



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

**METODOLOGÍA DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN VÍAS DE ALTO TRÁFICO, QUE OPTIMICE SU
VIDA ÚTIL**

AUTOR: LEONARDO ALEX MAIGUASHCA CORDOVA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGISTER EN INGENIERIA CIVIL, MENCION VIALIDAD**

TUTOR: ING. DANIEL LLANOS RODRIGUEZ, M.SC.

MACHALA

2022

PENSAMIENTO

“El continuo avance en el conocimiento, así como el carácter multidisciplinario y globalizado de la mayoría de las áreas de estudios, han provocado que el alumno se enfrente a un volumen colosal de conocimientos, lo que le obliga a dedicar más tiempo a su preparación académica, ya que incluso tiene que adentrarse en otras disciplinas que complementan su preparación.”

(Muñoz, 2011)

DEDICATORIA

Este logro académico, se lo dedico en especial a Dios, por ser el inspirador, por darme fuerzas para continuar en este proceso para obtener uno de los sueños más deseados en mi vida profesional.

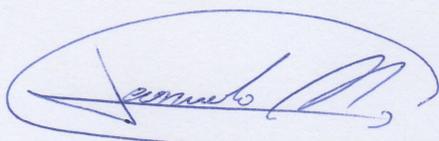
A mis padres, esposa, hermana, hijas y sobrino, quienes han sido el motor para superarme en este reto académico día a día, gracias a ustedes he alcanzado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Técnica de Machala, por haberme aceptado ser parte de este Programa de Maestría, a sus catedráticos que me compartieron sus conocimientos de manera responsable tanto académicamente como profesionalmente.
- Al Sr. Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, Coordinador del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, por su paciencia, orientación y compromiso en la debida organización de las actividades académicas y logísticas, respectivamente.
- Al Sr. Ing. Daniel Alexander Llanos Rodríguez, tutor de este trabajo de titulación, por su capacidad, dedicación, tiempo, paciencia y oportuna orientación en el desarrollo de la presente investigación.
- A todos los compañeros de la Maestría por sus aportes brindados en las clases y tareas, que han permitido acrecentar el verdadero sentimiento de amistad y apoyo moral en esta etapa de aprendizaje de nuestras vidas.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Los contenidos, ideas, criterios, análisis, conclusiones y propuesta emitidos en este informe del trabajo de investigación titulado "METODOLOGÍA DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN VÍAS ARTERIALES, QUE OPTIMICEN SU VIDA ÚTIL, 2020", son de exclusiva responsabilidad del autor.



LEONARDO ALEX MAIGUASHCA CORDOVA

C.I. 0704303973

Machala, 2022/05/27

REPORTE DE SIMILITUD

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del trabajo de titulación "METODOLOGÍA DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN VÍAS ARTERIALES, QUE OPTIMICEN SU VIDA ÚTIL, 2020" elaborado por el Ing. Leonardo Alex Maiguashca Cordova, considero que ha sido realizado con prolijidad, fundamentación teórica y técnica; y, de acuerdo a los requisitos exigidos por la organización del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, mención Vialidad, por lo que autorizo su presentación ante las instancias de aprobación correspondiente.



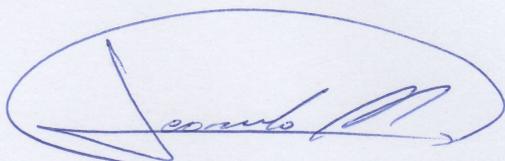
ING. DANIEL ALEXANDER LLANOS ROFRIGUEZ, MGS.
C.C. 0704502293

Machala, 2022/05/30

CESION DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ing. Leonardo Alex Maiguashca Córdova, con cédula de ciudadanía No. 0704303973, manifiesto en forma libre y voluntaria, ceder a la Universidad Técnica de Machala, los derechos de autor, consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual, artículo 4, 5 y 6 en calidad de autora del trabajo de titulación denominado "METODOLOGÍA DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN VÍAS ARTERIALES, QUE OPTIMICEN SU VIDA ÚTIL, 2020", que ha sido desarrollado para optar por el título de Magister en Ingeniería Civil, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citad, en concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica de Machala.



LEONARDO ALEX MAIGUASHCA CORDOVA
C.I. 0704303973

Machala, 2022/05/30

RESUMEN

En esta investigación se desarrolló una metodología para el control de calidad en la construcción de pavimentos rígidos de vías arteriales, para optimizar su vida útil.

Tal metodología se emplea de forma secuencial para la debida ejecución de pavimentos rígidos en vías arteriales. Los métodos empleados son: Teóricos (análisis y síntesis documental) y Empíricos (de campo).

Los resultados alcanzados fueron interpretados de los ensayos de controles de calidad previa y post ejecución de pavimentos rígidos mediante normas ASTM, y su correspondiente correlación de sus resultados obtenidos, respectivamente.

Con la aplicación de la metodología de control de calidad propuesta para la ejecución de pavimentos rígidos, se controlará y optimizará las losas de pavimento rígido en las tres etapas del modelo experimental propuesto (producción, recepción y mantenimiento), consecuentemente se evaluará la resistencia del hormigón como su módulo de rotura, los deterioros prematuros y la programación de los mantenimiento en este tipo de vías a su debido tiempo, garantizando así su vida útil en su etapa de servicio y de manera óptima.

Este trabajo desarrolló una metodología para el correcto cumplimiento de controles de calidad en la construcción de pavimentos rígidos de vías arteriales, para optimizar su vida útil.

PALABRAS CLAVES

CONTROL DE CALIDAD, CONSTRUCCIÓN, PAVIMENTOS RÍGIDOS, METODOLOGÍA, VÍAS ARTERIALES, RESULTADOS, NORMAS, PRODUCCIÓN, RECEPCIÓN, MANTENIMIENTO, MÓDULO DE ROTURA, DETERIOROS, OPTIMIZAR.

ABSTRACT

In this research, a methodology was developed for quality control in the construction of rigid pavements for arterial roads, to optimize their useful life.

Such methodology is used sequentially for the proper execution of rigid pavements on arterial roads. The methods used are: Theoretical (analysis and documentary synthesis) and Empirical (field).

The results achieved were interpreted from the pre- and post-execution quality control tests of rigid pavements using ASTM standards, and their corresponding correlation of their results, respectively.

With the application of the quality control methodology proposed for the execution of rigid pavements, the rigid pavement slabs will be controlled and optimized in the three stages of the proposed experimental model (production, reception and maintenance), consequently the resistance of the concrete will be evaluated. such as its modulus of rupture, premature deterioration and the programming of maintenance on this type of road in due time, thus guaranteeing its useful life in its service stage and in an optimal manner.

This work developed a methodology for the correct fulfillment of quality controls in the construction of rigid pavements for arterial roads, in order to optimize their useful life.

KEYWORDS

QUALITY CONTROL, CONSTRUCTION, RIGID PAVEMENTS, METHODOLOGY, ARTERIAL ROADS, RESULTS, STANDARDS, PRODUCTION, RECEPTION, MAINTENANCE, MODULE OF RUPTURE, DETERIORATION, OPTIMIZE.

ÍNDICE GENERAL

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
HIPÓTESIS:	18
1. CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO	19
1.1. Antecedentes Históricos.	19
1.1.1. Evolución de las carreteras.	19
1.1.2. Historia de las carreteras.	20
1.1.3. Historia de las carreteras de pavimento rígido.	20
1.1.4. Historia del control de calidad del pavimento rígido en carreteras.	21
1.2. Antecedentes Conceptuales	21
1.2.1. Vías.	22
1.2.1.1. Clasificación de las vías.	22
1.2.2. Pavimentos.	22
1.2.2.1. Tipos de pavimentos.	23
1.2.2.2. Pavimentos rígidos	23
1.2.2.3. Materiales empleados en pavimentos rígidos	23
1.2.3. Características mecánicas del hormigón en pavimentos rígidos.	24
1.2.4. Modelos de Control de calidad.	24
1.2.5. Tipos de control de calidad de las obras de hormigón.	25
1.2.5.1. Aplicación del control estadístico método Jiménez, García y Morán.	26
1.2.5.2. Resistencia estimada y resistencia característica del hormigón.	27
1.2.5.3. Aplicación del procedimiento estadístico del ACI-214 para el control de los esfuerzos de tracción en el hormigón.	30
1.2.5.4. Aplicación del Índice de Condición del Pavimento.	30
1.2.6. Indicadores característicos del control de calidad en pavimentos rígidos.	31
1.3. Antecedentes Referenciales	32
1.3.1. Normativa aplicada al control de calidad durante la ejecución del hormigón para pavimentos rígidos.	33
1.3.2. Desarrollo de pronóstico de fisuramiento de losas en pavimentos rígidos.	34
1.3.3. Normativa aplicada al control de calidad post ejecución del hormigón para pavimentos rígidos.	36
1.3.4. Desarrollo de pronóstico de curvas de vida o deterioro de pavimento.	37
1.4. Antecedentes contextuales.	38
1.4.1. Ubicación geográfica	38

1.4.2.	Tipo de vía	39
1.4.3.	Características del área de estudio	39
2.	CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA	41
2.1.	Metodología de Investigación	41
2.1.1.	Paradigma	42
2.1.2.	Enfoque	44
2.2.	Nivel o Tipo de Investigación	44
2.2.1.	Teórico Documental	44
2.2.2.	Empírico de Campo	45
2.3.	Población y muestra.	45
2.3.1.	Población	45
2.3.2.	Muestreo	46
2.4.	Primera Fase, Métodos con los materiales utilizados	47
2.4.1.	Técnicas y Métodos de la investigación para la evaluación y determinación del I.C.C.M. en la etapa de producción.	48
2.4.2.	Técnicas y Métodos de la investigación para la evaluación y determinación del I.C.C.P. en la etapa de recepción.	50
	Metodología para el control de calidad en la ejecución de pavimentos rígidos determinación del I.C.G.P.	52
2.4.3.		52
2.5.	Operación de Variables.	53
2.5.1.	Variable Dependiente	53
2.5.2.	Variable Independiente	55
2.6.	Segunda Fase, Procesamiento de Datos.	56
2.6.1.	Modelo experimental planteado para control de calidad para la construcción de pavimentos rígidos en vías arteriales, que optimicen su vida útil.	56
2.6.2.	Grado de cumplimiento del I.C.C.M.	57
2.6.3.	Nivel de desempeño del I.C.C.P.	58
2.6.4.	Tercera Fase, Grado de cumplimiento y nivel de desempeño del I.C.G.P.	58
2.6.5.	Pronóstico de mantenimiento y curva de mantenimiento preventivo.	59
3.	CAPÍTULO 3 ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	60
3.1.	Análisis de resultados.	60
3.1.1.	Resultados de la investigación para la evaluación de los pavimentos rígidos.	60
3.1.2.	Resultados del control de calidad en la ejecución de pavimentos rígidos I.C.C.M.	62

3.1.3.	Resultados del control de calidad post a la ejecución de pavimentos rígidos I.C.C.P.	65
	Análisis Comparativo de los resultados de control de calidad del I.C.C.M, I.C.C.P, análisis del I.C.C.G.P. y optimización de la vida útil del pavimento rígido.	67
3.2.		67
4.	CAPÍTULO 4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	69
4.1.	Interpretación de Resultados.	69
4.2.	PROPUESTA MODELO DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN VÍAS ARTERIALES, QUE OPTIMICEN SU VIDA ÚTIL.	70
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	72
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	73

LISTA DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Figura 1.	Modelización del Control de calidad en construcción	24
Figura 2.	Definición de resistencia característica fck	27
Figura 3	Índice de condición del pavimento (PCI), escala de calificación y	30
Figura 4.	Esquema del ciclo de vida de un pavimento	31
Figura 5	Pantalla principal del programa BS-PCA.	33
Figura 6	Proyección del estado del pavimento en 50 años para Pavimentos rígidos	36
Figura 7	Ubicación Geográfica del caso de estudio.	38
Figura 8	Esquema de la Investigación empírico (práctico)	40
Figura 9	Ubicación geo referenciada con GPS de una falla	50
Figura 10	Registro de una falla en pavimento rígido.	50
Figura 11	Medición de la severidad de una grieta transversal.	50
Figura 13	Esquema de los indicadores de control de calidad en pavimentos rígidos.	51
Figura 13	Modelo experimental del control de calidad en pavimentos rígidos.	56
Figura 14	61	
Figura 15	63	
Figura 16	65	
Figura 17	65	
Figura 18	67	
Figura 19	67	
Tabla 1	Número de Amasadas controladas (N)	28
Tabla 2	Valores del coeficiente KN	29
Tabla 3	Ensayos de control de calidad en la producción y construcción de pavimentos rígidos.	32
Tabla 4	Espectros de carga de diseño para 10 años de vida de un pavimento rígido	35

Tabla 5	Ensayos de control de calidad en la producción y construcción de pavimentos rígidos.	36
Tabla 6	Coordenadas de ubicación geográfica del caso de estudio punto de inicio y de fin.	37
Tabla 7	Características del caso del estudio	39
Tabla 8	Resumen de patologías del área de estudio.	51
Tabla 9	Variable dependiente control de calidad en construcción de pavimentos rígidos	54
Tabla 10	Variable independiente calidad y condición del hormigón en pavimentos rígidos	55
Tabla 11	64	

INTRODUCCIÓN

La importancia de la presente investigación, es optimizar la vida útil de las vías arteriales, mediante la propuesta metodológica de control de calidad de hormigones rígidos

La problemática de la afectación de la vida útil de los pavimentos rígidos de las vías arteriales, radica en la falta de controles de calidad en la etapa de ejecución de este tipo de pavimentos.

El deterioro prematuro de los pavimentos rígidos de vías arteriales, producen el desgaste del amortiguamiento de vehículos y disminuye el nivel de confort al transitar en estas vías., y al incrementar estos daños por el paso del tiempo pueden provocar accidentes de tránsito, incrementando la inseguridad vial y molestias de los usuarios que transitan en este tipo de vías, para ello formulamos el siguiente problema de investigación: ¿El deficiente control de calidad en la construcción de pavimentos rígidos, limita la vida útil de vías arteriales?

El objeto de estudio es desarrollar una metodología de control de calidad para la construcción de pavimentos rígidos en vías arteriales, que optimicen su vida útil , la misma que se desarrolló como caso de estudio en la Avenida Circunvalación Sur, desde la Av. Colón Tinoco hasta la Av. 5ta. Este de la ciudad de Machala.

Se ha comprobado que los errores frecuentes en el desarrollo de controles de calidad en la ejecución de pavimentos rígidos, conllevan a deterioros prematuros en este tipo de vías.

El control de calidad es el conjunto de los mecanismos, acciones y herramientas realizadas para detectar la presencia de posibles errores de un producto en este caso el hormigón para pavimentos rígido. El primer período del control de calidad aborda con los componentes del hormigón: agregados grueso y fino, agua, cemento y eventualmente aditivos. Una vez que se puede asegurar que los componentes que se emplean son los apropiados. (Menozcal, M. M. J., Cabrera, C. O. M., Jiménez, J. V., & Rizo, F. J. C., 2017)

Los pavimentos rígidos son aquellos formados por losas de concreto de cemento portland sobre una base granular o directamente sobre la sub-rasante, los cuales transmiten directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada ya que son auto portantes. Las losas que lo componen están divididas por juntas transversales y

longitudinales., e interconectadas por medio de conectores de acero cuya función principal es la adecuada transferencia de las cargas entre ellas. (Quintero, 2018)

Para desarrollar la presente investigación se planteó las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué controles de calidad son de cumplimiento obligatorio en la construcción de pavimentos rígidos que optimicen su vida útil?
- ¿Se efectúan de manera correcta los controles de calidad en la construcción de pavimentos rígidos?
- ¿Qué metodologías existen para el control de calidad para la construcción de pavimentos rígidos en vías arteriales, para optimizar su vida útil?

La presente investigación plantea una metodología para el control de calidad que optimicen su vida útil en vías arteriales a partir de un modelo experimental que integra el comportamiento de la calidad de las losas de hormigón en tres etapas diferentes de la vida útil de una vía, como lo es, la etapa de construcción, la etapa de recepción de la obra y la etapa de mantenimiento, basados en estos tres componentes se desarrolla para cada una de las fases de análisis un indicador de calidad.

Los resultados alcanzados fueron interpretados de los métodos de investigación mediante análisis documental, ensayos de controles de calidad previo y post ejecución de pavimentos rígidos mediante normas ASTM, y su correspondiente correlación comparativa de sus resultados obtenidos, respectivamente.

Este trabajo desarrolló una metodología para el correcto cumplimiento de controles de calidad en la construcción de pavimentos rígidos de vías arteriales, para optimizar su vida útil, mediante revisiones bibliográficas.

Es necesario que se aplique una metodología para el correcto cumplimiento de controles de calidad en la construcción de pavimentos rígidos de vías arteriales, para evitar deterioros prematuros de esta clase de vías.

El presente trabajo se ha estructurado por capítulos: Capítulo 1 corresponde al Marco Teórico, Capítulo 2 Metodología, Capítulo 3 Propuesta Metodológica, Capítulo 4 Discusión de Resultados, y finalmente se expone conclusiones con sus respectivas recomendaciones.

De la presente investigación realizada, se concluye que, si se efectúa un correcto control de calidad de los materiales que conforman un pavimento rígido durante su

construcción, esta desarrolla características de calidad muy elevadas en la etapa de operación y puesta en servicio, reflejando en la superficie del pavimento rígido pocas fallas prematuras de las losas de hormigón, que aportaran a mantener una condición de pavimento elevada que alarga su vida útil.

Por otro ámbito, también se puede optimizar el costo de construcción de las losas de hormigón, controlando en la etapa de construcción la calidad y resistencia optimizada del concreto, por último conociendo la calidad del hormigón y la condición del pavimento se puede elaborar curvas de vida útil de una vía con pavimento rígido que ayuden a gestionar el mantenimiento oportuno y la intervención de la vía.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General:

Elaborar una metodología para el control de calidad en la construcción de pavimentos rígidos de vías arteriales de congestión vehicular, para optimizar su vida útil.

Objetivos Específicos:

- Contrastar los tipos de control de calidad que son necesarios para la construcción de pavimentos rígidos que optimicen su vida útil.
- Aplicar métodos de investigación estadístico, teórico documental y empírico de campo aplicables a la construcción de pavimentos rígidos que optimicen su vida útil de una vía arterial de la ciudad de Machala
- Proponer una metodología de Control de Calidad para la construcción de pavimentos rígidos en vías arteriales, que optimicen su vida útil.

HIPÓTESIS:

El Control de Calidad en la construcción de pavimentos rígidos optimiza su vida útil.

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Históricos.

Desde los inicios de la república del Ecuador, fue necesario la conexión de la capital Quito con las diferentes provincias, uno de los primeros caminos ya fueron construidos por el imperio Inca, conocido como el camino del Inca, a través de los años, con el avance tecnológico, nuevas formas de transporte aparecieron como lo fue el tren de carga y en la actualidad los vehículos, sin embargo cada día los avances tecnológicos evolucionan y aparecen nuevas modalidades de transporte, pero que no han dejado a tras el uso de los vehículos, sino más bien estos han evolucionado en diferentes tipos y formas, innovando cada vez con mayor capacidad y peso, esta evolución del automóvil notoriamente ha impactado también en la construcción de las carreteras, para que estas sean más amplias y con mayor capacidad de soportar cargas que transmiten los vehículos al circular por ellas, siendo un factor indispensable y necesario el control de calidad de las mismas (Gaspa, 2021).

1.1.1. Evolución de las carreteras.

Los viales han experimentado una evolución significativa en el transcurso de la historia, con un incuestionable desarrollo económico y consecuentemente social. Diversas tendencias se presentan hoy para su construcción, sin descartar que, durante su vida útil, estas estructuras se encuentran sometidas a procesos y fenómenos que limitan su seguridad y durabilidad (Vidaud et al., 2019).

En el Ecuador desde los años 1920, cuando se fortaleció el potencial agrícola del país, nació la necesidad de conectividad entre Quito y las zonas costeras con el fin de conectar el país con el Canal de Panamá, desde 1888 hasta 1967, se venían elaborando proyectos para habilitar vías de herradura que en lo posterior se convertirán en la base para la construcción de carreteras modernas, una de esas carreteras es la conocida vía, Quito-Santo Domingo-Quininde-Esmeraldas, trabajos de construcción que duraron décadas que hasta 1970, con una política vial basada en financiamiento externo, se logró construir dicha carretera asfaltada (Gaspa, 2021).

1.1.2. Historia de las carreteras.

La historia de la planificación de carreteras, data desde la década de los años sesenta del Siglo XX hasta la actualidad, centrándose fundamentalmente en los planes de carreteras para garantizar su servicio y por ende optimizar su vida útil.

Las carreteras españolas han sufrido un cambio como nunca antes en su historia, incluyendo la transferencia de tres cuartas partes de la red a las Comunidades Autónomas en los años 80, generando un nuevo modelo de gestión viaria y transformando los principales itinerarios en vías de alta capacidad. Hemos pasado de unas carreteras convencionales que limitaban el desarrollo de muchas zonas con un gran potencial a un entramado de autovías y autopistas que comunican todos los centros económicos, administrativos, comerciales y estratégicos de España (Rubio & Borrajo, 2019).

En el Ecuador las carreteras se han planificado desde la década del año 1888, con la construcción de importantes carreteras, como lo son carreteras Alóag-Santo Domingo que data de los años 1925 hasta 1941, Santo Domingo-Quinindé de la década de 1946 a 1949, Quinindé-Esmeraldas entre los años 1949 hasta 1959 y la proyección de la Vía Interoceánica y muchas más que forman parte de la red de carreteras del país que en el año 2019 alcanzaron cerca de 10.000 km de longitud, entre carreteras con pavimento rígido y flexible (Gaspa, 2021).

1.1.3. Historia de las carreteras de pavimento rígido.

Los primeros indicios del empleo de firmes en carreteras se da en Asia, en lo constituyo las vías del imperio Hitita, entre los años 2.300 a 1.700 antes de Cristo existen vestigios de grandes losas de piedra acentuadas en arcilla en Creta en el monolítico medio, en Egipto también existen grandes losas de piedra asentadas en terreno firme, las vías griegas también lo usaban, ya los técnicos romanos iniciaron con la construcción de vías urbanas considerando tres tipos y en todos los firmes disponían de un enlosado final como pavimento (Labrador, 2008)

Al finalizar el siglo XVIII, nuevas versiones tecnológicas empezaron aparecer en los pavimentos urbanos con diferentes tipologías de piedras en las calles, ya al principio del siglo XIX se inició a utilizar el alquitrán, en losetas de asfalto comprimido colocadas con mortero de cemento, ha mediado del siglo XX se comienzan a cubrir las calles antiguas de piedra, con capas de mezcla asfáltica, y a finales del último tercio del siglo XX, nuevas

tecnologías como el hormigón empiezan a ser lo nuevos protagonistas de las carreteras (Labrador, 2008).

En los últimos años en Ecuador se han construido importantes obras donde el componente más predominante ha sido el hormigón, sin que en la rama de la vialidad sea la excepción, ejecutándose considerables longitudes de carreteras de pavimento rígidos, e inclusive nuevas tecnologías están desarrollando la aplicación de nuevos materiales para modificar el hormigón e incrementar su resistencia a la tracción como lo son los nanotubos de carbono NTS (Llanos, 2017).

Donde para mejorar las propiedades rheoplásticas en los hormigones durante el traslado y operación, en el diseño y fabricación de hormigones premezclados se considera la incorporación de aditivos químicos (C Muñoz & Quiroz, 2014).

1.1.4. Historia del control de calidad del pavimento rígido en carreteras.

En España, marcaron tres épocas sobre la evolución de ensayos y control de calidad de los materiales de construcción, la primera época de 1900 hasta 1936, donde se apreciaba el control de calidad de los materiales con una simple inspección visual basada en la experiencia adquirida, para la segunda época desde 1936 hasta 1960, se torna caótica la situación pues el cemento y el acero son los materiales predominante donde la adquisición de los mismo demandó la aparición de mercados negros y evasión de un producto en auge y no controlado, es a partir de los años 1960 donde se empiezan a implementar normas de control de calidad (Labrador, 2008).

En el Ecuador el Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN, según las leyes que la promulgan es el organismo encargado de la reglamentación, normalización y metodología establecido en las leyes de la república del Ecuador, tratado, acuerdos y convenios internacionales (INEN, 2014).

1.2. Antecedentes Conceptuales

Según las normas y especificaciones técnicas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), los pavimentos rígidos consisten en la construcción de una capa de rodadura conformada por una losa de hormigón hidráulico acentuada sobre una subrasante debidamente conformada y compactada, con la capacidad de soportar cargas

muy elevadas debido a su carpeta de rodadura elaborada por concreto hidráulico (MTOPE, 2002).

1.2.1. Vías.

Las normas del MTOPE para el Ecuador, establecen a las vías como el área necesaria y en las condiciones apropiadas para el tránsito de animales, peatones y vehículos (MTOPE, 2002)., sin embargo, dentro del área urbana donde se ubican las grandes ciudades estas se clasifican de acuerdo a su importancia y capacidad.

1.2.1.1. Clasificación de las vías.

Según lo indicado en, El Plan Estratégico de Movilidad 2013-2037, del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, la red estatal vial, se jerarquiza en cuatro parámetros básicos, la Jerarquía vial de Parámetros Básicos 1 comprende al camino básico, camino básico (CB), carretera convencional básica (CCB), la Jerarquía vial de Parámetros Básicos 2, a las carreteras de mediana capacidad con TPDA que van desde 5.000 hasta 14.000, la Jerarquía vial de Parámetros Básicos 3, a las vías de alta capacidad interurbana con TPDA superior a 14.000 y la Jerarquía vial de Parámetros Básicos 4 a las vías de alta capacidad urbana y periurbanas con TPDA superior a 14.000 (MTOPE, 2016).

El Reglamento Ley Sistema Infraestructura Vial del Transporte Terrestre, en su capítulo II, Clasificación de las vías, ha establecido los conceptos y clases de vías según sus características, funcionalidad, dominio, uso, jurisdicción y competencia., y por su Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) (Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, 2018).

1.2.2. Pavimentos.

Al pavimento se lo define de forma genérica a todas las capas que conforman la estructura de una vía, sin embargo en términos de ingeniería se suele designar pavimento únicamente a la capa de rodadura (Huang, 2004).

1.2.2.1. Tipos de pavimentos.

Según Huang, en su libro Análisis y Diseño de Pavimentos Yang Huang, existen tres tipos de pavimentos, los flexibles que son elaborados con asfalto, los rígidos elaborados con hormigón hidráulico y los compuestos (Huang, 2004).

1.2.2.2. Pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos son construidos de hormigón y tiene como componente principal el cemento portland, el primer pavimento rígido fue elaborado en Ohio, Estados Unidos por el año 1893., y su elaboración no es tan compleja, debido al análisis del pavimento rígido que se basa en la tensión de flexión, considerado como factor único de diseño (Huang, 2004), en la actualidad nuevas materiales se están utilizando para mejorar esta característica del pavimento rígido como lo son los nanotubos de carbono NTC, que incorpora nuevas propiedades al hormigón, sin embargo esto aún deben seguirse estudiando debido a que la nanotecnología aun esta por investigarse (Llanos, 2017).

Las características mecánicas más importantes del hormigón son la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción del concreto por flexión, esta última conocida también como módulo de rotura o módulo dinámico de rigidez, se la puede obtener mediante la aplicación del ensayo INEN-NTE-488 o la norma ASTM C 109/109M, que básicamente consiste en aplicar una carga de flexión en especímenes de hormigón en forma de vigas, la carga es aplicada al tercio de la viga hasta la rotura de la misma (Llanos, 2017).

1.2.2.3. Materiales empleados en pavimentos rígidos

El hormigón hidráulico convencional para la elaboración del pavimento rígido está constituido básicamente de árido grueso o grava, árido fino o arena, cemento portland, agua y aditivo que puede ser plastificante, aceleraste o retardante, dependiendo de la metodología de trabajo y del diseño del hormigón para alcanzar la resistencia mínima especificada en las normas del MTOP que indica, el valor mínimo de módulo de rotura obtenido de la resistencia a la flexión en el ensayo de carga sobre tres puntos no debe ser menor a 4 Mpa., y la resistencia a la compresión en cilindros $f'c$ no menor a 28 Mpa (MTOP, 2002).

1.2.3. Características mecánicas del hormigón en pavimentos rígidos.

Una de las características más importantes en una estructura de hormigón es la resistencia a la compresión simple (Jiménez et al., 2000), sin embargo en la construcción de pavimentos rígidos el factor más importante es la resistencia a la flexión en el ensayo de carga sobre tres puntos (Huang, 2004), también existen literaturas y fórmulas elaboradas para correlaciones entre el módulo de rotura (MR) y la resistencia a la compresión simple del hormigón (Llanos, 2017) teniendo así:

Ecuación establecida por la norma colombiana para valores de $f'c$ en Mpa.:

$$Mr = 0,70\sqrt{f'c} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Ecuación establecida por la norma Española para valores de $f'c$ en N/mm².:

$$Mr = 0,30\sqrt[3]{f'c^2} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Ecuación establecida por el libro de Huang Yang Hsien para valores de $f'c$ en PSI.:

$$Mr = 8\sqrt{f'c} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

En el estudio de investigación denominado “Los nanotubos de carbono como nueva alternativa de aplicación para mejorar la resistencia a la fatiga o reducir fisuramiento en diseño de pavimentos rígidos con concreto hidráulico”, se determina que la ecuación que más se asemeja a los valores teóricos de MR en función de la resistencia a la compresión simple es la establecida por la norma Española (Llanos, 2017)

1.2.4. Modelos de Control de calidad.

Un modelo de control de calidad para obras de hormigón, se entiende. “un conjunto de acciones y decisiones que se toman, bien para cumplir las especificaciones, bien para comprobar que estas han sido cumplidas” (Jiménez et al., 2000, p.186).

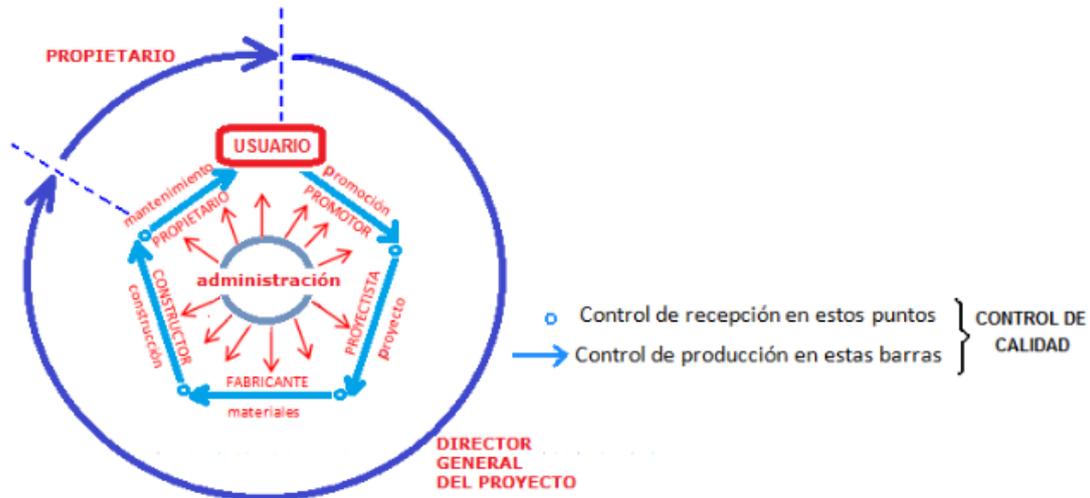


Figura 1. Modelización del Control de calidad en construcción

Fuente. (Jiménez et al., 2000)

Elaboración. (Vidaud et al., 2020)

Esta modelización caracteriza a las obras respecto a los tipos de control de calidad en la construcción y que deben desarrollarse en dos fases, el control calidad en la etapa de la producción y el control de calidad en la etapa de recepción y como característica fundamental y primordial a la tecnología del hormigón (Vidaud et al., 2020).

1.2.5. Tipos de control de calidad de las obras de hormigón.

Muchas de las obras y estructuras construidas de hormigón, ofrecen características significativas pero que difieren mucho de las proyectadas, pues, no siempre lo que se construye es exactamente igual a lo que se proyectó y estableció en los planos, este desfase, sobre todo en las estructuras de hormigón, tiene una estricta relación entre el control y la seguridad (Jiménez et al., 2000).

El grado de concordancia entre la obra real y lo proyectado es un índice de calidad en la ejecución de dicha estructura, cuanto más elevado sea el control mayor grado de satisfacción tendrá este índice, y más cercano a la hipótesis propuesta por el proyectista y consecuentemente el coeficiente de seguridad real de la estructura se aproximará más al teórico, por el contrario, una obra con poco control tendrá grandes desviaciones en la seguridad de la estructura (Jiménez et al., 2000).

Esta relación entre la seguridad real de la estructura y el grado de control de calidad durante la ejecución de la misma, promueve al proyectista durante la ejecución un control cuidadoso y sistemático, con valores más afinados de índices de seguridad para obras con estricto control y valores más tolerables para obras con poco control, esta filosofía impone diferentes valores de coeficientes de mayoración en función del nivel de control de la estructura pero que al final encarecen la obra por falta de control (Jiménez et al., 2000).

Existen diversos tipos y formas de controlar la calidad de una obra, sin embargo, cuando se trata de obras de hormigón es fundamental considerar que las obras se ejecutan por fases y los vaciados de hormigón son innumerables, teniendo que controlar la calidad de los mismos por lotes, una de las formas más apropiadas de controlar esa calidad es mediante la aplicación de controles estadísticos (Jiménez et al., 2000).

1.2.5.1. Aplicación del control estadístico método Jiménez, García y Morán.

El objeto del control es comprobar que la resistencia del hormigón que el proyectista analizó en los diseños definitivos del pavimento sea por lo menos igual a la especificada, eso conlleva que, durante la ejecución de la obra se realicen constantes controles a la resistencia del hormigón mediante probetas prismáticas de hormigón (Jiménez et al., 2000).

Uno de las maneras de analizar la seguridad estructural de una obra ya construida, son referidas en algunas normas sin embargo uno de los parámetros indispensables a evaluar es la resistencia característica del hormigón a la compresión simple (Fernández Domínguez & Howland Albear, 2018), existen varios métodos y formas de analizar la resistencia característica sin embargo en este estudio nos basaremos al análisis establecido por Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Messeguer y Francisco Morán Cabré quienes plantean tres modalidades de control, sin embargo el más aplicado a cualquier tipo de obra y sobre todo que se ajusta a los pavimentos rígidos es el método estadístico (Jiménez et al., 2000).

1.2.5.2. Resistencia estimada y resistencia característica del hormigón.

Los valores de los distintos ensayos efectuados a las obras de hormigón suelen presentarse de forma muy dispersa aun cuando se toman muestras de un mismo lote, sin embargo de manera tradicional se ha optado por obtener la media de los valores de los ensayos para considerar si la estructura cumple con la especificación del proyecto, pero este valor no expresa la verdadera calidad del hormigón en obra al no considerar la dispersión de la serie (Jiménez et al., 2000).

En este contexto la media aritmética de los valores η de ensayo de rotura es la llamada resistencia media (f_{cm}). “La conclusión es que, al adoptar la resistencia media como base de los cálculos conduce a coeficientes de seguridad variables según la calidad de la ejecución” (Jiménez et al., 2000).

Para contrarrestar este efecto y conseguir trabajar con un coeficiente de seguridad único, es decir homogéneo en todos los casos, se plantea el concepto de resistencia característica del hormigón, que es una medida estadística que toma en cuenta además de la resistencia media (f_{cm}), la desviación típica relativa o coeficiente de variación (δ), y se define como resistencia característica (f_{ck}) al valor que representa el grado de confianza del 95 por 100, es decir que existe una probabilidad de 0.95 de que se presenten valores individuales de probetas más altos que (f_{ck}) (Jiménez et al., 2000) y así tenemos las siguientes ecuaciones.

$$f_{ck} = (1 - 1,64 \delta) \text{ pero debe ser } \geq f_{\text{diseño}} \text{ ó } f_{ck} = f_{\text{diseño}} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2} \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Donde f_{cm} es la resistencia media de la población del hormigón y δ es el coeficiente de variación de la población de resistencias.

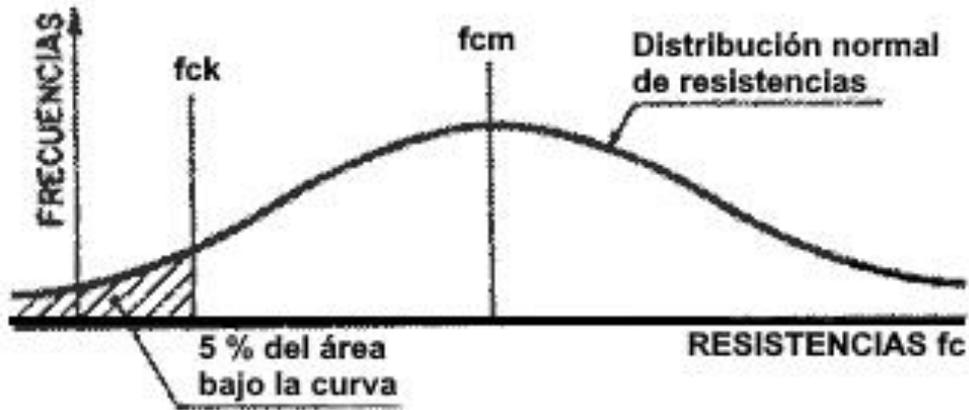


Figura 2. Definición de resistencia característica f_{ck}

Fuente. (Jiménez et al., 2000)

Elaboración. (Jiménez et al., 2000)

Para la aplicación del control estadístico debe obtenerse los valores de la resistencia estimada ($f_{est.}$) y la resistencia característica del hormigón (f_{ck}) ecuación 1.4, con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Si } N < 6: \quad f_{est} = K_N \cdot x_1 \quad \text{Ecuación 1.7}$$

$$\text{Si } N > 6: \quad f_{est} = 2 \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{m-1}}{m-1} - x_m \leq K_N \cdot x_1 \quad \text{Ecuación 1.8}$$

En donde:

K_N = Coeficiente Dado en la Tabla 2 en función de N y del tipo de instalación en que se fabrique el hormigón.

x_1 = Resistencia de la amasada de menor resistencia

$m = N/2$ si N es par

$m = (N-1)/2$ si N es impar

La fórmula de la ecuación anterior se aplica con los siguientes pasos.

- a) Se desecha la mitad más alta de resultados (por exceso, si N es impar)
- b) Se reserva, dejándolo aparte, el valor de x_m más alto de los que quedan
- c) Se calcula la media aritmética de los valores restantes (que son uno menos que antes) y se multiplica por dos.
- d) Al resultado se le resta el valor de x_m que se reservó antes.

En el caso particular de N=6 y también para N=7, se aplicará la siguiente expresión.

$$f_{est} = X1 + X2 - X3 \quad \text{Ecuación 1.9}$$

El autor relaciona el número de amasadas N, que deben muestrearse por lote con la resistencia del proyecto f_{ck} , y este por lo general debe estar incluido en las especificaciones técnicas o establecerse por el director de la obra (Jiménez et al., 2000), en las normas del MTOP, las especificaciones técnicas para la ejecución de pavimentos rígidos establece que se tomaran como mínimo una muestra de cuatro especímenes por cada día de trabajo de hasta 120 m³ o 500 m²., sin embargo el autor la ha definido de la siguiente manera:

Otros Casos	Condiciones
$N \geq 2$	<i>Si la resistencia característica del proyecto no supera los 25 N/mm²</i>
$N \geq 4$	<i>Si la resistencia característica del proyecto supera los 35 N/mm²</i>
$N \geq 6$	<i>En los casos restantes</i>

Tabla 1 Número de Amasadas controladas (N)

Fuente: (Jiménez et al., 2000)

Elaboración: (Jiménez et al., 2000)

N es el tamaño de la muestra (número de amasadas que se ensayan por lote, se define la amasada como una unidad de producto fabricada en un determinado intervalo de tiempo con las mismas características esenciales.

El valor de Kn se obtiene a partir de la siguiente tabla:

N	HORMIGONES FABRICADOS EN CENTRAL							OTROS CASOS
	Recorrido relativo máximo, r	KN		Recorrido relativo máximo, r	KN	Recorrido relativo máximo, r	KN	
		Con Sello de Calidad	Sin Sello de Calidad					
2	0,29	0,93	0,90	0,40	0,85	0,50	0,81	0,75
3	0,31	0,95	0,92	0,46	0,88	0,57	0,85	0,80
4	0,34	0,97	0,94	0,49	0,90	0,61	0,88	0,84
5	0,36	0,98	0,95	0,53	0,92	0,66	0,90	0,87
6	0,38	0,99	0,96	0,55	0,94	0,68	0,92	0,89
7	0,39	1	0,97	0,57	0,95	0,71	0,93	0,91
8	0,40	1	0,97	0,59	0,96	0,73	0,95	0,93

Tabla 2 Valores del coeficiente KN

Fuente: (Jiménez et al., 2000)

Elaboración: (Jiménez et al., 2000)

La clase A corresponde a centrales cuyo coeficiente de variación este entre 0,08 a 0,13
La clase B corresponde a centrales cuyo coeficiente de variación este entre 0,13 a 0,16
La clase C corresponde a centrales cuyo coeficiente de variación este entre 0,20 a 0,25

Estas clases están en función del grado de homogeneidad del hormigón que se fabrica en cada una de las plantas.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN. Según (Jiménez et al., 2000)

- 1.- Cuando $f_{est} \geq f_{ck}$ se acepta el lote.
- 2.- Cuando $f_{est} < f_{ck}$ pero $f_{est} \geq 0,9 f_{ck}$, el lote también debe aceptarse.
- 3.- Cuando $f_{est} < 0,9 f_{ck}$ no se acepta el lote y se impone una penalización.

1.2.5.3. Aplicación del procedimiento estadístico del ACI-214 para el control de los esfuerzos de tracción en el hormigón.

El Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Concreto (INECYC) expidió el documento, Control de Calidad en el hormigón, Control por Resistencia Parte II, donde se establecen los criterios que se requieren cumplir, para el control de calidad del hormigón en las obras y la aplicación de procedimiento estadísticos basados en la norma ACI-214 para el control de esfuerzos a tracción y los requisitos de aceptabilidad establecidos por el ACI 318 (INECYC, 2009).

1.2.5.4. Aplicación del Índice de Condición del Pavimento.

El Índice de condición del pavimento o más conocido como (I.C.P), es un indicador que fue desarrollado por la U.S. Army Corps of Engineers, y su determinación se basa en inspecciones visuales y las condiciones en que se encuentra el pavimento, asignando valores discutibles a las áreas o longitudes afectadas del pavimento (Satish et al., 2013), su desarrollo está normado bajo la designación ASTM-D-6433, donde se describe con plenitud la forma de obtener el (I.C.P.).

El desarrollo de este indicador aporta al análisis de la estructura del pavimento y su nivel de servicio a través del tiempo, obteniendo amplios resultados muy necesarios para el mantenimiento vial, es muy utilizado cuando la estructura vial ya ha sido ejecutada y se encuentra en servicio (Satish et al., 2013)

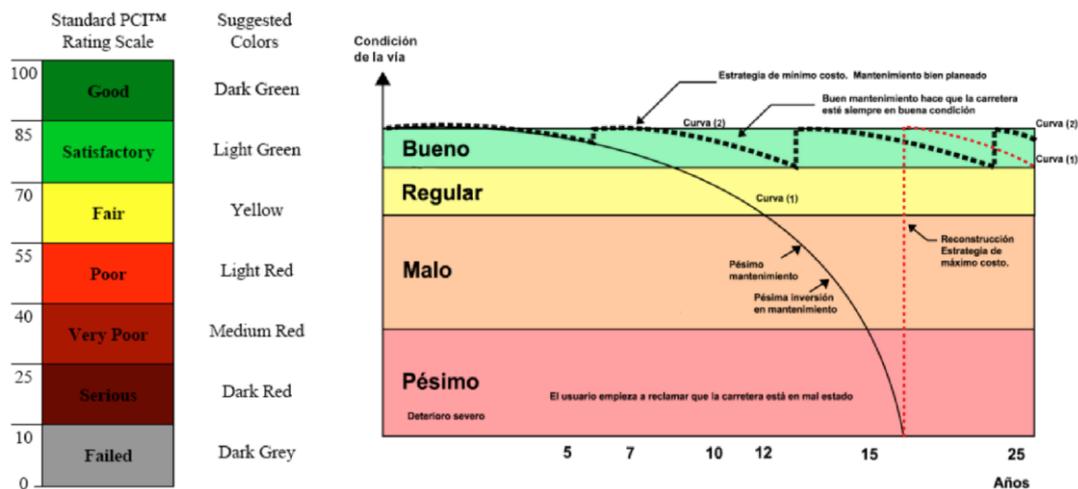


Figura 3 Índice de condición del pavimento (PCI), escala de calificación y Colores sugeridos & Curva de deterioro típica de un pavimento

Fuente. (Elizondo, 2010)

Elaboración. (Elizondo, 2010)

La figura número tres, expresa al índice de condición del pavimento mediante una escala de colores expresada en porcentaje la condición del pavimento sea este rígido o flexible, que va desde un nivel cero en estado fallido a un estado bueno, este índice expresado a través del tiempo ayuda a construir la curva de deterioro de un pavimento e identificar en qué momento se debe intervenir con el mantenimiento preventivo, la rehabilitación o la reconstrucción (Picado Muñoz, 2017)

1.2.6. Indicadores característicos del control de calidad en pavimentos rígidos.

Como se mencionó en el apartado 1.2.4 Modelos de Control de calidad, el control de calidad en las obras de hormigón se lo realiza en dos fases, la primera fase en el proceso de producción se la obtiene identificando el nivel de calidad del hormigón, para corroborar si cumplieron las especificaciones de diseño, pues del grado de control de calidad del hormigón depende el nivel de seguridad de la estructura para la cual fue diseñada (Jiménez et al., 2000), así tenemos el primer indicador del control de calidad, el Índice de control de calidad del material, (I.C.C.M).

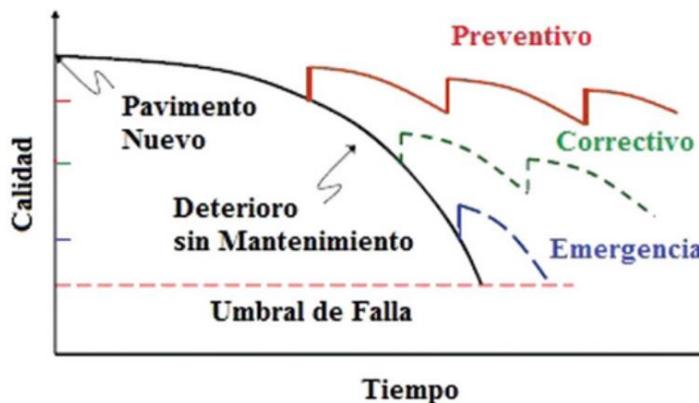


Figura 4. Esquema del ciclo de vida de un pavimento

Fuente. (Flintsch & Fernández Gómez, 2015)

Elaboración. (Flintsch & Fernández Gómez, 2015)

Los modelos de deterioro del pavimento se han expresado en curvas de desempeño para verificar la condición y el efecto de estos., y de cómo mantenerlas activas a través el tiempo (Satish et al., 2013), La figura 4, muestra en esquema el ciclo de vida de un pavimento en función de su calidad, versus los años de servicio, el Índice de condición del pavimento (I.C.P) es uno de los indicadores más comunes para la valoración y desarrollo de estas curvas que ayudan a identificar en qué momento es necesario intervenir con el mantenimiento, su desarrollo se basa a observaciones visuales e inspecciones en sitio de las características y fallas presentes en los pavimentos (Satish et al., 2013), de esta esquema nace el segundo indicador del control de calidad para la etapa de recepción, y lo identificaremos como Índice de Control de Calidad del Pavimento (I.C.C.P).

1.3. Antecedentes Referenciales

El hormigón es uno de los elementos constructivos que ha estado presente desde hace muchos años en nuestra sociedad, hasta la época moderna en que vivimos se han realizado un sinnúmero de estudios para conocer y desarrollar aún más sus propiedades mecánicas, hasta llegar a convertirse este un uno de los actores principales de la estructura vial como los pavimentos rígidos (Nistal Cordero et al., 2012).

Llegando a diseñarse losas cortas para mejorar sus características de desempeño e incrementar la vida útil del pavimento y generado ahorros económicos de hasta un 25% (Chaparro & Pradena, 2019)

En algunas investigaciones se ha logrado reutilizar los hormigones extraído de rotura de pavimento y volverlo a utilizar como material árido, convirtiéndolo en un hormigón estructural reciclado (Gámez-García et al., 2017)

En la infraestructura vial también el hormigón tiene su rol importante, donde la innovación ha llegado a desarrollar calzadas de hormigón con geometría optimizada que incrementa el desempeño y vida útil del pavimento rígido (Covarrubias V., 2012), así como también pavimentos porosos que aportan al escurrimiento y drenaje vial (Guerra Chayña & Guerra Ramos, 2020), vías en las que se invierten grandes cantidades de dinero y si no se mantiene un buen control de la misma puede llegar a fallas tempranas en el pavimento y disminuir su vida útil, de ahí la importancia del control de calidad que influye no solo en controlar la buena calidad de los materiales sino también reducir los costos de construcción y operación de las mismas.

1.3.1. Normativa aplicada al control de calidad durante la ejecución del hormigón para pavimentos rígidos.

Las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del Ministerio de Transporte y Obras Publicas en el Ecuador tienen regulado los procesos a seguir para el control de calidad en la construcción de los pavimentos rígidos (MTO, 2002), en la siguiente tabla se puede observar los ensayos necesarios que se aplican de la construcción de pavimentos rígidos con hormigón hidráulico.

ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD EN LA PRODUCCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Nro.	Descripción	Normativa	Aplica
1	Compresión de cilindros de hormigón	Norma ASTM C39.-	Si
2	Flexión en vigas de hormigón	Norma ASTM C78.-	Si
3	Asentamiento del Hormigón de Cemento Hidráulico	Norma ASTM C143.-	Si
4	Contenido de aire en el hormigón (Método Volumétrico)	Norma ASTM C173.-	Si
5	Contenido de aire en el hormigón (Método de Presión)	Norma ASTM C231.-	Si
6	Tracción indirecta	Norma ASTM C496.-	Si
7	Velocidad de Pulso Ultrasónico	Norma ASTM C597.-	Si
8	Esclerómetro	Norma ASTM C805.-	Si
9	Control de temperatura	Norma ASTM C1064.	Si

Tabla 3 Ensayos de control de calidad en la producción y construcción de pavimentos rígidos.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

Sin embargo todos estos ensayos se resumen en controlar la calidad del hormigón para una característica mecánica importante, que al final de todo es el indicador de desempeño sobre el cual se diseñan los espesores del pavimento, y está relacionado con la carga de tráfico sobre el cual fue diseñada la vía, así pues el módulo de rotura se convierte en un indicador para verificar el comportamiento del material (hormigón) y su desempeño a través del tiempo (Huang, 2004), este indicador se convertirá más adelante en el Índice de control de calidad del material, (I.C.C.M)

1.3.2. Desarrollo de pronóstico de fisuramiento de losas en pavimentos rígidos.

En la actualidad existen programas desarrollados para predecir el porcentaje de agrietamientos que sufrirán las losas de los pavimentos rígidos, uno de esos programas es el conocido como BS-PCA, desarrollado por la Universidad del Cauca en Colombia, este programa puede desarrollar el porcentaje por consumo de repeticiones admisibles por fatiga y como se ve afectado el módulo de rotura en el tiempo, basado en la metodología de análisis y diseño de pavimento por el método de la PCA (Lee & Carpenter, 2002)

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 40 Mpa/m

Espesor de la Losa : 225 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.41 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

Tn

Factor de Seguridad Carga : 1.1

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%) : 0.684

Total Consumo Erosión (%) : 6.6276

Cargar

Guardar

Calcular

Imprimir

Salir

Figura 5 Pantalla principal del programa BS-PCA.

Fuente. El Autor

Elaboración. El Autor

Para analizar la estructura de un pavimento y diseñar los espesores la PCA plantea dos criterios de aceptación el consumo de los esfuerzos por fatiga y el consumo de los

esfuerzos por erosión, el criterio por fatiga determina las tensiones equivalentes de la losa del pavimento basados en los esfuerzos de flexión de borde máximo resultante del análisis bajo una condición de carga tal, en diferentes niveles de grosor de losas y Módulo de reacción de la sub-rasante este procedimiento determina el consumo por fatiga en porcentaje de las losas de un pavimento rígido sometido a espectros de carga para cada año de vida del pavimento (Lee & Carpenter, 2002).

Para calcular dichos esfuerzos se deben seguir los siguientes pasos.

1. Determinar el esfuerzo equivalente.
2. Calcular factores de relación de esfuerzo

$$R \sigma = \frac{\sigma_b}{M_r} \quad \text{Ecuación 1.10}$$

σ_b = Esfuerzo equivalente Kg/cm²

M_r = Modulo de rotura del concreto Kg/cm²

3. Determinar para cada carga el número admisible de repeticiones de carga en función de la relación de esfuerzos.

$$\text{Para } R\sigma \leq 0.45 \quad N_i = \text{Infinitas} \quad \text{Ecuación 1.11}$$

$$\text{Para } R\sigma \ 0.45 < 0.45 < 0.55 \quad N_i = \left(\frac{4.2577}{R\sigma - 0.4325} \right)^{3.268} \quad \text{Ecuación 1.11}$$

$$\text{Para } R\sigma > 0.45 \quad N_i = 10^{(11.737 - 12.077R\sigma)} \quad \text{Ecuación 1.12}$$

Con estas relaciones se puede establecer el criterio de fatiga en los pavimentos rígidos.

- La fatiga en los pavimentos rígidos es el fenómeno ocasionado por la acción reiterada de las cargas de tránsito que generan esfuerzos de flexión en las losas de concreto con una magnitud superior al 45% del M_r .
- La acumulación del fenómeno de fatiga puede ocasionar la rotura de las losas.
- las cargas que causen $\sigma_{eq} < 0.45M_r$, pueden repetirse indefinida/ ya que no producen fatiga.

4. Calcular consumo de fatiga parcial para cada carga.

5. Calcular consumo total de fatiga y compararlo con valor admisible (<100%)

$$CF_{K(i)} = \frac{ni}{N_{i(e)}} \quad \text{Ecuación 1.13}$$

CF_{ki} =Consumo por fatiga que genera cada grupo de cargas

ni = Numero de repeticiones esperadas de carga para el grupo i

Ni = Numero de repeticiones de carga permisible para el grupo i

El consumo por fatiga puede determinarse por cada año de vida del pavimento, esto se logra estableciendo el espectro de carga acumulado para cada año.

ESPECTRO DE CARGA DE DISEÑO PARA 10 AÑOS DE LA PROLONGACIÓN DE LA AVDA. CIRCUNVALACIÓN SUR DE COLÓN TINOCO PINEDA HASTA AVDA. STA ESTE											
EJE	CARGA	Año 1 No. Repeticiones.	Año 2 No. Repeticiones.	Año 3 No. Repeticiones.	Año 4 No. Repeticiones.	Año 5 No. Repeticiones.	Año 6 No. Repeticiones.	Año 7 No. Repeticiones.	Año 8 No. Repeticiones.	Año 8 No. Repeticiones.	Año 10 No. Repeticiones.
SRS	3	39151	79958	122492	166824	213032	261194	311394	363717	418253	475096
SRS	6	1507	3077	4714	6421	8199	10053	11985	13999	16098	18286
SRD	7	39151	79958	122492	166824	213032	261194	311394	363717	418253	475096
SRD	8	42425	86644	132733	180772	230844	283033	337430	394128	453224	514820
SRD	12	29838	60939	93354	127142	162358	199064	237322	277199	318763	362085
TSNDEM	20	2601	5311	8137	11082	14151	17351	20685	24161	27784	31560
TANDEM	22	12727	25992	39819	54230	69251	84907	101225	118234	135962	154441
TRIDEM	24	1366	2790	4275	5822	7434	9115	10867	12693	14596	16580

Tabla 4 Espectros de carga de diseño para 10 años de vida de un pavimento rígido

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

1.3.3. Normativa aplicada al control de calidad post ejecución del hormigón para pavimentos rígidos.

Como se ha mencionado en el apartado 1.2.6. Indicadores característicos del control de calidad en pavimentos rígidos, uno de los indicadores que evalúan el desempeño de las estructuras del pavimento rígido cuando estas entran en servicio, es el Índice de condición del pavimento (I.C.P), uno de los indicadores más comunes para la valoración y desarrollo de las curvas de vida o deterioro de un pavimento, para lograr determinar estas curvas se emplean técnicas de evaluación e inspección de la condición del pavimento rígido descritas en las normas de la tabla cuatro (Picado Muñoz, 2017).

ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSERVACION DE CARRETERAS CON PAVIMENTOS RÍGIDOS

Nro.	Descripción	Normativa	Aplica
1	Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys1	Norma ASTM D 6433 – 07	Si
2	Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos	Norma Europea EN 12504-4	Si

Tabla 5 Ensayos de control de calidad en la producción y construcción de pavimentos rígidos.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

Con el empleo de los equipos de ultra sonido se logra establecer el grado de severidad de grietas transversales a través de la medición de ondas electromagnéticas (S y P), llegando a determinar la profundidad de las grietas en el hormigón a este proceso se emplea lo establecido en la norma europea NE 12504-4 (Fransqui García, 2011).

1.3.4. Desarrollo de pronóstico de curvas de vida o deterioro de pavimento.

AÑO ACTUAL	ESTADO	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE
2017						
# DE AÑOS	ACCIÓN	SIN INTERVENCIÓN				
0	2017	78.88%	6.51%	0.00%	16.61%	0.00%
1	2018	69.33%	9.30%	9.82%	19.80%	1.92%
2	2019	55.55%	10.52%	7.72%	21.24%	4.74%
3	2020	47.21%	10.98%	9.33%	24.34%	8.14%
4	2021	40.33%	10.74%	9.98%	27.28%	11.87%
5	2022	34.11%	10.34%	10.00%	29.98%	15.77%
6	2023	29.00%	9.35%	9.63%	32.31%	19.72%
7	2024	24.65%	8.47%	9.01%	34.24%	23.63%
8	2025	20.95%	7.58%	8.27%	35.75%	27.45%
9	2026	17.81%	6.71%	7.68%	36.95%	31.15%
10	2027	15.14%	5.90%	6.68%	37.68%	34.71%
11	2028	12.87%	5.16%	5.92%	37.96%	38.10%
12	2029	10.94%	4.48%	5.26%	38.04%	41.33%
13	2030	9.30%	3.89%	4.55%	37.87%	44.40%
14	2031	7.90%	3.36%	3.96%	37.48%	47.31%
15	2032	6.72%	2.89%	3.43%	36.90%	50.04%
16	2033	5.71%	2.48%	2.97%	36.17%	52.67%
17	2034	4.85%	2.13%	2.56%	35.33%	55.13%
18	2035	4.12%	1.83%	2.20%	34.39%	57.46%
19	2036	3.51%	1.56%	1.89%	33.38%	59.67%
20	2037	2.98%	1.33%	1.62%	32.32%	61.75%
21	2038	2.53%	1.14%	1.38%	31.22%	63.72%
22	2039	2.15%	0.97%	1.18%	30.10%	65.59%
23	2040	1.83%	0.83%	1.01%	28.98%	67.35%
24	2041	1.56%	0.71%	0.86%	27.85%	69.02%
25	2042	1.32%	0.60%	0.74%	26.74%	70.60%
26	2043	1.12%	0.51%	0.63%	25.63%	72.10%
27	2044	0.96%	0.44%	0.53%	24.55%	73.52%
28	2045	0.81%	0.37%	0.46%	23.50%	74.87%
29	2046	0.69%	0.32%	0.39%	22.47%	76.14%
30	2047	0.59%	0.27%	0.33%	21.47%	77.35%
31	2048	0.50%	0.23%	0.28%	20.50%	78.49%
32	2049	0.42%	0.19%	0.24%	19.56%	79.58%
33	2050	0.36%	0.17%	0.20%	18.66%	80.61%
34	2051	0.31%	0.14%	0.17%	17.79%	81.59%
35	2052	0.26%	0.12%	0.15%	16.96%	82.51%
36	2053	0.22%	0.10%	0.13%	16.16%	83.39%
37	2054	0.19%	0.09%	0.11%	15.39%	84.23%
38	2055	0.16%	0.07%	0.09%	14.65%	85.02%
39	2056	0.14%	0.06%	0.08%	13.95%	85.78%
40	2057	0.12%	0.05%	0.07%	13.28%	86.49%
41	2058	0.10%	0.05%	0.06%	12.63%	87.17%
42	2059	0.08%	0.04%	0.05%	12.02%	87.81%
43	2060	0.07%	0.03%	0.04%	11.43%	88.42%
44	2061	0.06%	0.03%	0.03%	10.87%	89.00%
45	2062	0.05%	0.02%	0.03%	10.34%	89.55%
46	2063	0.04%	0.02%	0.02%	9.83%	90.08%
47	2064	0.04%	0.02%	0.02%	9.35%	90.57%
48	2065	0.03%	0.01%	0.02%	8.89%	91.05%
49	2066	0.03%	0.01%	0.02%	8.45%	91.50%
50	2067	0.02%	0.01%	0.01%	8.03%	91.92%

Figura 6 Proyección del estado del pavimento en 50 años para Pavimentos rígidos

Fuente: (Peñaloza & Calle, 2017)

Elaboración: (Peñaloza & Calle, 2017)

Peñaloza y Calle en el desarrollo de su trabajo de titulación denominado Sistema de gestión sostenible de pavimentos aplicado a las vías y parqueaderos de la Universidad de Cuenca, aportaron con el desarrollo de una herramienta digital que permite procesar datos de forma automatizada para obtener el I.C.P., e incorporaron aproximaciones de la condición del pavimento rígido de redes futuras aplicando matrices de transición de Markov, logrando desarrollar el pronóstico de una curva de vida para el I.C.P. en pavimentos rígidos en sus diferentes niveles de severidad (Peñaloza & Calle, 2017).

1.4. Antecedentes contextuales.

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación se optó como caso de estudio al proyecto de Regeneración Urbana de la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este de la ciudad de Machala, en vista de que es una vía de pavimento rígido recién construida, que cumple con las condiciones y características para analizar, revisar y plantear el caso de estudio y permita establecer una METODOLOGÍA DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN VÍAS ARTERIALES, QUE OPTIMICEN SU VIDA ÚTIL.

1.4.1. Ubicación geográfica

La Regeneración Urbana de la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este de la ciudad de Machala, está ubicada en la ciudad de Machala y forma parte del anillo vial perimetral actual de la ciudad considerada como una vía arterial de alto tráfico dentro ciudad.

Las coordenadas de ubicación del sado de estudio son las siguientes en sistema UTM.

COORDENADAS DE UBICACIÓN		
	NORTE - SUR	ESTE - OESTE
Inicio	9638250.17 m S	615316.29 m E
Fin	9638022.30 m S	615853.57 m E

Tabla 6 Coordenadas de ubicación geográfica del caso de estudio punto de inicio y de fin.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

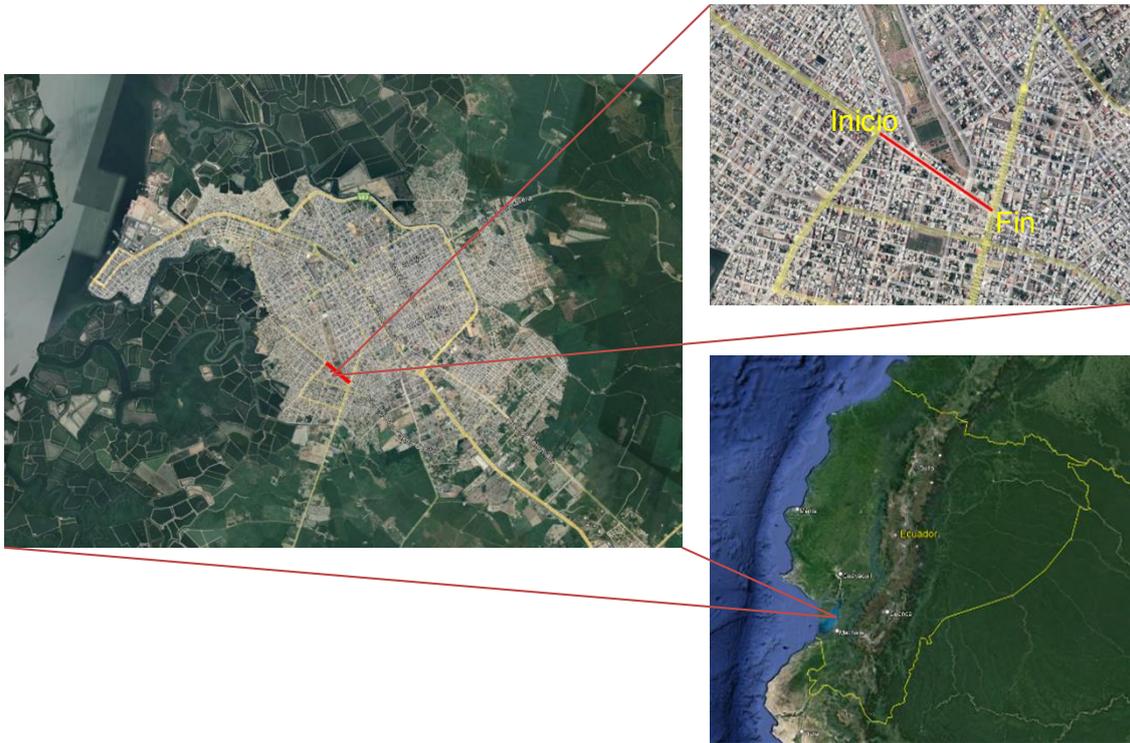


Figura 7 Ubicación Geográfica del caso de estudio.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

1.4.2. Tipo de vía

El caso de estudio considera a la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este de la ciudad de Machala como una vía arterial de gran importancia (Chaguay, 2013).

1.4.3. Características del área de estudio

Para definir los diferentes criterios expuestos en el presente trabajo de titulación es necesario conocer algunas características importantes del caso de estudio como lo es la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este de la ciudad de Machala, sobre todo de las características de diseño y del control de calidad de la vía, así tenemos:

CARACTERÍSTICAS DEL CASO DE ESTUDIO		
ITEM	TIPO	DENOMINACIÓN
Características Generales		
1	Nombre del proyecto	Regeneración Urbana de la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este de la ciudad de Machala
2	Tipo de vía	Arterial Urbana
3	Longitud	0+000 hasta 0+591,32
4	Tipo de Pavimento	Rígido
5	Carriles por lado	2
6	Espesor de Pavimento	22.5 cm
7	División vial	Parterre central
8	Apertura al tránsito	7 de noviembre de 2020
9	Edad de Pavimento	1 año
Características Estructurales del Pavimento		
10	Periodo de diseño	40 años
11	Factor de Carril	0.75
12	TPDA	1088 Vehículos
13	Tasa de Crecimiento Anual	4.23
14	Módulo de Rotura del Concreto	45 Kg/cm ² - 4.41 Mpa
15	Resistencia a la compresión del H.O.	320 Kg/cm ²
16	Resistencia K de la Subrasante	40 Mpa/m
17	Factor de Seguridad de Carga	1.1

Tabla 7 Características del caso del estudio

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1. Metodología de Investigación

El presente trabajo de titulación aplica una metodología de investigación empírica práctica, a base de cuestionarios, observaciones, levantamiento de la información de campo y documental teórica se logra analizar una problemática que requiere de solución como lo es el control de calidad para la construcción de pavimentos rígidos en vías arteriales, que optimicen su vida útil, de esta manera se plantea el desarrollo de la investigación (Carlos Muñoz, 2011).

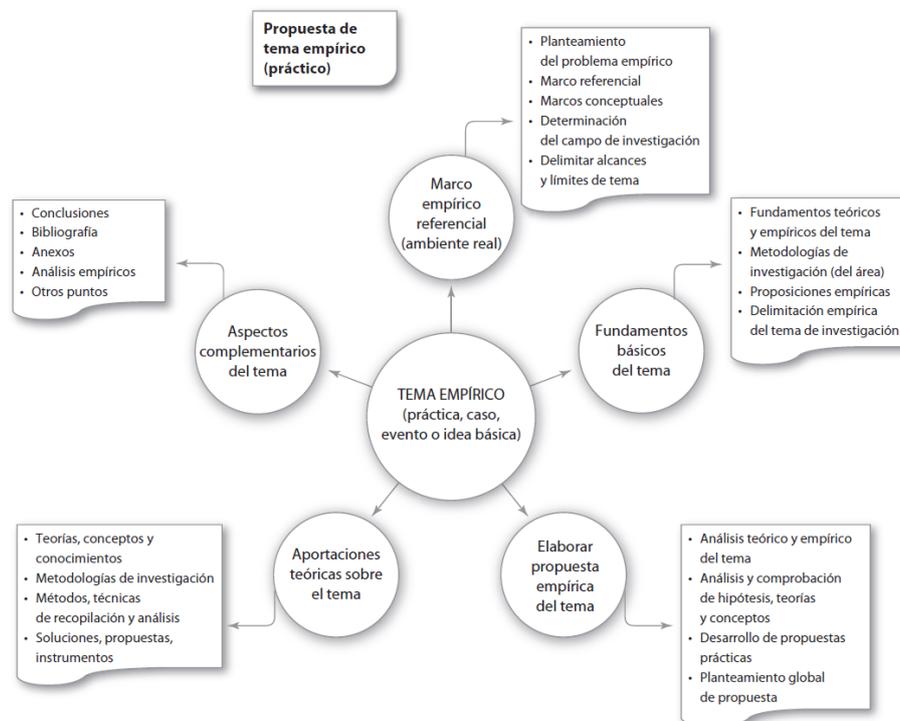


Figura 8 Esquema de la Investigación empírico (práctico)

Fuente: (Carlos Muñoz, 2011)

Elaboración: (Carlos Muñoz, 2011)

Los sujetos o unidades de análisis son: el control de calidad de pavimentos rígidos y la optimización de su vida útil en vías arteriales de la ciudad de Machala.

La presente investigación propone una metodología de control de calidad del hormigón para pavimentos rígidos que evalúe el límite mínimo permisible de la resistencia a la compresión o la flexión por tracción (Modulo de rotura) durante la producción del hormigón para la construcción de las losas de un pavimento rígido y el límite máximo

permisible para la optimización de esos recursos, acciones de control que se efectúan en la etapa de construcción, estas losas de hormigón que conforman el pavimento rígido inician su etapa de operación con la incorporación del tráfico, en esta etapa se podrá evaluar el desempeño de las losas a través del índice de condición del pavimento acciones de control que se efectúan en la etapa de recepción, todo esto bajo las condiciones de criterio por fatiga, para lograr los objetivos planteados, la metodología de investigación se realizó en tres fases, basado en el planteamiento de un modelo experimental.

En la primera fase se realiza el levantamiento de la información, la determinación del índice de control de calidad del material (I.C.C.M.) y la determinación del índice de control de calidad del pavimento (I.C.C.P.) definidos con el índice de condición del pavimento I.C.P.

En la segunda fase se analiza el grado de cumplimiento del control de calidad del hormigón con un análisis comparativo respecto de las especificaciones técnicas de diseño y el nivel de desempeño de las losas de hormigón para la etapa de producción y para la etapa de recepción que se evalúa al primer año de vida del pavimento desde que inició la operación al paso del tráfico sobre el pavimento.

En la tercera fase se correlaciona el nivel de confianza de la calidad del hormigón (I.C.C.M) con el nivel de desempeño del pavimento (I.C.C.P) ó I.C.P, para obtener el índice de calidad global del pavimento (I.C.G.P), posteriormente evaluar el pronóstico en años de las condiciones de calidad y nivel de desempeño del pavimento rígido, así mantener la calidad y optimizar la vida útil.

Los métodos aplicados en esta investigación son: Teóricos (análisis y síntesis documental) y Empíricos (de campo).

2.1.1. Paradigma

“El paradigma positivista sustenta a la investigación que tenga como objetivos comprobar una hipótesis por medios estadísticos o determinar los parámetros de una determinada variable mediante la expresión numérica.” (Ramos, 2015, pág. 10)

El presente trabajo de investigación pertenece a un paradigma positivista de acuerdo a lo expuesto por Ramos, el positivismo afirma que la realidad es absoluta y medible, la

relación entre investigador y fenómeno de estudio debe ser controlada, puesto que no debe influir en la realización del estudio. Los métodos estadísticos inferenciales y descriptivos son la base del presente paradigma.

El presente trabajo de investigación hace connotación a lo importante que es realizar un buen control de calidad de los materiales de construcción durante la ejecución de una obra, y con mayor razón cuando se trata de vías con pavimento rígido, cuyo componente más significativo desde el punto de vista económico es el hormigón, el cual debe soportar el impacto directo de los vehículos que circulan sobre él, de ahí nace la inquietud ¿cuánto se está controlando la calidad del hormigón para pavimentos rígidos que optimicen su vida útil y tengan mayor durabilidad y desempeño?

Desde ese punto de vista se enfoca esta investigación en dos indicadores críticos y uno global, basados en los modelos de control de calidad propuesta por Jiménez, García y Moran, el control de calidad en la etapa de la producción y el control de calidad en la etapa de recepción teniendo como característica fundamental y primordial a la tecnología del hormigón (Vidaud et al., 2020).

Para lograr controlar, evaluar y optimizar la calidad del pavimento rígido en la etapa de producción se aplican los criterios expuestos por Jiménez, García y Moran descritos en el apartado 1.2.5.1 y 1.2.5.2, respecto al control estadístico, resistencia estimada y resistencia característica del hormigón al que se añadió los límites mínimos y máximos permisibles y entre todos estos controlan la característica mecánica básica del hormigón sobre el cual fue diseñado el pavimento rígido, siendo esta característica el módulo de rotura del hormigón, con el impulso de estos criterios se desarrolla el índice de control de calidad del material (I.C.C.M.)

Para la etapa de recepción del material aplicaremos los criterios expuestos en el apartado 1.2.5.4 respecto del Índice de Condición del Pavimento, establecidos en la norma ASTM-D-6433, con el que se lograra determinar el índice de control de calidad del pavimento (I.C.C.P.)

Finalmente, para evaluar el deterioro y la vida útil del pavimento rígido, se plantea el desarrollo de pronóstico de fisuramiento de losas en pavimentos rígidos, que están directamente relacionadas con el módulo de rotura y el desarrollo de pronóstico de curvas de vida o deterioro de pavimento relacionadas con el I.C.P., con ello finalmente evaluar el índice de control de calidad global del pavimento (I.C.C.G.P.)

2.1.2. Enfoque

El análisis de la información recolectada tiene por fin determinar el objetivo de proponer una metodología adecuada de control de calidad para pavimentos rígidos que optimicen su vida útil, los datos empíricos constituyen la base para la prueba de las hipótesis y los modelos teóricos formulados por el investigador (Monje Álvarez, 2011), el enfoque para la presente investigación es de enfoque cuantitativo ya que se realizó las mediciones directas en campo.

2.2. Nivel o Tipo de Investigación

En la presente investigación se realizó estudios de tipo exploratorios, mediante un análisis documental-cuantitativo del objeto de estudio a través de la búsqueda, lectura, interpretación y apropiación de la información de fuentes primarias y secundarias que nos permitió obtener la información necesaria para la redacción del presente estudio.

Por lo que, se realizó los estudios descriptivos de acuerdo a las variables propuestas en la investigación que fueron relacionadas con los trabajos de tipo documental y de campo, considerando las normas ASTM de control de calidad.

Posteriormente se correlacionó las diferentes resistencias de compresión con el módulo de rotura, de las tomas de hormigón y observaciones en campo del estado y severidad del pavimento rígido (I.C.P.), para proponer una metodología adecuada de control de calidad para pavimentos rígidos que optimicen su vida útil.

2.2.1. Teórico Documental

La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos (Arias, 2012), Mediante este método iniciamos con la búsqueda de información sobre metodología de control de calidad de vías de pavimentos rígidos, resistencia característica del hormigón basado en métodos estadísticos, el módulo de rotura y su importancia en el diseño vial, condiciones y grados de severidad de pavimentos rígidos, I.C.P., pronóstico de fisuramiento del hormigón y curvas de vida

en pavimentos rígidos tomando en consideración, la revisión de artículos científicos indexados, tesis de maestría, libros, y normativa legal vigente.

2.2.2. Empírico de Campo

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental (Arias, 2012).

Los datos de campo para la presente investigación se realizaron considerando las normas, 1 Compresión de cilindros de hormigón-Norma ASTM C39, 2 Flexión en vigas de hormigón-Norma ASTM C78, para la etapa de control de calidad de la producción y normas 1 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys-Norma ASTM D 6433 – 07 y 2 Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos-Norma Europea EN 12504-4 para el control de calidad en la etapa de recepción, en la cual se analiza y evalúa, para proponer una metodología de control de calidad que optimice la vida útil en pavimentos rígidos.

2.3. Población y muestra.

En la estadística inferencial, la población y muestra tienen características muy bien definidas, y es que, a la población se refiere al conjunto de todos los individuos u objetos al que se tiene interés medir., en cambio la muestra es la porción o parte de esa población que se tiene interés (Lind et al., 2014)

2.3.1. Población

Como se ha mencionado anteriormente el presente trabajo de investigación plantea una metodología de control de calidad de pavimentos rígidos que optimicen su vida útil basado en dos indicadores el I.C.C.M y el I.C.C.P, y ambos tiene su relación con el diseño del pavimentos rígidos que es la característica mecánica que define el diseño del pavimento, en la etapa de producción se controla la calidad del hormigón para que el módulo de rotura alcance y se mantenga en el diseño especificado en los estudios definitivos, mientras que en la etapa de recepción se confirma si el módulo de rotura ha cumplido con la especificación y se evalúa a través de las fallas en el pavimento rígido

establecidos por el índice de condición del pavimento para determinar si se optimiza la vida útil.

Para el presente trabajo de investigación se consideró la población como medida en virtud que el caso de estudio solo corresponde a un tramo de vía de aproximadamente 500m, definiendo así los indicadores:

I.C.C.M a todos los ensayos de control de calidad para la obtención de la resistencia a compresión de cilindros de hormigón bajo la Norma ASTM C39, que se efectuaron durante la etapa de construcción del pavimento rígido, o en su defecto al ensayo de Flexión en vigas de hormigón según la Norma ASTM C78, entre estos ambos valores existen correlaciones teóricas que pueden definirse el uno del otro.

I.C.C.P le corresponde a todas las fallas encontradas en los pavimentos rígidos basados en la norma Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys1-Norma ASTM D 6433 – 07, para la determinación del I.C.P.

2.3.2. Muestreo

La muestra es una porción o parte de la población de interés, con el objeto de inferir en algo sobre una población, en vista de que en muchos de los casos de estudio se es imposible estudiar a toda una población, es necesario la extracción de una muestra de ella (Lind et al., 2014).

Para el caso del I.C.C.M. el muestreo se lo realiza acorde a lo indicado por el ACI-318, que establece la cantidad y forma de toma de muestras en obras de hormigón, siendo estas de al menos una vez por día, una vez por cada 110 m³ y una vez por cada 460 m² para el caso de losas y muros (González Beltrán & Monge Sandí, 2011), a lo largo de la construcción se toman un sinnúmero de muestras que al final son el conjunto de datos para el control de calidad estadístico de una vía con pavimentos rígidos.

Para nuestro caso de estudio los datos fueron obtenidos gracias al aporte del GADM de Machala al personal fiscalizador de la obra, Regeneración Urbana de la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este de la ciudad de Machala, quienes mantuvieron un control permanente de la obra, VER Anexo 1, Resistencias del hormigón del pavimento rígido.

Para el caso del I.C.C.P, se aplica lo indicado en la norma ASTM-D 6433, numeral 7. Muestreo y unidades muestrales, aunque el número de las unidades de muestra que se inspeccionarán pueden variar entre las siguientes: todas las unidades de muestra de la sección, un número de unidades de muestra que proporcione un nivel de confianza del 95% o un número menor (ASTM- D 6433-11, 2011).

Para nuestro caso de estudio al tratarse de una vía con condiciones de vida útil nuevas, de apenas un año, se han considerado todas las unidades de muestra de la sección.

2.4. Primera Fase, Métodos con los materiales utilizados

En la primera fase se realiza el levantamiento de la información, los datos de las resistencias de hormigón del pavimento durante la etapa de construcción, información que fue proporcionada por el GADM de Machala, con los datos obtenidos se evalúan las características mecánicas del pavimento rígido (resistencia a la compresión simple y módulo de rotura del hormigón para pavimentos rígidos) con métodos estadísticos para la determinación del índice de control de calidad del material (I.C.C.M.), se efectúa también el levantamiento de la información de campo de las fallas en las losas del pavimento rígido, se establecen los niveles de severidad para cada tipo de falla y el desempeño al paso del tráfico con la determinación del índice de control de calidad del pavimento (I.C.C.P.) definidos con el índice de condición del pavimento I.C.P.

Para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación, se analiza el modelo de control de calidad en la construcción propuesta por Jiménez, García y Morán basado en el método estadístico y con su desarrollo plantear como indicadores de control de calidad en pavimentos rígidos, una metodología de investigación teórico documental y técnicas de investigación estadística que determina el modelo del indicador de control de calidad del material I.C.C.M que se aplica en la etapa de producción y método de investigación empírico con técnicas de investigación teórica para el modelo de indicador de control de calidad del pavimento I.C.C.P. que no es otra cosa igual al índice de condición del pavimento para la etapa de recepción, parámetro obtenidos del estudio de una vía arterial urbana de 591.32 m de longitud, con pavimento rígido.

En esta primera fase describiremos como se obtuvieron los datos y como se aplicaron las técnicas de investigación para en lo posterior definir un modelo de control de calidad para la construcción de pavimentos rígidos en vías arteriales, que optimicen su vida útil,

2.4.1. Técnicas y Métodos de la investigación para la evaluación y determinación del I.C.C.M. en la etapa de producción.

La técnica aplicada para la determinación del I.C.C.M, es teórica documental, basado en registros de los ensayos de la calidad del hormigón (Resistencia a la compresión simple) de especímenes de hormigón cilíndricos tomados durante el vaciado del hormigón y ensayados en laboratorio, este registro se lo obtuvo de las labores de la fiscalización de la obra “Regeneración Urbana de la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este de la ciudad de Machala”, en base a este registros se tabularon las diferentes ensayos clasificándolos por abscisa de la vía y por lado según el sentido de circulación sea este izquierdo o derecho, ver anexo 1.

MATERIALES UTILIZADOS

- Se recopila toda la información obtenida de los ensayos de control de calidad sean estos informes o reportes de los laboratorios donde se realizaron los ensayos a la compresión simple o los ensayos a la flexión en vigas.
- Para nuestro estudio se obtuvieron los resultados del laboratorio de suelos y concretos del Ing. Carlos Valarezo, Ensayo a la compresión de cilindros norma INEN 1573 (ASTM C-39).

EQUIPO

- Computadora portátil DELL,
- Software Windows Excel.

METODOLOGÍA APLICADA

Para la determinación del I.C.C.M, se aplica una técnica estadística que analiza el grado de cumplimiento de las especificaciones técnicas de diseño sobre la calidad del hormigón en función a la resistencia a la compresión o módulo de rotura del hormigón empleado para la construcción de las losas del pavimento rígido, aplicando los siguientes pasos.

Deben determinarse los siguientes parámetros:

1. f'_{ck} : Resistencia característica del hormigón para el límite inferior o mínimo y para el límite superior o máximo.

2. $f'c$ esp. Resistencia especificada del estudio para el límite inferior o mínimo y para el límite superior o máximo.
3. Correlación entre la resistencia a la compresión y el MR: Módulo de Rotura
4. Análisis Estadístico de distribución normal (Campana de Gauss)
5. Límites mínimos y máximos permisibles de la especificación y de la muestra

Determinación del índice de control de calidad del material (I.C.C.M.)

1. Variación de la desviación estándar del límite mínimo ($f'ck. min - f'c. esp. min$)
2. Variación de la desviación estándar del límite máximo ($f'ck. max - f'c. esp. max$)
3. Establecer la diferencia de área bajo la curva en la campana gaussiana tanto del límite mínimo así como del límite máximo.
4. Determinación del error admisible de la calidad del material.
5. Determinar el grado de cumplimiento del control de calidad del material a través del Índice de Control de Calidad del Pavimento, basado en las siguientes ecuaciones:

El área bajo la curva:

$$I.C.C.M \text{ min} = (\delta f'ck \text{ min} - Z f'c \text{ esp. min}) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$I.C.C.M \text{ max} = (\delta f'ck \text{ max} - Z f'c \text{ esp. max}) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$I.C.C.M = (1 - (I.C.C.M. \text{ min} + I.C.C.M \text{ max})) \times 100 \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$I.C.C.M \text{ MR} = ((MR \text{ esp.} - (I.C.C.M. \text{ min} \times MR \text{ esp.})) / (MR \text{ esp.})) \times 100 \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$I.C.C.M \text{ FC} = ((f'c \text{ esp.} - (I.C.C.M. \text{ min} \times f'c \text{ esp.})) / (f'c \text{ esp.})) \times 100 \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

δ = varianza de la muestra

z = Desviación estándar

$f'ck$ = Resistencia a la compresión simple característica del hormigón.

$f'c \text{ esp.}$ = Resistencia a la compresión simple de diseño del hormigón.

$I.C.C.M. \text{ min}$ = Índice de control de calidad mínimo que evaluada el nivel de calidad del hormigón y consecuentemente la capacidad de soporte del tráfico y el agrietamiento por fatiga de los pavimentos rígidos.

$I.C.C.M. \text{ max}$ = Índice de control de calidad máximo que evalúa el nivel de optimización de los recursos para la construcción de las losas del hormigón de pavimento rígido.

$I.C.C.M$ = Índice de control de calidad del material

$I.C.C.M \text{ MR}$ = Índice de control de calidad para el Módulo de Rotura

$I.C.C.M \text{ FC}$ = Índice de control de calidad para la resistencia a la compresión simple.

2.4.2. Técnicas y Métodos de la investigación para la evaluación y determinación del I.C.C.P. en la etapa de recepción.

La técnica aplicada para la determinación del I.C.C.P, es teórica documental y empírica práctica, que es obtenida del levantamiento de la información en campo, para ello se aplica un formulario de levantamiento de la información aplicando lo indicado en la norma ASTM-D-6433, en lo posterior se clasifican y se tabulan las diferentes fallas en el pavimento rígido en función de su nivel de severidad y se determina el índice de condición del pavimento I.C.P que viene a ser nuestro índice de control de calidad del pavimento I.C.C.P.

MATERIALES UTILIZADOS

- Formulario para el levantamiento de la información
- Cinta o metro
- Calibrador
- regla

EQUIPO

- Equipo Pundit PL-20
- GPS Garmin
- Camioneta

METODOLOGÍA APLICADA

Para la determinación del I.C.C.P, se aplica una técnica estadística que analiza el grado de desempeño de las losas de hormigón, para ello debe determinarse índice de condición del pavimento I.C.P, tal como lo indica la norma ASTM-D-6433.

1. Levantamiento de la información en campo, se realiza un recorrido a pie sobre todas las losas del pavimento rígido y se ubican las diferentes fallas en los pavimentos rígidos según su nivel de severidad.

$$I.C.P. = I.C.C.P$$

Ecuación 2.6



Figura 9 Ubicación geo referenciada con GPS de una falla

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor



Figura 10 Registro de una falla en pavimento rígido.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor



Figura 11 Medición de la severidad de una grieta transversal.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

2. Tabulación de la información y resumen es de fallas por niveles de severidad, ver anexos 1A,2B,3C,4D,5E,6F,7G,8H,9I,10J,11K,12L.

RESUMEN DE PATOLOGIAS DE LA VÍA		
DETERIORO	Nro. DE LOSAS AFECTADAS	% DE AFECTACIÓN RESPECTO AL TOTAL DE LOSAS CONSTRUIDAS
D	11	2.140%
D.J.	6	1.167%
F.C.	1	0.195%
DS	8	1.556%
F	4	0.778%
F.L.A.T.	6	1.167%
G.E.	18	3.502%
G.E.P.	9	1.751%
G.L.	6	1.167%
GT	6	1.167%
L.V.	5	0.973%
P	8	1.556%
TOTAL	88	17.121%

Tabla 8 Resumen de patologías del área de estudio.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

2.4.3. Metodología para el control de calidad en la ejecución de pavimentos rígidos determinación del I.C.G.P.

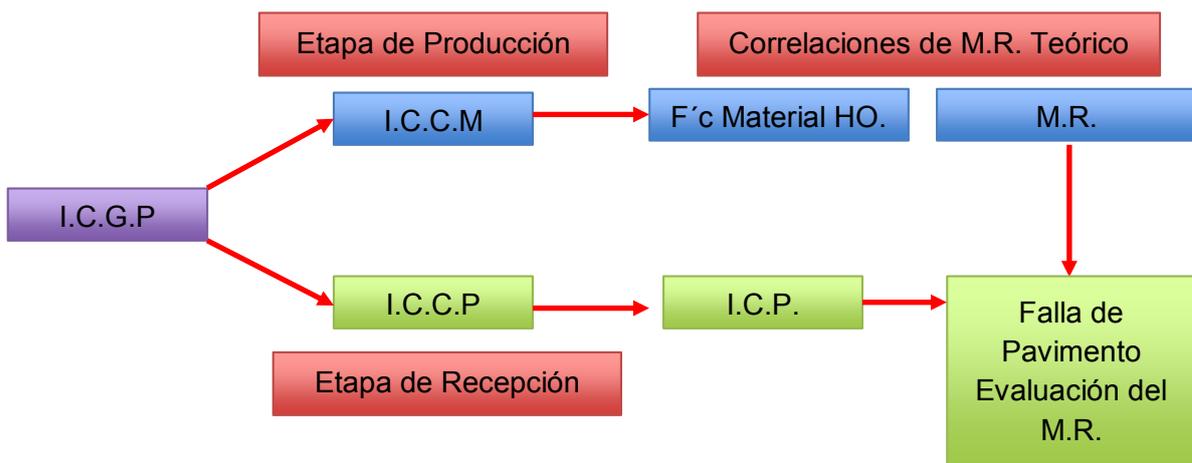


Figura 12 Esquema de los indicadores de control de calidad en pavimentos rígidos.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

La figura 12, establece la ruta a seguir para determinar el Índice de calidad global del pavimento rígido definiéndose de la siguiente expresión.

INDICE DE CALIDAD GLOBAL DEL PAVIMENTO

$$I.C.G.P = (I.C.C.M + I.C.C.P)/2$$

Ecuación 2.7

I.C.C.M = Índice de control de calidad del material

I.C.C.P = Índice de control de calidad del pavimento

I.C.G.P = Índice de calidad global del pavimento

2.5. Operación de Variables.

2.5.1. Variable Dependiente

CONTROL DE CALIDAD EN CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS						
CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	ITEMS	TECNICA	INSTRUMENTOS
<p>METODOLOGÍA DE CONTROL DE CALIDAD DE UN PAVIMENTO RÍGIDO</p> <p>El control de calidad es el conjunto de los PROCEDIMIENTOS y técnicas realizadas para detectar la presencia de errores en la construcción de pavimentos rígidos de acuerdo a las normativas</p>	<p>CARGA Y FLUJO VEHICULAR EN EL PAVIMENTO RÍGIDO</p>	<p>TIPOS DE VEHICULOS</p>	<p>No. Vehículos /Hora/Carril</p>	<p>¿Qué tipos de vehículos circulan en la vía de la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este, de la ciudad de Machala?</p>	<p>Observación</p>	<p>Guía de Observación y diseño del pavimento</p>
		<p>TRANSITO EQUIVALENTE</p>	<p>FACTORES DE DAÑO</p>	<p>¿A qué carga vehicular promedio circulan los vehículos en la vía de la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este, de la ciudad de Machala?</p>	<p>Observación</p>	<p>Cálculos en hoja electrónica</p>

	ESPECTRO DE CARGA	Nro. de repeticiones	¿Cuál es el volumen de tráfico de la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este, de la ciudad de Machala?	Observación	Cálculos en hoja electrónica
CONTROL DE CALIDAD DEL PAVIMENTO RIGIDO	I.C.C.M. min = Índice de control de calidad mínimo	%	¿Cuál es la calidad mínima del hormigón para la durabilidad y prolongación de la vida útil de un pavimento rígido?	Análisis teórico y empírico	Hoja electrónica
	I.C.C.M. max = Índice de control de calidad máximo	%	¿Cuál es la calidad máxima del hormigón para optimizar la vida útil de un pavimento rígido?	Análisis teórico y empírico	Hoja electrónica
	I.C.C.M = Índice de control de calidad del material	%	¿Cuál es el grado de cumplimiento del control de calidad del hormigón de un pavimento rígido?	Análisis teórico y empírico	Hoja electrónica
	I.C.C.M MR = Índice de control de calidad para el Módulo de Rotura	%	¿Cuál es el grado de calidad del módulo de rotura del hormigón de un pavimento rígido?	Análisis teórico y empírico	Hoja electrónica
	I.C.C.M FC = Índice de control de calidad para la resistencia a la compresión simple	%	¿Cuál es el grado de calidad de la resistencia a la compresión del hormigón de un pavimento rígido?	Análisis teórico y empírico	Hoja electrónica
	I.C.C.P.= índice de control de calidad del pavimento	%	¿Cuál es el nivel de desempeño del hormigón de un pavimento rígido?	Análisis teórico y empírico	Hoja electrónica
	I.C.G.P = Índice de calidad global del pavimento	%	¿Cuál es la calidad del pavimento rígido de una vía?	Análisis teórico y empírico	Hoja electrónica

		Modelo de control de calidad del hormigón	Calidad del hormigón vs Abscisado	¿Cuál es el modelo de control de calidad de un pavimento rígido?	Grafica	Hoja electrónica
	MANTENIMIENTO VIAL	Curvas de calidad, condición y vida de un pavimento rígido	Calidad del hormigón vs Años de vida del pavimento	¿Cuál es la curva de condición y vida de un pavimento rígido?	Grafica	Hoja electrónica
		Pronósticos de Mantenimientos	Deterioro del pavimento (Disminución del Mr) vs Años de vida del pavimento rígido	¿Cuál es el pronóstico y vida de un pavimento rígido?	Grafica	Hoja electrónica

Tabla 9 Variable dependiente control de calidad en construcción de pavimentos rígidos

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

2.5.2. Variable Independiente

CALIDAD Y CONDICIÓN DEL HORMIGÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS						
CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	ITEMS	TECNICA	INSTRUMENTOS
Técnicas y calidad del hormigón empleado en la construcción de pavimentos rígidos	DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO	REVISIÓN DEL DISEÑO DEL HORMIGÓN	CUMPLE NO CUMPLE	¿SE REALIZÓ LA REVISIÓN DEL DISEÑO DEL HORMIGÓN?	OBSERVACION DOCUMENTAL	GUÍA DE OBSERVACION
		REVISIÓN DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	CUMPLE NO CUMPLE	¿SE REVISÓ EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA VÍA?	OBSERVACION DOCUMENTAL	GUÍA DE OBSERVACION
		COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL	HORMIGÓN SIMPLE	¿QUÉ TPO DE PAVIMENTO RÍGIDO SE UTILIZARÁ EN LA VÍA?	OBSERVACION DOCUMENTAL	GUÍA DE OBSERVACIÓN
		RESISTENCIA	F'c / MR	¿CUÁL ES LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO?	OBSERVACION DOCUMENTAL	GUÍA DE OBSERVACIÓN
		ESPESOR	15, 20, 25 y 30 cm	¿QUÉ ESPESOR TIENE EL PAVIMENTO RÍGIDO DE LA VÍA?	OBSERVACION DOCUMENTAL	GUÍA DE OBSERVACION
	ADITIVOS	TIPOS	¿QUÉ TIPOS DE ADITIVOS SE UTILIZARÁN EN EL HORMIGÓN?	OBSERVACION DOCUMENTAL	GUÍA DE OBSERVACION	
	PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS EN ETAPA DE PRODUCCIÓN	CONSTATAción DE HIDRATACION OPTIMA	CUMPLE NO CUMPLE	¿SE CONSTATO LA HODRATACIÓN OPTIMA PREVIO EL HOMIGONADO DE LA VÍA?	REVISIÓN DOCUMENTAL Y OBSERVACION	RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN
		CONTROL DEL HORMIGON EN OBRA	CUMPLE NO CUMPLE	¿SE REALIZO CONTROL DEL HORMIGON PREVIO SU COLOCACIÓN?	REVISIÓN DOCUMENTAL Y OBSERVACION	RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN

		COLOCACIÓN	CUMPLE NO CUMPLE	¿SE REALIZO LA CORECTA EJECUCIÓN EN LA COLOCACIÓN DE HORMIGÓN DE UNA VÍA?	REVISIÓN DOCUMENTAL Y OBSERVACION	RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN
		TEMPERATURA DEL HORMIGON	CUMPLE NO CUMPLE	¿LA TEMPERATURA DEL HORMIGON CUMPLE CON LA NORMA?	REVISIÓN DOCUMENTAL Y OBSERVACION	RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN
		ASENTAMIENTO DEL HORMIGON	CUMPLE NO CUMPLE	¿EL ASENTAMIENTO DEL HORMIGON CUMPLE CON LA NORMA?	REVISIÓN DOCUMENTAL Y OBSERVACION	RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN
		TOMA DE MUESTRAS	CUMPLE NO CUMPLE	¿LAS MUESTRAS CUMPLEN LAS NORMAS?	REVISIÓN DOCUMENTAL Y OBSERVACION	RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN
		METODOLOGIA CONSTRUCTIVA	CUMPLE NO CUMPLE	¿SE HA CUMPLIDO CON LA METODOLOGIA ESTABLECIDA EN LA NORMA?	REVISIÓN DOCUMENTAL Y OBSERVACION	RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN
EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO EN ETAPA DE RECEPCIÓN	INSPECCION POST CONSTRUCTIVA (CURADO, JUNTAS, FISURAS)		NIVEL DE SEVERIDAD	¿SE CUMPLE CON LA INSPECCION POS CONSTRUCTIVA DE ACUERDO A LA NORMA?	OBSERVACIÓN	PATOLOGIAS DEL PAVIMENTO RÍGIDO

Tabla 10 Variable independiente calidad y condición del hormigón en pavimentos rígidos

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

2.6. Segunda Fase, Procesamiento de Datos.

En la segunda fase se analizó el grado de cumplimiento del control de calidad del hormigón respecto de las especificaciones técnicas de diseño y el nivel de desempeño de las losas de hormigón, analizado para cada una de las etapas del modelo de control de calidad, en la etapa de producción que fue durante la construcción del pavimento rígido y para la etapa de recepción que se evalúa al primer año de vida del pavimento desde su entrada en operación al paso del tráfico sobre el pavimento.

2.6.1. Modelo experimental planteado para control de calidad para la construcción de pavimentos rígidos en vías arteriales, que optimicen su vida útil.

El modelo experimental planteado por el autor en el presente trabajo de investigación, establece efectuar el control de calidad del pavimento rígido en tres etapas, una primera etapa que es la producción del hormigón y fabricación de las losas del pavimento, la

segunda etapa durante la recepción de la obra y en la tercera etapa durante el mantenimiento preventivo.

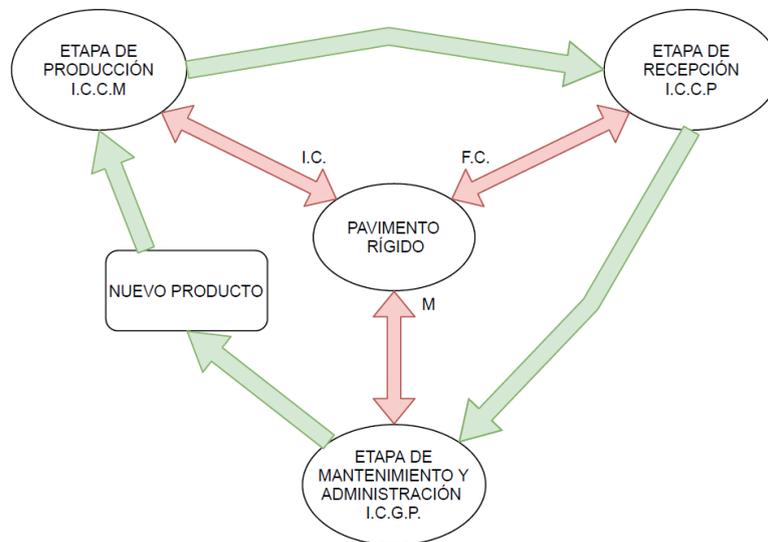


Figura 13 Modelo experimental del control de calidad en pavimentos rígidos.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

2.6.2. Grado de cumplimiento del I.C.C.M.

El grado de cumplimiento del I.C.C.M., se lo efectúa en la primera etapa, el control de calidad del hormigón se realiza durante el proceso de producción y construcción de las losas de hormigón para el pavimento rígido, aquí se determina el límite mínimo permisible de la resistencia a la compresión o la flexión por tracción (Modulo de rotura) de la producción del hormigón para la construcción de las losas de un pavimento rígido y el límite máximo permisible de esas mismas características mecánicas del hormigón para optimizar los recursos, en esta lógica el límite mínimo evalúa y analiza el grado de cumplimiento de la resistencia mecánica del hormigón respecto al diseño, si este valor es igual o inferior al de diseño, este parámetro nos ayuda a evaluar el comportamiento del pavimento respecto al tráfico para el cual fue diseñado y el deterioro de las losas, por otra parte el límite máximo analiza y evalúa el nivel máximo permisible respecto al diseño sobre el cual se optimizan los recursos para la producción del hormigón, esto con el fin de construir losas no muy costosas sobre el cual el tráfico para cual fue diseñado el pavimento no este sobre estimado, así se define el I.C.C.M., estos límites nos permiten generar una gráfica de rangos máximos y mínimos sobre los cuales debe permanecer la calidad del hormigón durante la producción.

2.6.3. Nivel de desempeño del I.C.C.P.

El nivel de desempeño del I.C.C.P, se lo determina en la segunda etapa del modelo experimental, para la etapa de recepción y está establecido por el índice de condición del pavimento que es igual al índice de control de calidad del pavimento, con este indicador se evalúa el grado de desempeño de las losas respecto al tráfico al que ya ha sido expuesto, o la presencia de fallas constructivas y de alguna otra falla presente en el pavimento rígido de acuerdo a la normativa ASTM-D-6433, esta medida debe realizarse una vez que haya sido construido todo el pavimento de la vía y se puede medir por años de vida del pavimento, este indicador a través del tiempo nos permite construir nuestra curva de vida del pavimento respecto a la condición en que se encuentra.

2.6.4. Tercera Fase, Grado de cumplimiento y nivel de desempeño del I.C.G.P.

En la tercera fase de la investigación se correlaciona el nivel de confianza de la calidad del hormigón (I.C.C.M) para pavimentos rígidos con el nivel de desempeño del pavimento (I.C.C.P) ó I.C.P, con esto se obtiene el índice de calidad global del pavimento (I.C.G.P), este valor evalúa el pronóstico en años de las condiciones y grado de cumplimiento del control de calidad y nivel de desempeño del pavimento rígido, con estos resultados se logra evaluar la calidad y optimizar su vida útil.

En la tercera etapa del modelo experimental, se propone fusionar el I.C.C.M con el I.C.C.P. ambos deben tener una correlación de análisis, sus valores debe ser casi similares y pues la lógica diría que si el control de calidad no cumplió con los requisitos de diseño durante la producción, el deterioro de las losas será más visible, lo contrario sería si el control de calidad cumple con los estándares de diseño la densidad del deterioro de las losas deben ser menores o por el contrario si el control de calidad cumple con los estándares en la etapa de producción pero existen un alto grado de deterioro de losas se puede atribuir a la mala práctica constructiva de las losas o que los resultados de los ensayos de hormigón están errados, en si esta herramienta facilitara a la administración determinar los errores producidos por la falta de control de calidad durante y posterior a la construcción del pavimento rígido y con ello establecer un plan de mantenimiento preventivo a corto y largo plazo.

2.6.5. Pronóstico de mantenimiento y curva de mantenimiento preventivo.

Al final para evaluar el pronóstico de mantenimiento debe establecerse el Índice de calidad global del material, (I.C.G.M) que se plantea en la siguiente expresión:

$$I.C.G.M_n = (MR_{Dis} +/- (MR_{Dis} - MR_i)) - \% DT \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

n = años de vida útil del pavimento

MR_{.Dis} = Modulo de rotura de Diseño del hormigón

MR_{.i} = Modulo de rotura característico del hormigón (Que se puede obtener de la resistencia a la compresión característica del hormigón I.C.C.M. min para f'c o medida en muestras de vigas de tres puntos).

%DT= Porcentaje de Losas Fisuradas medidas en años (deterioro del hormigón al criterio por fatiga en diseño de pavimentos rígidos (Huang, 2004), para el espectro de carga de cada año de servicio.

$$MR_i = 0.795 \sqrt{I.C.C. MIN \text{ para } f'c \times 0.0980665} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

I.C.C.M. min = Índice de control de calidad mínimo que evaluada el nivel de calidad del hormigón y consecuentemente la capacidad de soporte del tráfico y el agrietamiento por fatiga de los pavimentos rígidos.

CAPÍTULO 3 ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de resultados.

Para determinar una metodología de control de calidad para la construcción de pavimentos rígidos en vías arteriales, que optimicen su vida útil, se analizó las características mecánicas del pavimento rígido, con la determinación del índice de control de calidad del material (I.C.C.M.) y su desempeño al paso del tráfico con la determinación del índice de control de calidad del pavimento (I.C.C.P.) establecidos con el índice de condición del pavimento I.C.P.

Para posteriormente analizar el grado de cumplimiento del control de calidad y de las especificaciones técnicas del hormigón que se utilizó del pavimento rígido y el nivel de desempeño de las losas de hormigón; y finalmente el pronóstico en años de las condiciones de grado de cumplimiento del control de calidad y nivel de desempeño del pavimento rígido.

3.1.1. Resultados de la investigación para la evaluación de los pavimentos rígidos.

El I.C.C.M y el I.C.C.P, tienen característica mecánica con el diseño del pavimentos rígidos, en la etapa de producción se controla la calidad del hormigón para que el módulo de rotura alcance y se mantenga en el diseño especificado en los estudios definitivos, mientras que en la etapa de recepción se confirma si el módulo de rotura ha cumplido con la especificación y se evalúa a través de las fallas en el pavimento rígido establecidos por el índice de condición del pavimento para determinar si se optimiza la vida útil.

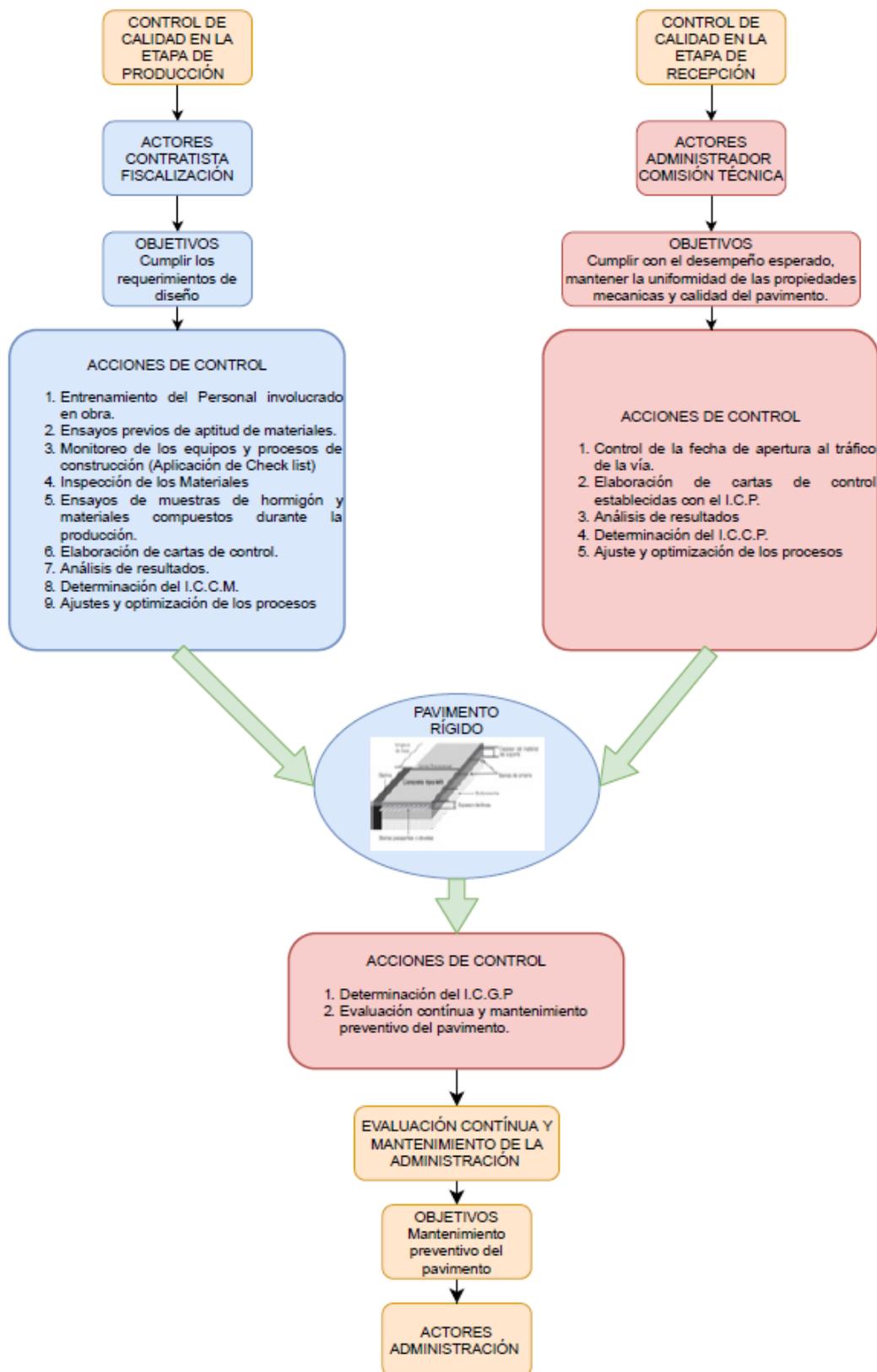


Figura 14 Procesos del Control de calidad de pavimentos rígidos.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

3.1.2. Resultados del control de calidad en la ejecución de pavimentos rígidos I.C.C.M.

De los datos de las resistencias a compresión de cilindros de hormigón bajo la Norma ASTM C39, que se efectuaron a los 28 días de su obtención durante la etapa de construcción del pavimento rígido, se computó la media de todas las muestras adquiridas, para posteriormente calcular la varianza entre la resistencia adquirida (f_{ci}) y la resistencia media de la población del hormigón (f_{cm}), para luego computar la desviación típica relativa o coeficiente de variación (δ), con la siguiente formulación:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

A continuación, con la desviación estándar máxima conforme la NORMA INEN 1855-2 (10.5), la resistencia media de diseño (f_{cm}), con la siguiente formulación:

$$f_{cm} = f_{diseño} + 1.64(z) \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Consiguientemente determinar los límites mínimos, medios y máximos de resistencia, tanto de los datos tomados como las de diseño, donde:

Límite mínimo de los datos tomados: Resistencia Característica de los datos (f_{ck}), a -1.64 del criterio de la Campana de Gauss.

Límite medio de los datos tomados: Resistencia Media de los datos (f_{cm}) a 0 del criterio de la Campana de Gauss.

Límite máximo de los datos tomados: De la resistencia de los datos a +1.64 del criterio de la Campana de Gauss

Límite mínimo de los diseños: Resistencia requerida o requerida de la especificación del diseño (f_{ck}), a -1.64 del criterio de la Campana de Gauss.

Límite medio de los diseños: Resistencia Media del diseño (f_{cm}) a 0 del criterio de la Campana de Gauss

Límite máximo de los diseños: De la resistencia de la especificación a +1.64 del criterio de la Campana de Gauss

Calculamos la desviación típica mínima (δ_{min}) para el límite inferior, el cual está relacionado entre la diferencia de la Resistencia Media del diseño (f_{cm}) y Resistencia Característica de los datos (f_{ck}), considerando el valor de (z) de los datos.

Calculamos la desviación típica máxima (δ_{max}) para el límite superior, el cual está relacionado entre la diferencia Resistencia Característica (f_{ck}) de los datos que superaron la resistencia máxima del diseño, y la Resistencia Media del diseño (f_{cm}), considerando el valor de (z) de los datos.

Límite Inferior

Posterior calculamos las áreas bajo la curva de la normal estándar a la izquierda de (z) de la campana de gauss para valores de (z) de -1.64 y -1.72, con la TABLA A Probabilidades de la normal estándar, y con la diferencia entre las determinar el I.C.C.M. $f'c$.

Limite Superior

Así mismo, calculamos las áreas bajo la curva de la normal estándar a la izquierda de (z) de la campana de gauss para valores de (z) de -1.64 y -1.72, con la TABLA A Probabilidades de la normal estándar (cont.), y con la diferencia entre las determinar el I.C.C.M. $f'c$.

Y por último calcular el I.C.C.M. entre los límites superior e inferior antes computados.

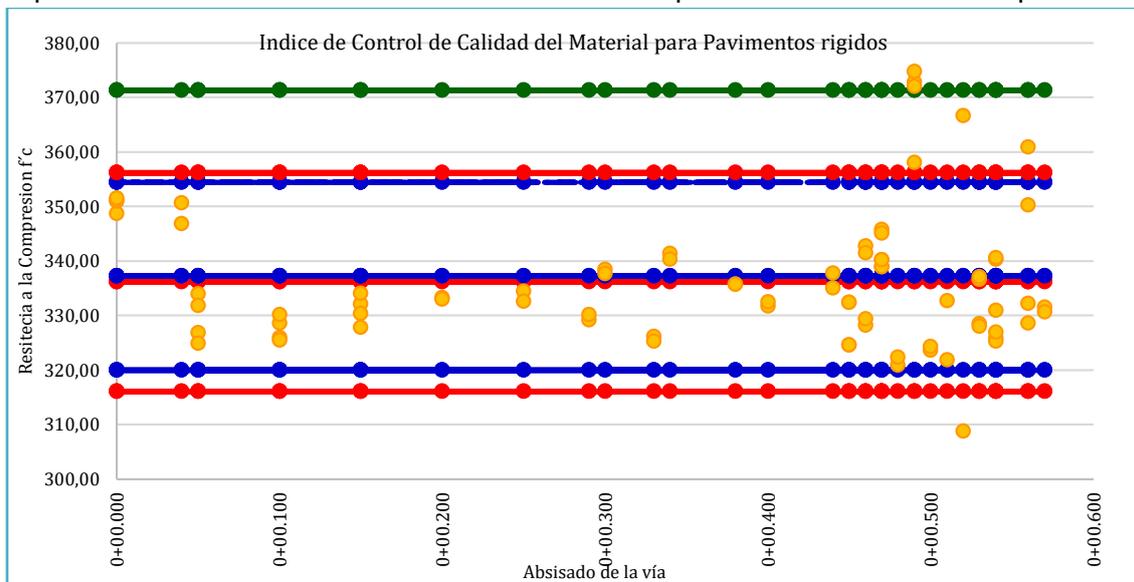


Figura 15 Límites máximos y mínimos del control de calidad del hormigón para pavimentos rígidos de la investigación.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

En la figura 15, se muestra la variación de los valores de resistencia a la compresión simple de las muestras tomadas de las losas del pavimento rígido a lo largo de la Regeneración Urbana de la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este de la ciudad de Machala, en la mismas se plantea una faja de valores máximos y mínimos de resistencia a la compresión simple, obtenidos de la muestra observada con la metodología planteada en la sección 2.4.1 y que se grafican con las líneas de color rojo.

De la misma manera aplicando la metodología planteada en la sección 2.4.1, y en aplicación de la NORMA INEN 1855-2, para la determinación del rango de valores sobre las cuales debe estar las muestras de hormigón, con una desviación estándar de 10.5, se grafica los límites máximos y mínimos necesarios para el control de la calidad del hormigón y la optimización de los recursos, que se grafican con las líneas de color azul.

En nuestra investigación se pudo evidenciar que existe una sola muestra del hormigón que se encuentra por debajo de la especificación mientras que para el límite superior se evidencia un número considerable de muestras que pasan del límite llegando a determinarse un máximo de muestras graficada de color verde, en conclusiones, se efectuó un control de calidad del material para el límite mínimo de la especificación de diseño, mientras que para el límite máximo no se realizó el control necesario, sin que se haya optimizado los recursos.

PAVIMENTO RIGIDO	Resistencia a la compresión		Módulo de Rotura		Z	Área bajo la campana de Gauss.	I.C.C.M		I.C.C.M MR.	I.C.C.M F´C
Limite Min. Diseño	320.00	Kg/cm2	4.5	Mpa	-1.64	0.0505	Min.			
Media de Diseño	337.22	Kg/cm2	4.57	Mpa	0	0.5	0.0078			
Limite Max. Diseño	354.44	Kg/cm2	4.69	Mpa	1.64	0.9495				
Limite Min. Obra	316.11	Kg/cm2	4.43	Mpa	-1.72	0.0427	Max.	0.9444	94.44%	99.22%
Media de Obra	336.14	Kg/cm2	4.56	Mpa	0	0.5	0.0478			
Limite Max. Obra	371.31	Kg/cm2	4.8	Mpa	2.78	0.9973				

Tabla 11 Resultados del I.C.C.M para el pavimento rígido

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

La tabla once representa los resultados obtenidos del I.C.C.M. para el caso de estudio, con sus valores correspondientes mínimos y máximos, así como los valores del I.C.C.M. del 94.44%, y los valores del I.C.C.M MR y del I.C.C.M F´C, que se encuentran en un rango considerable del 99.22%.

3.1.3. Resultados del control de calidad post a la ejecución de pavimentos rígidos I.C.C.P.

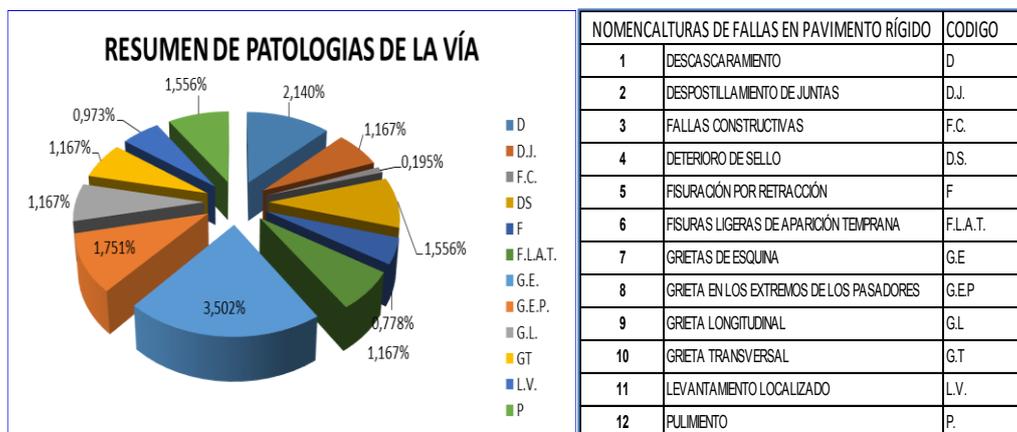


Figura 16 Resumen de Patologías de la vía

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

Luego del levantamiento de fallas que se realizó en la Avenida Circunvalación Sur, desde la Av. Colón Tinoco hasta la Av. 5ta. Este de la ciudad de Machala, se observó que las fallas por grietas de esquina (G.E.) predominan, con un numero de 18 losas afectadas que representan el 3.502 % del total de las losas construidas en la Avenida en estudio antes mencionada.

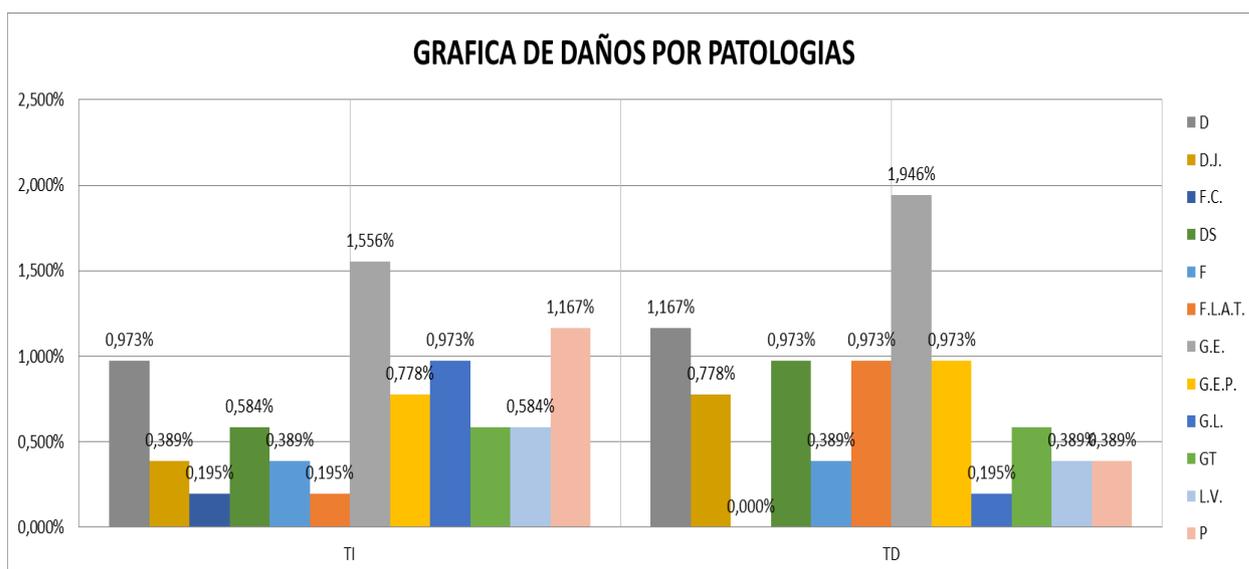


Figura 17 Daños por patologías por carril.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

Así mismo se alcanzó determinar que los dos lados de Avenida, tiene una aparente similitud de número de fallas, con una ligera mayoría en los carriles del lado derecho con un 8.755 %, con respecto a los carriles del lado izquierdo con 8.366 %.

Una vez conocido las densidades de las patologías de daños en el tramo de vía, se procede a la determinación del I.C.P aplicando la norma ASTM-D-6433 dando como resultado el valor de 92, clasificando al pavimento en un grado de nivel bueno.

HOJA DE DATOS DE LA ENCUESTA DE LA CONDICIÓN DE CARRETERAS CON SUPERFICIE DE CONCRETO PARA LA UNIDAD DE MUESTRA									
1	DESCASCARAMIENTO				7	GRIETAS DE ESQUINA			
2	DESPOSTILLAMIENTO				8	GRIETA EN LOS EXTREMOS DE LOS PASADORES			
3	FALLAS CONSTRUCTIVAS				9	GRIETA LONGITUDINAL			
4	DETERIORO DE SELLO				10	GRIETA TRANSVERSAL			
5	FISURACIÓN POR RETRACCIÓN				11	LEVANTAMIENTO LOCALIZADO			
6	FISURAS LIGERAS DE APARICIÓN TEMPRANA				12	PULIMIENTO			
Tipo de Falla	Severidad	Número de Losas			Density %	Deduct Value			
1	B	11			2.140%	2.10			
2	B	6			1.167%	1.05			
3	B	1			0.195%	0.10			
4	B	8			1.556%	2.00			
5	B	4			0.778%	0.00			
6	B	6			1.167%	0.70			
7	B	5			0.973%	0.90			
7	M	13			2.529%	4.00			
8	B	7			1.362%	0.10			
8	M	2			0.389%	0.20			
9	B	6			1.167%	1.00			
10	M	5			0.973%	0.00			
10	A	1			0.195%	0.00			
11	B	5			0.973%	0.00			
12	B	8			1.556%	0.50			

Conocido los valores del I.C.C.M y del I.C.C.P, se determina el valor del I.C.G.P,
INDICE DE CALIDAD GLOBAL DEL PAVIMENTO

$$I.C.G.P = (I.C.C.M + I.C.C.P)/2 \quad \text{Ecuación 2.7}$$

I.C.C.M = Índice de control de calidad del material = 94,44 %

I.C.C.P = Índice de control de calidad del pavimento = 92,00 %

I.C.G.P = Índice de calidad global del pavimento

$$I.C.G.P = (94,44 + 92,00)/2$$

$$I.C.G.P = 93,22$$

Se grafica la proyección de la vida útil del pavimento aplicando las proyecciones realizadas por Peñaloza y Calle en el desarrollo de su trabajo de titulación denominado Sistema de gestión sostenible de pavimentos aplicado a las vías y parqueaderos de la Universidad de Cuenca, donde incorporaron aproximaciones de la condición del pavimento rígido de redes futuras aplicando matrices de transición de Markov.

Con el desarrollo de esta curva se grafica el valor de I.C.G.P y se determina el nivel de condición del pavimento para establecer si es necesario dar mantenimiento o no al pavimento, según la norma ASTM-D-6433 hasta el valor de 70 se considera como satisfactorio en caso de tener valores menores al 70 será necesario la intervención del pavimento para mantenimiento.

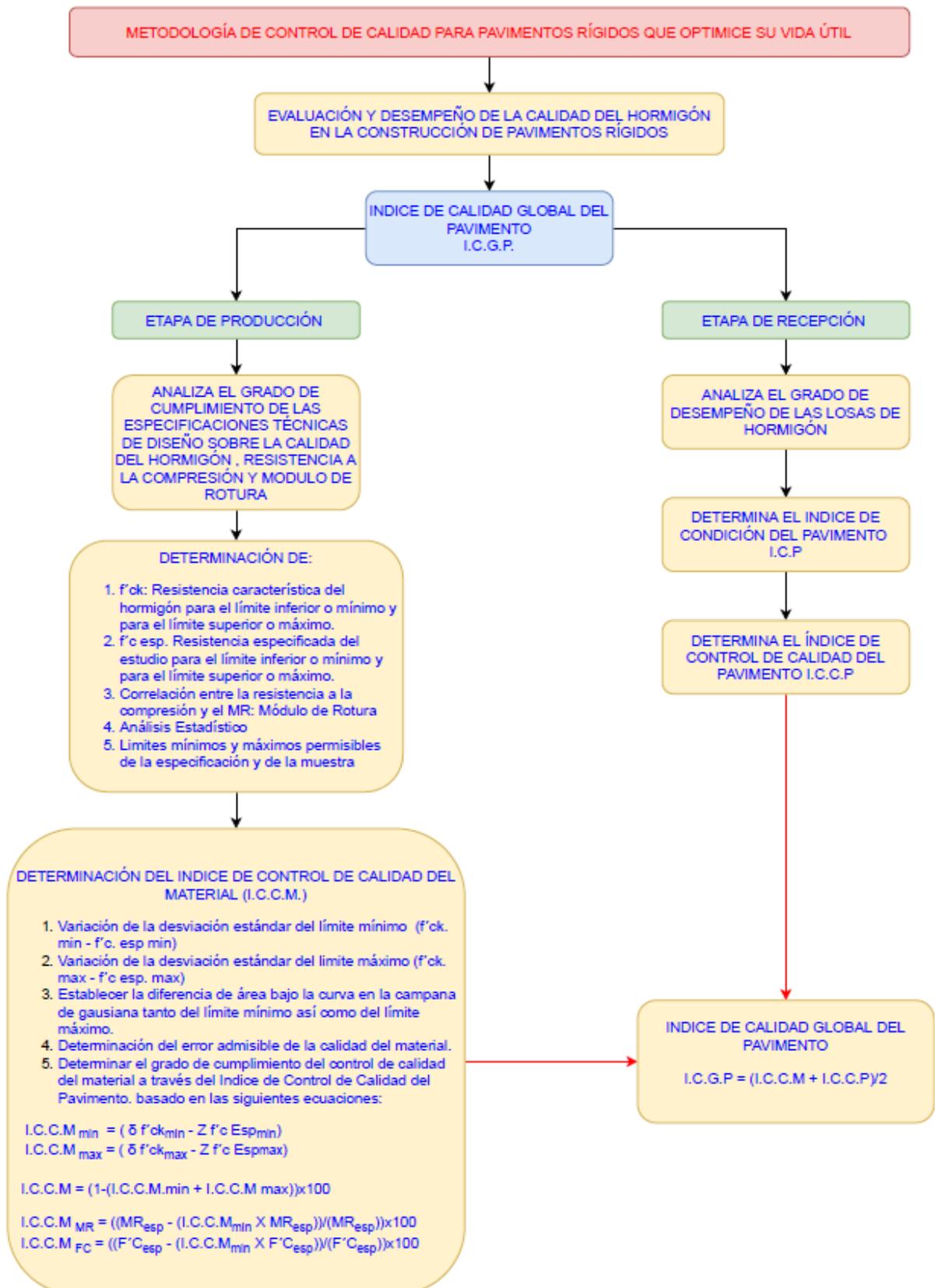
CAPÍTULO 4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Interpretación de Resultados.

La presente investigación de campo se llevó a cabo en la Avenida Circunvalación Sur, desde la Av. Colón Tinoco hasta la Av. 5ta. Este, obra que culminó a fines del año 2020 y en su diseño se consideró una carpeta de rodadura de pavimento rígido, lo cual se consideró previamente el estricto cumplimiento de la compactación de la capa de sub-base cumpla con lo requerido, y esté certificado por el ensayo del densímetro nuclear, para su liberación, respectiva; para posteriormente la debida aplicación de controles de calidad para pavimentos rígidos, apoyados mediante técnicas de observación, guías de investigación, análisis documental y de campo.

Los resultados obtenidos demuestran que los niveles de control de calidad que se aplicaron durante la etapa de producción del pavimento son muy similares a las condiciones del pavimento en su primer año de vida, es decir el valor de I.C.C.M es de 94,44 mientras que el I.C.C.P es de 92,00, valores muy cercanos y similares esta condición nos da una acertada idea sobre los procesos de control de calidad que se realizó en la vía, sin embargo, el I.C.G.P que es de 93,22 nos indica que existe una condición desfavorable del 6,78 que no se controló parte de este valor esta atribuido a una sobre concentración de cemento en la producción del pavimento rígido que no se optimizo durante la construcción de las losas y se atribuye también a fallas constructivas durante el vaciado del pavimento.

4.2. PROPUESTA MODELO DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN VÍAS ARTERIALES, QUE OPTIMICEN SU VIDA ÚTIL.



CONCLUSIONES

- El presente trabajo de tesis, recopila información veraz y actualizada referente al estado del arte que se ha empleado en otras investigaciones relacionadas al control de calidad para pavimentos rígido.
- Se contrastó mediante referencia bibliográfica el modelo teórico de control de calidad y se desarrolló un modelo experimental de tres etapas para la construcción de pavimentos rígidos que optimicen su vida útil, etapa de producción, etapa de recepción y etapa de mantenimiento con sus respectivos indicadores., I.C.C.M = Índice de control de calidad del material, I.C.C.P = Índice de control de calidad del pavimento, I.C.G.P = Índice de calidad global del pavimento
- Se desarrolló métodos de investigación estadístico, teórico documental y empírico de campo, para el desarrollo y determinación del I.C.C.M = Índice de control de calidad del material, que fueron aplicados al caso de estudio en la Avda. Circunvalación Sur, desde la Avda. Colon Tinoco hasta la Avda. 5ta Este de la ciudad de Machala, con lo que se logró determinar la resistencia característica del hormigón empleado en el pavimento rígido de esta vía, que es $f'c = 316.11 \text{ kg/cm}^2$, mediante la investigación estadística, se logró establecer las franjas de límites máximos permisibles para la optimización de los recursos $f'c = 354 \text{ kg/cm}^2$ y el límite mínimo de cumplimiento de la capacidad de diseño $f'c = 320 \text{ kg/cm}^2$ de la calidad del hormigón (resistencia a la compresión), con este criterio se evaluó la condición de la calidad del pavimento rígido de la vía estableciéndose, un desfase en el control de calidad en el límite mínimo con un solo punto por fuera de la establecido en el estudio y con un límite máximo muy por encima de lo necesario, con lo que se concluye que no se optimizaron los recursos en la etapa de producción de las losas de hormigón sobre todo en el tramo de la abscisa 0+450 hasta 0+600, con esta investigación empírico de campo se logró determinar (I.C.C.M = Índice de control de calidad del material) igual a 94%.
- Con la investigación empírico de campo, aplicando la norma ASTM-D-6433, se determinó la condición de pavimento (I.C.C.P = Índice de control de calidad del pavimento) igual a 92%, para la etapa experimental de recepción.
- Obteniendo el I.C.C.M y el I.C.C.P, se determinó el I.C.G.P = Índice de calidad global del pavimento que es igual a 93,22, con lo que se logra contrastar la

información tanto en la etapa de producción y la etapa de recepción son similares, así se puede construir la curva de vida del pavimento y predecir el tiempo necesario cuando se requiera de mantenimiento, esta herramienta ayudara a planificar a los administradores de las carreteras el mantenimiento preventivo de las vías.

- Esta investigación desarrolló una metodología control de calidad en la construcción de pavimentos rígidos de vías arteriales de congestión vehicular, para optimizar su vida útil, aplicado un modelo experimental en tres etapas, una primera etapa que es la producción del hormigón y fabricación de las losas del pavimento, la segunda etapa durante la recepción de la obra y en la tercera etapa durante el mantenimiento preventivo, con ello se establece un indicador para cada etapa teniendo así, el Índice de Control de Calidad del Material (I.C.C.M) para la etapa de producción o construcción de las losas de hormigón, el Índice de Control de Calidad del Pavimento (I.C.C.P) para la etapa de recepción de la obra y el Índice de Calidad Global del Pavimento (I.C.G.P.) para la etapa de mantenimiento, conocido estos valores la administración podrá gestionar el mantenimiento preventivo de las vías con pavimento rígido, así como también cualificar el nivel de cumplimiento de la calidad del pavimento rígido de la vía.

RECOMENDACIONES

- La aplicación de esta metodología, aportara a la administración encargada del gestiona miento vial, la intervención oportuna para el mantenimiento preventivo del pavimento rigidito de la vía.
- La aplicación esta metodología, ayudará a los entes de control de realizar una auditorio vial desde el punto vista de la calidad del pavimento rígido.
- Es recomendable la difusión y aplicación de esta metodología para el correcto cumplimiento de controles de calidad durante la construcción de las losas de hormigón de vías arteriales, para optimizar costos y para evitar deterioros prematuros y disminución de la vida útil del pavimento rígido.
- Proponer la aplicación de esta metodología a otros casos de estudio con el ánimo de conocer la calidad del pavimento rígido de las vías en la provincia de El Oro.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica* (Editorial Episteme (ed.); Sexta). Editorial Episteme.
- Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador. (2018). *Reglamento Ley Sistema Infraestructura Vial Del Transporte Terrestre*. 23. www.lexis.com.ec
- ASTM- D 6433-11. (2011). Standard practice for Roads and Parking lot Pavement Condition Index Surveys. *ASTM*, 42, 48. <https://doi.org/10.1520/D6433-11.2>
- Chaguay, L. (2013). *Estudio de Suelo y Diseño de Pavimento Rígido de La Prolongación de Avda. Circunvalación Sur de Colon Tinoco Pineda hasta Avda. 5ta Este*.
- Chaparro, B. E., & Pradena, M. (2019). Análisis estructural de pavimentos de hormigón: Losas cortas en pisos industriales. *Revista Politécnica*, 43(2), 45–50.
- Covarrubias V., J. P. (2012). Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(3), 181–197. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732012000300005>
- Elizondo, F. (2010). Costa Rica necesita más alternativas de mantenimiento para carreteras. In *PITRA*.
- Fernández Domínguez, A., & Howland Albear, J. J. (2018). Evaluación de métodos para estimar la resistencia característica a compresión del hormigón en estructuras existentes a partir de la extracción y ensayo de testigos. *Hormigón y Acero*. <https://doi.org/10.1016/j.hya.2018.04.001>
- Flintsch, G., & Fernández Gómez, W. (2015). Comparación De Los Costos Del Ciclo De Vida De Tres Alternativas De Mantenimiento Y Rehabilitación De Pavimentos. In *Revista vial*. <https://revistavial.com/comparacion-de-los-costos-del-ciclo-de-vida-de-tres-alternativas-de-mantenimiento-y-rehabilitacion-de-pavimentos/>
- Fransqui García, M. Á. (2011). Evaluación de la profundidad de la fisuración superficial descendente en pavimentos asfálticos mediante técnicas de ultrasonidos . Validación teórico-práctica y modelos [UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID]. In *SEMANTIC SCHOLAR*. http://oa.upm.es/11372/1/Miguel_Angel_Franesqui_Garcia.pdf
- Gámez-garcía, D. C., Saldaña-márquez, H., Gómez-soberón, J. M., & Corral-higuera, R. (2017). Estudio de factibilidad y caracterización de áridos para hormigón estructural Feasibility study and characterization of aggregates for structural concrete. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 283–304.
- Gaspa, N. (2021). Historia de las carreteras del Ecuador: vías Alóag-Santo Domingo, Santo Domingo-Quinindé, Quinindé-Esmeraldas y la Vía Interoceánica. *ACADEMIA*, 1, 13.
- González Beltrán, G., & Monge Sandí, A. (2011). Recomendaciones para obtener resultados confiables de resistencia de cilindros de concreto. *Métodos y Materiales*, 1(1), 4–13. <https://doi.org/10.15517/mym.v1i1.8390>
- Guerra Chayña, P. R., & Guerra Ramos, C. E. (2020). Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, 20(20), 121–140.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design* (Pearson (ed.); Segunda Ed). Pearson Prentice Hall.
- INECYC. (2009). *CONTROL DE CALIDAD EN EL HORMIGON, CONTROL POR RESISTENCIA PARTE II*.
- INEN. (2014). Ecuatoriana Nte Inen 2847 NORMA DE MORMAS. PRINCIPIOS DE NORMALIZACION. In *Servicio Ecuatoriano de Normalización*. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu175750.pdf>
- Jiménez, P., García, Á., & Morán, F. (2000). *Hormigón Armado EHE* (G. Gili (ed.); 14th ed.).
- Labrador, F. R. (2008). Historia de los pavimentos urbanos El autor de este artículo nos

- resume la historia de los pavimentos urbanos desde la antigüedad hasta el. *CIMBRA, volumen 1*, 10.
- Lee, Y., & Carpenter, S. H. (2002). PCAWIN Program for Jointed Concrete Pavement Design. *Science and Engineering*, 4(4), 293–300.
- Lind, D. A., Marchal, W. G., Wathen, S. A., Iván, J., Sánchez -Farley, J., Rojas, S., Julieth, R.-H., Galvis, O., Iván Jiménez Sánchez, J., Sary, F., Restrepo, R., Julieth, H., Scherger, V. P., Arbelaez R, M. A., Zulet J, L. A., Velazco M, A., Rosales R, M. F., Dominguez G, C., Economicas, D. E. C., ... Analisis, E. N. E. L. (2014). Estadística aplicada a los Negocios Y La Economía. In McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES (Ed.), *Ciencia y Sociedad: Vol. XVI* (Issue 4). The McGRAW HILL.
- Llanos, D. (2017). Los nanotubos de carbono como nueva alternativa de aplicación para mejorar la resistencia a la fatiga o reducir fisuramiento en diseño de pavimentos rígidos con concreto hidráulico. In *Universidad Tecnica Particular de Loja*. UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA.
- Monje Álvarez, C. A. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica. In *Universidad Surcolombiana*. <http://carmonje.wikispaces.com/file/view/Monje+Carlos+Arturo++Guía+didáctica+Metodología+de+la+investigación.pdf>
- MTOP. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes - Mop - 001-F 2002*. http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf
- MTOP. (2016). Plan estratégico de movilidad. *Ministerio de Transporte y Obras Publicas*, 238.
- Muñoz, C, & Quiroz, F. (2014). Using Analysis of Life Cycle tool in determining the embodied energy and carbon footprint in the manufacturing processes of the ready-mixed concrete Case manufacturing plant Bío Bío region study-Chile. *Revista Hábitat Sustentable*, 4(Lci), 16–25.
- Muñoz, Carlos. (2011). *CÓMO ELABORAR Y ASESORAR UNA INVESTIGACIÓN DE TESIS* (L. Gaona (ed.); Segunda Ed). Pearson Prentice Hall.
- Nistal Cordero, Á. F., Retana Maqueda, M. J., & Ruiz Abrio, T. (2012). El Hormigón: Historia, Antecedentes En Obras Y Factores Indicativos De Su Resistencia. *Tecnología y Desarrollo*, X, 1–18. <http://www.uax.es/publicacion/el-hormigon-historia-antecedentes-en-obras-y-factores-identificativos.pdf>
- Peñaloza, S., & Calle, G. (2017). Sistema de gestión sostenible de pavimentos aplicado a las vías y parqueaderos de la Universidad de Cuenca. In *UNIVERSIDAD DE CUENCA*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27338>
- Picado Muñoz, G. (2017). Desarrollo de curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de incertidumbre. *Infraestructura Vial*, 18(31), 30–38. <https://doi.org/10.15517/iv.v18i31.27762>
- Ramos, C. A. (2015). Los paradigmas de la investigación científica. *Avances En Psicología*, 23(1), 9–17. <https://doi.org/10.33539/avpsicol.2015.v23n1.167>
- Rubio, J., & Borrajo, J. (2019). Setenta años de planificación estratégica de infraestructuras. *DIALNET*, 226(0212–6389), 2–18.
- Satish, C., Chalumuri, Ravi, S., Anish, Kumar, B., & B, K. (2013). Application of soft Computing for Prediction of pavement Condition Index. *Journal of Transportation Engineering*, 139(5), 467–475. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE)
- Vidaud, I., Duharte, A., & Yero, E. (2019). CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS EN UNA ZONA SÍSMICA HIGHWAYS. *Revista Ciencia En Su PC*, 1, 86–96.
- Vidaud, I., Frómeta, Z., & Vidaud, E. (2020). CONTROL DE CALIDAD EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS DE ELEVADO PELIGRO SÍSMICO. *Revista Ciencia En Su PC*, 1(1027–2887), 72–85.