CALIFICACION	ESTADO		
D1013	93	C2	90	C3	1 AÑO	LIMITADOR DE VELOCIDAD
D1013	74	C5	70	C5	1 AÑO	LUZ CABINA
D1013	95	C2	93	C2	1 AÑO	MOTOR
D1013	89	C4	87	C4	1 AÑO	OPERADOR DE PUERTAS
D1013	98	C1	96	C2	1 AÑO	PARACAIDAS
D1013	98	C1	95	C2	1 AÑO	PATIN RETRACTIL
D1013	95	C2	93	C2	1 AÑO	PILAR DE TORRE
D1013	97	C2	95	C2	1 AÑO	PISO DE LA CABINA
D1013	93	C2	90	C3	1 AÑO	POLEA DEL LIMITADOR
D1013	90	C3	84	C4	1 AÑO	POLEA PROTECTORA
D1013	95	C2	93	C2	1 AÑO	POLEA TENSORA
D1013	90	C3	84	C4	1 AÑO	POLEA TRACTORA
D1013	95	C2	90	C3	1 AÑO	QUICIOS Y CERRADURAS
D1013	95	C2	90	C3	1 AÑO	REDUCTOR
D1013	95	C2	93	C2	1 AÑO	REGULADOR

Tabla 8 (continuación)

COMPONENTE	INSPECCION 1		INSPECCION 2		INTERVALO OBSERVACION	SECCION
	CALIFICACION	ESTADO	CALIFICACION	ESTADO		
D1013	98	C1	97	C2	1 AÑO	RELE TERMICO
D1013	95	C2	90	C3	1 AÑO	RODAPIE
D1013	90	C3	82	C4	1 AÑO	RODAMIENTOS
D1013	98	C1	97	C2	1 AÑO	REJILLA DE VENTILACION
D1013	97	C2	95	C2	1 AÑO	RIELES
D1013	98	C1	97	C2	1 AÑO	SENSOR AUTOMATICO PUERTA
D1013	90	C3	87	C3	1 AÑO	SEÑALES ASCENSOR
D1013	95	C2	90	C3	1 AÑO	SEÑALES DEL HALL
D1013	97	C2	95	C2	1 AÑO	SISTEMA DE ACUÑAMIENTO
D1013	92	C2	90	C3	1 AÑO	SISTEMA DE LUBRICACION
D1013	98	C1	95	C2	1 AÑO	SOPORTE EJE
D1013	95	C2	90	C3	1 AÑO	SOPORTE HEMBRILLA
D1013	90	C3	88	C3	1 AÑO	TORNILLO SINFIN
D1013	84	C4	80	C4	1 AÑO	VARIADOR DE VELOCIDAD
D1013	96	C2	90	C3	1 AÑO	VIGA ESTRUCTURA
D1013	95	C2	90	C3	1 AÑO	VIGA TORRE

Fuente: Robinson Moreno

La calificación de cada subcomponente del ascensor se asignó en base a los informes realizados por la empresa Elevadores Integrales S.A, la cual es la encargada de las revisiones periódicas y del mantenimiento del ascensor.

La calificación del equipo de iluminación (tabla 8) se hizo en base a los informes proporcionados por planta física de la universidad; donde se evidencia las ordenes de trabajo para este componente.

Tabla 9 Calificación componente D5022-Equipo de iluminación

COMPONENTE	INSPECCION 1		INSPECCION 2		INTERVALO OBSERVACION	OFICINA O SALON
	CALIFICACION	ESTADO	CALIFICACION	ESTADO		
D5022	97	C2	95	C2	1 AÑO	101
D5022	97	C2	95	C2	1 AÑO	102
D5022	98	C1	98	C1	1 AÑO	103
D5022	95	C2	95	C2	1 AÑO	201
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	202
D5022	99	C1	97	C2	1 AÑO	203
D5022	95	C2	87	C3	1 AÑO	204
D5022	90	C3	87	C3	1 AÑO	205
D5022	95	C2	90	C3	1 AÑO	206
D5022	90	C3	77	C4	1 AÑO	207
D5022	98	C1	90	C3	1 AÑO	208
D5022	98	C1	84	C4	1 AÑO	209
D5022	95	C2	84	C4	1 AÑO	210
D5022	95	C2	79	C4	1 AÑO	301
D5022	95	C2	87	C3	1 AÑO	302
D5022	95	C2	90	C3	1 AÑO	303
D5022	98	C1	84	C4	1 AÑO	304
D5022	99	C1	80	C4	1 AÑO	305
D5022	99	C1	87	C3	1 AÑO	306
D5022	99	C1	64	C6	1 AÑO	307
D5022	98	C1	82	C4	1 AÑO	308

Tabla 9 (continuación)

COMPONENTE	INSPECCION 1		INSPECCION 2		INTERVALO OBSERVACION	OFICINA O SALON
	CALIFICACION	ESTADO	CALIFICACION	ESTADO		
D5022	98	C1	98	C1	1 AÑO	309
D5022	100	C1	99	C1	1 AÑO	401
D5022	100	C1	99	C1	1 AÑO	AUDITORIO ALVARO GALVIS
D5022	100	C1	99	C1	1 AÑO	AUDITORIO BICENTENARIO
D5022	100	C1	99	C1	1 AÑO	AUDITORIO MARIANO GARNICA
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	BIENESTAR
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	CIFA
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	COORDINACION LAB. CIVIL
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	CUARTO ASEO
D5022	99	C1	97	C1	1 AÑO	CUARTO DE BOMBAS
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	CUARTO DE MANTENIMIENTO
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	FACULTAD AMBIENTAL
D5022	100	C1	98	C1	1 AÑO	FACULTAD AQRUIECTURA
D5022	100	C1	98	C1	1 AÑO	FACULTAD CIVIL
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	FACULTAD MECANICA
D5022	100	C1	98	C1	1 AÑO	LABORATORIO AMBIENTAL

Tabla 9 (continuación)

COMPONENTE	INSPECCION 1		INSPECCION 2		INTERVALO OBSERVACION	OFICINA O SALON
	CALIFICACION	ESTADO	CALIFICACION	ESTADO		
D5022	99	C1	90	C2	1 AÑO	LABORATORIO CONCRETOS
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	LABORATORIO GEOTECNIA
D5022	99	C1	92	C2	1 AÑO	LABORATORIO HIDRAULICA
D5022	99	C1	81	C4	1 AÑO	LABORATORIO MECANICA
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	OFICINA COMUNICAIONES
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	RAC
D5022	100	C1	98	C1	1 AÑO	RECTORIA
D5022	100	C1	98	C1	1 AÑO	SALA SISTEMAS 1
D5022	100	C1	98	C1	1 AÑO	SALA SISTEMAS 2
D5022	100	C1	98	C1	1 AÑO	SALA SISTEMAS 3
D5022	99	C1	98	C1	1 AÑO	SECRETARIA DIVISION

Fuente: Robinson Moreno

6.2. ESTADO DE DETERIORO DE LOS COMPONENTES

La etapa dos inicia con la matriz de transición, la cual tiene en cuenta la calificación; esta se genera por medio del comando CONTAR.SI.CONJUNTO el cual se utiliza en Excel. Este comando compara las dos inspecciones y al mismo tiempo genera un conteo de cada estado.

Se tomaron como ejemplos los componentes D1013-Ascensor y D5022-Equipo de iluminación. A continuación, se evidencia la matriz de transición del ascensor (tabla 10). Esta matriz se generó teniendo en cuenta como mínimo dos observaciones.

Tabla 10 Matriz de transición componente D1013-Ascensor

		INSPECCION 2							
INSPECCION 1		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	TOTAL
	C1	2	9	0	1	0	0	0	12
	C2	0	15	17	0	0	0	0	32
	C3	0	0	5	4	0	0	0	9
	C4	0	0	0	4	0	0	0	4
	C5	0	0	0	0	1	0	0	1
	C6	0	0	0	0	0	0	0	0
	C7	0	0	0	0	0	0	0	0

Adaptado de: Michael N. Grussing. Discrete Markov Approach for Building Component Condition, Reliability, and Service-Life Prediction Modeling. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0000865>

Luego de haber generado la matriz de transición se procede a crear la matriz de probabilidad de transición del componente D1013-Ascensor (tabla 11), la cual es el porcentaje de cada uno de los estados.

Tabla 11 Matriz de probabilidad de transición componente D1013- Ascensor

		INSPECCION 2						
INSPECCION 1		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	C1	16.7 %	75.0 %	0.0 %	8.3 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C2	0.0 %	46.9 %	53.1 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C3	0.0 %	0.0 %	55.6 %	44.4 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C4	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C5	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100 %	0.0 %	0.0 %
	C6	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C7	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %

Adaptado de: Michael N. Grussing. Discrete Markov Approach for Building Component Condition, Reliability, and Service-Life Prediction Modeling. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0000865>

Tabla 12 Matriz de deterioro componente D1013- Ascensor

		ESTADO SUBSIGUIENTE						
ESTADO INICIAL		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	C1	2.8 %	47.7 %	39.8 %	9.7 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C2	0.0 %	22.0 %	54.4 %	23.6 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C3	0.0 %	0.0 %	30.9 %	69.1 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C4	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C5	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100 %	0.0 %	0.0 %
	C6	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C7	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %

Adaptado de: Michael N. Grussing. Discrete Markov Approach for Building Component Condition, Reliability, and Service-Life Prediction Modeling. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0000865>

Según los resultados que arroja la matriz de deterioro del componente D1013-Ascensor (Tabla 12) para un estado inicial C2; significa que hay una probabilidad del 22.0% de que continúe en ese estado, un 54.4% de que caiga a un estado inferior y que llegue a un deterioro de estado subsiguiente con una probabilidad del 23.6%.

Posteriormente se realizó la matriz de transición, matriz de probabilidad y matriz de deterioro para el componente equipo de iluminación como se hizo para el componente del ascensor.

La matriz de transición es el año cero de la inspección, esto quiere decir que es la primera inspección. Los resultados de dicha matriz corresponden al estado actual de cómo se encuentran los componentes, en este caso el componente es el equipo de iluminación (tabla 13).

Tabla 13 Matriz de transición componente D5022-Equipo de iluminación

		INSPECCION 2							
INSPECCION 1		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	TOTAL
	C1	26	3	2	5	0	1	0	37
	C2	0	3	4	2	0	0	0	9
	C3	0	0	1	1	0	0	0	2
	C4	0	0	0	0	0	0	0	0
	C5	0	0	0	0	0	0	0	0
	C6	0	0	0	0	0	0	0	0
	C7	0	0	0	0	0	0	0	0

Adaptado de: Michael N. Grussing. Discrete Markov Approach for Building Component Condition, Reliability, and Service-Life Prediction Modeling. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0000865>

La matriz de probabilidad es el porcentaje de cada uno de los estados de la matriz de transición (tabla 14). Por consiguiente, esta probabilidad se utiliza para hallar el estado de deterioro de cada uno de los componentes.

Tabla 14 Matriz de probabilidad de transición componente D5022-Equipo de iluminación

INSPECCION 2								
INSPECCION 1		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	C1	70.3 %	8.1 %	5.4 %	13.5 %	0.0 %	2.7 %	0.0 %
	C2	0.0 %	33.3 %	44.4 %	22.2 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C3	0.0 %	0.0 %	50.0 %	50.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C4	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C5	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C6	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C7	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %

Adaptado de: Michael N. Grussing. Discrete Markov Approach for Building Component Condition, Reliability, and Service-Life Prediction Modeling. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0000865>

Tabla 15 Matriz de deterioro componente D5022-Equipo de iluminación

ESTADO SUBSIGUIENTE								
ESTADO INICIAL		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	C1	49.4 %	8.4 %	10.1 %	14.0 %	0.0 %	1.9 %	0.0 %
	C2	0.0 %	11.1 %	37.0 %	29.6 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C3	0.0 %	0.0 %	25.0 %	25.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C4	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C5	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C6	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	C7	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %

Adaptado de: Michael N. Grussing. Discrete Markov Approach for Building Component Condition, Reliability, and Service-Life Prediction Modeling. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0000865>

Según los resultados que arroja la matriz de deterioro del componente D5022-equipo de iluminación (tabla 15); para un estado inicial C2 significa que hay una probabilidad del 11.1% de que continúe en ese estado, un 37% de que caiga a un

estado inferior y que llegue a un deterioro de estado subsiguiente con una probabilidad del 29.6%.

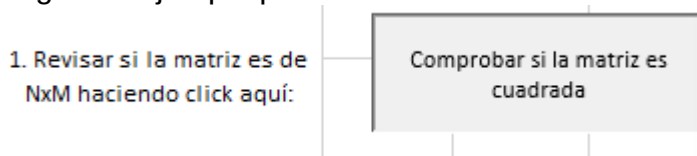
Para calcular la matriz de deterioro se realizó una programación en visual Basic el cual contiene cuatro módulos que se explican a continuación:

6.2.1. Primer modulo

```
Sub mxm()  
If Hoja1.Cells(2, 7).Value = Hoja1.Cells(3, 7).Value And Hoja1.Cells(4, 7) =  
(Hoja1.Cells(2, 7).Value * Hoja1.Cells(3, 7).Value) Then  
MsgBox "La Matriz si es cuadrada"  
Else  
MsgBox "La matriz no es cuadrada o faltan datos"  
End If  
End Sub
```

En este primer módulo (figura 3) el programa verifica que el número de filas sea igual al número de columnas, esto quiere decir que la matriz es cuadrada; si no se cumple con esto se genera un error.

Figura 3 Ejemplo primer modulo



Fuente: Robinson Moreno

6.2.2. Segundo modulo

```
Sub positivos()  
columnas = Hoja1.Cells(3, 7).Value  
filas = Hoja1.Cells(2, 7).Value  
c = 0  
For i = 1 To columnas  
For j = 1 To filas  
If Hoja2.Cells(i, j) < 0 Then  
MsgBox "Hay uno o mas valores negativos, LA PROBABILIDAD NO PUEDE SER  
NEGATIVA"  
Hoja2.Cells(i, j).Interior.Color = RGB(0, 0, 200)  
filas = 0  
c = 1  
End If  
If Hoja2.Cells(i, j) > 1 Then
```

```

MsgBox "Hay uno o mas valores mayores que uno, LA PROBABILIDAD NO PUEDE
SER MAYOR QUE UNO"
Hoja2.Cells(i, j).Interior.Color = RGB(0, 0, 200)
c = 1
End If
Next
Next
If c = 0 Then
MsgBox "Todo OK"
End If
End Sub

```

El segundo módulo (figura 4) se asignan las filas y columnas del primer módulo, en donde el programa hace un recorrido por toda la matriz y verifica que cada número sea positivo y que no sea mayor que uno. Si algún número no cumple con estas condiciones el programa resalta el número que está generando el error en la matriz.

Figura 4 Ejemplo segundo modulo

2. Comprobar que todos los elementos de la matriz sean positivos y menores que 1	Comprobar probabilidades
--	--------------------------

Fuente: Robinson Moreno

6.2.3. Tercer modulo

```

Sub Fila1()
columnas = Cells(3, 7).Value
filas = Cells(2, 7).Value
For i = 1 To columnas
sum = 0
For j = 1 To filas
sum = sum + Hoja2.Cells(i, j).Value
Next
Hoja1.Cells(i + 9, 2) = "Sumatoria Fila " & i
Hoja1.Cells(i + 9, 3).Value = sum
If sum > 1 Then
Hoja1.Cells(i + 9, 4).Value = "No cumple"
Else
Hoja1.Cells(i + 9, 4).Value = "Si cumple"
End If
Next
End Sub

```

El tercer módulo (figura 5) verifica que la sumatoria de cada fila de la matriz sea igual a uno, esto se hace mediante un acumulador, el cual va sumando cada número de las filas de la matriz.

Figura 5 Ejemplo tercer modulo



Fuente: Robinson Moreno

6.2.4. Cuarto modulo

Sub Chapman()

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim n As Integer

Dim k As Integer

Dim sum As Double

Dim cont As Integer

Dim e As Integer

a = 0

n = InputBox("Entrar el número de pasos para la probabilidad", "Chapman-Kolmogorov")

cont = Hoja1.Cells(2, 7)

Dim P() As Double

ReDim P(cont, cont)

For i = 1 To cont

For j = 1 To cont

P(i, j) = Hoja2.Cells(i, j).Value

Next j

Next i

e = 1

While e < n

For i = 1 To cont

For j = 1 To cont

If e <= 1 Then

Hoja3.Cells(i, j).Value = P(i, j)

Else

Hoja3.Cells(i, j).Value = Hoja4.Cells(i, j).Value

End If

Next

Next

i = 0

For i = 1 To cont

```

For j = 1 To cont
sum = 0
For k = 1 To cont
sum = sum + P(i, k) * Hoja3.Cells(k, j).Value
Next
Hoja4.Cells(i, j).Value = sum
If sum = Hoja2.Cells(i, j).Value Then
a = a + 1
End If
Next
Next
e = e + 1
Wend
If a <> 0 Then
MsgBox ("Matriz Periodica")
Else
MsgBox ("Matriz aperiodica")
End If
MsgBox ("Resultado de P^n en la hoja 4")
End Sub

```

El ultimo modulo (figura 6) es donde se calcula la matriz de deterioro, esta matriz depende del tiempo al cual se quiere predecir el deterioro de cada componente. Esto se hace por medio de la cadena de Márkov. Márkov es un modelo matemático que se utilizó en la investigación para predecir el deterioro de cada uno de los componentes del edificio. Este modelo presenta transiciones de un estado a otro. Por otra parte, contiene un acumulador que va multiplicando p^n , en donde p es la matriz del estado inicial y n es el número de pasos (años) a los que se quiere calcular el deterioro.

Figura 6 Ejemplo cuarto modulo

Usar Cadena de Markov para calcular P^n
y comprobar periodicidad de la matriz

Chapman-Kolmogorov

Entrar el numero de pasos para la probabilidad

Aceptar

Cancelar

Fuente: Robinson Moreno

Luego de generar cada una de las matrices se procede, a hallar el deterioro en cada uno de los componentes, para eso se halló un índice de confiabilidad (CI) y un índice de probabilidad (RI), el cual muestra el porcentaje que tiene el componente de permanecen en un estado (tabla 16). Estos índices se generan bajo todas las matrices durante los cinco años de predicción, estas matrices de deterioro, de todos los componentes del edificio se encuentran en el apéndice D.

Estos índices también sirven para tomar decisiones respecto a mantenimiento, esto quiere decir que si un componente contiene un índice alto se debe mantener en ese estado; pero, si por el contrario está en un estado bajo es necesario reemplazar o rehabilitar, lo cual generaría sobre costos de mantenimiento.

Tabla 16 Índice de condición y de probabilidad

	100	91	85	75	65	56	30		
t	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	CI	RI
0	17%	75%	0%	8%	0%	0%	0%	91	100%
1	3%	48%	40%	10%	0%	0%	0%	87	100%
2	0%	24%	47%	28%	0%	0%	0%	84	100%
3	0%	12%	39%	49%	0%	0%	0%	81	100%
4	0%	6%	28%	66%	0%	0%	0%	79	100%
5	0%	3%	19%	79%	0%	0%	0%	77	100%

Fuente: Robinson Moreno

El índice CI para el año 5 se calcula así:

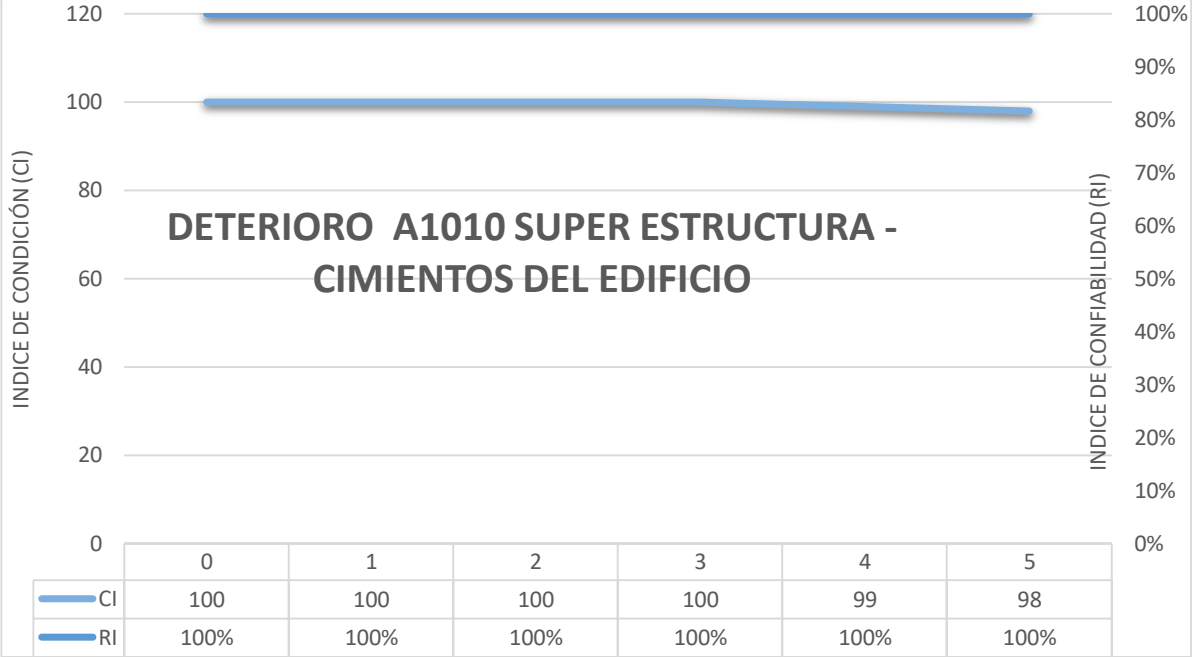
$$CI = (0,03 \cdot 91) + (0,19 \cdot 85) + (0,79 \cdot 75) = 77$$

El índice RI para el año 5 se calcula así:

$$RI = 0.03 + 0.19 + 0.79 = 100 \%$$

Si un componente presenta un porcentaje en el estado C7, este no se suma para hallar el RI; ya que es un estado de falla y no se tiene en cuenta para la probabilidad. Para analizar y evidenciar el deterioro del edificio, se realizaron unas graficas que se observan a continuación:

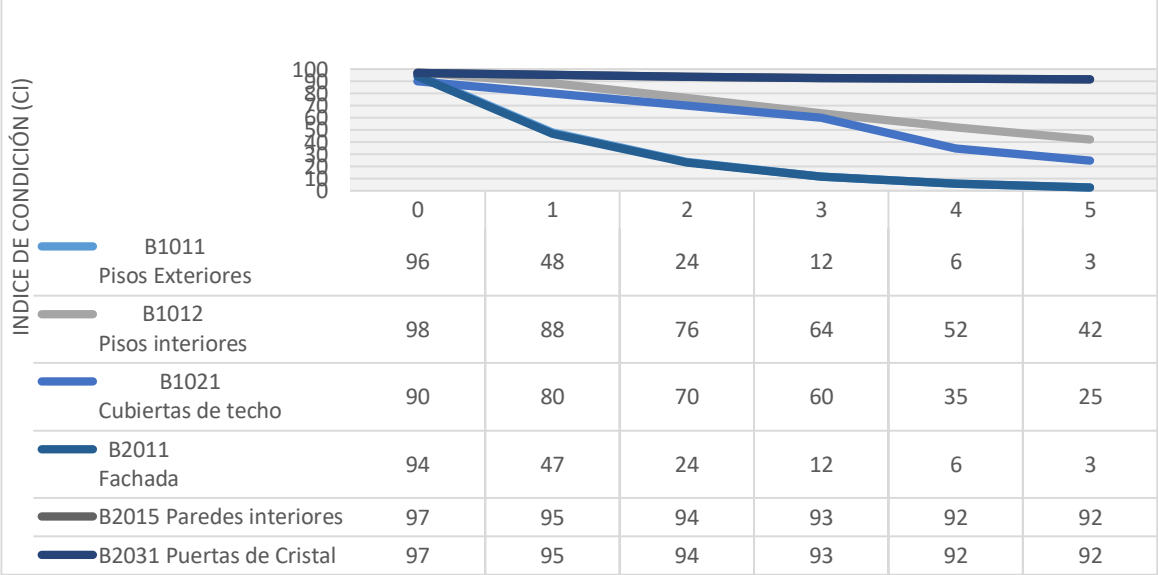
Figura 7 Deterioro de la superestructura del edificio



Autor: Robinson Moreno

El deterioro de la superestructura (figura 7) del edificio es bajo ya que la vida útil de un activo como el edificio Giordano Bruno es de aproximadamente 50 años.

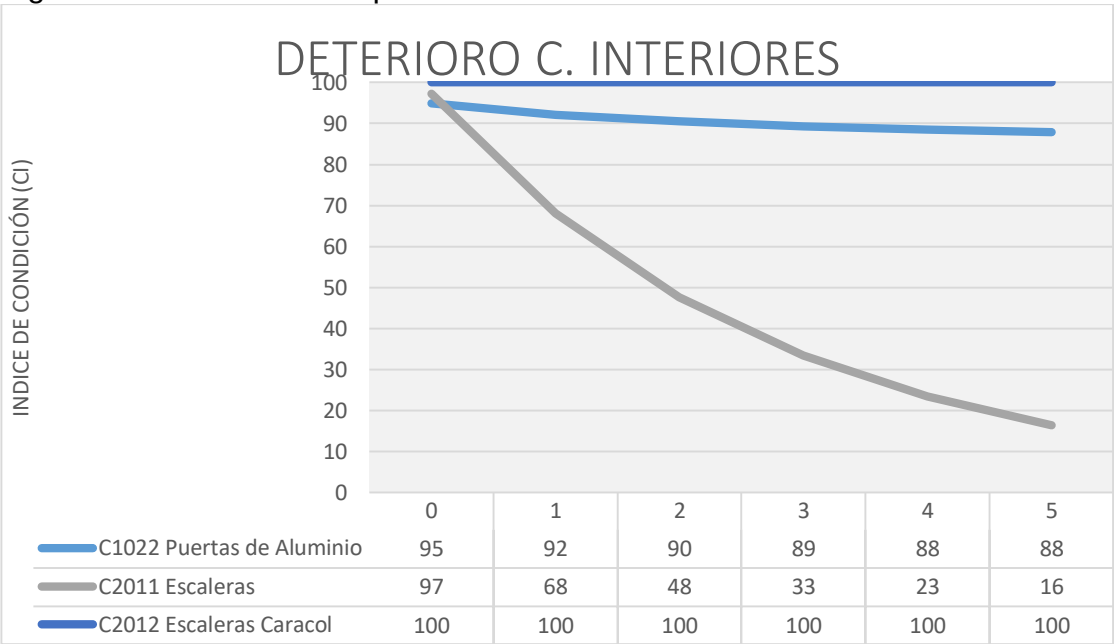
Figura 8 Deterioro de cubiertas, pisos, fachada, puertas y paredes



Fuente: Robinson Moreno

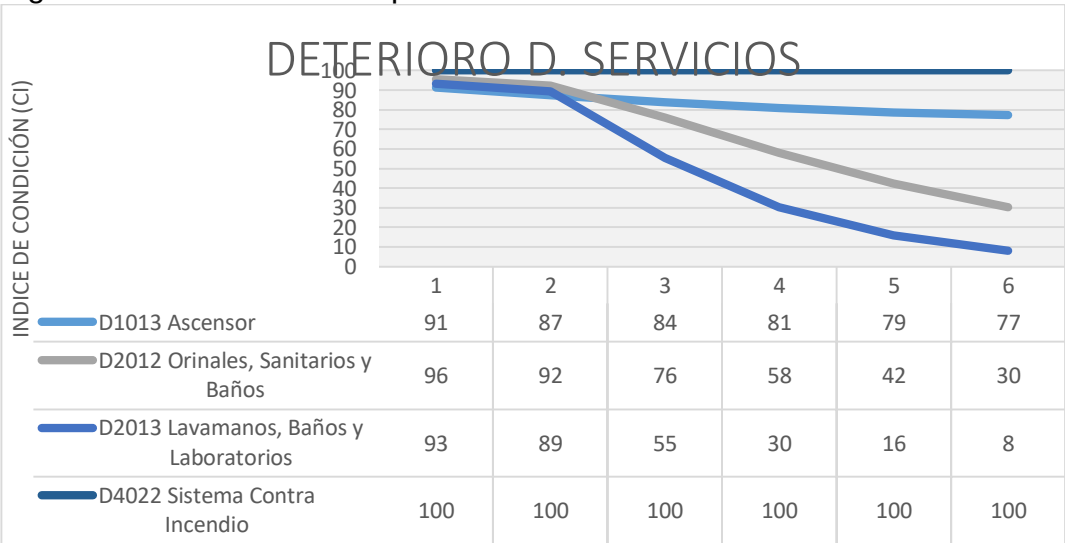
El deterioro de los componentes de la figura 8, se observa que la fachada es la que más sufre deterioro al cabo de 5 años, esto se debe a que este componente se encuentra en el exterior del edificio y está sometido a los cambios del clima.

Figura 9 Deterioro de componentes exteriores



Fuente: Robinson Moreno

Figura 10 Deterioro de componentes de servicio



Fuente: Robinson Moreno

El deterioro del ascensor al cabo de los 5 años, ya que la mayoría de los subcomponentes tiene una vida útil alta. Por otro lado, lo que más tiene deterioro en la figura 10 son los lavamanos, los cuales necesitan de un mantenimiento planificado.

Para finalizar con esta etapa, se desarrolló un análisis de modo y efecto de fallas (FMEA), el cual permite identificar los diferentes tipos de fallas. Como ejemplos en la tabla 17 se encuentra el FMEA del componente mecánico D1013 (ascensor) y en la tabla 18 se encuentra el FMEA del componente D5022 (equipo de iluminación). En el FMEA se recopiló y se clasificó información respecto a la evaluación de fallas de dichos componentes.

Tabla 17 FMEA ascensor

Equipo / Sistema	Modo de Falla	Efectos	Causas	Método de Detección	S	O	D	NPR Inicial	Acciones Recomendadas	Responsable	S	O	D	NPR Final
GRUPO DE ELEVACION Y CABINA	Mirilla de puerta	No se realiza la deteccion del usuario	La puerta no acciona automaticamente	Mirilla de puerta rota con abolladura	6	8	4	192	Inspeccion mensual y verificacion de alineacion del haz luminoso	Contratista de mantenimiento	6	5	3	90
				Mirilla suelta o desajustada										
				Alineacion del haz luminoso con la fotocelda										
	Puertas de acceso	Se observa excesiva holgura en las puertas de acceso	Mecanismos operadores defectuosos	Rieles de rodadura gastados y puertas desalineadas	5	6	3	90	Inspeccion mensual, verificacion de holguras, plomada y alineamiento	Contratista de mantenimiento	5	3	2	30
		En condiciones normales de funcionamiento, las puertas no estan cerradas ni enclavadas correctamente.	Programa PLC defectuoso	Desprogramacion inadecuada o fallos del PLC					Inspeccion mensual, verificacion de programacion y funcionamiento del PLC.					
	Contrapeso	El mando de medicion de pesaje de carga se encuentra desajustado.	Movimientos polea tractora	Falla en el equilibrio del ascensor	4	2	4	32	Equilibrar la carga para facilitar el trabajo del motor y no forzarlo	Contratista de mantenimiento	4	2	3	24

Tabla 17 (continuación)

Equipo / Sistema		Modo de Falla	Efectos	Causas	Método de Detección	S	O	D	NPR Inicial	Acciones Recomendadas	Responsable	S	O	D	NPR Final
GRUPO DE ELEVACION Y CABINA	Paracaidas	Sistema de paracaidas no detiene de forma correcta el	Problemas en sistema de acuíñamiento	Golpes y desgastes por rotura	Limitador de velocidad sobrepasa los límites	7	4	4	112	Mantenimiento aceites y verificar rozaduras en sistemas de	Contratista de mantenimiento	6	4	3	72
	Bastidor	Zapatas flojas	Desgaste de zapatras	Error en el montaje de zapatras	Desajuste en el recorrido de la zapata	5	5	3	75	Verificar estado de las zapatras y ajuste ideal	Contratista de mantenimiento	5	4	3	60
		Rodamientos en mal estado	Desalineamiento en la polea	Falta de mantenimiento de preventivo	Sonido irregular cuando la cabina se encuentra en movimiento	4	3	4	48	Reemplazar rodamientos	Contratista de mantenimiento	2	3	4	24
	Botonera	Pulsadores de control deteriorados	Averia de tarjeta electronica	Golpes y mal uso de los usuarios	Pulsadores no responden a su respectiva funcion	3	5	3	45	Realizar mantenimiento preventivo a pulsadores y tarjeta electronica	Contratista de mantenimiento	3	4	3	36

Tabla 17 (continuacion)

Equipo / Sistema		Modo de Falla	Efectos	Causas	Método de Detección	S	O	D	NPR Inicial	Acciones Recomendadas	Responsable	S	O	D	NPR Final
GRUPO DE TRACCION	Motor	Motor no arranca	Motor averiado	No llega potencia ideal	Motor sin continuidad	8	2	6	96	Revisar continuidad en el motor	Contratista de mantenimiento	8	2	4	64
		Motor no gira	Rodamientos del motor dañados	Daños en el bobinado	Frecuencia de trabajo irregular					Reeemplazar rodamiento					
	Moto reductor	Falla en el reductor	Falta de cuña	Falta de lubricacion	Eje partido	8	4	3	96	Realizar acciones de mantenimiento mediante termografía o ensayo de vibraciones.	Contratista de mantenimiento	8	3	3	72
			Dientes desgastados	Rodamientos en mal estado											
	Polea tractora	Ruptura de polea	Daño eje de la corona	Salto de la correa por estiramiento	Eje de la corona o polea con ruptura	8	3	2	48	Verificar si la correa presenta algun estiramiento	Contratista de mantenimiento	7	2	3	42
	Freno	Variacion en la frecuencia de frenado	Desgaste en el regulador del freno	Problemas en las zapatas de freno	Paradas fuera de cada piso	6	5	2	60	Verificar frecuencia de frenado	Contratista de mantenimiento	6	4	2	48
	Volante	Movimientos brsucos del volante	Variacion en las aceleraciones del volante	Holqura entre coronas y sin fin	No aporta una inercia adicional al ascensor	3	2	6	36	Realizar inspecciones donde se verifiquen las	Contratista de mantenimiento	3	2	2	12

Tabla 17 (continuacion)

Equipo / Sistema		Modo de Falla	Efectos	Causas	Método de Detección	S	O	D	NPR Inicial	Acciones Recomendadas	Responsable	S	O	D	NPR Final
GRUPO DE MANIOBRA O CONTROL	Conmutadores	Error en parada y subida del ascensor en cada piso	No se reciben las ordenes dadas desde la cabina	Falta de mantenimiento en conmutadores	El conmutador recibe ordenes erradas desde la cabina	7	3	2	42	Realizar mantenimiento correctivo o preventivo	Contratista de mantenimiento	6	3	1	18
	Rele programable	Falla de señales recibidas en el limitador de velocidad	Falla en la logica de paradas de emergencia y finales de carrera	Rele defectuoso	Aumento de velocidad en finales de carrera	5	3	4	60	Cambio o reestauracion del rele programable	Contratista de mantenimiento	5	2	4	40
	Transistores	Transistor en corto o abierto con alguna de sus conexiones	Corriente que pasa por el transistor es limitada	Falla en los indicadores opticos y acusticos de la cabina	Botones e indicadores fuera de servicio	8	5	3	120	Reemplazar el transistor	Contratista de mantenimiento	7	4	3	84
	Circuitos integrados internos	Corto circuito en entrada de pastillas	Daño en conexión interna	Defecto en fabricacion del componente	Fuciomamiento inadecuado en el circuito	7	4	4	112	Revisar conexiones internas	Contratista de mantenimiento	7	3	3	63
	Circuitos integrados externos	Circuito abierto en una terminal o conector	Cable roto	Defecto en fabricacion del componente	Cables en contacto	7	5	3	105	Revisar si existe algun cable roto	Contratista de mantenimiento	6	4	3	72

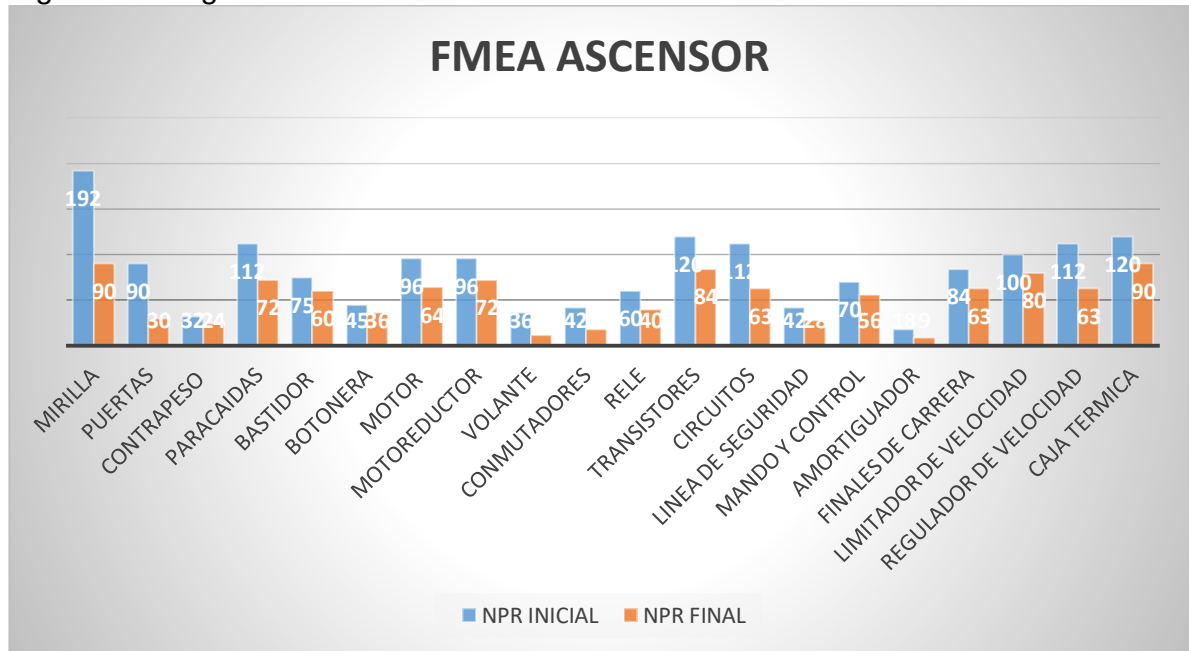
Tabla 17 (continuacion)

Equipo / Sistema		Modo de Falla	Efectos	Causas	Método de Detección	S	O	D	NPR Inicial	Acciones Recomendadas	Responsable	S	O	D	NPR Final
COMPONENTES DE SEGURIDAD	Línea de circuito de seguridad	Circuito no reporta estado del ascensor	Anomalia en componente del grupo de traccion	Averia en circuito de seguridad	No se detecta parada en el ascensor	7	2	3	42	Inspeccion a circuito de seguridad	Contratista de mantenimiento	7	2	2	28
	Mando y control	Barreras de seguridad de las puertas se encuentran averiadas	Afecta el funcionamiento del ascensor	La cabina no se encuentra en una posicion adecuada	Desnivel en la cabina	7	5	2	70	Revisar tolerancias entre la cabina y cada piso	Contratista de mantenimiento	7	4	2	56
	Amortiguador	Aceleracion del ascensor al momento de frenar	Daño en cabina y demas componentes del ascensor	Falta de mantenimiento preventivo del amortiguador	Aumento de aceleracion en la cabina	9	1	2	18	Revisar mantenimiento preventivo	Contratista de mantenimiento	9	1	1	9
	Finales de carrera	Daño en circuito de maniobra del motor	La cabina sobrepasa los limites en alguno de los sentidos	Final de carrera averiado	Cabina rebasa alguna posicion extrema	7	4	3	84	Realizar cambio de finales de carrera	Contratista de mantenimiento	7	3	3	63
	Limitador de velocidad	Daño en el interruptor del limitador de	No se interrumpe el paso de la corriente del motor	Averia en interruptor del limitador	Paso de corriente al motor constante	5	5	4	100	Cambiar el interruptor del limitador de	Contratista de mantenimiento	5	4	4	80
	Regulador de velocidad	Poleas del regulador desalineadas	Vibraciones y ruidos	Desplazamientos de la cabina	Cambios bruscos de velocidad	7	4	4	112	verificar cambios en la velocidad de la cabina	Contratista de mantenimiento	7	3	3	63
	Caja termica	Breaker de la caja dañado	La energia suministrada de la caja hacia el ascensor no es la optima	Interruptor automatico averiado	Cortos circuitos en el tablero de control	6	4	5	120	cambiar breaker o interruptor automatico de la caja termica	Contratista de mantenimiento	6	3	5	90

Fuente: Moreno Robinson, Adaptado de: Ingeniería Industrial. (2019). Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). [online] Available at: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>

En el FMEA se listan los diferentes tipos de falla para el ascensor, como se observa en la figura 11 el efecto que contiene cada falla y los valores de severidad, ocurrencia y detección.

Figura 11 Diagrama de Pareto de FMEA del ascensor



Fuente: Robinson Moreno

Según la figura 11, se analizó que la mirilla de la puerta del ascensor contiene un alto número de probabilidad de riesgo inicial. Es por eso, que se debe realizar un mantenimiento preventivo a dicho subcomponente para reducir el índice de falla y evitar averías que sitúen en riesgo a las personas que ocupan el ascensor.

También se observó que el NPR final se reduce siguiendo las acciones recomendadas, esto quiere decir que, al llevar a cabo el mantenimiento de cada uno de los subcomponentes del ascensor, se alarga la vida útil tanto del ascensor como también los diferentes sistemas de este.

El NPR (Numero de probabilidad de riesgo), el cual se halla mediante la fórmula que se presenta a continuación:

$$NPR = S * O * D \quad (1)$$

En donde S es la severidad, O es la ocurrencia y D la detección de falla. El número de probabilidad de riesgo sirve para identificar los riesgos más serios que está presentando el componente y así tomar decisiones de rehabilitación o acciones correctivas. También se describen las causas y efectos que se generan en cada una de las fallas de los diferentes tipos de subcomponentes del ascensor.

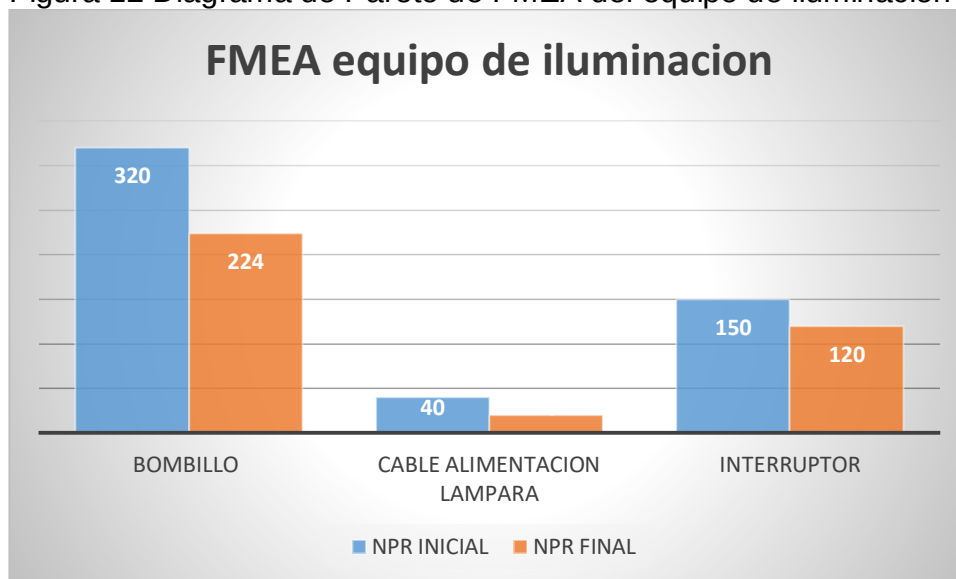
Posteriormente se realizó el FMEA para el componente equipo de iluminación (tabla 18) como se hizo para el componente del ascensor.

Tabla 18 FMEA equipo de iluminación.

Equipo/subcomp onente	Modo de Falla	Efectos	Causas	Método de Detección	S	O	D	NPR Inicial	Acciones Recomendadas	Responsable	S	O	D	NPR Final
Bombillo	Bombillo quemado	Lampara donde se encuentra el bombillo no funciona	Bombillo de mala calidad El bombillo no es de la potencia de la lampara	Revisión de la potencia del bombillo antes de ser instalado	10	4	8	320	Seleccionar un proveedor certificado	Contratista de mantenimiento	8	4	7	224
	Iluminación deficiente	Iluminación insuficiente en el área donde se encuentra el bombillo	El bombillo no cumple con las especificaciones de diseño	Verificar especificaciones del bombillo										
Cable alimentación lampara	Sin continuidad	Lampara no enciende	El cable está dañado	Revisión de continuidad del cable	10	2	2	40	Verificar estado del cable al ser instalado	Contratista de mantenimiento	10	2	1	20
	No fue conectado		El operario no siguió el instructivo de ensamble											
Interruptor	Interruptor se rompe	Lampara no enciende	Fallo funcional	El interruptor no funciona	10	3	5	150	Usar interruptor certificado	Contratista de mantenimiento	10	3	4	120

Fuente: Robinson Moreno

Figura 12 Diagrama de Pareto de FMEA del equipo de iluminación



Fuente: Robinson Moreno

Al observar el diagrama de Pareto para el equipo de iluminación (figura 12), se evidencia que los bombillos del edificio son los que se encuentran en un alto índice de falla. En la totalidad del caso esto se debe a un mal uso de estos.

6.3. PROYECCION A 5 AÑOS

Para iniciar con esta etapa se tiene en cuenta la tabla 11, en donde se evidencia la matriz de deterioro después de las inspecciones generando un estado subsiguiente; se realizó una proyección a 5 años para verificar los distintos estados de deterioro a los que puede entrar el ascensor.

Tabla 19 Matriz de deterioro a 5 años del componente D1013- Ascensor

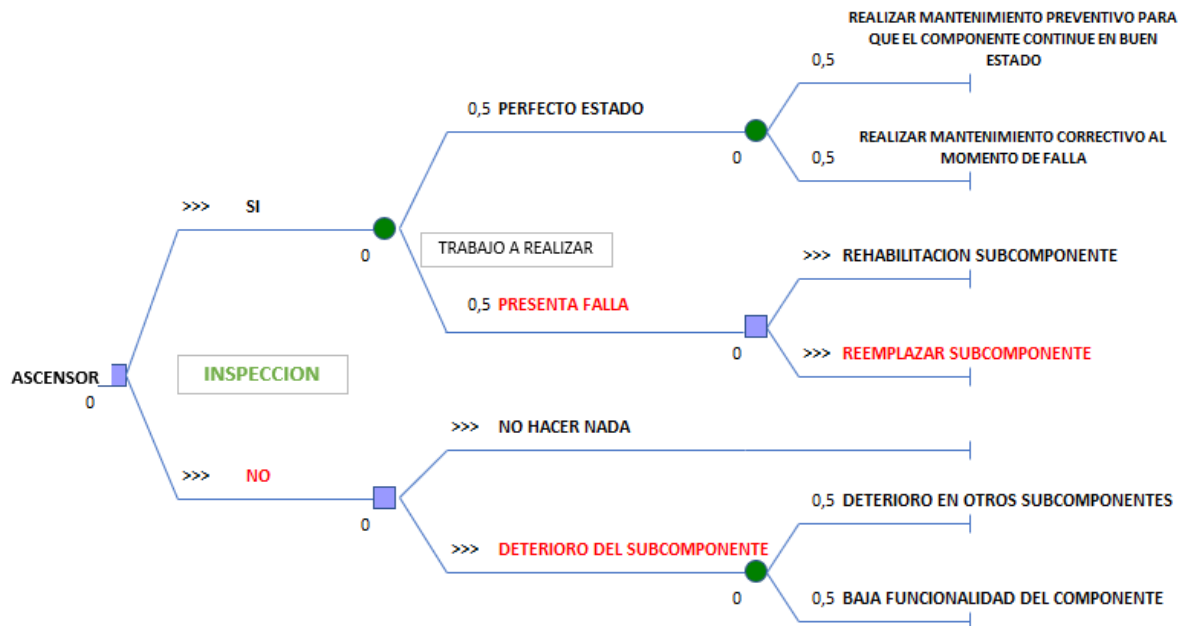
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0.0 %	3 %	19 %	79 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
C2	0.0 %	1 %	12 %	87 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
C3	0.0 %	0.0 %	3 %	97 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
C4	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
C5	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100 %	0.0 %	0.0 %
C6	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
C7	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %

Fuente: Robinson Moreno

Como se observa en la tabla 17 se obtuvo los resultados de la matriz de deterioro proyectado a 5 años. Al analizar estos resultados se evidencia que según el paso de los años el componente aumenta su probabilidad en un estado subsiguiente; esto quiere decir que el componente se va deteriorando.

Al comparar el estado C2 después de 5 años (tabla 17) con el estado actual (tabla 11), se evidencia que el deterioro aumenta. Puesto que, al transcurrir los años, la probabilidad de estar en el mismo estado disminuye y aumenta la probabilidad de estar en estados de calificación baja y por ende un deterioro.

Figura 13 Árbol de decisiones componente D1013



Fuente: Robinson Moreno

En el árbol de decisión para el ascensor, se observa que todo parte desde la inspección, posteriormente se puede verificar el estado en el cual se encuentra dicho componente; el cual puede estar en perfecto estado o por el contrario está presentando falla. El estado se verifica según las inspecciones realizadas y evidenciadas en las matrices de transición que se mostraron anteriormente.

Dependiendo de cómo se encuentre el ascensor, se puede optar por programar un mantenimiento para que el ascensor no entre en estado de deterioro. Si dicho componente ya está en estado de deterioro se toma la decisión de rehabilitar o reemplazar subcomponentes, para llevar el ascensor a un estado de acondicionamiento y así generar seguridad al momento de ser usado.

Para este caso se toma como referencia una calificación del 80%, lo cual sería una acción de mantenimiento preventivo, un estado inferior a 80% se realiza un mantenimiento correctivo planificado. Por último, si un estado es inferior al 60% de nivel de deterioro se le realiza mantenimiento correctivo.

6.4. PROYECCION DE COSTOS DE MANTENIMIENTO DEL ASCENSOR

La última etapa consiste en realizar una lista de costos de mantenimiento proyectados según el tiempo de vida útil de los diferentes subcomponentes (tabla 20) del componente D1013 (ascensor).

Tabla 20 Proyección de costos

Sistema	Elemento	Operación	Periodo	Recambio	Tiempo asignado (min)	Coste repuesto	Coste mano de (5500\$/m)	Coste total
	Cables de suspensión	Sustitución de los cables de tracción	7 años	Cables de tracción 8mm	30	\$ 1.550.000	\$ 165.000	\$ 1.715.000
		Lubricación de cables	Mensual	Grasa MULTIS MS 2	15	\$ 55.000	\$ 82.500	\$ 137.500
Máquina	Freno	Cambiar las zapatas de freno	7 años	ZapataQks 9 shindler	20	\$ 350.000	\$ 110.000	\$ 460.000
	Máquina tractora	Lubricación de la máquina	Mensual	Repsol ELECTRA 3X	10	\$ 185.000	\$ 55.000	\$ 240.000
	Polea tractora	Sustitución	10 años	Polea 265x6x6,5	40	\$ 255.000	\$ 220.000	\$ 475.000
Chasis	Guías de cab. / contr.	Lubricación	Mensual	Shell Tonna S 2M	10	\$ 155.000	\$ 55.000	\$ 210.000
	Fijaciones guía cab./contr.	Sustitución	7 años	Fijaciones estándar	45	\$ 60.000	\$ 247.500	\$ 307.500
	Polea de cabezal	Sustitución	10 años	Polea Halken	50	\$ 285.000	\$ 275.000	\$ 560.000
Puertas	Puertas cabina/rellano	Lubricación	1 año	Shell Tonna S 2M	15	\$ 55.000	\$ 82.500	\$ 137.500
Componentes de seguridad	Finales de carrera	Sustitución	7 años	Sensor final de carrera	20	\$ 130.000	\$ 110.000	\$ 240.000
	Limitador de velocidad	Sustitución	7 años	Limitador SLC	20	\$ 550.000	\$ 110.000	\$ 660.000
	Paracaídas	Sustitución	7 años	Paracaídas SLC	15	\$ 185.000	\$ 82.500	\$ 267.500
	Amortiguadores	Sustitución	7 años	Tacos Silentblock	15	\$ 235.000	\$ 82.500	\$ 317.500

Adaptado de: Propuesta de un modelo para la planificación estratégica de la mantenibilidad basada en el riesgo para el edificio Giordano Bruno.

Tabla 20 (continuacion)

Sistema	Elemento	Operación	Tipo de inspección	Periodo	Tiempo asignado (min)	Coste mano de obra (\$500\$/m)	Coste total
	Cables de suspensión	Comprobar el desgaste, alargamiento y tensión.	Visual	Mensual	30	\$ 165.000	\$ 165.000
		Comprobar la lubricación.	Visual	Mensual	10	\$ 55.000	\$ 55.000
Máquina	Generador	Comprobar desgaste de rodamientos	Visual	Semestral	15	\$ 82.500	\$ 82.500
		Comprobar la lubricación	Visual	Mensual	5	\$ 27.500	\$ 27.500
		Comprobar el estado del conmutador	Funcionamiento	Mensual	2	\$ 11.000	\$ 11.000
	Reductor	engranaje Comprobar el desgaste del	Visual	Semestral	5	\$ 27.500	\$ 27.500
		Comprobar la lubricación	Visual	Mensual	5	\$ 27.500	\$ 27.500
	Freno	Comprobar el sistema de frenado	Funcionamiento	Mensual	15	\$ 82.500	\$ 82.500
		Comprobar las piezas en cuanto al desgaste	Visual	Semestral	2,5	\$ 13.750	\$ 13.750
	Polea deflectora	Comprobar estado y desgaste de las ranuras	Visual	Semestral	2,5	\$ 13.750	\$ 13.750
		Comprobar el ruido anormal	Funcionamiento	Mensual	10	\$ 55.000	\$ 55.000
		vibraciones en los rodamientos					
		Comprobar protecciones	Visual	Mensual	5	\$ 27.500	\$ 27.500
		Comprobar la lubricación	Visual	Mensual	5	\$ 27.500	\$ 27.500

Adaptado de: Propuesta de un modelo para la planificación estratégica de la mantenibilidad basada en el riesgo para el edificio Giordano Bruno.

Tabla 20 (continuación)

Sistema	Operación	Tipo de inspección	Periodo	Tiempo asignado (min)	Coste mano de obra (5500\$/m)	Coste total
Cuarto de máquinas/ Armario de Maniobra	Comprobar estado del acceso	Visual	Mensual	2	\$ 11.000	\$ 11.000
	Comprobar la puerta del cuarto o del armario	Visual	Mensual	1	\$ 5.500	\$ 5.500
	Comprobar cerradura de la puerta del armario	Visual	Mensual	1	\$ 5.500	\$ 5.500
	Comprobar estado y funcionamiento del interruptor general, magnetotérmicos, diferenciales	Accionar	Mensual	7	\$ 38.500	\$ 38.500
	Comprobar estado general de paredes, ventilación, instalaciones extrañas	Visual	Mensual	5	\$ 27.500	\$ 27.500
	Comprobar estado y vigencia del Libro del ascensor	Cumplimentar	Mensual	10	\$ 55.000	\$ 55.000
	Comprobar las instrucciones de emergencia, llave de puertas, palanca freno	Visual	Mensual	7	\$ 38.500	\$ 38.500
	Comprobar funcionamiento del motor, ruidos anormales	Funcionamiento	Mensual	15	\$ 82.500	\$ 82.500

Adaptado de: Propuesta de un modelo para la planificación estratégica de la mantenibilidad basada en el riesgo para el edificio Giordano Bruno.

Tabla 20 (continuacion)

Sistema	Elemento	Operación	Tipo de inspección	Periodo	Tiempo asignado (min)	Coste mano de obra (5500\$/m)	Coste total
Chasis	Guías de cabina / contrapeso	Comprobar la película de aceite donde se requiera en todas las superficies de la guía.	Visual	Mensual	5	\$ 27.500	\$ 27.500
		Comprobar las fijaciones	Visual	Anual	30	\$ 165.000	\$ 165.000
		Comprobar rodaderas en cuanto al desgaste.	Visual	Mensual	10	\$ 55.000	\$ 55.000
		Comprobar la lubricación	Visual	Mensual	5	\$ 27.500	\$ 27.500
Puertas	Puertasrellano	Comprobar funcionamiento de las cerraduras	Funcionamiento	Mensual	10	\$ 55.000	\$ 55.000
		Comprobar el libre movimiento de las puertas.	Funcionamiento	Mensual	8	\$ 44.000	\$ 44.000
		Comprobar el guiado de la puerta	Funcionamiento	Mensual	10	\$ 55.000	\$ 55.000
		Comprobar las holguras, deformaciones, oxidaciones y señalización de la puerta	Visual	Mensual	8	\$ 44.000	\$ 44.000
		Comprobar el dispositivo de apertura de puerta para el pasajero.	Funcionamiento	Mensual	1	\$ 5.500	\$ 5.500
		Comprobar la lubricación	Visual	Mensual	5	\$ 27.500	\$ 27.500
	puertas de cabina	Comprobar el contacto de puerta cerrada o de la cerradura.	Funcionamiento	Mensual	5	\$ 27.500	\$ 27.500
		Comprobar el libre movimiento de las puertas.	Funcionamiento	Mensual	1	\$ 5.500	\$ 5.500
		Comprobar el guiado de la puerta	Funcionamiento	Mensual	5	\$ 27.500	\$ 27.500

Adaptado de: Propuesta de un modelo para la planificación estratégica de la mantenibilidad basada en el riesgo para el edificio Giordano Bruno.

Para culminar la metodología se determinó el tiempo de inspección o mantenimiento programado a seguir (tabla 20). En esta se encuentra el periodo de tiempo que se debe realizar el mantenimiento a los diferentes subcomponentes.

Para la elaboración de la tabla se tuvo en cuenta los valores de probabilidad de riesgo (NPR) hallados en el FMEA, en donde se dio prioridad a los subcomponentes que presentan mayor riesgo de falla. Dependiendo del valor de índice de falla se tiene en cuenta inspecciones continuas o largo plazo.

Al llevar a cabo inspecciones continuas a los subcomponentes que presentan mayor índice de falla, se quiere disminuir el deterioro de los distintos subcomponentes; así mismo prolongar el tiempo de vida útil de estos.

Al realizarse este mantenimiento programado, realizando las acciones recomendadas que se encuentran en el FMEA; se minimizan costos por averías repentinas o paradas inesperadas, puesto que los subcomponentes con mayor de probabilidad de falla se evalúan constantemente, aumentando su confiabilidad y disponibilidad, así mismo se evitan fallas a componentes generales que contengan dichos subcomponentes.

7. CONCLUSIONES

Según las inspecciones realizadas a los componentes del edificio y teniendo en cuenta los reportes de planta física; se evaluó el estado de condición de dichos componentes. Dicha evaluación también se realizó a los subcomponentes. Con las inspecciones se determinó el estado inicial y un estado subsiguiente de los mismos.

Se evidencio los índices de probabilidad y confiabilidad, teniendo en cuenta las matrices de deterioro durante los cinco años subsiguientes a la inspección inicial. En esto se determinó cuales componentes y subcomponentes presentan mayor deterioro frente a otros.

Al darse cuenta de la importancia de la condición física del edificio Giordano Bruno uno de los principales objetivos de esta investigación fue precisar la condición de los componentes del edificio. También se realizó un modelo de predicción mediante el uso de un enfoque probabilístico. Para ello, se utilizó un modelo de cadena de Márkov. Dichas cadenas se utilizaron para la predicción de condición de deterioro para los distintos sistemas y componentes del edificio; evaluando un estado actual y un estado subsiguiente.

Por medio del Fmea se determinó los índices de falla y posibles causas que generan deterioro o daño a los subcomponentes. Así mismo se determinó las acciones pertinentes para mejorar el estado de los mismos.

Se realizó un mantenimiento programado teniendo en cuenta los índices de falla, en donde se asignaron inspecciones a los subcomponentes. En donde se asignaron inspecciones mensuales a los subcomponentes de alto grado de falla, inspecciones trimestrales a los de medio grado de falla e inspecciones semestrales a los de bajo grado de falla.

Al llevar a cabo unas actividades de mantenimiento durante el año, la confiabilidad y la disponibilidad de los componentes aumentan. Por otra parte, la toma de decisiones de mantenimiento, restauración y modernización conllevan el componente a elevar su estado de eficacia y rendimiento frente a su uso.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que este proyecto siga en curso, poniendo en práctica la metodología utilizada en este proyecto. Así mismo aplicar dicha metodología a los demás edificios con los que cuenta la Universidad Santo Tomas seccional Tunja.

BIBLIOGRAFIA

ARENCIBIA FERNÁNDEZ, J. M. «Conceptos fundamentales sobre el mantenimiento de edificios.» *Revista de Arquitectura e Ingeniería*. 2007. <http://www.redalyc.org/pdf/1939/193915927005.pdf>.

CAMACHO SALAZAR, P. «Diseño de un Plan Modelo de Mantenimiento para Edificios del ICE.» *repositoriotec.tec.ac.cr*. 2009. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6196/Dise%C3%B1o_Plan_Modelo_Mantenimiento_Edificios_ICE.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

CHARETTE, ROBERT P, y HAROLD E MARSHALL. «Uniformat II Classification for Building Elements.» 1999. <https://arc-solutions.org/wp-content/uploads/2012/03/Charette-Marshall-1999-UNIFORMAT-II-Elemental-Classification....pdf>.

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN DE BARCELONA. «1ª Jornada de Mantenimiento de Edificios.» *upcommons.upc.edu*. 2010. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/11798/JM%20llibre_B.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ESTEVE MUÑOZ, V.F. «Estado del arte de los factores que afectan a la durabilidad de las edificaciones.» *riunet.upv.es*. 2015. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/47820/01_Memoria.pdf?sequence=1.

GARCIA NAVARRO, J. «Mantenimiento y conservación de edificios: agentes que intervienen en la gestión y explotación del parque inmobiliario.» *informesdelaconstruccion.revistas.csic.es*. 1995. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/download/1045/1123>.

GUANAY FORERO, Y.K., y N. HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ. «Cadenas de markov aplicadas a la toma de decisiones en gestión patrimonial de alcantarillados.» *repository.javeriana.edu.co*. 2011. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7527/tesis604.pdf;sequence=1>.

KESHAVARZRAD, P. «La optimización de la gestión de activos de los edificios de la comunidad.» *researchbank.rmit.edu.au*. 2015. <http://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:161629>.

LEÓN PELÁEZ, Juan. «estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas.» *medellin.unal.edu.co*. s.f.

http://www.medellin.unal.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregado/Control%20erosi%F3n%20en%20c%E1rcavas%20cuadernos%20ambiental.pdf .

MADRIGAL, L. O., B. S. LANZAROTE, J. M. F. BRETONES, L. S. FRANCÉS, y S. G. P. RUIZ. «Estado del arte de las metodologías de cálculo de la vida útil de los materiales, elementos y sistemas constructivos de los edificios.» *dialnet.unirioja.es*. 2012. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4207500> .

MONTALBAN-LOYOLA, E.J ARENAS-BERNAL, M TALAVERA-RUZ, y R. MAGAÑA-IGLESIAS. *Herramienta de mejora AMEF (Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial) como documento vivo en un área operativa. Experiencia de aplicación en empresa proveedora para Industria automotriz*. 2015.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS. «Universidad Santo Tomas 15 años de presencia en Tunja.» *Primera edición*. 2011. https://issuu.com/ustatunjacomunicaciones/docs/libro_15_a_os_1/120 .

YAZLLE, Jorge. «Cadenas de markov.» *unsa.edu.a*. s.f. http://www.unsa.edu.ar/yazlle/public_html/discreta/08-markov.pdf.

ANEXOS

ANEXO A. INSPECCIONES

SALON	N° DE LAMPARAS	N° DE BOMBILLOS	NIVEL DE ILUMINACION	N° DE TOMAS	OBSERVACIONES
102	6	24	879-1113	5	hueco en la pared
				1 router	
201	6	24	565-636	5 normales	toma roto
202	5	20	884-965	4 normales	
		1 still Led		1 regulada	
203	8	32	528-612	5 normales	humedad en techo
204	8	32	398-586	5 normales	1 lámpara incompleta
					1 toma roto
					cable por fuera de canaleta
205	8	32	578-986	4	lámpara incompleta

206	8	32	428-684	3 normales	paredes sucias
				2 reguladas	1 bombillo fundido
					humedad en techo y pared
207	8	32	872-1326	4	humedad en pared
					humedad en techo y pintura levantada
					hueco en pared
					canaleta desprendida
					lámpara incompleta
					3 bombillos fundidos
208	8	32	741-1127	5	cable por fuera de canaleta
					1 bombillo fundido
					1 toma roto
209	8	32	696-974	5	pared rayada
					4 bombillos fundidos
					toma en mal estado
210	8	32	871-1175	4	toma corriente roto
				1 router	paredes sucias
					4 bombillos fundidos
					cable por fuera de canaleta

301	6	24	732-938	4 normales	humedad en techo
				1 regulada	5 bombillos fundidos
302	8	32	224- 375	4	Canaleta desprendida
					Hueco en el techo
					4 bombillos fundidos
304	8	32	272-498	5	Techo con humedad y pintura soplada
					5 bombillos fundidos
					Toma corriente roto
					Pared Rayada
					Techo con grietas y partes sin pintura
305	8	32	300-604	4	Lámpara incompleta
					Toma corriente roto
					2 Bombillos fundidos
					Cable por fuera de canaleta
					Partes del techo sin pintura
306	8	32	246-579	5	4 bombillos fundidos
					Caja sobre pared con tornillos suelos
					Pared sucia
					Grieta en la pared

307	8	32	276-368	5	Pared rayada
					Cable por fuera de canaleta
					8 bombillos fundidos
					Lámpara en mal estado
308	7	28	236-473	4	Hueco en la pared con cables a la vista
	panel stil LED	1			Cable por fuera de canaleta
					5 bombillos fundidos
309		6 LED	220-350	4	Paredes sucias
					Hueco en la pared
401		12 still Led	636-1008	5 normales	Toma incompleta
				2 reguladas	humedad en techo
Sala Sistemas 1	8 still led		24-594	29 reguladas	
				1 normal	
Laboratorio Ambiental	8	32	740-1026	24 reguladas	1 toma roto
				3 normales	
Laboratorio Hidráulica	10	40	339-620	7 normales	3 bombillos fundidos

					pared sucia
Laboratorio Geotecnia	8	32	560-640	5 seguridad	Humedad
				7 normales	
Laboratorio Concretos	24	96	682-1174	4 seguridad	Humedad
				1 normal	9 bombillos fundidos
				24 reguladas	Cables sin canaleta
				3 trifásicos	
Auditorio Mariano Garnica	8 still Led	8 LED	37-356	4 normales	
		8 LED en el piso			
Auditorio Álvaro Galvis		24 LED	35-345	3 normales	pared sucia
				2 reguladas	
Auditorio Bicentenario		56 LED	426	10 normales	hueco en el techo
				4 reguladas	

OFICINA	N° DE LAMPARAS	N° DE BOMBILLOS	NIVEL DE ILUMINACION	N° DE TOMAS	OBSERVACIONES
Oficina Comunicaciones	4	15	54-487	6 reguladas	cable por fuera de canaleta
				4 normales	
RAC		2	16-37	6 reguladas	
Coordinación Laboratorio Civil	2 still led		98-554	1 regulada	Humedad en techo
				1 normal	
Subestación Interna	1 balastro	2	262-299	1 normal	1 Bombillo Fundido
Cuarto de Bombas		1	37		
Gimnasio	10 still Led		89-470	1 normal	Humedad
				3 reguladas	1 Lámpara fundida
Subestación Externa	1 balastro	2	570	3 normales	
Cuarto de Aseo	1	4	110-335	1 seguridad	hueco en techo

				2 toma pata cruzada	humedad externa
Cuarto de Mantenimiento		2 led	51-230	3 normales	pared sucia
Rectoría		8 led	1521-2120	4 normales	humedad en techo
				2 reguladas	
Facultad Ingeniería Civil	4	16	1518-1768	3 normales	pared sucia
Sala Coordinadores Civil	3	12	1541-1753	4 normales	
				2 reguladas	
Decanatura Civil	4	16	2530-2850	2 normales	pared sucia
				2 reguladas	1 toma suelto
Secretaría División	3 still led		802-1501	6 normales	cable por fuera de canaleta
				5 reguladas	pared sucia
Facultad Arquitectura	3	12	1980-2325	2 normales	humedad
				1 regulada	
				1 router	

Sala Coordinación Arquitectura	4	16	1671-1972	3 normales	pared sucia
				3 reguladas	
Bienestar	3	12	713-1029	3 normales	pared sucia
				1 regulada	
CIFA	3	12	507-782	3 normales	humedad en techo
				2 reguladas	

ANEXO B. CLASIFICACION EDIFICIO

CODIGO	COMPONENTES	CODIGO	SUBCOMPONENTES
A1010	Cimientos del edificio	A1012	superestructura
B1010	Construcción de pisos	B1011	pisos exteriores
		B1012	pisos interiores
B1020	Construcción de techos	B1021	Cubiertas de techo
B2010	Paredes	B2011	Fachada
		B2015	Paredes interiores
B2020	Ventanas edificio	B2021	Ventanas
B2030	Puertas Exteriores	B2031	Puertas de Cristal
C1020	Puertas Interiores	C1021	Puertas de Cristal
		C1022	Puertas de aluminio
C2010	Escalera de construcción	C2011	Escaleras regulares
		C2012	Escaleras curvas

D1010	Elevadores y ascensores	D1013	Ascensor
D2010	Accesorios de plomería	D2012	Orinales y sanitarios
		D2013	Lavamanos
D4020	Tubos para protección contra incendios	D4022	Equipo de bombeo y mangueras
D5010	Servicio y Distribución Eléctrica	D5011	Subestación externa
		D5012	Subestación interna
D5020	iluminación y cableado	D5021	Dispositivos de cableado y corriente
		D5022	Equipos de iluminación
E1020	Equipamiento institucional	E1022	Equipo de biblioteca
		E1025	Equipo audiovisual
		E1027	Equipo de laboratorio
		E1028	Equipo medico
E1090	Otros equipos	E1091	Equipos de mantenimiento
E2020	Mobiliario	E2022	Muebles y accesorios