

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

Desarrollo de estrategias de mantenimiento según el tipo de material y el tiempo de vida del mismo – Caso de estudio de un material de una fachada de vivienda o edificio

AUTOR:

VELASCO RONQUILLO, SALVADOR ANDRES

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

TUTOR:

Ing. ALCÍVAR BASTIDAS, Stefany Esther, MSc

**Guayaquil, Ecuador
2016**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Salvador Andrés Velasco Ronquillo**. Como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, MSc

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, MSc

Guayaquil, a los 22 días del mes de marzo del año 2016



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Salvador Andrés Velasco Ronquillo**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación **Desarrollo de estrategias de mantenimiento según el tipo de material y el tiempo de vida del mismo – Caso de estudio de un material de una fachada de vivienda o edificio** previo a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**. Ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación, de tipo **Proyecto de Investigación** referido.

Guayaquil, a los 22 días del mes de marzo del año 2016

EL AUTOR

Salvador Andrés Velasco Ronquillo



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Salvador Andrés Velasco Ronquillo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Desarrollo de estrategias de mantenimiento según el tipo de material y el tiempo de vida del mismo – Caso de estudio de un material de una fachada de vivienda o edificio**. Cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 22 días del mes de marzo del año 2016

EL AUTOR:

Salvador Andrés Velasco Ronquillo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido culminar mi carrera, a mis padres,
a mis hermanos, a mi esposa y mi querida hija.

Le agradezco a mi institución y a mis maestros por sus esfuerzos y enseñanzas, y un agradecimiento especial le debo a la Ing. Stefany Alcívar Bastidas que, como tutora, me ha orientado, apoyado y corregido en mi labor de investigación.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a Dios y a mi familia. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para no rendirme, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, a mi hermana, cuyos consejos y apoyo nunca me han faltado, a mi hermano que espero verlo cumplir sus metas también, y a mi esposa y mi querida hija cuyo amor y compañía nunca me han faltado, gracias a todos por haber depositado su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ustedes que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

ÍNDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Motivación para la Investigación.....	1
1.3 Objetivo General.....	2
1.4 Objetivos Específicos.....	2
1.5 Procedimiento de la Investigación	2
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Mantenimiento	4
2.1.1 Tipos de Mantenimiento	4
2.1.2 Frecuencia de Mantenimiento	5
2.1.3 Elementos considerados en el mantenimiento de un edificio.....	6
2.1.4 Fachada	7
2.1.5 Tiempo de Vida Servicial del Edificio	9
2.1.6 Método de los Factores.....	10
2.2 Materiales	11
2.2.1 Características de los Materiales	11
2.2.1 Vida útil de los elementos constructivos de las fachadas.....	14
2.3 Defectos de Los Materiales	16
2.4 Curvas de Degradación	17
CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DEL MARCO PARA EL DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DINÁMICAS DE MANTENIMIENTO.....	23
3.1 Hipótesis.....	23
3.2 Selección de los materiales	25
3.3 Defectos de los Materiales.....	25
3.3 Determinación de la durabilidad del material.....	25

3.4.1	Piedra natural	29
3.4.2	Mortero de cemento	31
3.5	Políticas de mantenimiento	32
CAPÍTULO 4: ESTRATEGIAS DINÁMICAS DE MANTENIMIENTO APLICADAS EN DIFERENTES ESCENARIOS.....		35
4.1	Desarrollo del caso de estudio pertinente para el desarrollo de estrategias dinámicas de mantenimiento.....	35
4.1.1	Escenarios Seleccionados	35
4.2	Caso 1 – Factor de mantenimiento	36
4.2.1	Piedra natural	36
4.2.2	Mortero de cemento	46
4.3	Caso 2 – Factor de mantenimiento y mano de obra	55
4.3.1	Piedra Natural	55
4.3.2	Mortero de cemento	62
4.4	Resultados Generales	68
4.4.1	Caso 1 - Mantenimiento	68
4.4.2	Caso 2 – Mantenimiento y Mano de obra.....	71
CAPITULO 5 – CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....		75
5.1	CONCLUSION.....	75
5.2	RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		78

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de Vida Útil Referencial de un Edificio	10
Tabla 2. Ventajas del Aluminio como material de fachada	11
Tabla 3. Características Mortero de Cemento	12
Tabla 4. Comparativa de diversas expectativas de vida útil de fachadas	15
Tabla 5. Defectos más comunes en fachadas	16
Tabla 6. Defectos más comunes en los materiales y sus causas	17
Tabla 7. Durabilidad de los Materiales	32
Tabla 8. Costo de Reinstalación de Fachada de piedra natural	37
Tabla 9. Asunciones de limpieza	40
Tabla 10. Costo de Limpieza para área total	41
Tabla 11. Reparación Profunda	44
Tabla 12. Reparaciones Periódicas	45
Tabla 13. Costo Reinstalación Fachada de Mortero de Cemento	47
Tabla 14. Asunciones de limpieza	50
Tabla 15. Costo de Limpieza para área total	50
Tabla 16. Costo Reparación Profunda	53
Tabla 17. Reparaciones Periódicas	54
Tabla 18. Costo Reinstalación Fachada de piedra natural	56
Tabla 19. Reparación Profunda	59
Tabla 20. Reparaciones Periódicas	61
Tabla 21. Costo Reinstalación Fachada de mortero de cemento	63
Tabla 22. Costo Reparación Profunda	65

Tabla 23. Reparaciones Periódicas	67
Tabla 24. Comparación de costos por estrategia – Piedra Natural	68
Tabla 25. Comparación de costos por estrategia – Mortero de Cemento	69
Tabla 26. Comparación de costos por estrategia – Piedra Natural	71
Tabla 27. Comparación de costos por estrategia – Mortero de Cemento	73

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Procedimiento de Investigación	3
Figura 2. Enfoque integrado para el mantenimiento	6
Figura 3. Curva de Envejecimiento o Degradación	18
Figura 4. Curva de Degradación, considerando acciones de mejora de calidad en el tiempo	19
Figura 5. Curva de degradación representada como un área que refleja los diferentes escenarios posibles para la vida útil.	20
Figura 6. Estimación de la vida útil de un elemento concreto	20
Figura 7. Área de incertidumbre del final de la vida útil	21
Figura 8. Marco para el desarrollo de estrategias dinámicas de mantenimiento	24
Figura 9. Curva de degradación sin mantenimiento	27
Figura 10. Curva de degradación Operaciones de Limpieza	28
Figura 11. Curva de degradación Reparación Profunda	28
Figura 12. Curva de degradación Reparación Periódica	29
Figura 13. Curva de degradación para el nivel general degradación de fachadas de Piedra Natural	29
Figura 14. RSLC & ESLC de los materiales seleccionados	30
Figura 15. Curva de degradación para el nivel general degradación de fachadas de cemento,	31
Fig. 16. Degradación de la Piedra Natural- Sin mantenimiento	36
Fig. 17. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento de limpieza	39
Fig. 18. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento profundo	43
Fig. 19. Nueva vida Útil Estimada – Mantenimiento periódico	45
Fig. 20. Degradación del mortero de cemento- Sin mantenimiento	47

Fig. 21. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento de limpieza	48
Fig. 22. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento profundo	52
Fig. 23. Nueva vida Útil Estimada – Mantenimiento periódico	54
Fig. 24. Degradación de la Piedra Natural- Sin mantenimiento	56
Fig. 25. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento de limpieza	58
Fig. 26. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento profundo	59
Fig. 27. Nueva vida Útil Estimada – Mantenimiento periódico	60
Fig. 28. Degradación del mortero de cemento- Sin mantenimiento	62
Fig. 29. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento de limpieza	64
Fig. 30. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento profundo	65
Fig. 31. Nueva vida Útil Estimada – Mantenimiento periódico	66

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Calculo número medio de averías	5
Ecuación 2. Calculo Tiempo medio entre ciclos de mantenimiento	5
Ecuación 3. Calculo vida útil estimada del edificio	10

RESUMEN

Desarrollar estrategias de mantenimiento para fachadas es el objetivo principal de este trabajo de investigación, con esto se busca mejorar la vida útil estimada de los materiales elegidos, curvas de degradación y las políticas de mantenimiento que debemos cumplir con la utilización de productos. Se van a describir los requisitos para el desarrollo de estrategias de mantenimiento en fachadas de acuerdo al tipo de material que se escogerá, la vida de servicio y el mantenimiento estimado. Se analizarán los escenarios propuestos para determinar el tiempo de vida útil estimado del material y el costo que este representará para su mantenimiento.

Palabras Clave: fachada, mantenimiento, piedra natural, mortero de cemento, vida útil referencial, vida útil estimada, rendimiento.

ABSTRACT

Developing maintenance strategies for facades is the main objective of this research in order to improve the estimated useful life of chosen materials, degradation curves and maintenance policies must comply with the use of different products, based on quality and effectiveness. They will describe the requirements for the development of maintenance strategies facades according to the type of material chosen, the service life and estimated maintenance. The proposed scenarios will be analyzed to determine the estimated useful lifetime of the material and the cost that this represents for maintenance.

Keywords: facade, maintenance, natural stone, cements render, referential life, life expectancy, performance.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El mantenimiento de estructuras se remonta a épocas pasadas, ya que siempre ha sido necesaria la conservación de las construcciones. Gracias a esto, se ha podido desarrollar a través del tiempo diferentes tipos de investigaciones que han llevado a formar estrategias de mantenimiento.

El siguiente trabajo de investigación se centrará en el desarrollo de estrategias de mantenimiento de fachadas de vivienda, ya que por lo general el mantenimiento de fachadas no es tan aplicado como el mantenimiento, ya sea de instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias, o de la estructura interna del edificio; sin embargo, la fachada es un elemento importante ya que influye en el aspecto físico y seguridad de un edificio o vivienda.

Las fachadas sufren la agresión de agentes atmosféricos y en ocasiones de agentes humanos, y por esto requieren de una gran inversión para su conservación. La vida útil de una fachada va a depender de varios aspectos tales como: el aspecto físico, económico, funcional y técnico del mismo.

1.2 Motivación para la Investigación

Fomentar en los dueños de inmuebles la importancia de dar un correcto mantenimiento a sus propiedades, para lo cual existen diversos costos con diferentes tipos de mantenimiento a fin de mejorar tanto estéticamente como estructuralmente la vida útil de los materiales y del inmueble en sí.

En el caso de las fachadas, los materiales que se utilicen para ésta si necesitarán de un buen mantenimiento, sea este periódico o no, ya que los materiales siempre estarán expuestos a la intemperie, y serán afectados, ya sea por el clima o por otros factores, y con la aplicación de un correcto mantenimiento la vida útil aumentará.

1.3 Objetivo General

Desarrollar estrategias de mantenimiento según el tipo de material y el tiempo de vida del mismo, aplicadas en fachadas de viviendas de mortero de hormigón y piedra natural, las mismas que permitan prolongar el tiempo de vida útil del material.

1.4 Objetivos Específicos

- Enfocar el estudio de esta investigación en los siguientes materiales (mortero de cemento y piedra natural) y su respectivo mantenimiento.
- Identificar los defectos más comunes en las fachadas compuestas de estos materiales.
- Elaborar curvas de degradación para determinar cómo mejorará la vida útil de los materiales.
- Determinar la frecuencia de mantenimiento, y tipo de mantenimiento a ejecutar.
- Comparar costos basados en el tipo de mantenimiento y productos usados para los diferentes defectos.

1.5 Procedimiento de la Investigación

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se realizará la revisión de la literatura pertinente al tema, esta se va a llevar a cabo a través de libros, revistas y publicaciones relacionadas con la investigación. El siguiente cuadro (Fig.1) resume la estructura que se desarrollará para la adecuada ejecución de la presente investigación. Se va a definir los tipos de materiales a estudiar, se identificará cuáles son sus defectos más comunes y de acuerdo al defecto el tipo de estrategia para contrarrestar el mismo.

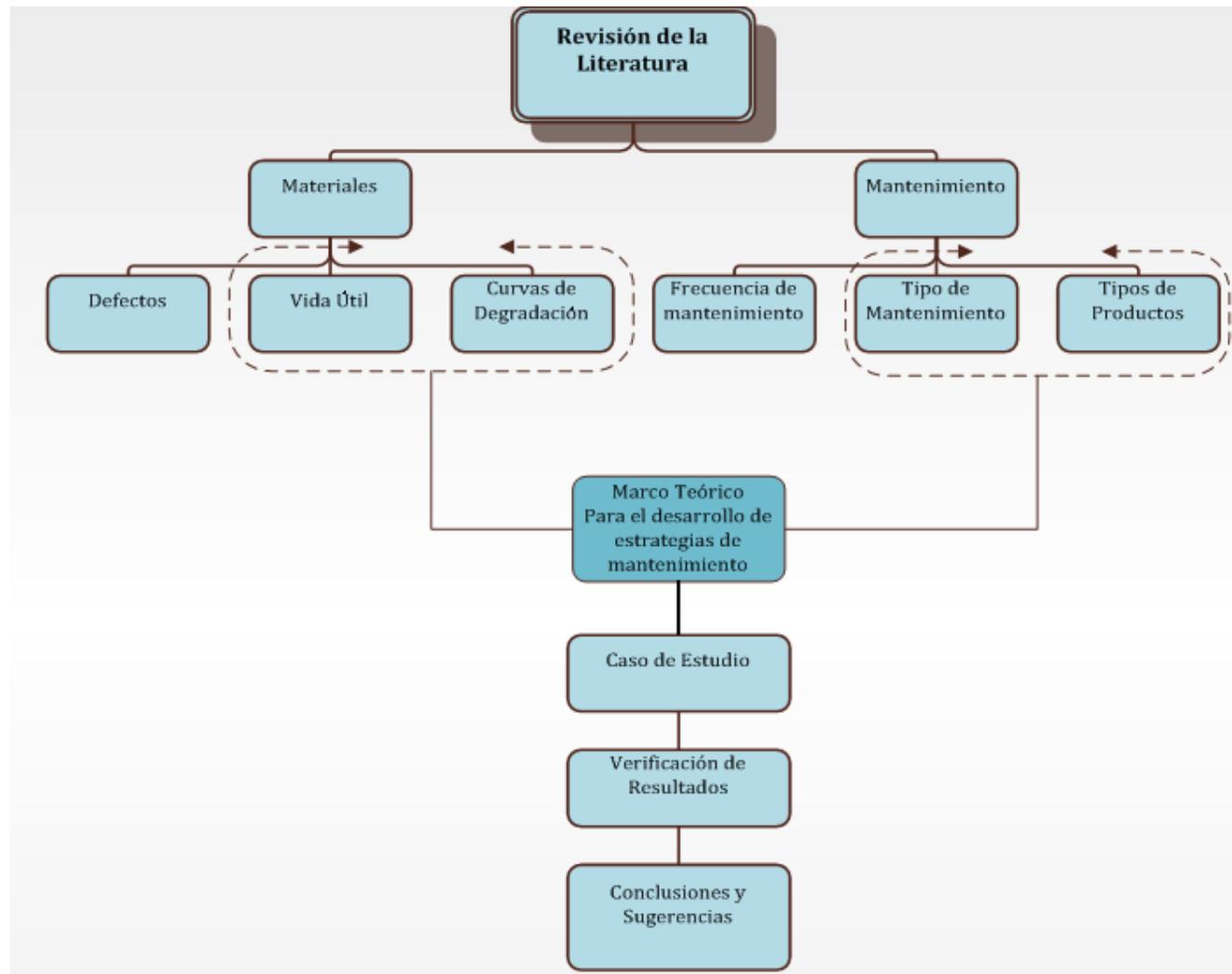


Figura 1. Procedimiento de Investigación

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se desarrollarán los conceptos teóricos que fundamentarán el proyecto de tesis con base a la propuesta del problema presentado, este capítulo consistirá en realizar la revisión de la literatura concerniente al tema, y basar esta teoría en el desarrollo de los siguientes capítulos.

2.1 Mantenimiento

Parte de la revisión de la literatura contiene todo lo que tiene que ver con la definición general de mantenimiento, también se hablará de los tipos de mantenimiento que podrían darse de acuerdo a la preferencia del usuario.

Definición de Mantenimiento: Es el conjunto de operaciones y actividades dirigidas a conservar los diversos elementos del edificio en buen estado de servicio durante periodos de tiempo prefijados (Díaz et al; 2004).

2.1.1 Tipos de Mantenimiento

El Mantenimiento implica dos procesos; el primero es el mantenimiento preventivo y el segundo es el mantenimiento correctivo.

Mantenimiento correctivo.

Ejecución, a lo largo de la vida útil del edificio, de las reparaciones de los elementos estropeados o con niveles de prestación inferiores a los establecidos o especificados (Díaz et al; 2004).

Mantenimiento preventivo.

Previsión, programación y ejecución de los trabajos necesarios para que los diversos materiales, componentes y sistemas del edificio realicen, sin

interrupción y sin disminución apreciable del nivel de prestación, la función que se les asigna dentro de los periodos de vida útil prevista o especificada (Díaz et al; 2004).

2.1.2 Frecuencia de Mantenimiento

En la práctica, la fiabilidad se mide como el tiempo medio entre ciclos de mantenimiento o el tiempo medio entre dos fallos consecutivos (*Mean Time Between Failures; MTBF*).

Por ejemplo si disponemos de un producto de N componentes operando durante un periodo de tiempo T , y suponemos que en este periodo han fallado varios componentes (algunos en varias ocasiones), para este caso el componente i -ésimo habrá tenido n_i averías, luego el número medio de averías para el producto será: (Muñoz Abella, M.B.; 2015)

$$\bar{n} = \sum_{i=0}^N \frac{n_i}{N}$$

Ecuación 1. Calculo número medio de averías

Siendo el MTBF el cociente entre T y n , es decir:

$$MTBF = \frac{T}{n}$$

Ecuación 2. Calculo Tiempo medio entre ciclos de mantenimiento

2.1.3 Elementos considerados en el mantenimiento de un edificio

En la actualidad existe una nueva forma de clasificar los elementos de un edificio basados en su servicialidad, desarrollado por la Universidad Nacional de Singapur (Fig. 2). (Chew; 2010)



Figura 2. Enfoque integrado para el mantenimiento

Y cada una de estas cinco sub-categorías tendrá su área específica de análisis.

- **Zona húmeda:** piso estructural (fugas de agua, grietas); también acabados arquitectónicos (defectos de baldosas, defectos de pintura, defectos de techo)
- **Fachada:** análisis de hormigón, pared de ladrillo, yeso, pared pintada y pared de azulejos.
- **Sótano:** planta estructural (fugas de agua, grietas) y acabados arquitectónicos (defectos de baldosas, defectos de pintura, defectos de yeso)
- **Terraza:** sistemas estructurales y de M & E (fuga de agua, bajo el dimensionamiento de la tubería)
- **Instalación Mecánica y Eléctrica:** electricidad, tubería sanitaria, ascensor y protección contra el fuego

2.1.4 Fachada

La fachada sirve para la exclusión del clima, la contaminación, el aislamiento térmico y del sonido. También proporciona resistencia adecuada, estabilidad, durabilidad, resistencia al fuego, atractivo estético, etc.

En el diseño, construcción y mantenimiento de los muros exteriores hay consideraciones que se deben incluir: atractivo visual, integridad (aire y estanqueidad, carga, movimientos), física / medio ambiente / comodidad y mantenimiento. Alcivar Bastidas, S. E. (2014). *Developing dynamic maintenance strategies – A case study of building façade*. (Tesis de Masterado inédita). National Cheng Kung University. Taiwán

2.1.4.1 Factores ambientales que afectan a fachadas

Antes de diseñar existen factores ambientales que deben ser considerados en función de las condiciones atmosféricas de la exposición de edificio tales como: lluvia, viento, luz del sol y contaminación. Alcivar Bastidas, S. E. (2014). *Developing dynamic maintenance strategies – A case study of building façade*. (Tesis de Masterado inédita). National Cheng Kung University. Taiwán

• Lluvia

El agua de lluvia juega un papel central en muchos de los mecanismos destructivos que experimenta un edificio, como el cambio dimensional, la corrosión, la lixiviación, eflorescencia y la penetración del agua, que puede conducir al deterioro de los acabados internos. En la tinción de las fachadas, el agua de lluvia es el iniciador del proceso. El agua también es un factor importante en el proceso de lixiviación y la eflorescencia, así como el impulso del crecimiento biológico, todo lo cual dará como resultado la tinción de la fachada del edificio.

• **Viento**

Un efecto fundamental del viento durante la precipitación es que va a cambiar la dirección de todas las gotas de agua de manera de que incidan sobre superficies verticales en lugar de caer de forma paralela a las superficies. La dirección del viento dominante afectará la forma en la que la lluvia golpeará la fachada y cómo el escurrimiento de la lluvia resultante fluirá y redistribuirá la tierra en la fachada.

• **Luz de sol**

Además de la radiación UV, la luz del sol juega un papel importante que afecta dando lugar a la formación de manchas en una fachada. Estas manchas son el resultado del crecimiento biológico de bacterias, hongos y algas en la fachada y son visibles en forma de cojines verdes, rojos, marrones o rojas que se extienden hacia el exterior. La tinción debido al crecimiento biológico ocurre generalmente en las secciones inferiores de las fachadas que se encuentran en las proximidades de la vegetación y están al abrigo de la luz solar por edificios o árboles adyacentes.

• **Contaminación**

Los contaminantes atmosféricos perjudiciales incluyen el dióxido de azufre que puede conducir a la sulfatación de piedras naturales, dióxido de carbono que puede conducir a la carbonatación del hormigón. Estos contaminantes pueden ser transportados por el viento y depositados directamente en la fachada o pueden ser depositados en solución por el agua de lluvia. Las fuentes de contaminación que emiten contaminantes a la atmósfera incluyen:

- Plantas industriales
- El tráfico de vehículos en las carreteras
- El polvo en suspensión procedente de países vecinos.

2.1.4.2 Defectos más comunes en fachadas

Los Defectos más comunes en fachadas incluyen:

- Agrietamiento
- Tinción / decoloración
- Fallas sellantes
- Eflorescencia
- Aumento de la humedad / la penetración del agua
- Corrosión
- Pandeo / deflexión

2.1.5 Tiempo de vida servicial del edificio

Es necesario conocer la definición de la vida servicial del edificio, ya que proporciona la base para conocer como ampliar su vida de diseño. Según la Norma ISO 15686-1, La definición de vida útil es el periodo de tiempo después de la instalación durante el cual un edificio o alguna de sus partes cumple o excede los requisitos de rendimiento. Esta definición también incluye otros conceptos que son fundamentales para el desarrollo de la investigación ya que están relacionados.

Vida Útil Referencial de un Componente (RSLC), es la vida útil de un edificio o parte de un edificio con la que se espera contar en un determinado conjunto de condiciones de uso.

Vida Útil estimada de un componente (ESLC), es la vida útil que se espera tener de un edificio o partes de un edificio en un conjunto de condiciones específicas de uso, calculado mediante el ajuste referencial de las condiciones de uso en términos de materiales , diseño, medio ambiente, uso y mantenimiento.

2.1.6 Método de los Factores

Citando la norma ISO 15686, esta propone emplear el Método de los Factores, este se basa en la estimación de una vida útil referencial y la aplicación de una serie de factores modificadores relacionados con las condiciones específicas del caso. La clave es la vida útil referencial, que puede ser determinada mediante ensayos y pruebas, por la observación, por normativas o por referencias bibliográficas. Los factores considerados son:

- La calidad de los componentes.	A
- La calidad de la construcción.	B
- La calidad de la ejecución.	C
- La influencia del ambiente interior	D
- La influencia del ambiente exterior.	E
- La intensidad de uso.	F
- La calidad del mantenimiento.	G

Tabla 1. Factores de Vida Útil Referencial de un Edificio

De acuerdo a los factores presentados en la tabla y a la aplicación de la vida útil referencial y estimada del edificio podemos obtener la siguiente ecuación:

$$ESLC = RSLC \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G$$

Ecuación 3. Cálculo vida útil estimada del edificio

En muchos casos se asignan valores en condiciones particulares de uso, pero sin orientaciones sobre las expectativas de variabilidad o los detalles de lo que se deriva de esos valores. Es difícil simular todos los factores que se dan en la práctica, de lo que resultan unos valores de vida de diseño que en ocasiones son mayores que la duración del servicio que los materiales han tenido y que sólo pueden ser considerados como aproximados. Los mejores

resultados para la predicción de la vida útil no siempre se corresponden con los procedimientos estandarizados (Daniotti & Cecconi, 2010).

El mantenimiento que se proporcionara a las fachadas de las viviendas que elegiremos, estará basada en el tiempo de vida estimada de los componentes, esta está ligada al tiempo de vida útil referencial, cuyos factores pueden o no cambiar, nos basaremos en la variación de la calidad del mantenimiento y de la calidad de la ejecución factores que son los más propensos a cambiar (Flores y Brito; 2010).

2.2 Materiales

2.2.1 Características de los Materiales

A continuación se expondrá cinco materiales más comunes utilizados en fachadas, con sus respectivas características y el por qué de su gran utilización.

2.2.1.1 Aluminio.

El aluminio presenta unas evidentes ventajas que lo distinguen del resto de materiales, como se muestra en la Tabla 2.

	Ventajas
Aluminio	Es ligero, a igualdad de volumen el aluminio pesa una tercera parte del acero.
	Es un buen conductor de la electricidad.
	El aluminio puro tiene unas propiedades mecánicas limitadas, pero sus aleaciones le permiten alcanzar valores adecuados para el uso en la construcción.
	Es resistente a los agentes atmosféricos.
	El aluminio y la mayor parte de sus aleaciones no se corroen.
	En el proceso de oxidación se auto protege por medio de la propia capa o lámina estable de alúmina que se forma fruto de la oxidación.

Tabla 2. Ventajas del Aluminio como material de fachada

2.2.1.2 Vidrio.

Una luna de vidrio insertada en una fachada ligera puede estar sometida a esfuerzos mecánicos de diferentes tipos: axiales, torsiones, impactos y penetraciones. La resistencia real de cada luna de vidrio presenta una gran dispersión de resultados respecto a la resistencia teórica debido a la importancia de los defectos microscópicos del material. Los ensayos estadísticos proporcionan sin embargo los siguientes resultados orientativos:

- Resistencia a compresión.
- Resistencia a tracción.
- Resistencia a flexión.

Zamora i Mestre, J. Ll. (2005). Diseño de fachadas ligeras. *Hydro Building Systems*

2.2.1.3 Mortero de Cemento

Son variados los componentes de los morteros para fachadas como se trata de productos prefabricados de formulaciones preestablecidas, pueden variar de componentes, en general algunos de ellos son: Cemento pórtland y cales hidratadas, arenas silíceas y calizas, además de algunos aditivos como resinas, hidrófugos, fibras etc.

Las principales características de estos morteros se presentan en la Tabla 3.

Durabilidad	Si están bien preparados y aplicados suelen ser muy duraderos.
Permeabilidad al vapor de agua	Dejan respirar los soportes sobre los que se aplica.
Impermeabilidad	Forman una barrera física impermeable de fuera hacia dentro, protegiendo el muro del agua de lluvia.

Tabla 3. Características Mortero de Cemento

Mortero para fachadas. (s.f.). Canal Construcción: Fachadas. (2015).

2.2.1.4 Piedra Natural

La piedra natural se utiliza en muchos de los edificios para revestir las fachadas exteriores, dotándolas así de un acabado de gran dureza y calidad. Este aplacado exterior potencia la imagen visible del edificio y le proporciona una serie de cualidades que se relacionan con la sobriedad, elegancia o durabilidad.

Los aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta al decidir el recubrimiento exterior del edificio con piedra natural, para evitar que aparezcan lesiones, son tres:

- La elección del material, que debe ser una piedra dura, resistente al desgaste que produce la acción combinada del agua, el viento y los elementos contaminantes del medio ambiente al que esté expuesta.

- Unión o sujeción de las placas de la fachada, que puede realizarse mediante morteros, resinas o anclajes a base de tacos o de piezas metálicas para su unión a las fábricas o muros.

- Dilatación del material debido a la acción del calor o el frío, por lo que nunca resulta aconsejable disponer las piezas excesivamente próximas, debiendo siempre dejar una separación entre ellas para que puedan absorber las pequeñas variaciones de sus dimensiones.

Aplacados en piedra natural. (s.f.). HostingSerboWEB: Sogestone. España.

2.2.1.5 Porcelanato

Su capacidad de aislante eléctrico, repercute en que los recubrimientos cerámicos eviten la captación del polvo ambiental eléctricamente activo y, con ello contribuyen al bienestar.

La capacidad del recubrimiento cerámico de prevenir la humedad, evita el desarrollo de colonias de gérmenes y hongos, que se generan con facilidad en construcciones donde la permeabilización es deficiente.

La acción de estos organismos sobre algunos recubrimientos no cerámicos es progresiva y pueden ocasionar manchas en su superficie y deterioro de su interior. Por otra parte, por razones higiénicas, siempre hay que evitarse que estos agentes prosperen.

Propiedades de los azulejos. (s.f.). Construmatica: Construpedia. España.

2.2.2 Vida útil de los elementos constructivos de las fachadas

A continuación se han comparado una serie de valores que aparecen en algunas publicaciones completas, internacionales (Tabla 4.)

Entre los documentos considerados se encuentra un manual de mantenimiento editado por el Instituto de la Tecnología de la Construcción de Catalunya (ITEC, 1991), el manual de mantenimiento de origen francés (Albano, 2005). La tercera referencia es un documento británico de la Asociación Mutua de la Propiedad de la Vivienda expresamente dedicado a la orientación sobre la vida útil de los componentes de los edificios (HAPM, 1992). Otras referencias menos extensas aparecen en un manual de origen suizo dedicado a la rehabilitación (Giebeler, 2009) y en el documento informativo de origen alemán emitido por el Instituto para la Conservación y Modernización de los Edificios (IEMB, 2006).

Vida útil Estimada (Años)	ITEC 1991	ALBANO 2005	HAPM 1992	GEBELER 2009	IEMB 2006	MIN	MAX
Cerramientos Opacos							
muro de ladrillo	IND	IND	35+		80-150	35+	IND
muro de bloque de hormigón	IND		35+		100-150	35+	150
muro de bloque aligerado			35+		80-120	35+	120
muro de piedra	IND	IND	30-35+		60-250	30	IND
muro de hormigón	IND	IND			60-150	60	IND
aislamiento en cámara		20	30-35+			20	35+
panel aislante para fachada ligera		30				30	
revestimiento continuo d mortero	30-50		10-35+	30-60	20-50	10	50
revestimiento de piedra	IND	30+			60-100	30	IND
revestimiento cerámico			20-35+			20	35+
revestimiento de aluminio	IND		35		30-60	30	60
revestimiento de acero galvanizado			30			30	
revestimiento de acero galvanizado lacado					40-60	40	60
revestimiento de cobre					30-50	30	50
revestimiento de zinc	IND				80-120	80	IND
revestimiento de vidrio	IND	15-25	15-20		40-70	15	IND
revestimiento de plástico		20	10-20			10	20
revestimiento de fibrocemento		30	25			25	30
remates de acero lacado o de aluminio			5-25			5	25
remates d piedra o cerámica	IND		20-35			20	IND
remates d hormigón prefabricado			10-35			10	35
pintura sobre paramento exterior	10-20				15-25	10	25
anclajes y subestructura de acero			35-35+		30-120	30	120
anclajes y subestructura de aluminio			30			30	
anclajes y subestructura de acero protegido			5-35+		30-50	5	50
subestructura d madera					25-35	25	35
trasdosado interior de fabrica de ladrillo					60-150	80	150
trasdosado interior de yeso laminado		30+			35-60	30+	60
Cerramientos Acristalados							
carpinterías de aluminio	40-60	25	15-35	25-40	40-60	15	60
carpinterías de madera	30-50	20-35	13058	25-40	30-60	10	60
carpinterías de acero pintado	30-50	25	15-35	25-40	40-50	15	50
carpinterías de plástico	40-60	25	45931	25-40	40-60	10	60
carpinterías de acero inoxidable	40-60			25-40		40	60
vidrio simple					60-100	60	100
vidrio aislante con cámara de aire			5-30	20-35	20-50	5	35
sellados expuestos		10	5-20		10-25	5	25
perfiles de juntas de ventanas de vidrio		10-15	5-20		15-25	5	25
herrajes de carpintería	30-50	15			20-50	15	50
anclajes para vidrio en fachada ligera		30				30	
silicona estructural de fijación de vidrio		10+				10+	
tratamiento protector de carpintería de madera	3-10		5		10-20	3	20
tratamiento protector de carpintería d acero	5-15					5	15
Protecciones							
persiana o celosía de aluminio	15-30	25			20-30	15	30
persiana o celosía de madera	3-7	25				3	25
barandilla de acero pintado	60-80				30-60	30	60
barandilla de madera	40-60				30-50	30	60
toldos		5-10			10-20	5	20

Tabla 4. Comparativa de diversas expectativas de vida útil de componentes de fachadas recogidas en diferentes referencias bibliográficas

2.3 Defectos de Los Materiales

En los últimos años los defectos en fachadas de edificios han incrementado, esto se puede atribuir a los cambios de clima, a la mala calidad de la mano de obra, u otros factores, que intervienen en la instalación final de la fachada, a continuación nombramos los defectos más comunes en fachadas de los siguientes materiales (Tabla 5) y las causas que los provocan (Tabla 6)

Defectos comunes	Fachadas de Edificios				
	Mortero de Cemento	Azulejos	Láminas de Aluminio	Piedra Natural	Vidrio
Agrietamiento	X	X		X	X
Tinción / Decoloración	X	X	X	X	X
Defectos del sellador		X	X	X	X
Eflorescencia	X	X		X	
Humedad ascendente / penetración de agua	X	X		X	
Desalineación		X		X	
Corrosión			X		
Delaminación	X	X			
Aspecto superficial	X	X	X		

Tabla 5. Defectos más comunes en fachadas

Tomado de Chew et al. (1998) *Building Facades: A Guide to Common Defects in Tropical Climates*. Singapur. World Scientific

Causas que provoquen estos defectos:

	Causas
	Acción de la presión de viento.
	Insuficiente conocimiento sobre la construcción / fijación de los elementos de revestimiento.
	Insuficiente conocimiento en la durabilidad de las fijaciones. La importancia del diseño en que afecta a la durabilidad a menudo se pasa por alto.
	El no realizar el mantenimiento necesario.
Defectos más comunes	El fallo de selladores de juntas debido a:
	- Diseño pobre e las juntas
	- Elección inadecuada de sellador
	- La preparación de superficies pobres y mano de obra en la instalación del sellador
	- La radiación ultravioleta y alta temperatura y humedad.
	La información inexacta de los fabricantes que resulta en el mal uso o elección inadecuada y el uso de materiales.
	El diseñador puede no tener los conocimientos de las propiedades físicas, el rendimiento y el potencial deterioro de los materiales.

Tabla 6. Defectos más comunes en los materiales y sus causas

2.4 Curvas de Degradación

La curva de degradación son el resultado de un cálculo matemático donde el eje de las X, está representado por el tiempo, mientras el eje de las Y, nos indica el índice de degradación, ya sea ocasionado por el desgaste, la calidad el material, su valor, etc. Como se muestra (Fig. 3), Esta curva va a variar según el periodo de tiempo y según el tipo de solución de mantenimiento que se le dé al tipo específico de material de fachada.

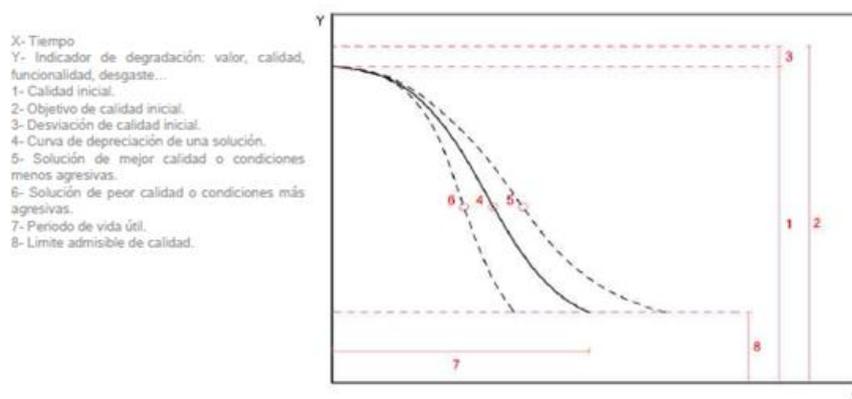


Figura 3. Curva de Envejecimiento o Degradación

Tomado de: Garrido, P. (2015) *Vida y obsolescencia de fachadas del siglo XX en la ciudad de Barcelona* (Tesis de Doctorado inédita). Universitat Poltècnica de Catalunya. España

En un determinado periodo de tiempo la curva de degradación, llegará a su nivel máximo, donde ya ningún tipo de mantenimiento surtirá efecto, ya que el material habrá llegado a su límite de vida servicial.

Con esta base, se podrán trazar distintos tipo de curvas de degradación, en distintos periodos de tiempo para los diferentes tipos de edificios, y sus partes que lo componen, en este caso su fachada, y esta a su vez presentará un distinto tipo de curva con respecto a la de estructuras internas u otros sistemas del edificio.

Las curvas de degradación siempre van a variar, ya que los propietarios de edificios están al tanto que tarde o temprano este necesitará de mantenimiento, reparación y en casos más graves necesitarán de rehabilitación o restauración, este resultado de mantenimiento que se le puede dar al edificio se denotara en la curva porque a través del tiempo esta irá aumentando. (Fig. 4).

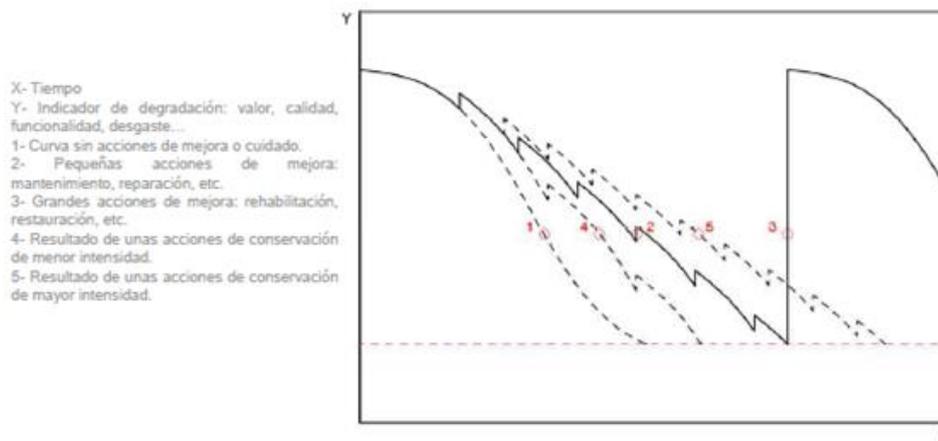


Figura 4. Curva de Degradación, considerando acciones de mejora de calidad en el tiempo

Tomado de Garrido, P. (2015) *Vida y obsolescencia de fachadas del siglo XX en la ciudad de Barcelona* (Tesis de Doctorado inédita). Universitat Poltècnica de Catalunya. España

La curva de degradación de cualquier elemento del edificio, va a seguir distintos tipos de trazado según el tipo de mantenimiento que se le dé y también dependiendo del tipo de producto que se use, en base al daño que sea ocasionado, ya sea por el entorno o por otras características. Simplificando un poco el trazado de las curvas (obviando los resaltes que suponen las inversiones periódicas de recursos en unas condiciones de mantenimiento determinadas) es posible trazar no ya una curva sino un área (Fig. 5) en donde se puede reconocer la probable evolución de la vida del elemento en función de diversos escenarios (Sarja et al., 2005)

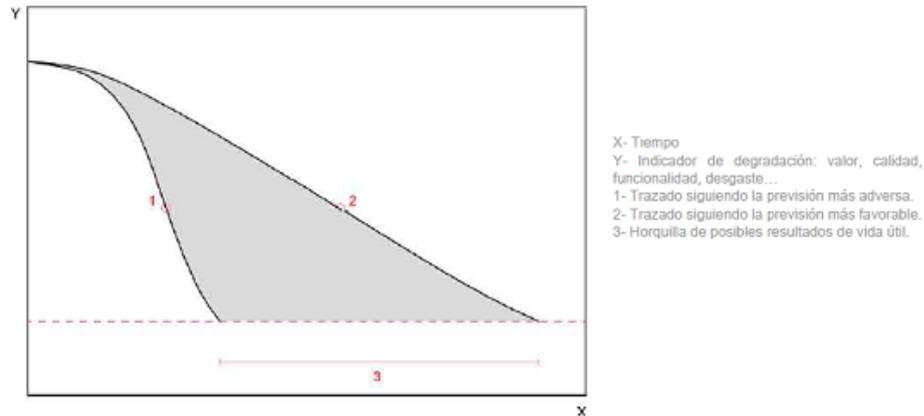


Figura 5. Curva de degradación representada como un área que refleja los diferentes escenarios posibles para la vida útil.

Tomado de Garrido, P. (2015) *Vida y obsolescencia de fachadas del siglo XX en la ciudad de Barcelona* (Tesis de Doctorado inédita). Universitat Politècnica de Catalunya. España

Es esta área de posible evolución de la degradación la que permite realizar ciertas predicciones incluso en un estado intermedio de la vida útil (König et al., 2010). Así, si se conoce la edad del elemento considerado y su estado de degradación o depreciación a esa edad, se puede extrapolar una probable curva de comportamiento específico y realizar una previsión de la vida útil residual (Fig. 6).

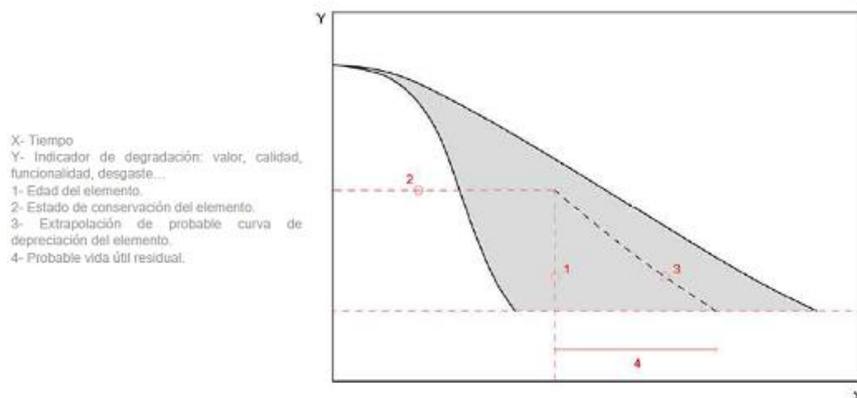


Figura 6. Estimación de la vida útil de un elemento concreto

Tomado de Garrido, P. (2015) *Vida y obsolescencia de fachadas del siglo XX en la ciudad de Barcelona* (Tesis de Doctorado inédita). Universitat Politècnica de Catalunya. España

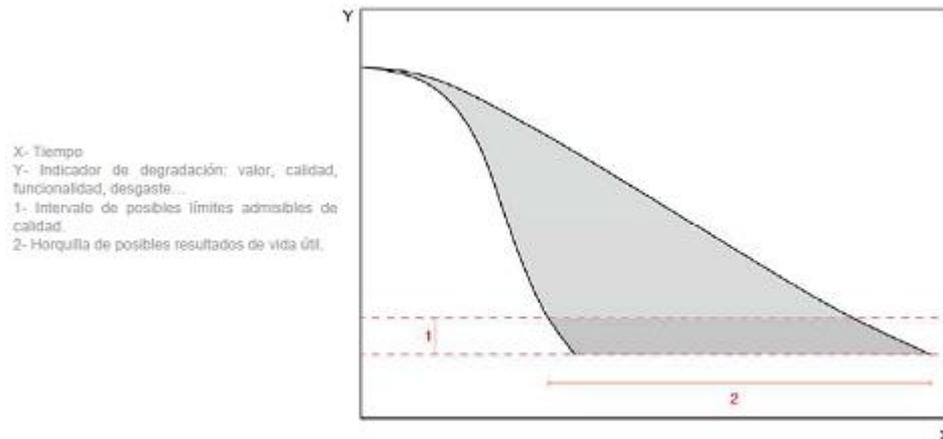


Figura 7. Área de incertidumbre del final de la vida útil

Tomado de Garrido, P. (2015) *Vida y obsolescencia de fachadas del siglo XX en la ciudad de Barcelona* (Tesis de Doctorado inédita). Universitat Politècnica de Catalunya. España

Uno de los puntos más complicados de precisar es el límite admisible del comportamiento, ese nivel que al intersecar con la curva de degradación determina el estado final de obsolescencia y la culminación de la vida útil. La norma ISO 15686 menciona que es importante identificar los niveles de aceptación mínima de las propiedades críticas, pero esta cuestión no siempre es claramente objetivable. Así, es posible reconocer hasta tres posibles fuentes para definir este nivel de aceptación a la hora de realizar predicciones (Sarja et al., 2005): los requerimientos especificados por el usuario, las regulaciones normativas o el nivel de calidad medio resultado de la observación. El límite admisible, por tanto, puede ser interpretado no tanto como un valor claro sino también como una horquilla con cierta incertidumbre, lo que aumentaría aun más la posible dispersión de valores para el final de la vida útil (Fig. 7).

En cualquier caso, conviene recordar que estas curvas no dejan de ser una idealización y simplificación de lo que en realidad sucede a lo largo de la vida de los edificios. Pueden ser muy útiles para entender mejor su evolución o realizar estimaciones aproximadas en torno a un indicador específico, pero difícilmente podrán reflejar de forma precisa la enorme complejidad y variabilidad de factores que afectan a la vida de los edificios. Garrido, P. (2015) *Vida y obsolescencia de fachadas del siglo XX en la ciudad de Barcelona* (Tesis de Doctorado inédita). Universitat Politècnica de Catalunya. España

CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DEL MARCO PARA EL DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DINÁMICAS DE MANTENIMIENTO

En el presente capítulo se va a describir los requisitos para el desarrollo de estrategias de mantenimiento en fachadas de acuerdo al tipo de material que se escogerá, la vida de servicio y el mantenimiento estimado, la frecuencia de mantenimiento. La Figura 7 contiene el marco para el desarrollo de estrategias dinámicas de mantenimiento.

3.1 HIPÓTESIS

Para el desarrollo de esta investigación se han considerado varias hipótesis: Las curvas de degradación se obtuvieron usando como referencia el trabajo previo (Flores y Brito 2010), considerando que su estudio de investigación podría aplicarse a cualquier material.

- Mantenimiento concerniente a Limpiezas que alteraran la forma inicial de la curva usando las mismas consideraciones realizadas por Flores y Brito
- Mantenimiento basado en una reparación profunda incrementará un 40% el rendimiento del material usando las mismas consideraciones realizadas por Flores y Brito
- Mantenimiento basado en reparación superficial aumentará un 15% de rendimiento del material usando las mismas consideraciones realizadas por Flores y Brito
- Los productos utilizados para el mantenimiento fueron elegidos en base a la calidad y los comentarios de compradores.
- Se considera que al 20% del comportamiento del material éste alcanza un nivel mínimo de calidad

En la estrategia desarrollada fueron considerados dos casos:

- Caso 1, se consideró la disminución del factor mantenimiento, post-construcción
- Caso 2, se consideró la disminución del factor mantenimiento, post-construcción, y el factor mano de obra.

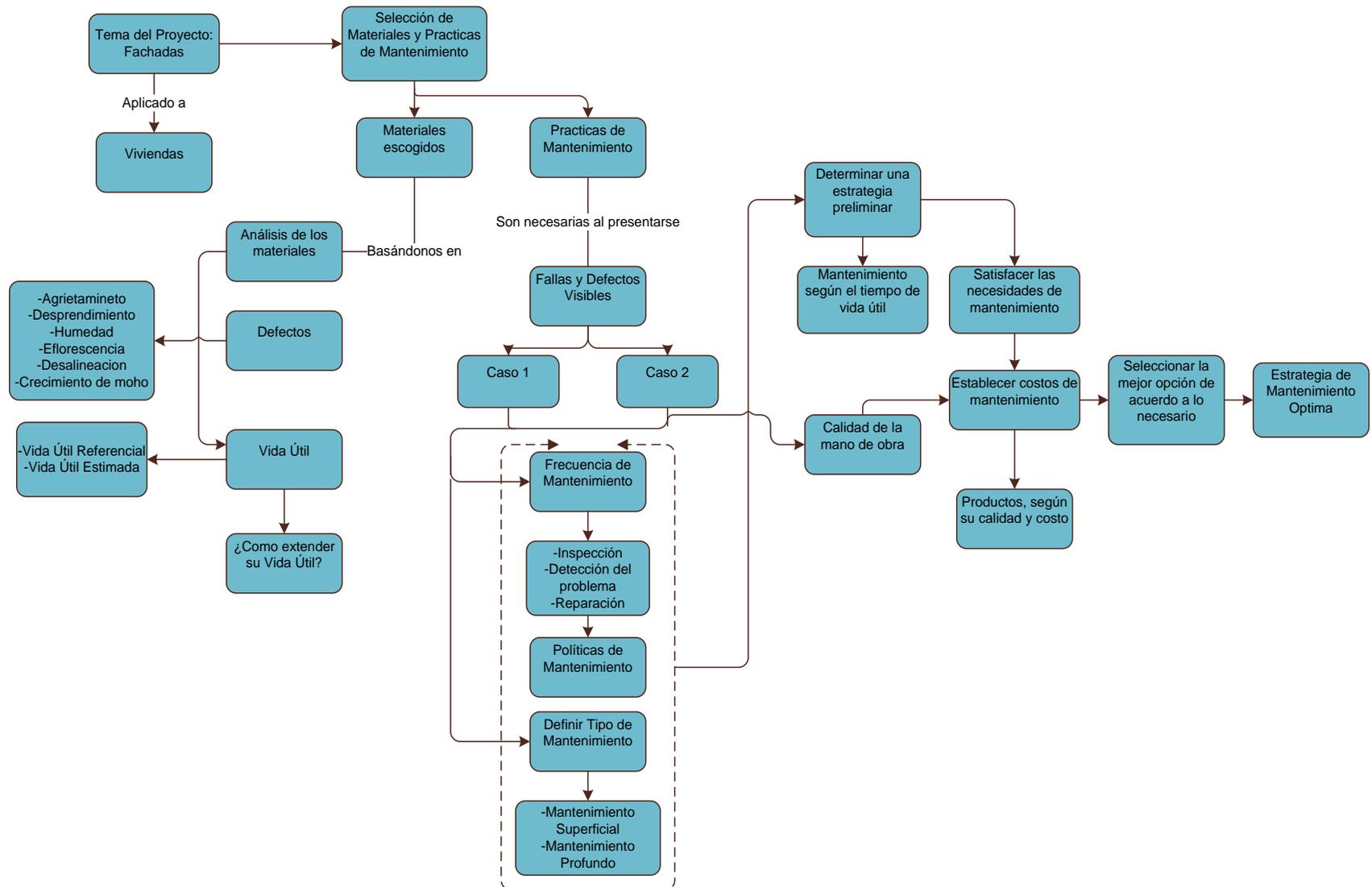


Figura 8. Marco para el desarrollo de estrategias dinámicas de mantenimiento

3.2 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

De acuerdo a lo planteado y visto en el capítulo anterior la selección de material es uno de los factores más importantes, no sólo para una fachada, sino para cualquier elemento utilizado en la construcción. La selección precisa del material resultará sobre todo en menores costes de mantenimiento y una vida útil más larga. Como se mostró hay diferentes tipos de materiales cuando se analiza el elemento de fachada; sin embargo, se seleccionará de acuerdo a la preferencia particular del propietario, en este caso se escogerá dos tipos de materiales distintos entre sí, debido a su costo de instalación, al costo de el material en sí, a sus distintos tipos de vida útil referencial y estimada y al grado en que pueden presentar fallas debido a los factores vistos antes. Al final, el resultado es tener un material que cumple con las expectativas del propietario.

Los materiales escogidos son:

- Mortero de Cemento
- Piedra Natural

3.3 Defectos de los Materiales

Como se mencionó en el capítulo anterior no solo basta con que el material sea bonito o vistoso, o si es uno de los preferidos por el público, también hay que tener en cuenta los defectos más comunes y de los cuales son más propensos a experimentar las fachadas de las viviendas en las que se va a poner en práctica las estrategias dinámicas de mantenimiento. Entre los defectos más comunes encontramos los siguientes, previa inspección realizada a las viviendas.

Mortero de Cemento

Los principales problemas que se encontraron en la fachada recubierta con mortero de cemento fueron:

1. El crecimiento de moho en las paredes exteriores e interiores

2. Agrietamiento
 3. Desprendimiento
- Piedra Natural

Los principales problemas que se encontraron en la fachada recubierta con piedra natural fueron:

1. Humedad
2. Hongos
3. Eflorescencia

3.4 DETERMINACIÓN DE LA DURABILIDAD DEL MATERIAL

Utilizando como base el trabajo de investigación (Flores y Brito, 2010), se tomaran los siguientes escenarios:

- Sin Mantenimiento
- Limpieza
- Reparación Profunda
- Reparación periódica

Para realizar los modelos de curvas de degradación, que serán aplicados al mortero de cemento y la piedra natural, la pérdida de rendimiento a través del tiempo se representa por curvas cualitativas que se refieren a, para el primer ciclo de vida de servicio, el cambio en los niveles de rendimiento del revestimiento, la velocidad de degradación y las operaciones de mantenimiento involucrados.

A continuación se hará referencia a la elaboración de las curvas de degradación para los cuatro tipos de escenarios propuestos, según los estudios previos realizados por (Flores y Brito; 2010).

- Sin Mantenimiento

Las ordenadas representan el rendimiento funcional de cada revestimiento (en porcentaje) y las abscisas el tiempo de vida del revestimiento (en años); la vida útil final se alcanza cuando el revestimiento tiene un nivel de rendimiento mínimo del 20 % del rendimiento inicial.

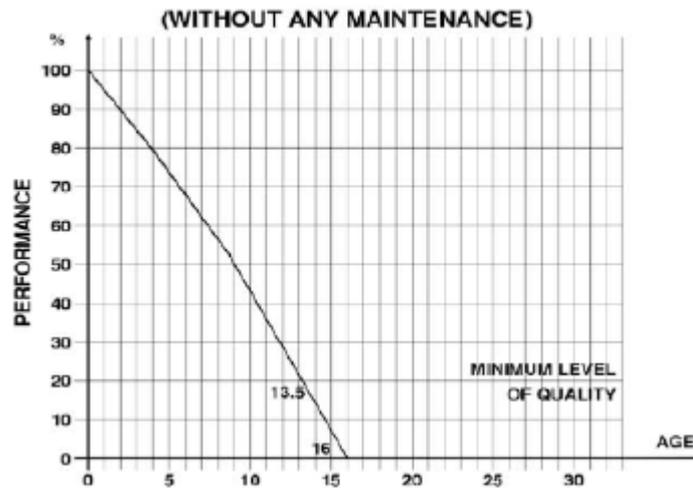


Figura 9. Curva de degradación sin mantenimiento

Tomado de: Flores y Brito (2010)

- Limpieza

Las operaciones de limpieza periódicas alteran la forma inicial de la curva; se asumió que las operaciones de limpieza no afectaron el nivel de rendimiento pero tenían ralentizan las velocidades de degradación; después de cuatro operaciones de limpieza con una periodicidad de una cuarta parte de la vida de servicio de mantenimiento.



Figura 10. Curva de degradación Operaciones de Limpieza

Tomado de: Flores y Brito (2010)

- Reparación profunda

La reparación profunda altera la forma inicial de la curva, se asumió que las reparaciones se realizaron después de 2/3 de la vida de servicio.

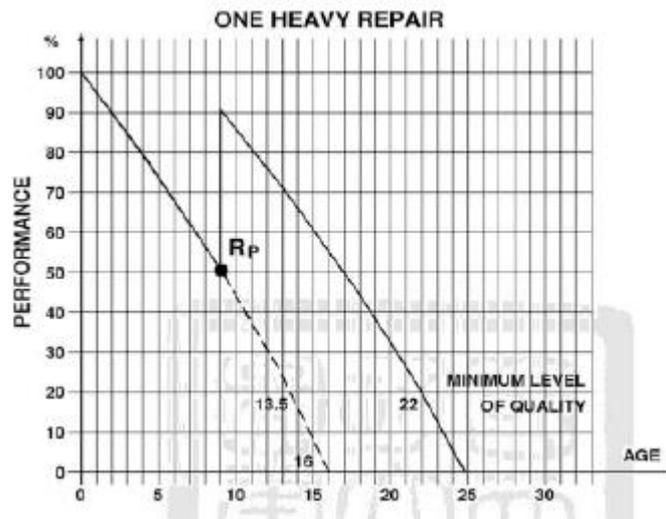


Figura 11. Curva de degradación Reparación Profunda

Tomado de: Flores y Brito (2010)

- Reparación Periódica

Las reparaciones periódicas alteran la forma inicial de la curva y se considera que en cada periodo de mantenimiento éste aumenta en un 15 % el rendimiento del material, aplicando este concepto, se realizaran ocho limpiezas con un periodo de 1/3 de la vida útil del material.

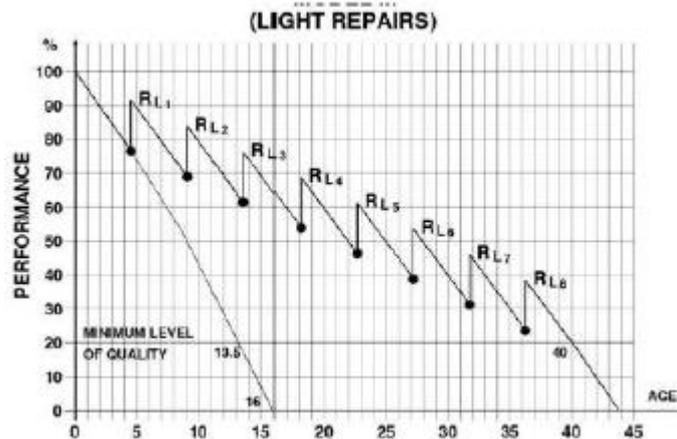


Figura 12. Curva de degradación Reparación Periódica

Tomado de: Flores y Brito (2010)

3.4.1 PIEDRA NATURAL

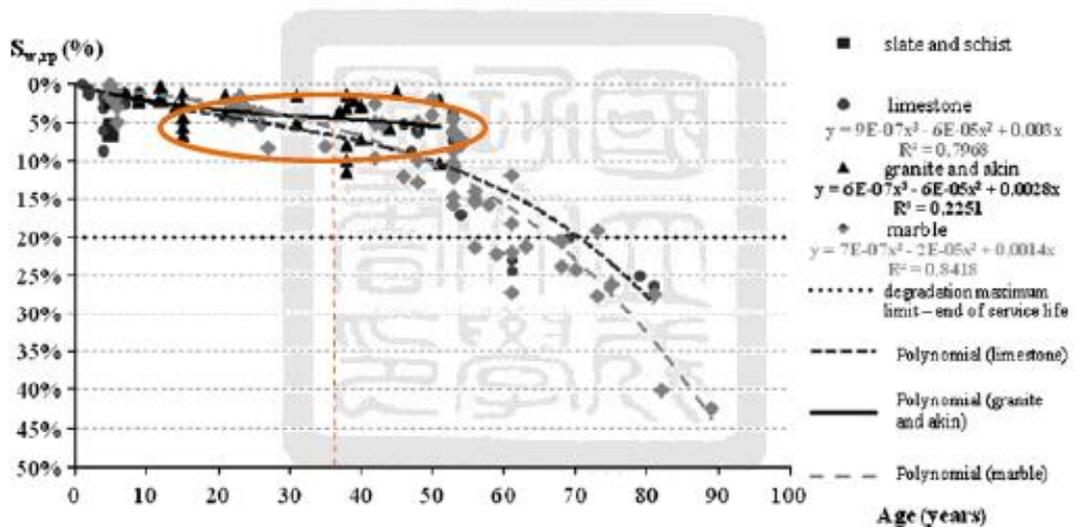


Figura 13. Curva de degradación para el nivel general de degradación de fachadas de Piedra Natural

Tomado de Gaspar (2011)

Después de seleccionar el material, conociendo las ventajas y desventajas de ellos hay otro factor que influye en el rendimiento de éste, que es su durabilidad.

En el capítulo anterior, la definición de vida útil ya ha sido descrita. Sin embargo, es importante recordar que la diferencia entre el tiempo de vida y la vida útil es que la vida útil se refiere a la cantidad máxima de tiempo que un objeto puede durar. Por otro lado, la vida útil es el periodo de tiempo después de la construcción en la que el edificio y sus elementos se ajustan o exceden los requisitos mínimos de rendimiento.

Con el fin de determinar la durabilidad del material, la metodología propuesta por la ISO 15686-1 (Flores y Brito 2010) y se ha descrito previamente (capítulo 2) muestra los siguientes resultados observados en la figura:

Coating	Value of factors								
	ESLC ^a	RSLC	A	B	C	D	E	F	G
Cementitious rendering	16	20	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
Elastomeric coating	12	15	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
Emulsion coating	6	7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
Ceramic tile mosaic	20	25	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
Natural stone	32	40	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8

Comments: A, B, C, D, E, F = 1 (standard conditions); G = unfavourable maintenance conditions (absence of maintenance and/or inadequate repairs).

^a ESLC = RSLC · A · B · C · D · E · F · G; where ESLC (estimated service life); RSLC (reference service life); A (quality of component); B (design level); C (work execution level); D (indoor environment); E (outdoor environment); F (in-use conditions) and G (maintenance level).

Figura 14. RSLC & ESLC de los materiales seleccionados

Tomado de (Flores y Brito; 2010)

La primera columna contiene los materiales utilizados, mientras que las demás columnas contienen la vida útil estimada, la vida útil referencial y los factores respectivamente, de los cuales también se hizo referencia en el capítulo anterior.

3.4.2 MORTERO DE CEMENTO

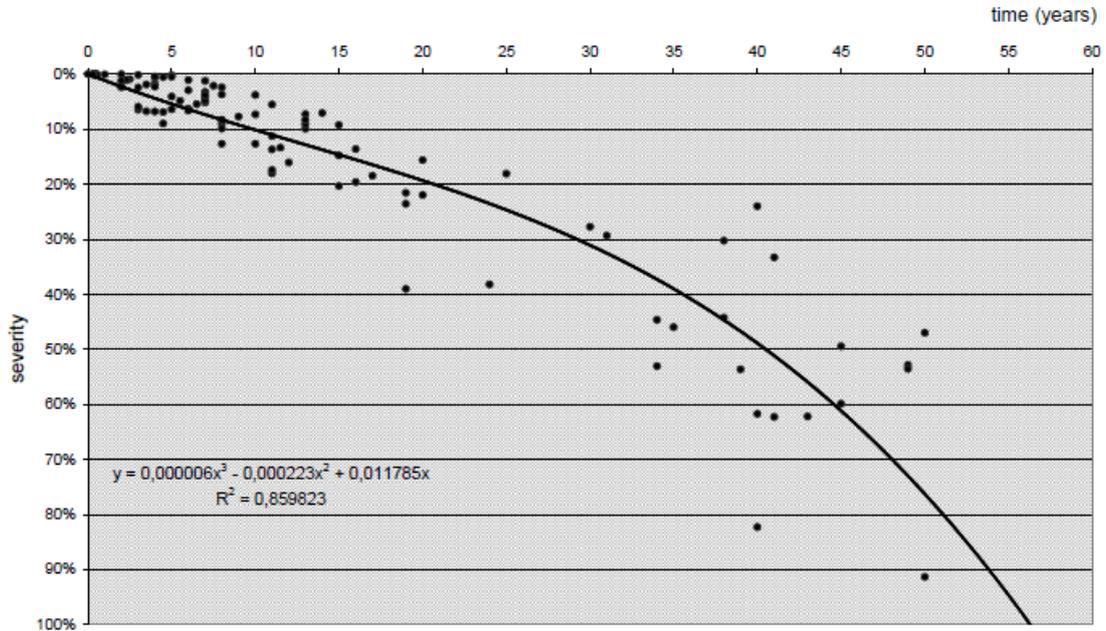


Figura 15. Curva de degradación para el nivel general degradación de fachadas de cemento,
Tomado de (Flores, et al; 2012)

Para la Piedra Natural vamos a tomar El tiempo de vida referencial mostrado en (Flores y Brito; 2010), mientras que para el mortero de cemento vamos a tomar como referencia el trabajo realizado por (Flores, et al; 2012), donde se muestra que la vida útil referencial del mortero de cemento a través de su vida útil es 55 años. Lo primero que se determinará será la Vida útil Referencial de los dos materiales escogidos:

- Mortero de Cemento, RSLC de 55 años
- Piedra Natural, RSLC de 40 años

Luego de determinar la vida útil referencial, lo siguiente es aplicar la ecuación (3) y la Tabla (1) para el caso de la piedra natural y la Figura para el caso del mortero de cemento.

Recordando la Ec. 3. ($ESLC = RSLC * A * B * C * D * E * F * G$) Donde A, B, C, D, E, F y G son los factores utilizados en el método factorial con diferentes valores de acuerdo con la condición del material. En esta investigación se ha

considerado que todos los valores de los factores de la ecuación 3 son iguales a 1 con la excepción de dos casos.

En el primer caso el factor G que se refiere a la Calidad del mantenimiento, teniendo en cuenta que la calidad de mantenimiento es uno de los factores menos considerado tendrá un valor menor, de 0,8.

En el segundo caso el factor G permanecerá con un valor de 0,8; mientras que el factor C, que es la calidad de la mano de obra también presentará un valor menor, de 0,5; ya que debido a que esta investigación estará centrada en fachadas de vivienda, la calidad de mano de obra puede diferenciarse de la calidad de instalación de fachadas en edificios.

Este supuesto (Flores y Brito 2010) considera el caso particular de Portugal; Sin embargo, este supuesto también se puede aplicar en Ecuador donde no se le da a la política de mantenimiento tanta importancia, por esa razón esta investigación también asumirá que todos los valores en la ecuación 3 son iguales a 1, con la excepción en el caso 1 y el caso 2, luego de la aplicación de la Ec. 3, podemos determinar cuál va a ser la Vida Útil Estimada de nuestros materiales en el caso 1 y el caso 2, como se muestra en la Tabla 7.

Material	Caso 1 (G=0.8)		Caso 2 (C=0.5 y G=0.8)	
	RSLC (años)	ESLC (años)	RSLC (años)	ESLC (años)
Mortero de Cemento	55	44	55	22
Piedra Natural	40	32	40	16

Tabla 7. Durabilidad de los Materiales

3.5 POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO

Después de seleccionar los materiales y determinar su vida útil estimada, es importante continuar con la segunda parte del marco, la política de mantenimiento.

Dentro del mantenimiento hay varios métodos que se pueden aplicar; sin embargo, para el desarrollo del marco y la investigación, las actividades de mantenimiento que se consideraron fueron: limpieza y reparación, también se tomará en cuenta la opción de no dar mantenimiento en absoluto lo que significa que la vida de servicio del material será el tiempo que la fachada durará hasta que falla en un 100% y que implicará una renovación. Este procedimiento tiene como objetivo comparar los costos entre los elementos mantenidos y sin mantenimiento. Las variables consideradas al dar mantenimiento son: frecuencia de mantenimiento (descripción de las acciones realizadas con el material y la obtención de resultados) y el tipo de mantenimiento (limpieza, reparación). La persona responsable o corresponsable debe mantener un registro de la frecuencia cuando se da mantenimiento y también debe determinar la condición del elemento antes y después del mantenimiento. Es por ello que las tres categorías de mantenimiento son cruciales para el desarrollo de esta investigación, ya que se establecieron el punto de partida y el punto final. La primera acción se inicia con la inspección (observación del problema que enfrentan en el material), a continuación, una vez detectado el problema, es necesario llamar al responsable o persona a cargo y finalmente procede a tomar acciones con el fin de resolver el problema:

- Inspección
- Detección del problema
- Reparación

Basados en los escenarios presentados, se van a desarrollar las estrategias de mantenimiento, los tipos de mantenimientos que se realizarán serán de tipo correctivo, en los dos casos presentados será de este tipo ya que serán aplicados a lo largo de la vida de servicio del material de la fachada, en el caso de limpiezas y reparación periódica, el mantenimiento se realizara al inicio de la vida útil, y se extenderán a lo largo de la vida de este, hasta

llegar a un nivel mínimo de rendimiento, mientras que la reparación profunda se la aplicara a la mitad de la vida útil, tomando en cuenta que también se buscara reparar en este, daños físicos a través del tiempo.

En el caso 2 la inspección en el escenario de reparación profunda será de suma importancia para encontrar el daño en la fachada, ya que se asumirá que la fachada presenta problemas en su construcción, y para la resolución del problema y la aplicación de los productos a utilizar se deberá contar con mano de obra especializada y profesional para cumplir con el correcto mantenimiento.

Siendo mantenimiento correctivo se debe tener en cuenta, los productos que se van a utilizar, siendo equitativos en cuanto a costo y rendimiento, para que los costos de mantenimiento no se eleven.

CAPÍTULO 4: ESTRATEGIAS DINÁMICAS DE MANTENIMIENTO APLICADAS EN DIFERENTES ESCENARIOS

En el presente capítulo se presentaran cuatro diferentes casos para el desarrollo de estrategias de mantenimiento dinámicas utilizando los dos materiales de fachada previamente elegidos en el marco propuesto, también da lugar a la verificación de las estrategias desarrolladas.

4.1 Desarrollo del caso de estudio pertinente para el desarrollo de estrategias dinámicas de mantenimiento

4.1.1 Escenarios Seleccionados

De acuerdo a las estimaciones de Inés Flores-Colen y Jorge de Brito (2010), las diferentes curvas de degradación se estiman para diferentes escenarios. La suposición hecha por los autores considera que la pérdida de rendimiento a lo largo de tiempo está representada por las curvas cualitativas que se relacionan, con el primer ciclo de vida de servicio, el cambio en los niveles de rendimiento del revestimiento, la velocidad de degradación y las operaciones de mantenimiento involucrados.

El estudio de (Flores y Brito 2010) está aplicado para el mortero de cemento, en el que se calculan la curva de degradación con una tasa porcentual que aumenta poco a poco de 4,5% a 8%; considerando que al 20% de rendimiento de los componentes, el material ha alcanzado el nivel mínimo de calidad de su rendimiento, no se lo considera al 0% ya que en esa condición el material no sería habitable y representaría un peligro a la sociedad.

En este capítulo se han seleccionado cuatro escenarios, aplicado a los dos casos previamente explicados en el apartado anterior

- Sin Mantenimiento
- Limpieza
- Mantenimiento Superficial
- Mantenimiento Profundo

4.2 CASO 1 – FACTOR DE MANTENIMIENTO

4.2.1 PIEDRA NATURAL

- SIN MANTENIMIENTO

La vida útil de la piedra natural sin ningún tipo de mantenimiento, como ya se vio en el apartado anterior será de 32 años, según el método de los factores, el análisis de los materiales se hará en base a dos factores, que son:

- El Rendimiento
- El tiempo en años o vida útil estimada.

Para el desarrollo de la curva se calculó el tiempo de vida estimado de la piedra natural, que fue de 32 años, (calculado con el factor mantenimiento disminuido a 0.8), luego se utilizó como referencia lo desarrollado en estudios previos (Silva et al, 2011,.) en los que se muestra la curva de degradación del material analizado en este trabajo de investigación, a lo largo de su vida de servicio.

Aplicando una analogía matemática con la curva de degradación de la piedra natural y el tiempo de vida estimado, se obtuvo la curva de degradación del tiempo de vida estimado del material cuando a este no se le aplica algún tipo de mantenimiento.



Fig. 16. Degradación de la Piedra Natural- Sin mantenimiento

Una vez determinado el tiempo de vida útil del material sin mantenimiento, y, que el nivel mínimo de calidad es de 27 años con un rendimiento máximo de 20%, En la Tabla 8. se evalúa el costo de reinstalar la fachada completamente, esto implicará costos de demolición, desalojo de material, e instalación total de la pared y el revestimiento, analizando un área de 18 m2. Para el cálculo de precios unitarios, se realizó un Análisis de precios unitarios, los cuales se pueden ver en el anexo.

Descripción del Trabajo	Unidad	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Demolición	M2	18	\$8	\$144
Desalojo del material	glb	2	\$40	\$80
Pared de bloque de hormigón (incluye mano de obra y material)	M2	18	\$12,1	\$217.8
Enlucido (incluye mano de obra y material)	M2	18	\$6	\$108
Piedra Natural	M2	18	\$35	\$630
Bondex	M2	18	\$2,50	\$45
Instalación Piedra Natural	M2	18	\$25	\$450
			TOTAL	\$1674.8

Tabla. 8. Costo de Reinstalación de Fachada de piedra natural

Analizando los costos de la Tabla 8. Se puede observar que para una fachada de piedra natural, a la cual no se le ha dado ningún tipo de mantenimiento, el costo de reinstalación será de \$1,674.80 para un área de 18m2.

Es importante tener una segunda alternativa, y esta es dar cualquier tipo de mantenimiento al material.

En esta investigación se presentarán dos métodos para la preservación del material de fachada, estos son: Limpieza y Reparación, la reparación se la va a subdividir en dos tipos, que son reparación profunda y reparación periódica, para así verificar cuál es más viable, y así poder desarrollar una estrategia de mantenimiento, para comprobar que las hipótesis expuestas extienden el tiempo de vida útil del material.

- LIMPIEZA

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (Flores & Brito, 2010) donde se muestra que las operaciones de limpieza pueden restablecer la tasa de degradación inicial (se supuso que las operaciones de limpieza no afectarían el nivel de rendimiento , pero pueden ralentizar la tasa de degradación) después de cuatro operaciones de limpieza con una periodicidad de $\frac{1}{4}$ del tiempo durante su vida útil (sin mantenimiento) , antes de que el material se comience a degradar linealmente . La periodicidad de la limpieza se estimó en aproximadamente cada 6,75 (27 años en el 20% del rendimiento del componente dividido por cuatro) años de vida del material, dando así un nivel mínimo de calidad de 32 años.

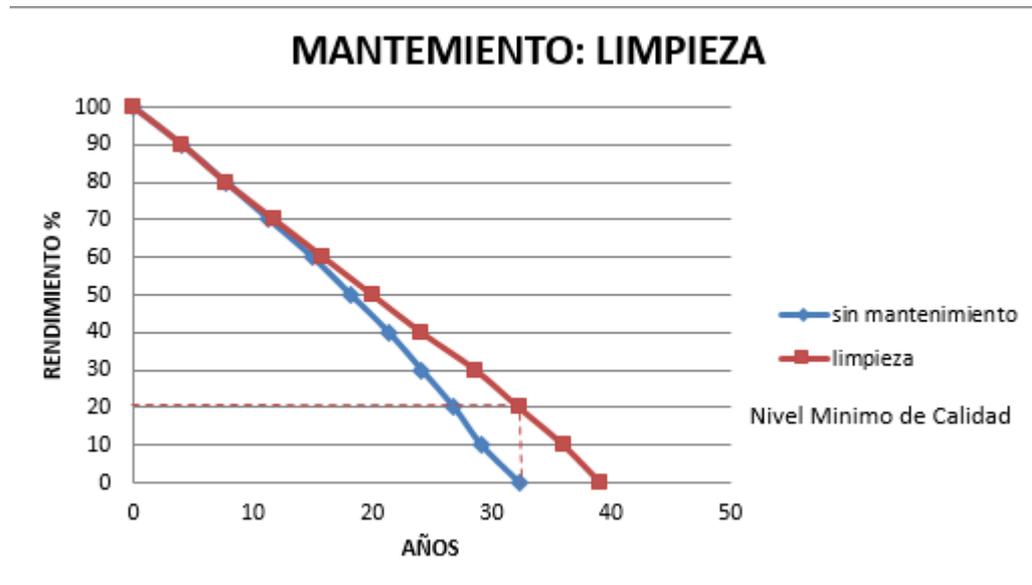


Fig. 17. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento de limpieza

Con este tipo de mantenimiento se incrementó el tiempo de vida del material de 27 años a 32 años. Cabe recalcar que el nivel mínimo de calidad mejoró debido solo a la limpieza que se aplicó en los 4 periodos de vida útil del material.

Es importante identificar los distintos problemas presentados en la fachada para aplicar una correcta limpieza, para así de esta forma abaratar costos.

- Humedad, producida por lluvia, absorción de agua por capilaridad
 Producto a utilizar: Sika Transparente
 Empleo: Aplicación Con Brocha sobre la superficie de fachada (aplicar 2 manos)
 Precio: Lata (3kg) \$21, 40
 Rendimiento: 160 g/m² para 2 manos aprox.
- Eflorescencia, manchas blancas producidas por lluvia y el tiempo.
 Producto a utilizar: Sika Imper Mur
 Empleo: Aplicación con brocha, sobre la superficie de fachada, debido a su viscosidad la penetración es más profunda.
 Precio: Presentación (4Kg) \$18.11

Rendimiento: 0.2 Kg/m² para 1 mano

- Hongos, producidos por humedad a través del tiempo

Producto: Sika Mata hongos

Empleo: Diluir el producto en relación 1:2 con agua y aplicar con brocha o rodillo.

Precio: Presentación (2Kg) \$4,94

Rendimiento: 50g/m² para 2 manos aprox.

Debido a que se van a realizar 4 limpiezas durante la vida útil del material, es necesario elaborar un análisis, como se muestra en la Tabla 9., donde se especifica de qué manera se van a realizar las limpiezas y con qué producto, para así escoger la más conveniente de acuerdo a los gastos que se deben realizar por la compra del producto, este análisis no incluirá el precio de la mano de obra, ya que la aplicación de los productos, no necesitan de mano de obra calificada.

	Humedad	Eflorescencia	Hongos
1er caso	Sika Transparente	Sika Imper Mur	Sika Mata Hongos
1/4 Limpieza	X		
1/4 Limpieza	X		
1/4 Limpieza		X	
1/4 Limpieza			X

	Humedad	Eflorescencia	Hongos
1er caso	Sika Transparente	Sika Imper Mur	Sika Mata Hongos
1/4 Limpieza	X		
1/4 Limpieza		X	
1/4 Limpieza		X	
1/4 Limpieza			X

	Humedad	Eflorescencia	Hongos
1er caso	Sika Transparente	Sika Imper Mur	Sika Mata Hongos
1/4 Limpieza	X		
1/4 Limpieza		X	
1/4 Limpieza			X
1/4 Limpieza			X

Tabla.9. Asunciones de limpieza

Se han considerado 3 escenarios para limpieza, usando los productos antes mencionados, presentados en la Tabla 9., para los defectos más comunes en este tipo de fachadas, este análisis se lo realizará partiendo de que a la fachada se le realizarán cuatro limpiezas en el tiempo de vida útil estimado.

En el primer escenario a los 6,75 y a los 13,50 años la fachada presentará humedad, a los 20,25 años presentará eflorescencia y a los 27 años presentará hongos.

En el segundo escenario a los 6,75 años la fachada presentará humedad, a los 13,50 y a los 20,25 años presentará eflorescencia y a los 27 años presentará hongos.

En el tercer escenario a los 6,75 años la fachada presentará humedad, a los 13,50 años presentará eflorescencia y a los 20,25 y a los 27 años presentará hongos.

Una vez realizadas estas asunciones, se procederá en la Tabla 10., a analizar el costo de los 3 escenarios, de acuerdo al precio de cada producto ya presentado.

	Humedad	Eflorescencia	Hongos
1er caso	Sika Transparente (3Kg)	Sika Imper Mur (4Kg)	Sika Mata Hongos (2Kg)
1/4 Limpieza	\$ 21,40		
1/4 Limpieza	\$ 21,40		
1/4 Limpieza		\$ 18,11	
1/4 Limpieza			\$ 4,94
Subtotal	\$ 42,80	\$ 18,11	\$ 4,94
Total	Σ \$ 65,85		

	Humedad	Eflorescencia	Hongos
1er caso	Sika Transparente (3Kg)	Sika Imper Mur (4Kg)	Sika Mata Hongos (2Kg)
1/4 Limpieza	\$ 21,40		
1/4 Limpieza		\$ 18,11	
1/4 Limpieza		\$ 18,11	
1/4 Limpieza			\$ 4,94
Subtotal	\$ 21,40	\$ 36,22	\$ 4,94
Total	Σ \$ 62,56		

	Humedad	Eflorescencia	Hongos
1er caso	Sika Transparente (3Kg)	Sika Imper Mur (4Kg)	Sika Mata Hongos (2Kg)
1/4 Limpieza	\$ 21,40		
1/4 Limpieza		\$ 18,11	
1/4 Limpieza			\$ 4,94
1/4 Limpieza			\$ 4,94
Subtotal	\$ 21,40	\$ 18,11	\$ 9,88
Total	Σ \$ 49,39		

Tabla. 10. Costo de Limpieza para área total

Analizando los costos de los productos, para los defectos mencionados, y aplicados a los tres escenarios propuestos, podemos concluir que, si bien el tercer escenario es el más crítico en cuanto a los defectos presentados, no lo es en cuanto al costo total de limpieza que es de \$49,39 versus el costo de limpieza en el primer escenario, que es de \$65,85. En esta investigación se tomará en cuenta el escenario con el costo más alto, que sería el más crítico en cuanto a gastos.

- Reparación Profunda

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (Flores & Brito, 2010), donde se muestra que en la mitad del tiempo de vida del material, se le aplicará un mantenimiento profundo el mismo que aumentará la vida útil del material en un 40%, (aumenta este porcentaje y no llega al 100% ya que se considera que por la degradación natural del material no es posible considerar al material como nuevo) aumentando así el tiempo de vida de un 27 a 41 años, de tener 18 años en la mitad de su rendimiento paso a tener 18 años al 90% de su rendimiento.

MANTENIMIENTO PROFUNDO

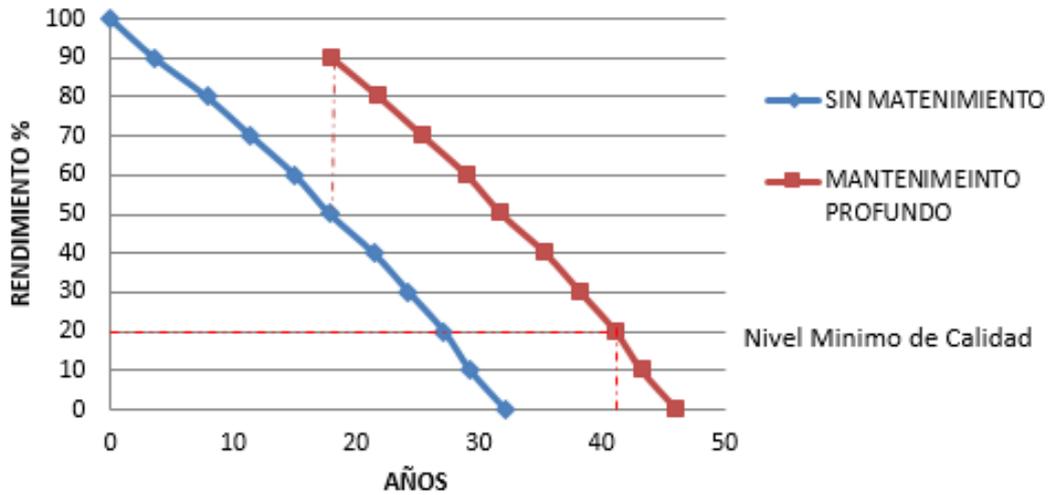


Fig. 18. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento profundo

Existe la probabilidad que, al estar el material con un 50% de su rendimiento este presentará, distintas averías en él, además de los problemas ya presentados como humedad o eflorescencia.

Para este tipo de mantenimiento se analizará la contratación de mano de obra calificada para que realice la reparación.

De acuerdo a trabajos de investigación especializados (Silva, 2011), Al momento en el que se realiza una reparación profunda al 50% del rendimiento del material de la fachada, significará que el área afectada por distintas causas será el 20% de la superficie total.

Por lo tanto si la superficie es de 18m² el 20% de esta será 3,6 m², en la siguiente tabla se muestra el costo de la mano de obra de reparación y el costo del material para realizar la limpieza.

Descripción del Trabajo	Unidad	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Reparación (incluye mano de obra)	M2	3,6	\$ 15	\$ 54
Sika Transparente	Kg	3	\$ 7,13	\$21,40
Sika Imper Mur	Kg	4	\$ 4,52	\$ 18,1
Sika Mata Hongos	Kg	2	\$ 2,47	\$ 4,94
			TOTAL	\$ 98,44

Tabla 11. Costo Reparación Profunda

Analizando los costos de la Tabla 11., se puede observar que para una fachada de piedra natural, a la cual se le aplicará una reparación profunda, el costo de mano de obra calificada y limpieza será de \$98,44 en un área de 18 m²

- Reparación Periódica

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (flores & Brito, 2010), donde se muestra que las reparaciones periódicas alteran la forma inicial de la curva y considera que en cada periodo de mantenimiento éste aumenta en un 15 % el rendimiento del material, aplicando este concepto , se realizaran ocho limpiezas con un periodo de 1/3 de la vida útil del material (9 años), así, después de 9 años, donde el rendimiento ha disminuido se empieza a aplicar las reparaciones periódicas. Hasta llegar a un nivel mínimo de calidad de 81 años con el 20% de rendimiento.

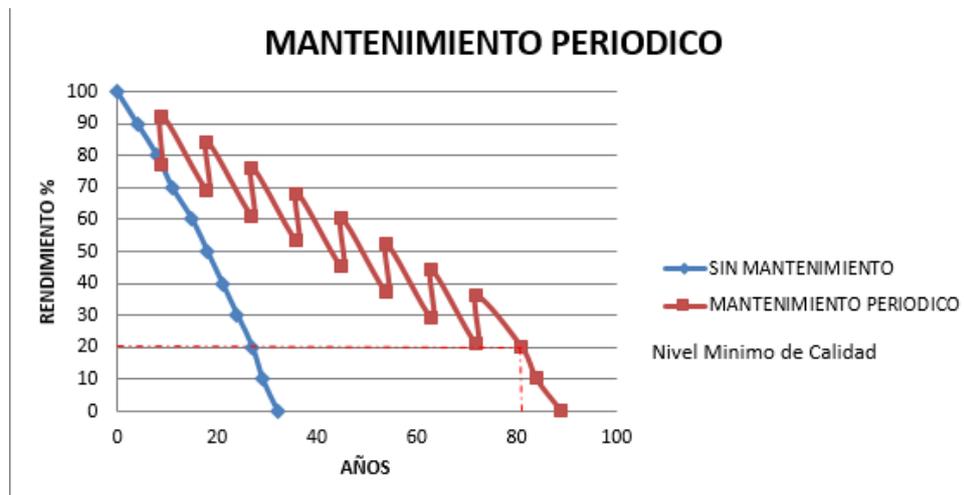


Fig. 19. Nueva vida Útil Estimada – Mantenimiento periódico

Para este tipo de mantenimiento, las reparaciones periódicas se van a realizar de la siguiente manera, utilizando productos de limpieza y mano de obra calificada aplicada en un m², ya que son reparaciones menores, como por ejemplo pequeñas fisuras presentes en la piedra por el paso del tiempo, o por daños ocasionados por terceras personas, o por algún tipo de herramienta.

Trabajo a Realizar		Descripción	Limpieza	Reparación
1/8	Limpieza	Limpieza general (humedad, eflorescencia)	\$ 39,51	\$ 0,00
1/8	Limpieza + reparación	Limpieza General (hongos), reparación superficial	\$ 4,94	\$ 15,00
1/8	Reparación	Reparación Superficial	\$ 0,00	\$ 15,00
1/8	Limpieza	Limpieza General (eflorescencia)	\$ 18,11	\$ 0,00
1/8	Limpieza+reparación	Limpieza General (humedad), reparación superficial	\$ 21,40	\$ 15,00
1/8	Limpieza+reparación	Limpieza General (hongos), reparación superficial	\$ 4,94	\$ 15,00
1/8	Reparación	Reparación Superficial	\$ 0,00	\$ 15,00
1/8	Limpieza	Limpieza General (humedad, eflorescencia)	\$ 39,51	\$ 0,00
1/8	Limpieza + reparación	Limpieza General (eflorescencia, hongos), reparación superficial	\$ 23,05	\$ 15,00
		TOTAL	\$ 151,46	\$ 90,00

Tabla. 12. Costo Reparaciones Periódicas

Analizando los costos de la Tabla 12., se observa que para una fachada de piedra natural, a la cual se le aplicara una reparación periódica, el costo de reparación cada 9 años no va a ser igual, ya que en estos periodos de tiempo se presentaran distintos tipos de problemas, tanto de limpieza como de reparaciones superficiales, el costo total será de \$151,46 para las limpiezas y \$90 para la mano de obra, siendo en total \$ 241,46

4.2.2 MORTERO DE CEMENTO

- **Sin Mantenimiento**

La vida útil del mortero de cemento sin ningún tipo de mantenimiento, como ya se describió en el apartado anterior será de 44 años, según el método de los factores.

Para el desarrollo de la curva se calculó el tiempo de vida estimado de la piedra natural, que fue de 44 años, (calculado con el factor mantenimiento disminuido a 0.8), luego se utilizó como referencia lo desarrollado en estudios previos (Silva et al, 2011) (Brito & Gaspar 2011), en los que se muestra la curva de degradación del material analizado en este trabajo de investigación, a lo largo de su vida de servicio.

Aplicando una analogía matemática con la curva de degradación del mortero de cemento y el tiempo de vida estimado, se obtuvo la curva de degradación del tiempo de vida estimado del material sin mantenimiento.



Fig. 20. Degradación del mortero de cemento- Sin mantenimiento

Una vez determinado el tiempo de vida útil del material sin mantenimiento, y, que el nivel mínimo de calidad es de 40 años con un rendimiento máximo de 20%, En la Tabla 13. se evalúa el costo de reinstalar la fachada completamente, esto implicará costos de demolición, desalojo de material, e instalación total de la pared y el revestimiento, analizando un área de 18 m2.

Descripción del Trabajo	Unidad	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Demolición	M2	18	\$8	\$144
Desalojo del material	glb	2	\$40	\$80
Pared de bloque de hormigón (incluye mano de obra y material)	M2	18	\$12,1	\$217.8
Enlucido (incluye mano de obra y material)	M2	18	\$6	\$108
			TOTAL	\$549,8

Tabla.13. Costo Reinstalación Fachada de Mortero de Cemento

Luego de revisar los costos que implica reinstalar el muro y la fachada, es importante tener una segunda alternativa, y esta es dar un respectivo mantenimiento al material.

- LIMPIEZA

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (Flores & Brito, 2010) donde se muestra que las operaciones de limpieza pueden restablecer la tasa de degradación inicial (se supuso que las operaciones de limpieza no afectarían el nivel de rendimiento , pero pueden ralentizar la tasa de degradación) después de cuatro operaciones de limpieza con una periodicidad de $\frac{1}{4}$ del tiempo durante su vida útil (sin mantenimiento) , antes de que el material se comience a degradar linealmente . La periodicidad de la limpieza se estimó en aproximadamente cada 10 (40 años en el 20% del rendimiento del componente dividido por cuatro) años de vida del material, dando así un nivel mínimo de calidad de 48 años.

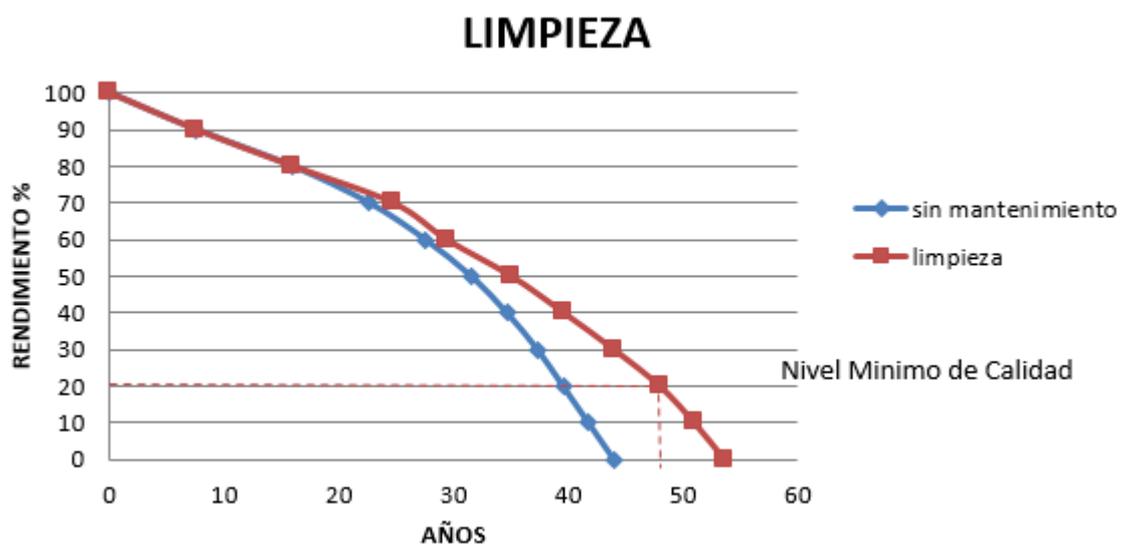


Fig. 21. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento de limpieza

Con este tipo de mantenimiento se incrementó el tiempo de vida del material de 40 años a 48 años. Efectuando exclusivamente en los periodos establecidos con anterioridad acciones correctivas de limpieza.

Es importante identificar los distintos problemas presentados en la fachada para aplicar una correcta limpieza, para así de esta forma abaratar costos.

- Humedad, producida por lluvia, absorción de agua por capilaridad
 Producto a utilizar: Sika Transparente
 Empleo: Aplicación Con Brocha sobre la superficie de fachada (aplicar 2 manos)
 Precio: Lata (3kg) \$21, 40
- Moho, producidos por humedad a través del tiempo
 Producto: Sika Mata Hongos
 Empleo: Diluir el producto en relación 1:2 con agua y aplicar con brocha o rodillo.
 Precio: Presentación (2Kg) \$4,94

Debido a que se van a realizar 4 limpiezas durante la vida útil del material, es necesario elaborar un análisis, como se muestra en la Tabla 14., donde se especifica de qué manera se van a realizar las limpiezas y con qué producto, para así escoger la más conveniente de acuerdo a los gastos que se deben realizar por la compra del producto, este análisis no incluirá el precio de la mano de obra, ya que la aplicación de los productos, no necesitan de mano de obra calificada.

	Humedad	Hongos
1er caso	Sika Transparente	Sika Mata Hongos
1/4 Limpieza	X	
1/4 Limpieza	X	
1/4 Limpieza	X	
1/4 Limpieza		X

	Humedad	Hongos
1er caso	Sika Transparente	Sika Mata Hongos
1/4 Limpieza	X	
1/4 Limpieza	X	
1/4 Limpieza		X
1/4 Limpieza		X

	Humedad	Hongos
1er caso	Sika Transparente	Sika Mata Hongos
1/4 Limpieza	X	
1/4 Limpieza		X
1/4 Limpieza		X
1/4 Limpieza		X

Tabla. 14. Asunciones de limpieza

Se han considerado 3 escenarios para limpieza, usando los productos antes mencionados, presentados en la Tabla 14., para los defectos más comunes en este tipo de fachadas, este análisis se lo realizara partiendo de que a la fachada se le realizaran cuatro limpiezas en su tiempo de vida útil estimado. En el primer escenario a los 10, a los 20 años y a los 30 años la fachada presentará humedad, y a los 40 años presentará hongos.

En el segundo escenario a los 10 y a los 20 años presentará humedad y a los 30 y 40 años presentará hongos.

En el tercer escenario a los 10 años presentará humedad y a los 20,30 y 40 años presentará hongos. Una vez realizadas estas asunciones, se procederá en la Tabla 15., a analizar el costo de los 3 escenarios, de acuerdo al precio de cada producto ya presentado.

	Humedad	Hongos
1er caso	Sika Transparente (3Kg)	Sika Mata Hongos (2Kg)
1/4 Limpieza	\$ 21,40	
1/4 Limpieza	\$ 21,40	
1/4 Limpieza	\$ 21,40	
1/4 Limpieza		\$ 4,94
Subtotal	\$ 64,2	\$ 4,94
Total	Σ \$ 69,19	

	Humedad	Hongos
1er caso	Sika Transparente (3Kg)	Sika Mata Hongos (2Kg)
1/4 Limpieza	\$ 21,40	
1/4 Limpieza	\$ 21,40	
1/4 Limpieza		\$ 4,94
1/4 Limpieza		\$ 4,94
Subtotal	\$ 42,8	\$ 9,88
Total	Σ \$ 52,68	

	Humedad	Hongos
1er caso	Sika Transparente (3Kg)	Sika Mata Hongos (2Kg)
1/4 Limpieza	\$ 21,40	
1/4 Limpieza		\$ 4,94
1/4 Limpieza		\$ 4,94
1/4 Limpieza		\$ 4,94
Subtotal	\$ 21,40	\$ 14,82
Total	Σ \$ 36,22	

Tabla. 15. Costo de Limpieza para área total

Analizando los costos de los productos, para los defectos mencionados, y aplicados a los tres escenarios propuestos, podemos concluir que, si bien el tercer escenario es el más crítico en cuanto a los defectos presentados, no lo es en cuanto al costo total de limpieza que es de \$36,22 versus el costo de limpieza en el primer escenario, que es de \$69,19. En esta investigación se considerará el escenario con el costo más alto, que sería el más crítico en cuanto a gastos.

- Reparación Profunda

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (flores & Brito, 2010), donde se muestra que en la mitad del tiempo de vida del material, se le aplicara un mantenimiento profundo el mismo que aumentara la vida útil del material en un 40%, (aumenta este porcentaje y no llega al 100% ya que se considera que por la degradación natural del material no es posible considerar al material como nuevo) aumentando así el tiempo de vida de

40 a 64 años, de tener 32 años en la mitad de su rendimiento paso a tener 32 años al 90% de su rendimiento.

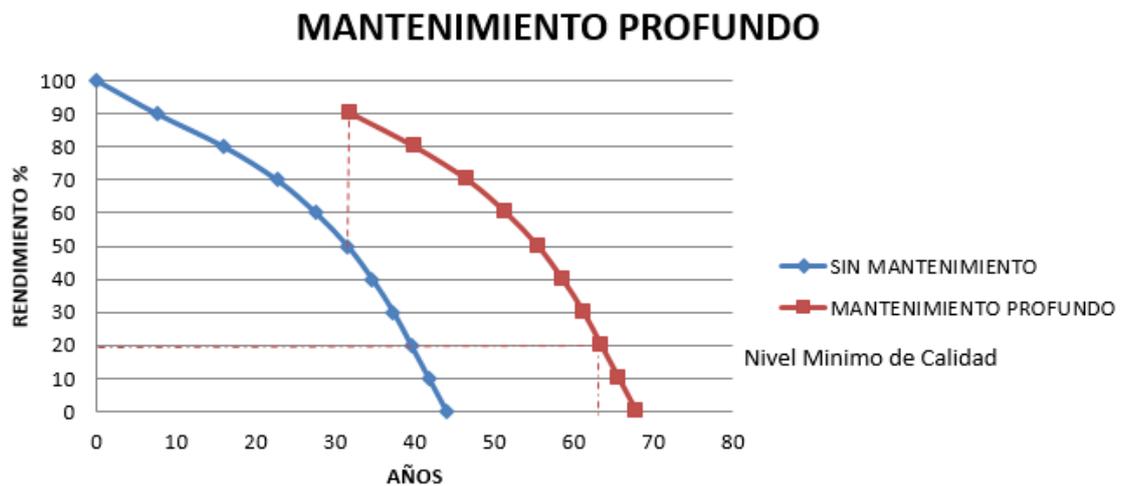


Fig. 22. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento profundo

Existe la probabilidad que, al estar el material con un 50% de su rendimiento este presentara, distintas averías en el, además de los problemas ya presentados como humedad o hongos.

Para este tipo de mantenimiento se tomara esta vez en cuenta la contratación de mano de obra calificada para que realice la reparación.

De acuerdo a trabajos de investigación especializados (Silva, 2011), Al momento en el que se realiza una reparación profunda al 50% del rendimiento del material de la fachada, significara que el área afectada por distintas causas será el 20% de la superficie total.

Por lo tanto si la superficie es de 18m² el 20% de esta será 3,6 m², en la siguiente tabla se muestra el costo de la mano de obra de reparación y el costo del material para realizar la limpieza.

Descripción del Trabajo	Unidad	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Reparación enlucido (incluye mano de obra)	M2	3,6	\$ 6	\$ 21,60
Sika Transparente	Kg	3	\$ 7,13	\$ 21,40
Sika Mata Hongos	Kg	2	\$2,47	\$4,94
			TOTAL	\$51,94

Tabla. 16. Costo Reparación Profunda

Analizando los costos de la Tabla 16., se puede observar que para una fachada de mortero de cemento, a la cual se le aplicara una reparación profunda, el costo de mano de obra calificada para la corrección de grietas y desprendimiento del material, y limpieza será de \$51,94 en un área de 18 m²

- Reparación Periódica

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (flores & Brito, 2010), donde se muestra que las reparaciones periódicas alteran la forma inicial de la curva y considera que en cada periodo de mantenimiento éste aumenta en un 15 % el rendimiento del material, aplicando este concepto , se realizarán ocho limpiezas con un periodo de 1/3 de la vida útil del material (13.33 años), así, después de 13.33 años, donde el rendimiento ha disminuido se empieza a aplicar las reparaciones periódicas. Hasta llegar a un nivel mínimo de calidad de 120 años con el 20% de rendimiento.

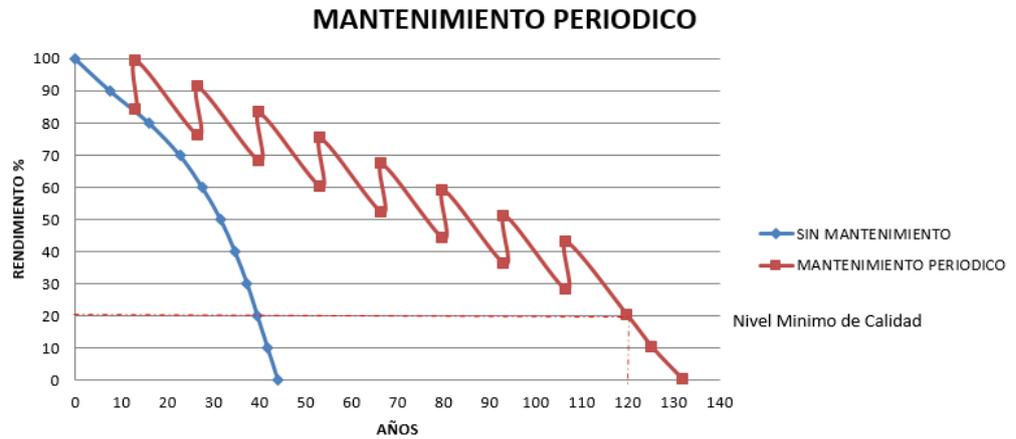


Fig. 23. Nueva vida Útil Estimada – Mantenimiento periódico

Para este tipo de mantenimiento, las reparaciones periódicas se van a realizar de la siguiente manera, utilizando productos de limpieza y mano de obra calificada aplicada en un m², ya que son reparaciones menores, como por ejemplo pequeñas fisuras o grietas en el enlucido por el paso del tiempo, o por daños ocasionados por terceras personas, o por algún tipo de herramienta.

Trabajo a Realizar		Descripción	Limpieza	Reparación
1/8	Limpieza	Limpieza general (humedad,)	\$ 21,40	\$ 0,00
1/8	Limpieza + reparación	Limpieza General (hongos), reparación superficial	\$ 4,94	\$ 6,00
1/8	Reparación	Reparación Superficial	\$ 0,00	\$ 6,00
1/8	Limpieza	Limpieza General (hongos)	\$ 4,94	\$ 0,00
1/8	Limpieza+ reparación	Limpieza General (humedad), reparación superficial	\$ 21,40	\$ 6,00
1/8	Limpieza+ reparación	Limpieza General (hongos), reparación superficial	\$ 4,94	\$ 6,00
1/8	Reparación	Reparación Superficial	\$ 0,00	\$ 6,00
1/8	Limpieza	Limpieza General (humedad)	\$21,40	\$ 0,00
1/8	Limpieza + reparación	Limpieza General (hongos), reparación superficial	\$ 4,94	\$ 6,00
TOTAL			\$83,96	\$ 36,00

Tabla. 17. Costo Reparaciones Periódicas

Analizando los costos de la Tabla 17., se observa que para una fachada de mortero de cemento, a la cual se le aplicara una reparación periódica, el costo de reparación cada 13.3 años no va a ser igual, ya que en estos periodos de tiempo se presentaran distintos tipos de problemas, tanto de limpieza como de reparaciones superficiales, el costo total será de \$83,96 para las limpiezas y \$36 para la mano de obra, siendo un total de \$ 119.96

4.3 CASO 2 – FACTOR DE MANTENIMIENTO Y MANO DE OBRA

4.3.1 Piedra Natural

- SIN MANTENIMIENTO

La vida útil de la piedra natural sin ningún tipo de mantenimiento, como ya se vio en el apartado anterior será de 32 años, según el método de los factores, el análisis de los materiales se hará en base a dos factores, que son:

- El Rendimiento
- El tiempo en años o vida útil estimada.

Para el desarrollo de la curva se calculó el tiempo de vida estimado de la piedra natural, que fue de 16 años, (calculado con el factor mantenimiento disminuido a 0.8 y el factor mano de obra disminuido a 0.5), luego se utilizó como referencia lo desarrollado en estudios previos (Silva et al, 2011,), en los que se muestra la curva de degradación del material analizado en este trabajo de investigación, a lo largo de su vida de servicio.

Aplicando una analogía matemática con la curva de degradación de la piedra natural y el tiempo de vida estimado, se obtuvo la curva de degradación del tiempo de vida estimado del material sin mantenimiento.



Fig. 24. Degradación de la Piedra Natural- Sin mantenimiento

Una vez determinado el tiempo de vida útil del material sin mantenimiento, que será de 32 años a un 100% de su rendimiento, hay que evaluar el costo de volver a instalar el material en la fachada, y esto implicará costos de demolición, desalojo de material, instalación, y la contratación de un Profesional consultor para que indique el correcto trabajo de instalación, con un área de 18 m² a un precio de \$35 el m² como se muestra en la tabla 18.

Descripción del Trabajo	Unidad	Cantidad	P.U.	P.T.
Demolición	M2	18	\$8	\$144
Desalojo del material	glb	2	\$40	\$80
Pared de bloque de hormigón (incluye m/o y material)	M2	18	\$12,1	\$217.8
Enlucido (incluye mano de obra y material)	M2	18	\$6	\$108
Piedra Natural	M2	18	\$35	\$630
Bondex	M2	18	\$2,5	\$45
Instalación Piedra Natural	M2	18	\$25	\$450
Consultoría Ing. Civil	glb	1	\$200	\$200
			TOTAL	\$1874.8

Tabla. 18. Costo Reinstalación Fachada de piedra natural

Analizando los costos de la Tabla 18. Se puede observar que para una fachada de piedra natural, a la cual no le ha dado ningún tipo de mantenimiento, el costo de reinstalación y de consultoría de parte de un profesional de la construcción será de \$1,874.80 para un área de 18m².

Se debe recalcar que para este caso donde el factor mano de obra ha disminuido un 50%, esto afectó el costo inicial que se tenía presupuestado para la reinstalación del material, al tener que contratar la consultoría de un Ing. Civil especializado en el tema; para el escenario de limpieza, el proceso y los costos se mantendrán igual para los dos materiales, aun así, se presentará el tiempo de vida estimado del material para este escenario, mientras que para los escenarios de reparación profunda y periódica si se va a tomar en cuenta la contratación de personal técnico especializado para aplicación de los productos de limpieza.

- LIMPIEZA

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (flores & Brito, 2010) donde se muestra que las operaciones de limpieza pueden restablecer la tasa de degradación inicial (se supuso que las operaciones de limpieza no afectarían el nivel de rendimiento , pero pueden ralentizar la tasa de degradación) después de cuatro operaciones de limpieza con una periodicidad de $\frac{1}{4}$ del tiempo durante su vida útil (sin mantenimiento) , antes de que el material se comience a degradar linealmente . La periodicidad de la limpieza se estimó en aproximadamente cada 3.38 (13.5 años en el 20% del rendimiento del componente dividido por cuatro) años de vida del material, dando así un nivel mínimo de calidad de 16 años.

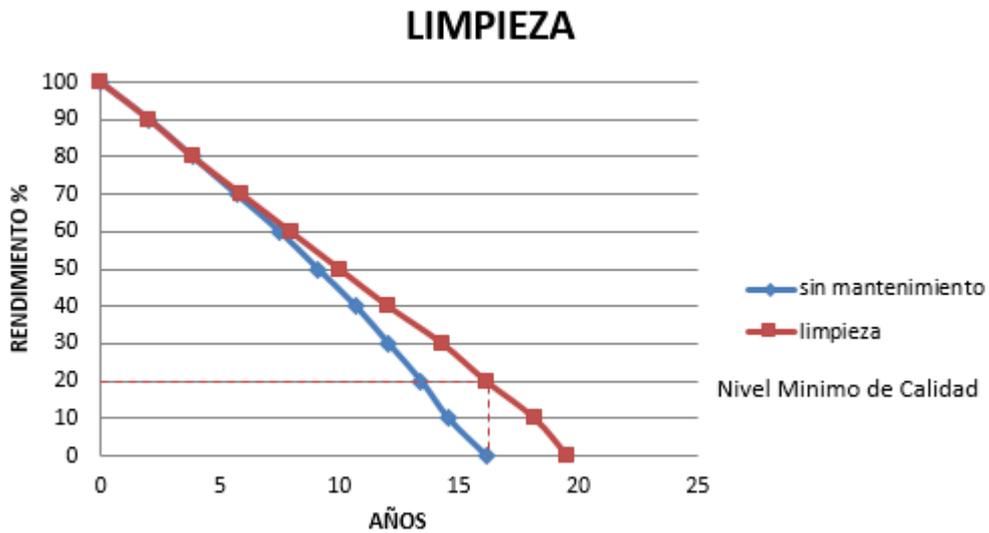


Fig. 25. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento de limpieza

Con este tipo de mantenimiento se incrementó el tiempo de vida del material de 13.5 años a 16 años. Efectuando exclusivamente en los periodos establecidos con anterioridad acciones correctivas de limpieza.

- Reparación Profunda

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (Flores & Brito, 2010), donde se muestra que en la mitad del tiempo de vida del material, se le aplicará un mantenimiento profundo el mismo que aumentará la vida útil del material en un 40%, (aumenta este porcentaje y no llega al 100% ya que se considera que por la degradación natural del material no es posible considerar al material como nuevo) aumentando así el tiempo de vida de un 14 a 21 años, de tener 9 años en la mitad de su rendimiento paso a tener 9 años al 90% de su rendimiento.

MANTENIMIENTO PROFUNDO

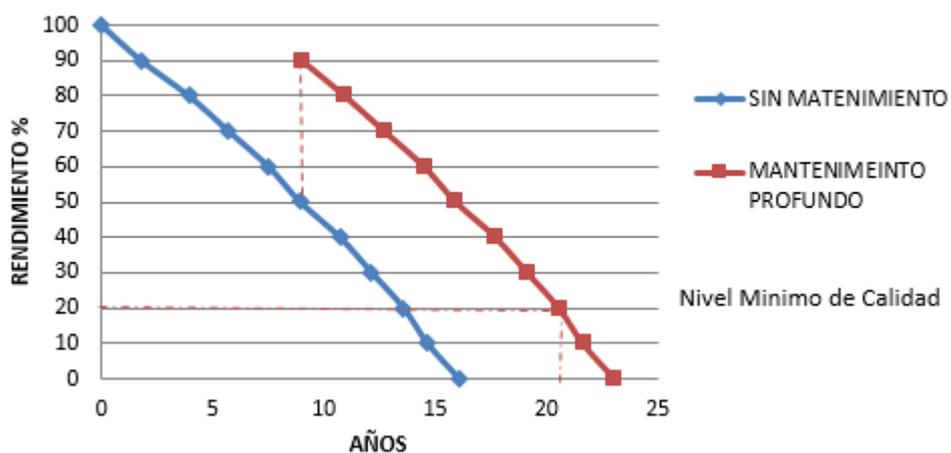


Fig. 26. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento profundo

De acuerdo a trabajos de investigación especializados (Silva, 2011), Al momento en el que se realiza una reparación profunda al 50% del rendimiento del material de la fachada, significara que el área afectada por distintas causas será el 20% de la superficie total.

Por lo tanto si la superficie es de 18m² el 20% de esta será 3,6 m², en la siguiente tabla se muestra el costo de la mano de obra de reparación y el costo del material para realizar la limpieza.

Descripción del Trabajo	Unidad	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Reparación (incluye mano de obra)	M2	3,6	\$ 25	\$ 90
Sika Transparente	Kg	3	\$ 7,13	\$21,40
Sika Imper Mur	Kg	4	\$ 4,52	\$ 18,1
Sika Mata Hongos	Kg	2	\$ 2,47	\$ 4,94
			TOTAL	134,44

Tabla 19. Costo Reparación Profunda

Analizando los costos de la Tabla 19., se puede observar que para una fachada de piedra natural, a la cual se le aplicara una reparación profunda, el costo de mando de obra especializada, la limpieza mas el costo de la contratación de un técnico de limpieza será de \$134,44 en un área de 18 m2

- Reparación Periódica

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (flores & Brito, 2010), donde se muestra que las reparaciones periódicas alteran la forma inicial de la curva y considera que en cada periodo de mantenimiento éste aumenta en un 15 % el rendimiento del material, aplicando este concepto , se realizaran ocho limpiezas con un periodo de 1/3 de la vida útil del material (4.5 años), así, después de 4.5 años, donde el rendimiento ha disminuido se empieza a aplicar las reparaciones periódicas. Hasta llegar a un nivel mínimo de calidad de 41 años con el 20% de rendimiento.

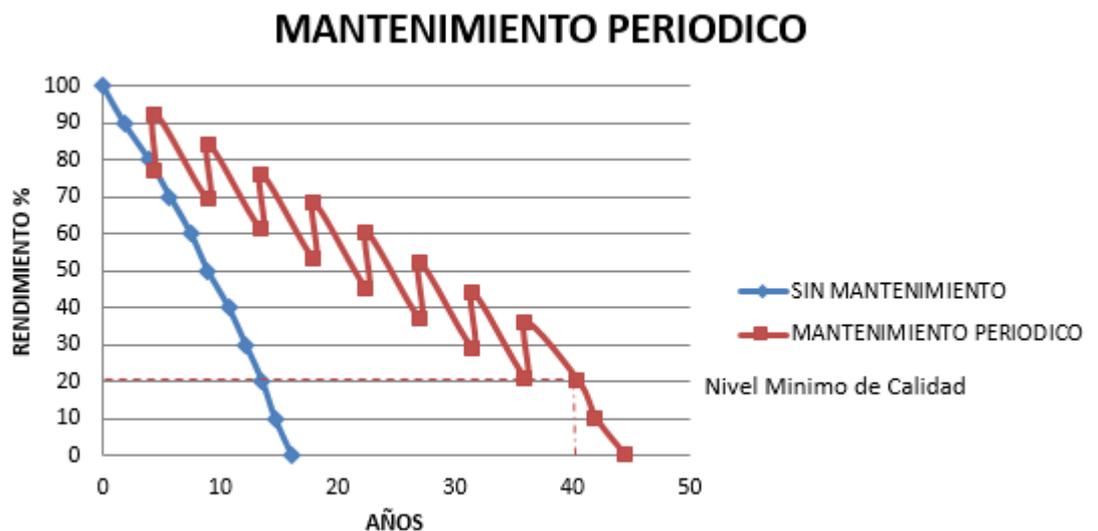


Fig. 27. Nueva vida Útil Estimada – Mantenimiento periódico

Para este tipo de mantenimiento, las reparaciones periódicas se van a realizar de la siguiente manera, utilizando productos de limpieza y mano de

obra especializada aplicada en un m², ya que son reparaciones menores, como por ejemplo pequeñas fisuras presentes en la piedra por el paso del tiempo, o por daños ocasionados por terceras personas, o por algún tipo de herramienta.

Trabajo a Realizar		Descripción	Limpieza	Reparación
1/8	Limpieza	Limpieza general (humedad, eflorescencia)	\$ 39,51	\$ 0,00
1/8	Limpieza + reparación	Limpieza General (hongos), reparación superficial	\$ 4,94	\$ 25,00
1/8	Reparación	Reparación Superficial	\$ 0,00	\$ 25,00
1/8	Limpieza	Limpieza General (eflorescencia)	\$ 18,11	\$ 0,00
1/8	Limpieza+reparación	Limpieza General (humedad), reparación superficial	\$ 21,40	\$ 25,00
1/8	Limpieza+reparación	Limpieza General (hongos), reparación superficial	\$ 4,94	\$ 25,00
1/8	Reparación	Reparación Superficial	\$ 0,00	\$ 25,00
1/8	Limpieza	Limpieza General (humedad, eflorescencia)	\$ 39,51	\$ 0,00
1/8	Limpieza + reparación	Limpieza General (eflorescencia, hongos), reparación superficial	\$ 23,05	\$ 25,00
		TOTAL	\$ 151,46	\$ 150,00

Tabla. 20 Costo Reparaciones Periódicas

Analizando los costos de la Tabla 20., se observa que para una fachada de piedra natural, a la cual se le aplicara una reparación periódica, el costo de reparación cada 4,5 años no va a ser igual, ya que en estos periodos de tiempo se presentaran distintos tipos de problemas, tanto de limpieza como de reparaciones superficiales, el costo total será de \$151,46 para las limpiezas y \$90 para la mano de obra, dando un total de \$ 231,46.

4.3.2 MORTERO DE CEMENTO

- **Sin Mantenimiento**

La vida útil del mortero de cemento sin ningún tipo de mantenimiento, como ya se vio en el apartado anterior será de 22 años, según el método de los factores. Para el desarrollo de la curva se calculó el tiempo de vida estimado de la piedra natural, que fue de 22 años, (calculado con el factor mantenimiento disminuido a 0.8 y el factor mano de obra disminuido a 0.5), luego se utilizó como referencia lo desarrollado en estudios previos (Silva et al, 2011, Brito & Gaspar 2011), en los que se muestra la curva de degradación del material analizado en este trabajo de investigación, a lo largo de su vida de servicio. Aplicando una analogía matemática con la curva de degradación del mortero de cemento y el tiempo de vida estimado, se obtuvo la curva de degradación del tiempo de vida estimado del material sin mantenimiento.



Fig. 28. Degradación del mortero de cemento- Sin mantenimiento

Una vez determinado el tiempo de vida útil del material sin mantenimiento, que será de 22 años a un 100% de su rendimiento, hay que evaluar el costo de reinstalar el material en la fachada, y esto implicará costos de demolición, desalojo de material, instalación, y la contratación de un Profesional consultor para que indique el correcto trabajo de instalación

Descripción del Trabajo	Unidad	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Demolición	M2	18	\$8	\$144
Desalojo del material	Glb	2	\$40	\$80
Pared de bloque de hormigón (incluye mano de obra y material)	M2	18	\$12,1	\$217.8
Enlucido (incluye mano de obra y material)	M2	18	\$6	\$108
Consultoría Ing. Civil	Glb.	1	\$200	\$200
			TOTAL	\$749,8

Tabla 21. Costo Reinstalación Fachada de mortero de cemento

- LIMPIEZA

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (flores & Brito, 2010) donde se muestra que las operaciones de limpieza pueden restablecer la tasa de degradación inicial (se supuso que las operaciones de limpieza no afectarían el nivel de rendimiento , pero pueden ralentizar la tasa de degradación) después de cuatro operaciones de limpieza con una periodicidad de $\frac{1}{4}$ del tiempo durante su vida útil (sin mantenimiento) , antes de que el material se comience a degradar linealmente . La periodicidad de la limpieza se estimó en aproximadamente cada 5 (20 años en el 20% del rendimiento del componente dividido por cuatro) años de vida del material, dando así un nivel mínimo de calidad de 24 años.

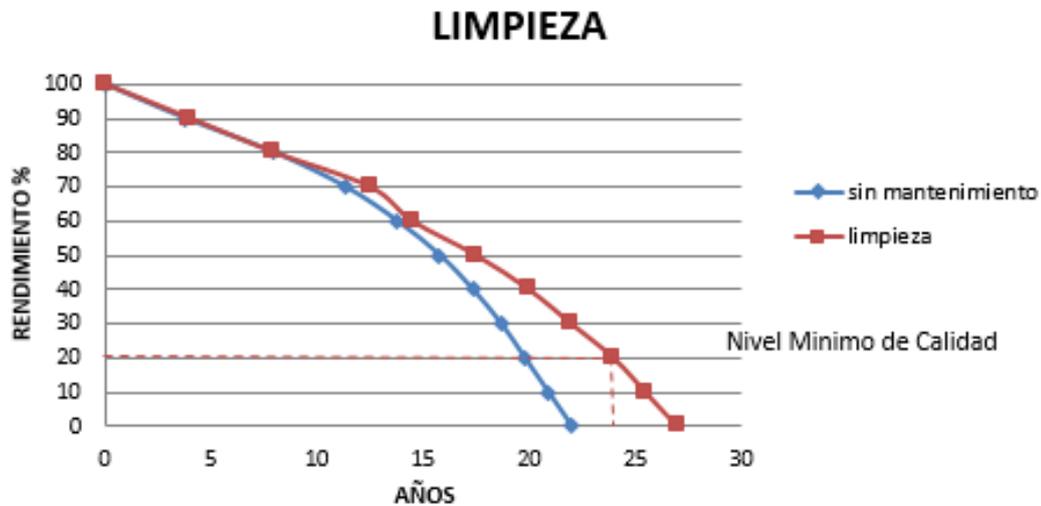


Fig. 29. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento de limpieza

Con este tipo de mantenimiento se incrementó el tiempo de vida del material de 20 años a 24 años. Efectuando exclusivamente en los periodos establecidos con anterioridad acciones correctivas de limpieza.

- Reparación Profunda

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (flores & Brito, 2010), donde se muestra que en la mitad del tiempo de vida del material, se le aplicara un mantenimiento profundo el mismo que aumentara la vida útil del material en un 40%, (aumenta este porcentaje y no llega al 100% ya que se considera que por la degradación natural del material no es posible considerar al material como nuevo) aumentando así el tiempo de vida de 20 a 32 años, de tener 16 años en la mitad de su rendimiento paso a tener 16 años al 90% de su rendimiento.

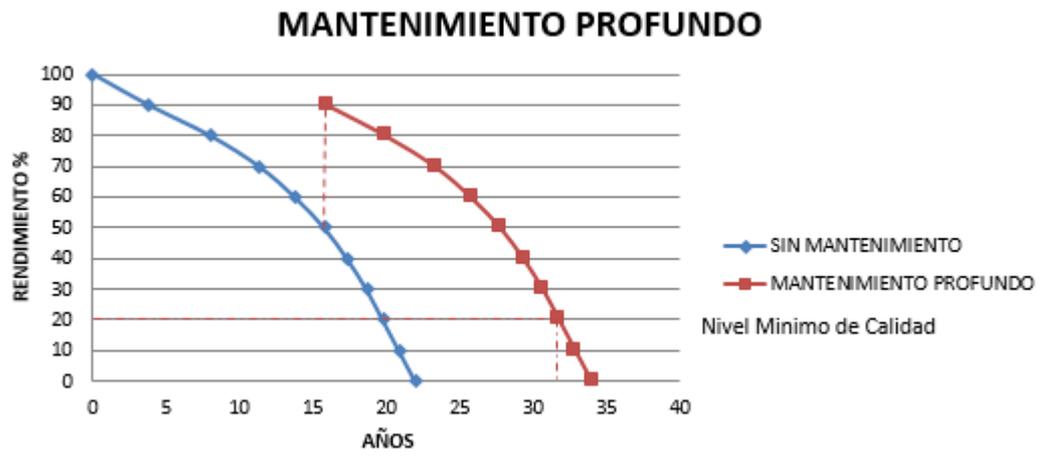


Fig. 30. Nueva Vida útil Estimada – Mantenimiento profundo

De acuerdo a trabajos de investigación especializados (Silva, 2011), Al momento en el que se realiza una reparación profunda al 50% del rendimiento del material de la fachada, significará que el área afectada por distintas causas será el 20% de la superficie total.

Por lo tanto si la superficie es de 18m² el 20% de ésta será 3,6 m², en la tabla 22 se muestra el costo de la mano de obra de reparación y el costo del material para realizar la limpieza.

Descripción del Trabajo	Unidad	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Reparación enlucido (incluye mano de obra)	M2	3,6	\$ 15	\$ 54
Sika Transparente	Kg	3	\$ 7,13	\$ 21,40
Sika Mata Hongos	Kg	2	\$2,47	\$4,94
			TOTAL	\$80,34

Tabla. 22 Costo Reparación Profunda

Analizando los costos de la Tabla 22., se puede observar que para una fachada de mortero de cemento, a la cual se le aplicará una reparación profunda, el costo de mando de obra especializada para la corrección de

grietas y desprendimiento del material, y limpieza será de \$80,34 en un área de 18 m²

- Reparación Periódica

Para el desarrollo de la curva se utilizó como referencia a (flores & Brito, 2010), donde se muestra que las reparaciones periódicas alteran la forma inicial de la curva y considera que en cada periodo de mantenimiento éste aumenta en un 15 % el rendimiento del material, aplicando este concepto, se realizarán ocho limpiezas con un periodo de 1/3 de la vida útil del material (6.66 años), así, después de 6.66 años, donde el rendimiento ha disminuido se empieza a aplicar las reparaciones periódicas. Hasta llegar a un nivel mínimo de calidad de 60 años con el 20% de rendimiento

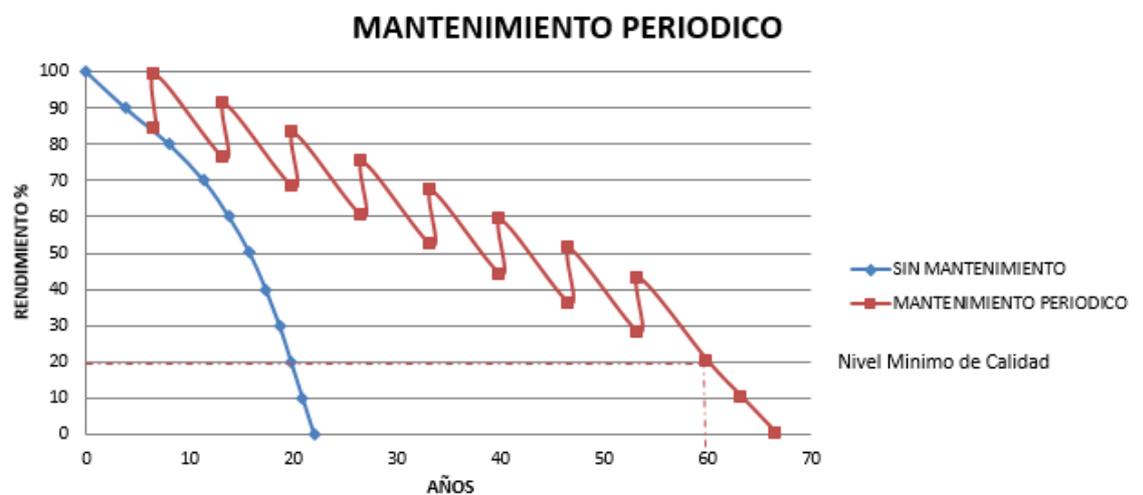


Fig. 31. Nueva vida Útil Estimada – Mantenimiento periódico

Para este tipo de mantenimiento, las reparaciones periódicas se van a realizar de la siguiente manera, utilizando productos de limpieza y mano de obra especializada aplicada en un m², ya que son reparaciones menores, como por ejemplo pequeñas fisuras presentes en la piedra por el paso del tiempo, o por daños ocasionados por terceras personas, o por algún tipo de herramienta.

Trabajo a Realizar		Descripción	Limpieza	Reparación
1/8	Limpieza	Limpieza general (humedad,)	\$ 21,40	\$ 0,00
1/8	Limpieza + reparación	Limpieza General (hongos), reparación superficial	\$ 4,94	\$ 15,00
1/8	Reparación	Reparación Superficial	\$ 0,00	\$ 15,00
1/8	Limpieza	Limpieza General (hongos)	\$ 4,94	\$ 0,00
1/8	Limpieza+ reparación	Limpieza General (humedad), reparación superficial	\$ 21,40	\$ 15,00
1/8	Limpieza+ reparación	Limpieza General (hongos), reparación superficial	\$ 4,94	\$ 15,00
1/8	Reparación	Reparación Superficial	\$ 0,00	\$ 15,00
1/8	Limpieza	Limpieza General (humedad)	\$21,40	\$ 0,00
1/8	Limpieza + reparación	Limpieza General (hongos), reparación superficial	\$ 4,94	\$ 15,00
		TOTAL	\$83,96	\$ 105,00

Tabla. 23 Costo Reparaciones Periódicas

Analizando los costos de la Tabla 23., se observa que para una fachada de mortero de cemento, a la cual se le aplicara una reparación periódica, el costo de reparación cada 6,66 años no va a ser igual, ya que en estos periodos de tiempo se presentaran distintos tipos de problemas, tanto de limpieza como de reparaciones superficiales, el costo total será de \$83,96 para las limpiezas y \$105 para la mano de obra especializada, dando un total de \$ 188,96

4.4 Resultados Generales

4.4.1 Caso 1 - Mantenimiento Piedra Natural

A continuación en la tabla 24, se muestra la comparación de los costos de cada escenario propuesto, se muestra la vida útil estimada cuando el rendimiento del material es 0%, y la vida útil estimada, en el nivel mínimo de rendimiento 20%.

CASO	COSTO (18M2)	VIDA ÚTIL ESTIMADA	VIDA ÚTIL ESTIMADA (20%)
SIN MANTENIMIENTO	\$ 1.674,80	27	27
LIMPIEZA – CASO MENOS CRITICO	\$ 49,39	27	32
LIMPIEZA- CASO MÁS CRITICO	\$ 65,85	27	32
REPARACIÓN PROFUNDA	\$ 98,44	27	46
REPARACIÓN PERIÓDICA	\$ 241,46	27	81

Tabla 24. Comparación de costos por estrategia – Piedra Natural

Como se muestra la estrategia de no dar mantenimiento es la menos recomendable, no solo por el costo que es mucho más elevado que el de las demás estrategias, sino también porque el tiempo de vida estimado es el más corto.

Tras realizar el análisis del material, las estrategias de mantenimiento deberán estar basadas en los tres escenarios propuestos, (limpieza, reparación profunda y reparación periódica), el objetivo de las estrategias propuestas es extender la vida útil estimada del material, cuando este está en su nivel mínimo de rendimiento que es de 27 años.

Analizando la estrategia de Limpieza, la vida útil estimada del material aumentará 5 años, con un costo que en el mejor de los casos será de \$49,39, mientras que en el peor de los casos será de \$65,85, sin embargo el aumento de la vida útil estimada del material no será muy alto, en cuanto a si no se le da ningún tipo de mantenimiento, y el responsable de hacer la limpieza, en este caso el dueño del inmueble, optará por no realizar ningún

tipo de limpieza, pensando en el costos totales, más que en la estética de la fachada.

Analizando la estrategia de Reparación profunda, el tiempo de vida útil estimado del material en el nivel mínimo de rendimiento aumentará 19 años, este tipo de mantenimiento se da en el 50% del rendimiento del material y, siendo una reparación profunda aumentará el rendimiento un 40%, llegando el material a tener un 90% de su rendimiento, esto significa que el material quedará casi nuevo, este tipo de estrategia se puede definir como la más viable en cuanto a costo, ya que este será de \$98,44 que no es muy elevado en comparación a las otras estrategias y al aumento de la vida útil estimada en años.

Analizando la estrategia de reparación periódica, el tiempo de vida útil estimado en el nivel mínimo de rendimiento aumentara 54 años, tendrá un costo de \$241,46 y se tiene que tomar en cuenta que para esta estrategia al material se le debe dar mayor mantenimiento cada periodo de tiempo durante su vida útil, esto para el dueño será más trabajoso, y puede no optar por realizar este tipo de mantenimiento.

Mortero de Cemento

A continuación en la tabla 25, se muestra la comparación de los costos de cada escenario propuesto, se muestra la vida útil estimada cuando el rendimiento del material es 0%, y la vida útil estimada, en el nivel mínimo de rendimiento 20%.

CASO	COSTO (18M2)	VIDA ÚTIL ESTIMADA	VIDA ÚTIL ESTIMADA (20%)
SIN MANTENIMIENTO	\$ 549,80	40	40
LIMPIEZA - CASO MENOS CRITICO	\$ 36,22	40	48
LIMPIEZA- CASO MÁS CRITICO	\$ 69,19	40	48
REPARACIÓN PROFUNDA	\$ 51,94	40	64
REPARACIÓN PERIÓDICA	\$ 119,96	40	120

Tabla 25. Comparación de costos por estrategia – Mortero de Cemento

Como se muestra la estrategia de no dar mantenimiento es la menos recomendable, no solo por el costo que es mucho más elevado que el de las demás estrategias, sino también porque el tiempo de vida estimado es el más corto.

Tras realizar el análisis del material, las estrategias de mantenimiento deberán estar basadas en los tres escenarios propuestos, (limpieza, reparación profunda y reparación periódica), el objetivo de las estrategias propuestas es extender la vida útil estimada del material, cuando este está en su nivel mínimo de rendimiento que es de 40 años.

Analizando la estrategia de Limpieza, la vida útil estimada del material aumentará 8 años, con un costo que en el mejor de los casos será de \$36,22 mientras que en el peor de los casos será de \$69,19, sin embargo el aumento de la vida útil estimada del material no será muy alto, en cuanto a si no se le da ningún tipo de mantenimiento, y el responsable de hacer la limpieza, en este caso el dueño del inmueble, optará por no realizar ningún tipo de limpieza, pensando en el costos totales, más que en la estética de la fachada.

Analizando la estrategia de Reparación profunda, el tiempo de vida útil estimado del material en el nivel mínimo de rendimiento aumentará 24 años, este tipo de mantenimiento se da en el 50% del rendimiento del material y, siendo una reparación profunda aumentará el rendimiento un 40%, llegando el material a tener un 90% de su rendimiento, esto significa que el material quedará casi nuevo, este tipo de estrategia se puede definir como la más viable en cuanto a costo, ya que este será de \$51,94 que no es muy elevado en comparación a las otras estrategias y al aumento de la vida útil estimada en años.

Analizando la estrategia de reparación periódica, el tiempo de vida útil estimado en el nivel mínimo de rendimiento aumentara 80 años, tendrá un costo de \$119.96 y se tiene que tomar en cuenta que para esta estrategia al material se le debe dar mayor mantenimiento cada periodo de tiempo

durante su vida útil, esto para el dueño será más trabajoso, y puede no optar por realizar este tipo de mantenimiento.

4.4.2 Caso 2 – Mantenimiento y Mano de obra Piedra Natural

A continuación en la tabla 26, se muestra la comparación de los costos de cada escenario propuesto, se muestra la vida útil estimada cuando el rendimiento del material es 0%, y la vida útil estimada, en el nivel mínimo de rendimiento 20%.

CASO	COSTO (18M2)	VIDA ÚTIL ESTIMADA	VIDA ÚTIL ESTIMADA (20%)
SIN MANTENIMIENTO	\$ 1.874,80	14	14
LIMPIEZA – CASO MENOS CRITICO	\$ 49,39	14	16
LIMPIEZA- CASO MÁS CRITICO	\$ 65,85	14	16
REPARACIÓN PROFUNDA	\$ 134,44	14	23
REPARACIÓN PERIÓDICA	\$ 231,46	14	45

Tabla 26. Comparación de costos por estrategia – Piedra Natural

Como se muestra la estrategia de no dar mantenimiento es la menos recomendable, no solo por el costo que es mucho más elevado que el de las demás estrategias, sino también porque el tiempo de vida estimado es el más corto.

Tras realizar el análisis del material, las estrategias de mantenimiento deberán estar basadas en los tres escenarios propuestos, (limpieza, reparación profunda y reparación periódica), el objetivo de las estrategias propuestas es extender la vida útil estimada del material, cuando este está en su nivel mínimo de rendimiento que es de 14 años.

Analizando la estrategia de Limpieza, la vida útil estimada del material aumentará 2 años, con un costo que en el mejor de los casos será de \$49,39, mientras que en el peor de los casos será de \$65,85, sin embargo el aumento de la vida útil estimada del material no será muy alto, en cuanto a si

no se le da ningún tipo de mantenimiento, y el responsable de hacer la limpieza, en este caso el dueño del inmueble, optará por no realizar ningún tipo de limpieza, pensando en el costos totales, más que en la estética de la fachada, se debe recordar que en las limpiezas no se tomara en cuenta la mano de obra especializada como solución, ya que al momento en donde el dueño realiza las limpiezas, no se tiene conocimiento si la mano de obra que construyó la fachada era calificada o no.

Analizando la estrategia de Reparación profunda, el tiempo de vida útil estimado del material en el nivel mínimo de rendimiento aumentará 9 años, este tipo de mantenimiento se da en el 50% del rendimiento del material y, siendo una reparación profunda aumentará el rendimiento un 40%, llegando el material a tener un 90% de su rendimiento, esto significa que el material quedará casi nuevo, este tipo de estrategia se puede definir como la más viable en cuanto a costo, ya que este será de \$134,44 que no es muy elevado en comparación a las otras estrategias y al aumento de la vida útil estimada en años.

Analizando la estrategia de reparación periódica, el tiempo de vida útil estimado en el nivel mínimo de rendimiento aumentara 31 años, tendrá un costo de \$231,46 y se tiene que tomar en cuenta que para esta estrategia al material se le debe dar mayor mantenimiento cada periodo de tiempo durante su vida útil, esto para el dueño será más trabajoso, y puede no optar por realizar este tipo de mantenimiento.

Mortero de Cemento

A continuación en la tabla 27, se muestra la comparación de los costos de cada escenario propuesto, se muestra la vida útil estimada cuando el rendimiento del material es 0%, y la vida útil estimada, en el nivel mínimo de rendimiento 20%.

CASO	COSTO (18M2)	VIDA ÚTIL ESTIMADA	VIDA ÚTIL ESTIMADA (20%)
SIN MANTENIMIENTO	\$ 749,80	20	20
LIMPIEZA – CASO MENOS CRITICO	\$ 36,22	20	24
LIMPIEZA- CASO MÁS CRITICO	\$ 69,19	20	24
REPARACIÓN PROFUNDA	\$ 80,34	20	32
REPARACIÓN PERIÓDICA	\$ 188,96	20	60

Tabla 27. Comparación de costos por estrategia – Mortero de Cemento

Como se muestra la estrategia de no dar mantenimiento es la menos recomendable, no solo por el costo que es mucho más elevado que el de las demás estrategias, sino también porque el tiempo de vida estimado es el más corto.

Tras realizar el análisis del material, las estrategias de mantenimiento deberán estar basadas en los tres escenarios propuestos, (limpieza, reparación profunda y reparación periódica), el objetivo de las estrategias propuestas es extender la vida útil estimada del material, cuando este está en su nivel mínimo de rendimiento que es de 20 años.

Analizando la estrategia de Limpieza, la vida útil estimada del material aumentará 4 años, con un costo que en el mejor de los casos será de \$36,22, mientras que en el peor de los casos será de \$69,19, sin embargo el aumento de la vida útil estimada del material no será muy alto, en cuanto a si no se le da ningún tipo de mantenimiento, y el responsable de hacer la limpieza, en este caso el dueño del inmueble, optará por no realizar ningún tipo de limpieza, pensando en el costos totales, más que en la estética de la fachada, se debe recordar que en las limpiezas no se tomara en cuenta la

mano de obra especializada como solución, ya que al momento en donde el dueño realiza las limpiezas, no se tiene conocimiento si la mano de obra que construyo la fachada era calificada o no.

Analizando la estrategia de Reparación profunda, el tiempo de vida útil estimado del material en el nivel mínimo de rendimiento aumentará 12 años, este tipo de mantenimiento se da en el 50% del rendimiento del material y, siendo una reparación profunda aumentará el rendimiento un 40%, llegando el material a tener un 90% de su rendimiento, esto significa que el material quedará casi nuevo, este tipo de estrategia se puede definir como la más viable en cuanto a costo, ya que este será de \$80,34 que no es muy elevado en comparación a las otras estrategias y al aumento de la vida útil estimada en años.

Analizando la estrategia de reparación periódica, el tiempo de vida útil estimado en el nivel mínimo de rendimiento aumentara 40 años, tendrá un costo de \$188,96 y se tiene que tomar en cuenta que para esta estrategia al material se le debe dar mayor mantenimiento cada periodo de tiempo durante su vida útil, esto para el dueño será más trabajoso, y puede no optar por realizar este tipo de mantenimiento.

CAPITULO 5: CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSION

El propósito de este trabajo de investigación es el desarrollo de estrategias dinámicas de mantenimiento, aplicado en este caso a fachadas de viviendas, se ha utilizado referencias de investigaciones anteriores, y se las ha aplicado a la realidad de nuestro país, se desarrolló un marco dinámico para la elaboración de estrategias que cumplan con el objetivo de aumentar la vida útil del material de las fachadas.

La determinación de la condición de las fachadas estudiadas se realizó mediante visitas al lugar de las viviendas, y se inspeccionó el área total con la que se iba a trabajar, para el posterior análisis de las estrategias y la elaboración de los costos si no se le daba ningún tipo de mantenimiento a la fachada o si había que realizar mantenimiento.

Una vez aplicados los pasos para el desarrollo dinámico de las estrategias de mantenimiento podemos identificar los beneficios de haberla realizado.

El dueño del inmueble podrá reconocer que tipo de estrategia utilizar y cuál será el costo de esta, de acuerdo al área que deberá trabajar, con qué tipo de producto trabajar y si es necesario mano de obra especializada para realizar el trabajo.

Las estrategias de mantenimiento siempre van a aumentar la vida útil del material en el nivel de rendimiento que se encuentre, se debe tener en cuenta cuando realizarlas y en que periodos de tiempo.

El beneficio de este trabajo de investigación y del desarrollo de las estrategias de mantenimiento es que se realizó con costos de mano de obra y materiales, que se encuentran en nuestro medio y se realizó con los materiales de revestimiento que más en nuestra sociedad, además de que en este trabajo de investigación se ha tomado en cuenta la disminución de la mano de obra al momento de la construcción de la fachada, y se analizo el posterior costo adicional que se presentará luego de identificado este problema.

Luego de realizado el análisis de las distintas estrategias, como dueño del inmueble se debe escoger la estrategia que más convenga en cuanto a resultados y costo; por lo visto en el capítulo anterior la peor estrategia es la de no dar mantenimiento y este era un punto que se quería comprobar ya que la gente en un gran porcentaje no tiene la conciencia de realizar esta actividad especialmente cuando se habla de fachada. Entre los otros resultados, se tiene mantenimiento por limpieza exclusivamente que si bien es cierto aumenta el tiempo de vida, pero no es muy representativo en cuestión de efectividad; por lo que esta opción no resulta del todo beneficiosa cuando se habla de estrategias de mantenimiento. Entonces, después de haber analizado las estrategias de mantenimiento periódico y las estrategias de reparación profunda personalmente elegiría la estrategia de reparación profunda, ya que es la que mantiene los resultados más equitativos en cuanto a aumento de vida útil estimada y a costos de trabajo, aun por sobre la reparación periódica, ya que este tipo de mantenimiento se debe dar durante la vida útil del material en distintos periodos de tiempo en varios años y si bien se llegó a un costo total de mantenimiento este podrá aumentar si se presentaran otros problemas en la fachada. Esto no implica que la reparación profunda sea la más efectiva ya que pueden existir problemas que no se hayan considerado durante el desarrollo de este trabajo; sin embargo, bajo las condiciones especificadas en la investigación si se optaría por este tipo de mantenimiento ya que en termino de costos representa una única inversión con resultados que satisfacen a la problemática presentada. Por otro lado, se debe indicar que la estrategia deberá ser seleccionada por el constructor o dueño de obra ya que también se tendrá el caso en el que el dueño desee tener un mantenimiento periódico a fin de extender aún más el tiempo de vida útil del material.

5.2 RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

Se recomienda en términos generales hacer mantenimiento de las fachadas y no exclusivamente de las partes eléctricas y sanitarias como es la cultura general en nuestro país, no esperar llegar a la falla para así dar mantenimiento ya que a la larga resulta más costoso.

No se debería permitir la opción de no hacer ningún tipo de tratamiento a la estructura en este caso específicamente hablando de fachada ya que resulta la más costosa porque implica la reconstrucción total del elemento y la que tiene un tiempo de vida menor si se compara con las otras estrategias.

Es importante y se ha tratado de comprobar con este trabajo de investigación que no dar ningún tipo de mantenimiento en los materiales presentados, y en distintos tipos de materiales, se torna en un gasto sumamente mayor al presentado en los escenarios de mantenimiento, el propietario del inmueble deberá hacer una respectiva inspección de la fachada, para evitar la presencia de estas fallas, ya sean físicas o químicas.

Se recomienda, que para una correcta detección del problema, se contrate mano de obra calificada y especializada, que encuentre la falla y el área donde se encuentra el problema.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alcivar Bastidas, S. E. (2014). *Developing dynamic maintenance strategies – A case study of building façade*. (Tesis de Masterado inédita). National Cheng Kung University. Taiwán
- Zamora i Mestre, J. Ll. (2005). Diseño de fachadas ligeras. *Hydro Building Systems*
- Chew et al. (1998) *Building Facades: A Guide to Common Defects in Tropical Climates*. Singapur. World Scientific.
- Garrido, P. (2015) *Vida y obsolescencia de fachadas del siglo XX en la ciudad de Barcelona* (Tesis de Doctorado inédita). Universitat Politècnica de Catalunya. España
- Silva, J. de Brito, P.L. Gaspar, “Service life prediction model applied to natural stone wall claddings”. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 25, p3674-3684 (2011).
- Silva, J. de Brito, P.L. Gaspar, “Probabilistic Analysis of the degradation evolution of stone cladding directly adhered to the substrate”. *Journal of Materials in Civil Engineering*. Vol.25, p227-235. (2013).
- Silva, J. de Brito, P.L. Gaspar, “Statistical models applied to service life prediction of rendered facades”. *Journal of Automation in Construction*. Vol.30, p151-160. (2013).
- Ines Flores-Colen, Jorge de Brito, “A systematic approach for maintenance budgeting of buildings facades based on predictive and preventive strategies”. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 24, p1718-1729. (2010).
- Ines Flores-Colen, Jorge de Brito and Vasco P. de Freitas, “Stains in facades' rendering-Diagnosis and maintenance techniques classification”. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol.22, N. 3, p211-221. (2008).



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, SALVADOR ANDRÉS VELASCO RONQUILLO, con C.C: # 0924815368 autor/a del trabajo de titulación: DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO SEGÚN EL TIPO DE MATERIAL Y EL TIEMPO DE VIDA DEL MISMO – CASO DE ESTUDIO DE UN MATERIAL DE UNA FACHADA DE VIVIENDA O EDIFICIO, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 25 de marzo del 2016

f. _____
Nombre: SALVADOR ANDRÉS VELASCO RONQUILLO
C.C: 0924815368



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO SEGÚN EL TIPO DE MATERIAL Y EL TIEMPO DE VIDA DEL MISMO – CASO DE ESTUDIO DE UN MATERIAL DE UNA FACHADA DE VIVIENDA O EDIFICIO		
AUTOR(ES)	VELASCO RONQUILLO SALVADOR ANDRÉS		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	ALCÍVAR BASTIDAS STEFANY ESTHER		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		
FACULTAD:	FACULTAD DE INGENIERÍA		
CARRERA:	ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		
TITULO OBTENIDO:	INGENIERO CIVIL		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	23 DE MARZO DEL 2016	NO. DE PÁGINAS:	92
ÁREAS TEMÁTICAS:	ADMINISTRACIÓN DE OBRAS		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	FACHADA, MANTENIMIENTO, PIEDRA NATURAL, MORTERO DE CEMENTO, VIDA ÚTIL REFERENCIAL, VIDA ÚTIL ESTIMADA, RENDIMIENTO.		
RESUMEN/ABSTRACT Desarrollar estrategias de mantenimiento para fachadas es el objetivo principal de este trabajo de investigación, con esto se busca mejorar la vida útil estimada de los materiales elegidos, curvas de degradación y las políticas de mantenimiento que debemos cumplir con la utilización de productos. Se van a describir los requisitos para el desarrollo de estrategias de mantenimiento en fachadas de acuerdo al tipo de material que se escogerá, la vida de servicio y el mantenimiento estimado. Se analizarán los escenarios propuestos para determinar el tiempo de vida útil estimado del material y el costo que este representará para su mantenimiento.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-996080459	E-mail:salvador_velasco01@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: ALCÍVAR BASTIDAS STEFANY ESTHER		
	Teléfono: +593-4-2202763 ext 1003		
	E-mail: stefany.alcivar@cu.ucsg.edu.ec		