



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE UTILIZACIÓN DE HORMIGÓN COMPACTADO CON
RODILLO EN UN TRAMO DE LA AVENIDA SAMBORONDÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO PREVIO A
OPTAR EL GRADO DE INGENIERO CIVIL**

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:

MARCO RICARDO SACHERI VITERI

NOMBRE DEL TUTOR:

FAUSTO FÉLIX CABRERA MONTES

SAMBORONDÓN, NOVIEMBRE, 2017

CERTIFICADO FINAL DE APROBACION DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del estudiante **Marco Ricardo Sacheri Viteri** que cursa en la Escuela de Ingeniería Civil, dictado en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES.

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **PROYECTO PARA MEJORAR LA CIRCULACIÓN VEHICULAR COMPLEMENTANDO LA ESTRUCTURA VIAL CON HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO**, presentado por el estudiante **MARCO RICARDO SACHERI VITERI** con cedula de ciudadanía N °. 1718468927, como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniería Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

Tutor: Ing. Fausto Cabrera

Samborondón, septiembre 2017

DEDICATORIA

Principalmente le doy gracias a Dios por darme la sabiduría, paciencia y constancia para poder culminar mi carrera universitaria; pero más que nada, estoy muy agradecido con nuestro señor por concederme un padre y una madre ejemplar, los mismos que me inculcaron los valores necesarios para ser una persona de bien, además fueron pilares importantes que supieron inspirarme y brindarme su apoyo total no solo en este proyecto, sino en todo momento de mi vida; a mi hermana por darme la confianza y regalarme más que su amistad; a mi familia y amigos que formaron parte en el transcurso de esta etapa estudiantil donde crecí como persona y académicamente; finalmente a mis profesores y mentores los cuales tuvieron la experiencia para transmitirme en mayor parte sus conocimientos, que son y serán fundamentales para mi carrera laboral.

- Marco Ricardo Sacheri Viteri

RECONOCIMIENTO

Primordialmente le agradezco al Ing. Fausto Cabrera por ser mi tutor en este proyecto y además, un excelente profesor que me ha sabido inculcar la mayor parte de sus conocimientos en varias clases a lo largo de esta maravillosa carrera; Gracias al Ing. Urbano Caicedo por guiarme a lo largo de mi carrera universitaria y brindarme la ayuda necesaria para poder así concluir con la misma.

Le agradezco enormemente a la UEES por facilitarme el uso de las maquinas del laboratorio de su institución para llevar a cabo una parte del trabajo de investigación. Finalmente, mis más sinceros agradecimientos y reconocimientos al Ing. Franklin Barros y a mi gran amiga la Arq. Patricia López por ayudarme en la mayoría de lo que ha sido mi trabajo de titulación de grado.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACION FINAL DE APROBACION DEL TUTOR.....	I
DEDICATORIA.....	II
RECONOCIMIENTO.....	III
TABLA DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABREVIATURAS.....	XI
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	12
1.1 Antecedentes.....	13
1.2 Planteamiento del problema.....	14
1.3 Formulación del problema.....	15
1.4 Sistematización del problema.....	15
1.5 Objetivos de la investigación.....	15
1.6 Justificación.....	16
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	18
2.1 Marco histórico.....	19
2.1.1 Desarrollo de Samborondón.....	19
2.1.2 Incremento de población en La Puntilla, Samborondón.....	20
2.2 Marco Teórico.....	21
2.2.1 Tráfico vehicular.....	21
2.2.1.1 Tráfico vehicular en la avenida Samborondón.....	21
2.2.1.2 Vías de circulación en Samborondón.....	22
2.2.1.3 Clasificación de vehículos.....	22
2.2.2 Pavimento.....	24
2.2.2.1 Pavimento flexible.....	24
2.2.2.2 Pavimento rígido.....	25

4.7. Diseño de hormigón.....	75
4.8. Cálculo del porcentaje de agua utilizado en el hormigón.....	75
4.9. Resultados ensayos a la compresión.....	80
4.10. Comparación de diferentes resistencias según porcentajes de agua.....	83
4.11. Diseño pavimento compactado con rodillo.....	84
4.11.1. Obtención del dato CBR.....	84
4.11.2. Módulo elástico del concreto.....	84
4.11.3. Módulo de rotura del concreto.....	85
4.11.4. Coeficiente de transferencia de carga.....	85
4.11.5. Coeficiente de drenaje.....	86
4.11.6. Índice de serviciabilidad.....	87
4.11.7. Confiabilidad.....	87
4.11.8. Desviación estándar global.....	88
4.11.9. Ábaco de diseño para pavimentos rígidos.....	89
4.12. Sección transversal.....	90
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
Bibliografía.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Desarrollo de Samborondón.....	20
Tabla 2. Formato de recolección de datos vehiculares.....	46
Tabla 3. Lista de urbanizaciones ubicadas en el tramo de estudio.....	53
Tabla 4. Cantidad de vehículos transitados en 24 horas, Punto A, La Puntilla – La Aurora...54	
Tabla 5. Cantidad de vehículos transitados en 24 horas, Punto A, La Aurora – La Puntilla...54	
Tabla 6. Cantidad de vehículos transitados en 24 horas, Punto B, La Puntilla – La Aurora...55	
Tabla 7. Cantidad de vehículos transitados en 24 horas, Punto B, La Aurora – La Puntilla...55	
Tabla 8. Promedio de vehículos en un día dividido por horas (La Puntilla – La Aurora).....56	
Tabla 9. Promedio de vehículos en un día dividido por horas (La Aurora – La Puntilla).....60	
Tabla 10. Tasa de crecimiento anual de tráfico vehicular.....	64
Tabla 11. Valores del tráfico actual, proyectado, generado y de desarrollo.....	67
Tabla 12. Clasificación de los ejes vehiculares.....	68
Tabla 13. Diferentes pesos de los vehículos según sus ejes.....	69
Tabla 14. Cálculo de los ejes equivalentes según su tipo.....	69
Tabla 15. Cálculo del peso según su eje y cálculo del factor de equivalencia.....	70
Tabla 16. Porcentaje de W18 según el número de carriles.....	72
Tabla 17. Granulometría de piedra $\frac{3}{4}$	73
Tabla 18. Granulometría de arena homogenizada.....	74
Tabla 19. Resultados de esfuerzos de hormigón de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ con el 5,5% de agua...80	
Tabla 20. Resultados de esfuerzos de hormigón de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ con el 6 % de agua.....80	
Tabla 21. Resultados de esfuerzos de hormigón de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ con el 6,5% de agua...80	
Tabla 22. Coeficiente de transferencia de carga.....	86
Tabla 23. Porcentaje del tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento.....	86
Tabla 24. Niveles de confiabilidad.....	87
Tabla 25. Valores para la desviación estándar.....	88

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tipos de ejes.....	23
Ilustración 2. Agregados del hormigón.....	28
Ilustración 3. Sacos de cemento Holcim.....	28
Ilustración 4. Moldes cilíndricos.....	37
Ilustración 5. Martillo vibrador.....	38
Ilustración 6. Placa de empuje.....	38
Ilustración 7. Muestra de hormigón siendo compactada en cilindro.....	40
Ilustración 8. Anillo de mortero formado alrededor de la placa de apisonamiento.....	41
Ilustración 9. Equipos de recolección de datos vehiculares.....	49
Ilustración 10. Estación de conteo vehicular A (Durante el día).....	50
Ilustración 11. Estación de conteo vehicular A (Durante la noche).....	51
Ilustración 12. Estación de conteo vehicular B (Durante el día).....	51
Ilustración 13. Estación de conteo vehicular B (Durante la noche).....	52
Ilustración 14. Tramo de estudio con sus respectivos puntos de conteo.....	52
Ilustración 15. Vehículos livianos promedio en un día (La Puntilla – La Aurora).....	57
Ilustración 16. Furgonetas y buses promedio en un día (La Puntilla – La Aurora).....	58
Ilustración 17. Vehículos pesados promedio en un día (La Puntilla – La Aurora).....	59
Ilustración 18. Vehículos livianos promedio en un día (La Aurora – La Puntilla).....	61
Ilustración 19. Furgonetas y buses promedio en un día (La Aurora – La Puntilla).....	62
Ilustración 20. Vehículos pesados promedio en un día (La Aurora – La Puntilla).....	63
Ilustración 21. Curva granulométrica de piedra $\frac{3}{4}$	73
Ilustración 22. Curva granulométrica de arena homogenizada.....	74
Ilustración 23. Diseño de hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$	75
Ilustración 24. Diseño de hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con 5,5% agua.....	77
Ilustración 25. Diseño de hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con 6,0% agua.....	78
Ilustración 26. Diseño de hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con 6,5% agua.....	79
Ilustración 27. Curva de resistencia del hormigón según el porcentaje de agua.....	83
Ilustración 28. Curva de resistencia del hormigón según los días.....	83
Ilustración 29. Relación aproximada entre los valores K y CBR.....	84
Ilustración 30. Ábaco de diseño para pavimentos rígidos.....	89

RESUMEN

Actualmente, La Puntilla es una parroquia que sigue aumentando habitantes con el transcurso del tiempo, en efecto, mientras más habitantes existan, mayor es el número de vehículos transitando por la Avenida Samborondón. La cantidad excesiva de vehículos circulando por una carretera genera congestión vehicular y esto a su vez da como resultado la saturación del pavimento utilizado en la vía.

Este proyecto de investigación presenta una propuesta de utilización del hormigón compactado con rodillo para solucionar en parte la congestión vehicular generada en la Ave. Samborondón.

Se partirá tomando un diseño de hormigón hidráulico con resistencia a la compresión de treientos cincuenta kilogramos sobre centímetros cuadrados y se lo modificará de tal manera que se logre encontrar los pesos apropiadas de sus agregados para convertirlo en un diseño de hormigón compactado con rodillo totalmente confiable. Se podrán preguntar ¿Por qué razón usar hormigón compactado con rodillo en lugar de usar algún pavimento común como el asfalto o el hormigón convencional? Pues visto que los pavimentos comunes son los más usados en carreteras, se espera que, con el hormigón compactado con rodillo, la resistencia a la compresión aumente y a su vez la vida útil de este pavimento.

Este diseño se lo aplicará en el tramo desde el kilómetro tres hasta el kilómetro cinco de la avenida Samborondón donde es necesario aumentar un carril más en cada dirección, para tratar de equilibrar la oferta vial con la demanda vehicular.

Se concluirá haciendo un diseño geométrico y estructural, en donde se recopilarán los datos necesarios del tráfico vehicular en los puntos claves sobre el tramo de la Ave. Samborondón propuesto de ampliación; datos de suma importancia para los cálculos que nos permitirá otorgar un espesor de pavimento preciso.

Con esta propuesta y el diseño geométrico de los dos carriles, se cumplirá con el objetivo principal de este trabajo de titulación. No obstante, se espera que se haga uso del mismo para futuras investigaciones e incluso que sea de conocimiento público para que sirva en el área profesional, fuera de los estudios, que sea productiva en el ámbito de aplicación de obras civiles en la República del Ecuador.

ABREVIATURAS

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBR	California Bearing Ratio
DD	Factor de Distribución Direccional
DL	Factor de Distribución por Carril
DSSS	Densidad Saturada Superficialmente Seca
ESAL	Equivalent Simple Axial Load
HCR	Hormigón compactado con rodillo
Kg/cm ²	Kilogramo / Centímetro cuadrado
Kg/cm ³	Kilogramo / Centímetro cúbico
MPa	Mega Pascal
PSI	Libra-Fuerza por Pulgada Cuadrada
PVS	Peso Volumétrico Seco
PVV	Peso Volumétrico Varillado
TA	Tráfico Actual
TD	Tráfico de Desarrollo
TG	Tráfico Generado
TP	Tráfico de Proyecto
TPDA	Tráfico Promedio Diario Anual

CAPITULO I: EL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La Puntilla es una parroquia satélite urbana, ubicada entre el río Daule y Babahoyo en el cantón Samborondón, provincia de Guayas. Posee una longitud de diez kilómetros y medio, separado de la ciudad de Guayaquil por el puente de la Unidad Nacional. Anteriormente la zona solía estar ocupada por haciendas arroceras, pero actualmente el sector es habitado principalmente de personas de clase social media y alta, que la constituyen en una zona de desarrollo poblacional (Clave, 2012).

En 1969 se construyó el puente de la unidad nacional que conecta el sector de Guayaquil con Samborondón y Duran, causa primordial por la que la zona empezó a desarrollarse.

En los últimos años, la Vía Samborondón se ha posicionado como el sector de mayor desarrollo. Cuenta con una serie de restaurantes, bares, discotecas, centros comerciales y lugares de diversión, elegir el lugar indicado se convierte en una ardua tarea. Actualmente, se calcula que hay unos 45 mil habitantes en todo el cantón, de los cuales 25 mil viven en la parroquia La Puntilla, y se espera que en el 2029 la población alcance los 180 mil habitantes (Mercometro, 2014).

Según el censo del 2001, realizado por el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC), la población urbana de Samborondón era de 11.030 personas, en el 2010 la cifra se incrementó a 42.637 y se calcula que para el año 2030 la población se habrá triplicado (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2014).

Teniendo en cuenta estas estadísticas poblacionales se calcula que la tasa de vehículo es de 1,5 por hogar; para el año 2014 se calcula que existían alrededor de 6000 vehículos en el cantón. Sin embargo, el crecimiento vehicular en los últimos años ha incrementado hasta el 13% debido al incremento poblacional, según la Comisión de Tránsito del Ecuador (CTE). Esto ha generado que en la actualidad, el tráfico vehicular y la congestión se acrecienten, generando malestar en los usuarios. Según Carlos León, gerente de la Empresa Pública Municipal de Movilidad de Samborondón, la competencia de esta municipalidad referente a las vías y carreteras se encontraba en fase C hasta el 2014; posteriormente en el 2015 ascendió a fase B y se espera una competencia de fase A (Miranda, 2016).

Algunas propuestas para la solución al tráfico vehicular han sido sobre puentes a desnivel peatonales, ya que al facilitar que las personas crucen la avenida Samborondón con

seguridad al mismo tiempo aportan a la agilización de tráfico en zonas donde los vehículos paran en semáforos sin necesidad de que crucen peatones ni otros vehículos.

Una propuesta de solución al tráfico vehicular es la construcción de un nuevo puente que una el cantón Samborondón con la ciudad de Guayaquil, ésta obra se levantará sobre el río Daule tendrá una longitud de 780 metros y servirá para descongestionar el intenso tráfico que se registra a diario en el actual puente de la Unidad Nacional. El puente se levantará a la altura del km 3,5 de la avenida Samborondón, atravesará el río Daule y terminará en Guayaquil con tres ramales que llegan al sector de la cooperativa Limonal, junto a las lagunas de oxidación de Interagua (Aníbal Villón, 2015).

1.2 Planteamiento del Problema

La Ave. Samborondón fue diseñada para albergar una cantidad de vehículos muy por debajo de los que circulan en la actualidad. En consecuencia, ya que ha existido un notable incremento del volumen vehicular, como resultado tenemos el desgaste acelerado de la estructura vial.

Las calles, avenidas, autopistas, carreteras normalmente son diseñadas para soportar cierta cantidad de vehículos, ya que antes de ser construidas, se hace un estudio donde principalmente se calcula la cantidad de carros que aumentarían en un número determinado de años a futuro, entre otros factores. Una carretera que excede el número de vehículos que puede soportar a diario en base a lo proyectado, va a presentar un deterioro antes de su vida útil planeada.

Está conformada por cuatro carriles tanto de ida como de venida, claro está que, existen ciertos tramos que dicha carretera varía aumentando un carril más o a su vez disminuyendo uno. En efecto, al eliminar un carril en una carretera de circulación rápida, deja un alto riesgo de que exista un percance en la vía.

Un claro ejemplo del daño producido por el exceso de vehículos es el vigente estado de la 'Ciclo Vía' ubicada a la altura del kilómetro cuatro y medio hasta el kilómetro tres (Viniendo desde La Aurora) ya que actualmente presenta daños severos en el adoquinado. El tramo se realizó con el propósito de una ciclo vía, pero lastimosamente por falta de la rápida fluidez, está siendo circulada por vehículos especialmente en las horas pico cuando el tráfico se congestiona.

1.3 Formulación del Problema

En la actualidad, la avenida de diez kilómetros y medio acumula o soporta diariamente el paso de 35 mil vehículos diarios, según datos del municipio; cantidad para la que no fue diseñada ya que en principio se calculaba que la carretera iba a soportar alrededor de 6 mil a 7 mil vehículos por día. En consecuencia, el desgaste de la vía es acelerado, generando mal estado en la misma (Miranda, 2016).

En nuestro medio, para la construcción de carreteras normalmente se suele utilizar técnicas tradicionales que dan como resultado vías asfaltadas o encementadas. Sin embargo, existen diferentes métodos constructivos que se presentan como una mejor opción ya que tienen más beneficios.

La avenida Samborondón, desafortunadamente, en el tramo del kilómetro tres hasta el kilómetro cinco, sufre una reducción de carril en ambos sentidos. Los vehículos con dirección hacia La Aurora pasarán de conducir por una carretera de cinco carriles a una de tres; mientras que, los vehículos que su dirección es hacia La Puntilla cambiarán de circular por una carretera de cuatro carriles a una de tres.

Generalmente, la congestión vehicular en horas del día, o comúnmente dicho las ‘Horas Pico’, se plasman usualmente en las mañanas, a partir de las 7h00 hasta las 9h00 y en las tardes de 17h00 a 19h00. El tramo donde más se congestiona el tráfico es en los dos kilómetros mencionados anteriormente ya que existe un claro embotellamiento a causa de la reducción de carriles.

1.4 Sistematización del Problema

- ¿Abastecen los seis carriles (tres carriles de un sentido y tres carriles del otro sentido) del tramo desde el kilómetro tres hasta el kilómetro cinco de la Av. Samborondón para la cantidad de vehículos que circulan a diario?
- ¿Es adecuado el pavimento utilizado en la Av. Samborondón para la cantidad de vehículos que circulan a diario?

1.5 Objetivos de la Investigación

Objetivo general

- Diseñar geoméricamente y estructuralmente los carriles de la avenida Samborondón, desde el kilómetro tres hasta el kilómetro cinco, empleando como estructura vial el

hormigón compactado con rodillo para que exista una mejor circulación vehicular y mayor durabilidad del pavimento.

Objetivos específicos

- Tomar como referencia el diseño de un hormigón hidráulico para diseñar un hormigón compactado con rodillo, que responda positivamente frente a la demanda vehicular en el tramo de la avenida Samborondón.
- Seleccionar el mejor diseño de hormigón compactado con rodillo y recomendar su aplicación para esta avenida y diseños que se podrán realizar a futuro.
- Obtener datos del tráfico vehicular actual que permitan diseñar de una manera confiable tanto la geometría como la estructura en el tramo seleccionado de la avenida Samborondón.

1.6 Justificación

La solución al problema de tráfico vehicular generado en la Av. Samborondón, se considera un tema de gran interés para la comunidad de este sector, ya sean usuarios permanentes o temporales, debido a que el congestionamiento de esta vía puede traerles una serie de problemas al llegar a tiempo a sus destinos.

Una de las necesidades más importantes en Samborondón es la solución del congestionamiento vehicular que se genera principalmente en las horas pico. El crecimiento vehicular repercute en una mayor demanda de vías en buen estado y considerando una vida útil de mayor cantidades de año.

En base a estos problemas se propone el diseño geométrico para la ampliación de un carril más en ambos sentidos de la Ave. Samborondón, a partir del kilómetro tres hasta el kilómetro cinco, donde la avenida de cuatro carriles en cada sentido se reduce abruptamente a solamente tres carriles de circulación en cada sentido.

El diseño está propuesto a construirse con Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) ya que este método constructivo nos ofrece una serie de beneficios como: gran resistencia al tráfico pesado, resistencia a cargas concentradas, su construcción es mucho más rápida y en especial reduce los costos de mantenimiento.

El hormigón compactado con rodillo, tiene básicamente los mismos componentes que el hormigón convencional pero la diferencia es que en su preparación dispone de menos

cantidad de agua y al ser compactado mediante rodillos vibratorios gana una mayor resistencia al peso generando así una vida útil más alargada.

Es necesario encontrar una solución al congestionamiento de tráfico, producto del alto crecimiento poblacional en la zona. El resultado esperado es dar fluidez al tráfico vehicular en el tramo selecto y al mismo tiempo brindar un pavimento de mejor calidad que pueda resistir la cantidad de vehículos que se incrementarán con el pasar de los años.

CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

A continuación, se va a explicar sobre la historia de Samborondón, cómo fue en sus inicios, el desarrollo y cómo surgió el incremento poblacional.

Luego, se identificarán temas como el tráfico en general, el incremento de tráfico vehicular producto al incremento de aledaños, las vías de circulación de las que dispone Samborondón y la clasificación de vehículos que transitan en éstas.

Finalmente, se dará información del pavimento, los tipos de pavimentos que existen y se profundizará la información hablando del hormigón compactado con rodillo, explicando los materiales que lo componen, las propiedades, el proceso constructivo, la producción, la colocación de la mezcla, la compactación, el control de calidad, sus ventajas, sus desventajas y hasta las experiencias vividas en países sudamericanos.

2.1 Marco Histórico

2.1.1 Desarrollo de Samborondón

Las primeras urbanizaciones en dicha parroquia fueron Entre Ríos y La Puntilla. En la actualidad existen alrededor de un centenar de urbanizaciones levantadas en ambos costados de la vía.

En el sector, la promotora inmobiliaria construyó Laguna del Sol, a un costo de urbanización del terreno (relleno, infraestructura e la instalación de los servicios de agua, luz, alcantarillado) de 50 dólares por metro cuadrado, sin contar con el valor del terreno propiamente dicho. En la actualidad, los costos de urbanizar los lotes de terreno pueden variar entre 40 y 45 dólares para las promotoras inmobiliarias, también sin incluir el valor del predio. Además depende de las condiciones del sector (Clave, 2012).

Por ello, la actividad constructora en La Puntilla se asemeja a una obra de titanes. “Lo que ocurrió en la vía a Samborondón fue impulsado por las empresas inmobiliarias, fue una iniciativa privada”, anota el Director de Ingeniería Civil de la UEES, Urbano Caicedo, mientras el Municipio de Samborondón contribuyó con la agilidad para aprobar los proyectos inmobiliarios, la reducción de los trámites y la aplicación de impuestos y tasas bajas, señala el Alcalde de ese cantón, José Yúnez (Carvajal Lituma, 2012).

La paulatina construcción de las urbanizaciones atrajo al comercio, los servicios y otras tantas actividades económicas, que surgieron como alternativa de la agricultura, ganadería y pesca, como sustento de los pobladores.

A los centros comerciales edificados hace más de una década en el sector se sumó la oferta más reciente de Plaza Lagos Town Center, Plaza Comercial DePrati, Plaza Navona y Almacenes Boyacá, entre otros, que acrecienta la oferta de trabajo en el sector.

En sus inicios, la vía a Samborondón creció de manera desordenada, según los expertos. Hoy avanza de forma más organizada y estructurada.

**DESARROLLO DE SAMBORONDÓN
EN LOS ÚLTIMOS 20 AÑOS**

VIVIENDAS			
Años	Total Viviendas	Urbanas	Rurales
1990	6.998	1.815	5.183
2001	11.160	2.067	8.553
2010	20.940	13.593	7.347

HABITANTES		
Años	Habitantes	% Crecimiento
1990	33.965	-
2001	45.476	33,89%
2010	67.590	48,62%

Tabla 1: Desarrollo de Samborondón

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014

2.1.2 Incremento de población en La Puntilla, Samborondón

La Puntilla, parroquia urbana del cantón Samborondón es una zona de alto crecimiento poblacional. Durante los últimos 20 años, el número de viviendas casi llegaron a triplicarse. En el año de 1990, según el Instituto Nacional de Estadística y Censo, INEC, la cantidad de casas eran de 6.998. En el censo del año 2010 se contabilizaron 20.940 casas mientras que existían otras 934 en proceso de construcción. Cabe recalcar que hace dos décadas el 25,93% de las casas estaban en el sector urbano y el resto en rural. Hoy actualmente 64,91% se encuentran en la zona urbana (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2014).

Otro dato que nos indica el desarrollo urbanístico en La Puntilla, Samborondón es el número de habitantes. Mientras que entre el año 2001 y 2010 el número de habitantes crecía en Guayaquil solamente en un 15,25%, los residentes de Samborondón crecían en un 48,62%.

Según el INEC, la cantidad de viviendas en el año 2010 eran de 20 940, el 72% de esas eran casas o villas y el 14% departamentos. Y según el Municipio de Samborondón, La Puntilla todavía cuenta con un 50% de territorio para urbanizar y construir nuevos proyectos y continúa en el mismo ritmo que en el año 2011 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2014).

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Tráfico vehicular

La expresión ‘tráfico vehicular’ muchas veces es confundida con el congestionamiento de vehículos; hay que tener muy en claro que son dos cosas diferentes y no relacionar la una con la otra. Una breve definición de tráfico vehicular es simplemente el flujo de vehículos que circulan por una carretera, mientras que congestionamiento o embotellamiento vehicular es el tráfico con problemas de fluidez.

El tráfico en las carreteras puede consistir en peatones, animales montados o ganados, vehículos, tranvías, autobuses y otros medios de transporte, solos o en conjunto, mientras se utiliza la vía pública para viajar. Para controlar el tránsito en las vías existen las leyes de tráfico que son las que rigen y regulan los vehículos para facilitar el flujo ordenado y oportuno del tráfico (Fernández A., 2011).

El tráfico vehicular se organiza formalmente en muchas jurisdicciones, como carriles marcados, cruces, intersecciones, intercambios o señales de tránsito; para que este sea ordenado, generalmente se tiene prioridades bien establecidas ya sea en los carriles, el derecho de paso o el control en las intersecciones (Fernández A., 2011).

La organización suele producir una mejor combinación de seguridad y eficiencia en los viajes. Los eventos que interrumpen el flujo y pueden hacer que el tráfico genere un desorden o congestionamiento incluyen la construcción de carreteras, colisiones y escombros en la calzada (Fernández A., 2011).

2.2.1.1 Tráfico vehicular en la avenida Samborondón

El problema del tráfico vehicular es uno de los principales retos en la Av. Samborondón ya que esta zona no tiene vías alternas de entrada o salida, lo que genera el congestionamiento en horas pico transcurridas desde 6:00 a 8:30, período donde los ciudadanos se movilizan a sus trabajos y de 17:30 a 20:00 donde retornan a sus hogares.

Según los datos de la INEC, la avenida Samborondón soporta 35 mil vehículos a diario, lo que cualquier imprevisto sucedido en la avenida puede generar un gran caos vehicular (Parodi Romanó, 2015).

Los moradores afirman que cada mañana se complica más salir de las ciudadelas en carro ya que son pocos los conductores que ceden el paso. En los lugares donde no existe pavimento se forma un carril extra de vehículos con la esperanza de llegar más rápido a las labores pendientes; mantener el carril es para los “giles” y el cambiarse cada vez de carril para avanzar es para los “sabidos” (Parodi Romanó, 2015).

2.2.1.2 Vías de circulación en Samborondón

La avenida Samborondón no cuenta con más de una calle principal. Samborondón por ser un lugar situado entre el río Babahoyo y el río Daule cuenta solamente con un puente que lo conecta con Guayaquil, el puente de la Unidad Nacional, la única vía de acceso para 42 mil habitantes aproximadamente de La Puntilla.

2.2.1.3 Clasificación de vehículos

Los vehículos en general cuentan con diferentes características, ya que disponen de diversidad de tamaños y pesos de los mismos, por lo que nos permiten formar con ellos varias clases (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

Los vehículos que transitan a diario la Av. Samborondón son muy diversos, se puede encontrar diferentes clasificaciones como: livianos, buses y pesados. Estas divisiones de vehículos a su vez cuentan con subdivisiones dependiendo del peso y el número de ejes que disponen.

La clasificación de vehículos livianos, son aquellos que poseen cuatro ruedas para el transporte de hasta nueve pasajeros o 1750 kg de carga. Incluye: automóvil, camioneta, furgoneta, ambulancia, (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013).

Su clasificación es:

- Autos y camionetas
- Furgonetas

Los buses son vehículos motorizados destinados al transporte de pasajeros, tienen capacidad superior a nueve personas y además puede transportar equipaje, correo, paquetería

y cargas menores (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013). Se lo nombra simplemente como:

- Sencillo + Sencillo (Doble)

Se lo nombra de esta manera refiriéndose a los ‘ejes’ que dispone. En este caso, el primer eje es el de la dirección por eso es llamado ‘Sencillo’ mientras que el segundo como todos los buses en su eje trasero posee doble rueda en sus extremos por lo que lleva el nombre de ‘Sencillo (Doble)’.

Los vehículos pesados, están destinado para el transporte de carga. La clasificación de estos tiene ocho subcategorías, las cuales son distinguidas por sus diferentes números de ejes, los cuales son:

- Sencillo + Sencillo (Doble)
- Sencillo + Sencillo (Doble) + Tandem
- Sencillo + Tandem
- Sencillo + Tandem + Tandem
- Sencillo + Tandem + Tridem
- Sencillo + Tridem

En donde la palabra ‘Tandem’ se refiere a un doble eje sencillo con ruedas dobles en sus extremos y la palabra ‘Tridem’ describe un triple eje sencillo con ruedas dobles en sus extremos.

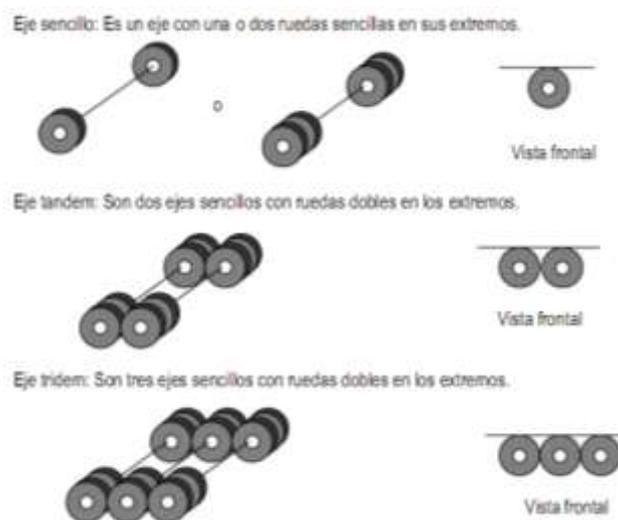


Ilustración 1: Tipos de eje

Fuente: Material de la clase Diseño de Pavimentos

2.2.2 Pavimento

El pavimento es una estructura de varios componentes que se ubican sobre una superficie nivelada, compuesto por diferentes materiales como suelos con mayor capacidad de soporte, materiales rocosos, hormigón y mezcla asfáltica. El objetivo del pavimento es aumentar la resistencia del terreno y brindar a las personas o vehículos un tránsito cómodo y seguro (E. J. Yoder, 1995).

Los tipos de pavimento existentes son: flexibles, rígidos y otros (Empedrados, adoquín, estampado, etc).

2.2.2.1 Pavimento Flexible

El pavimento flexible es un sistema que está caracterizado por las propiedades, espesores y acomodo de distintos materiales que forman un conjunto de capas colocadas una sobre otra (E. J. Yoder, 1995).

Este conjunto de capas, se apoyan en una de nombre “Subrasante”, que está constituida en ocasiones por el terreno natural (cuando este es de buena calidad), o bien, por un material seleccionado. Esta capa subrasante, debe soportar las cargas producidas por el tránsito, dentro de un periodo de tiempo determinado (periodo de proyecto), sin sufrir deterioros o deformaciones que afecten la integridad del pavimento. Esta capa es considerada como la cimentación del pavimento (E. J. Yoder, 1995).

En la construcción de un pavimento flexible las capas se deben de colocar en orden descendente en capacidad de carga. Por lo tanto, el material de más alta calidad tiene que ser utilizado para la superficie, mientras que los materiales de menor calidad pueden ser utilizados como la profundidad del pavimento aumenta (E. J. Yoder, 1995).

La vida útil de un pavimento flexible está diseñada normalmente en el rango de 15 a 20 años. Los espesores requeridos de cada capa de un pavimento flexible varían ampliamente dependiendo de los materiales utilizados, la magnitud, el número de repeticiones de las cargas de tráfico, las condiciones ambientales, y la vida útil deseada del pavimento. Factores como éstos se tiene en cuenta durante el proceso de diseño para que el pavimento tenga una mayor durabilidad (E. J. Yoder, 1995).

El pavimento tiene una serie de funciones, las cuales se describen a continuación:

- Proporcionar una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes, bajo las cargas repetidas del tránsito a lo largo del periodo de diseño considerado.
- Resistir el tránsito previsto para el periodo de diseño y distribuir las presiones verticales producidas por las cargas del tránsito, de tal forma que solo llegue una mínima porción de estas cargas a la capa subrasante, para que esta sea capaz de soportarlas.
- Constituir una estructura que sea capaz de resistir los factores climatológicos del lugar en el que es construido; en especial factores como el agua y la temperatura, ya que son estos los que producen efectos más adversos en el comportamiento de los materiales que constituyen el pavimento.

2.2.2.2 Pavimento Rígido

Pavimentos rígidos se utilizan generalmente en la construcción de aeropuertos y las carreteras principales, como las que en el sistema de autopistas interestatales. Además, comúnmente sirven como losas de alta resistencia de suelo industrial, el puerto y las aceras de patio puerto, y el parque de vehículos pesados o pavimentos de terminales. Al igual que los pavimentos flexibles, pavimentos rígidos de carretera están diseñados como todo tipo de clima, de larga duración estructuras que sirven hoy en día el tráfico de alta velocidad. Ofreciendo superficies de conducción de alta calidad para el recorrido vehicular seguro, funcionan como capas estructurales para distribuir cargas de las ruedas de vehículos de una manera tal que las tensiones inducidas transmitidas al suelo subsuelo son de magnitudes aceptables (E. J. Yoder, 1995).

El hormigón es el material más común usado en la construcción de losas de pavimento rígido, esto se debe a su disponibilidad y la economía. Pavimentos rígidos deben estar diseñados para soportar las cargas de tráfico se repiten con frecuencia. La vida útil diseñada típico de un pavimento rígido es de entre 30 y 40 años, que dura alrededor de dos veces más que un pavimento flexible (E. J. Yoder, 1995).

Una importante consideración de diseño de pavimentos rígidos está reduciendo fallo por fatiga debido a las tensiones repetidas de tráfico. Fallo por fatiga es común entre las principales carreteras ya una carretera típica experimentará millones de rueda pasa a lo largo de su vida útil. Además de criterios de diseño, tales como las cargas de tráfico, las tensiones de tracción debido a la energía térmica también deben tenerse en consideración. Como el

diseño del pavimento ha progresado, muchos ingenieros de caminos han señalado que las tensiones inducidas térmicamente en pavimentos rígidos pueden ser tan intensas como las impuestas por las cargas de las ruedas. Debido a la relativamente baja resistencia a la tracción del hormigón, las tensiones térmicas son extremadamente importantes para las consideraciones de diseño de pavimentos rígidos (E. J. Yoder, 1995).

Pavimentos rígidos son aquellos formados por una losa de concreto Portland directamente sobre el terreno. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada. La losa de hormigón se construye de acuerdo con una opción diseñada de dimensiones en planta de los paneles de losa, influyendo directamente en la intensidad de los esfuerzos térmicos que ocurren dentro de la acera. Además de los paneles de losa, refuerzos de temperatura deben ser diseñados para controlar la fisuración comportamiento en la losa. Espaciamiento de las juntas está determinada por las dimensiones del panel losa (E. J. Yoder, 1995).

Tres tipos principales de pavimentos de hormigón de uso común son Losas de Concreto Simple o Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP), Losas de Concreto Reforzado o Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP), y Pavimento de Concreto Continuamente Reforzado o Continuously Reinforced Concrete Pavements (CRCP) (E. J. Yoder, 1995).

JPCP son pavimentos contruidos con concreto simple y con juntas de contracción que dirigen el craqueo natural del pavimento espaciadas de manera continua (de 5 a 10 metros). Estos pavimentos no utilizan ningún acero de refuerzo (E. J. Yoder, 1995).

JRCP se construye con las juntas de contracción y son reforzadas con barras de acero de refuerzo para controlar el agrietamiento del pavimento que aunque no aumentan la capacidad portante de losa, aumenta el espaciamiento de las juntas de 10m a 30m (E. J. Yoder, 1995).

CRCP es un proceso mecanizado en el cual se eliminan las juntas de contracción y únicamente depende de acero de refuerzo continuo para mantener las grietas transversales juntas con el pavimento (E. J. Yoder, 1995).

Pavimentos de hormigón pretensado también se han utilizado en la construcción de carreteras; sin embargo, no son tan comunes como los otros tres. Pavimentos pretensados permiten un espesor de la losa delgada parcial o total de la neutralización de tensiones o cargas inducidas térmicamente (E. J. Yoder, 1995).

2.2.2.2.1 Hormigón Compactado con Rodillo

El Hormigón Compactado con Rodillo (HCR) es una mezcla especial de hormigón que tiene esencialmente los mismos ingredientes que el hormigón común, pero en diferentes proporciones, y cada vez más con la sustitución parcial de las cenizas volátiles por el cemento Portland. HCR es una mezcla de cemento, agua, arena, agregados y aditivos comunes, pero contiene mucha menos agua. La mezcla producida es más seca y esencialmente no tiene caída. HCR se coloca en una manera similar a la pavimentación; el material es entregado por camiones transportadores, se extiende por pequeñas excavadoras o máquinas especiales para asfalto, y luego compactado por rodillos vibratorios (ACI Committee, 2014).

2.2.2.2.1.1 Materiales componentes del HCR

Los materiales constituyentes del HCR son de una manera general, los mismos utilizados en el concreto tradicional, es decir, grava, arena, cemento, agua y, cuando es necesario, aditivo (ACI Committee, 2014).

- **Gravas y Arenas**

Las gravas y arenas pueden ser de cualquier tipo y tener cualquier origen, siempre que cumplan determinados requisitos, los cuales dependerán de las condiciones de carga del pavimento; pueden ser utilizados materiales naturales o productos de trituración que cumplan ciertas exigencias de granulometría, dureza, ausencia de materia orgánica y arcilla (ASTM C125 - 16, 2014).

Según sea su aplicación, el tamaño máximo del agregado total puede variar desde 14 hasta 38 mm. De manera general, la curva granulométrica más conveniente del agregado total debe ser determinada mediante ensayos de laboratorio, escogiéndose aquella que permita alcanzar, adecuadamente, las características técnicas deseadas para el material (ASTM C125 - 16, 2014).

Para aquellos HCR que trabajarán como revestimiento de un pavimento (en que la sollicitación de trabajo será la tracción por flexión), se indica un índice de forma de los agregados menor o igual a 0,5, que ellos presenten bajo índice de desgaste y equivalente de arena mayor o igual a 45% (ASTM C125 - 16, 2014).

Pueden ser utilizados agregados de inferior calidad, siempre que presenten desempeños satisfactorios, conforme sea el tipo de uso (estacionamientos, calles, carreteras secundarias con tráfico liviano).



Ilustración 2: Agregados del hormigón

Fuente: (Tecnologimartin, 2015)

- **Cemento**

El cemento a utilizar es portland común o de alta resistencia inicial.

El contenido de cemento por metro cúbico de material varía fundamentalmente de acuerdo a la resistencia que se desee alcanzar, de manera general, para HCR utilizados como bases de pavimentos rígidos flexibles, los consumos varían desde 40 hasta 120 Kg/m³; para revestimientos, estos consumos varían desde 160 hasta 380 Kg/m³ (ASTM C125 - 16, 2014).



Ilustración 3: Sacos de cemento Holcim

Fuente: (Holcim Web Page, n.d.)

- **Agua**

Debe ser utilizada agua que esté exenta de sustancias perjudiciales a la hidratación del cemento; se suponen adecuadas las aguas potables.

El porcentaje óptimo de agua dentro de un metro cúbico de HCR varía entre 4 y 7% del peso de los materiales secos, siendo necesarios, en la mayoría de los casos, del orden de 110 a 130 litros/m³ de material, es decir, aproximadamente 70% del agua que normalmente se utiliza para fabricar un concreto común (ASTM C125 - 16, 2014).

Los HCR son muy sensibles a la variación del contenido de agua, la falta de agua aumenta el riesgo de segregación, dificulta la compactación y presentar una superficie lisa, el exceso produce inestabilidad de la mezcla durante la compactación. Tanto la falta como el exceso de agua producen disminución de la resistencia mecánica del material (ASTM C125 - 16, 2014).

- **Aditivos**

De acuerdo a los equipos que se empleen en la confección, transporte, distribución u compactación del HCR, puede ser necesario el uso de aditivos, fundamentalmente para aumentar el tiempo de trabajo del material; las cantidades a utilizar son semejantes a las usadas en los concretos tradicionales (ASTM C125 - 16, 2014).

2.2.2.2.1.2 Propiedades

El HCR para pavimentos tiene propiedades que varían, fundamentalmente de acuerdo con el consumo de cemento, la cantidad de agua utilizada, las características de los materiales, los métodos y energías de compactación empleados, el uso de aditivos, la edad del material, etc.

Las particularidades que interesan específicamente en pavimentación son: resistencia a la compresión, a la tracción por flexión, módulo de elasticidad, deformación, retracción, durabilidad, fisuración y - cuando existen problemas de congelamiento - la permeabilidad del material.

2.2.2.2.1.3 Proceso constructivo

2.2.2.2.1.3.1 Producción y transporte de la mezcla

Para obras de importancia, es deseable realizar la producción del HCR en las mismas centrales utilizadas en la fabricación de concretos tradicionales; pueden, también, ser usadas

plantas continuas utilizadas en gravas tratadas. Sin embargo, en obras menores bien controladas, puede ser producido el HCR en volumen; el cemento siempre debe ser medido en masa (peso).

El tipo de central debe ser escogido en función del volumen de obra y de los rendimientos requeridos, así como de los equipos que ejecutarán el transporte, la colocación y la compactación.

Pueden ser utilizadas centrales normales de concreto con capacidad superior a 15 m³/h, de acuerdo al tipo de obra; en general se pueden seguir totalmente las recomendaciones de los fabricantes de equipos, sobre los tiempos de mezclado, con la salvedad de que si el HCR es muy seco (humedad menor que 4%), se deben mezclar durante más tiempo los materiales en la hormigonera.

Como el HCR es muy sensible al contenido de agua en el caso de variar la humedad de los agregados, deben continuamente ser ejecutadas correcciones de ésta.

Una vez mezclado el material en planta deben tomarse muestras para verificar (y corregir si es necesario) el contenido de humedad, debido a que en obra no será posible corregirla si el transporte es ejecutado en volquetas.

En aquellos casos en que el agua es insuficiente, deberá agregarse más, de acuerdo a la cantidad que falte y debe re-mezclarse el material hasta una uniformidad completa y eficaz. Cuando el agua sea más que la requerida, deberá corregirse agregando, si fuera posible, las cantidades de agregados y cemento que permitan dejar el material con la humedad de trabajo.

El uso de centrales clasificadoras de agregados, en conjunto con camiones mezcladores para la producción y transporte del HCR, económica y técnicamente no es conveniente por el bajo rendimiento que se obtiene durante la descarga del camión. Además, las correcciones de humedad cuando son necesarias (fundamentalmente en épocas de lluvias), pueden ser difíciles de realizar de una manera efectiva, debido a que se necesita revolver durante mucho tiempo el HCR para homogenizarlo y el agua no queda rápidamente mezclada con el material, produciéndose una mezcla heterogénea que puede perjudicar la obra; esta situación se agrava cuando las espas que revuelven el HCR en la mezcladora están gastadas.

El medio de transporte más adecuado para transportar el HCR, una vez producido en centrales mezcladoras, es a través de camiones volquetes (tolva), los que pueden variar su capacidad desde 5 a 12 m³ la altura del suelo hasta la tolva del camión, para evitar la

segregación del material, debe ser la mínima posible. En caso de largas distancias de transportes, de tiempo lluvioso o caluroso y/o de existencia de viento, se debe proteger el HCR con toldos para evitar daños al material por exceso de agua o por pérdida de humedad.

2.2.2.2.1.3.2 Colocación de la mezcla

Según la magnitud de la obra, se puede ejecutar la distribución del HCR manualmente o con equipos mecánicos, los que pueden ser seleccionados dentro de la variedad disponible, los equipos más usados son:

- ***Motoniveladora:*** Puede ser usada cuando el HCR es utilizado como capa de base, donde no se requiere una terminación superficial exigente o, como revestimiento de pavimentos urbanos sometidos a tráfico liviano, en áreas de geometría difícil, etc.
- ***Distribuidora de agregados:*** puede ser utilizada tanto para la colocación de HCR para bases, como para revestimientos; permite mejores terminaciones del material y facilita la distribución.
- ***Distribuidora de concreto asfáltico:*** pueden ser utilizadas sea en la colocación de bases y de revestimientos; tienen la ventaja de proporcionar una buena terminación superficial y una pre-compactación del HCR (del orden 90 a 92% del grado de compactación medido en la energía modificada); estas máquinas limitan la colocación del material a determinados espesores, debiendo generalmente para espesores superiores a 15 cm ser modificadas o adaptadas.
- ***Vibrocompactadoras de alto poder de compactación:*** estos equipos se han desarrollado con la finalidad específica de distribuir y compactar el HCR con un alto grado de precompactación; según los fabricantes se puede alcanzar del orden del 98% del grado de compactación de la energía modificada. Con este equipo, se puede obtener excelente terminación superficial del material, alto rendimiento (hasta 240 m³/h), trabajar en hasta 9m. de ancho y colocar espesores de hasta 30 cm compactados.

2.2.2.2.3.3 Compactación de la mezcla

Después de distribuido el material, es necesario compactarlo hasta alcanzar el grado de compactación requerido.

De acuerdo a la importancia de la obra y a los grados de compactación que se desea alcanzar, pueden ser utilizados rodillos lisos, rodillos vibratorios (diferentes tamaños), rodillos mixtos (lisos-neumáticos) y hasta placas vibradoras.

El número de pasadas necesarias para alcanzar la compactación deseada puede ser determinado con la ejecución previa de un pequeño tramo experimental, el que puede ser realizado directamente en la pista y que servirá, además, para calibrar la central, el transporte del material, el método constructivo, etc. En caso de que el HCR del tramo cumpla con los requisitos del pavimento, este puede ser aprovechado como tal.

El procedimiento para compactar cuando se utilizan rodillos vibratorios, se inicia con una pasada sin vibrar del equipo, a continuación se pasa el rodillo vibrando cuantas veces sea necesario para alcanzar el grado de compactación requerido. En espesores de 15 a 20 cm, el 100% del grado de compactación de la energía normal, se alcanza con un rodillo vibratorio de 8 toneladas, después de 6 pasadas (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2002).

Los bordes de los pavimentos en sectores urbanos, en el caso de no ser posible compactarlos con rodillos con que está trabajando, deben ser compactados con rodillos menores más maniobrables; de acuerdo con la obra, puede ser más económico trabajar en estos lugares solos con rodillos pequeños, en este caso se debe verificar que el grado de compactación sea alcanzado en todo el espesor del pavimento.

Dependiendo de la obra, común que sea especificados grados de compactación mínimos, del orden del 95 al 97% de la densidad seca máxima obtenida a través de la energía mencionada.

Para obtener el 100% del grado de compactación de la energía modificada, es necesario un rodillo liso vibrador que proporcione, a lo menos, un impacto de 30Kg/cm de generatriz del cilindro y, un rodillo neumático de 7 ruedas, que suministre un peso de 3 toneladas por rueda y una presión de inflado mayor o igual a 8 Kg/ cm².

2.2.2.2.1.3.4 Control de calidad

Como establecido anteriormente, el HCR es muy sensible al contenido de agua, de manera que es fundamental ejecutar un buen control de la humedad de los áridos durante la fabricación del material y durante la colocación en obra.

Los estudios previos de laboratorio y la ejecución de un tramo experimental permitirán conocer las tolerancias de trabajo y control de los diferentes componentes del HCR.

Algunas veces, de acuerdo al equipo utilizado en la obra, no es posible lograr las terminaciones requeridas, por lo cual se debe modificar la mezcla, sea variando las composiciones granulométricas, disminuyendo el tamaño máximo, etc.

En relación, a la obtención del grado de compactación, este puede ser medido por el método del frasco de arena, tomando algunos cuidados, de manera que los resultados obtenidos sean representativos del material colocado en obra (en HCR muy húmedos, la tendencia del material en el orificio de ensayo es expandirse, con lo cual se disminuye el volumen del hueco, obteniéndose altas masas específicas y en consecuencia, altos grados de compactación los que no reflejan el estado del material colocado).

El densímetro nuclear es el equipo utilizado con mayor éxito en terreno para la medida del grado de compactación; son fáciles de operar, rápidos y eficientes. Es importante controlar que el grado de compactación sea alcanzado en todo el espesor del pavimento, a no ser que se especifique y justifique lo contrario.

La medida del grado de compactación en un control de obra preliminar, para garantizar que el pavimento alcanzará las resistencias características especificadas, el control efectivo se realizará a través de probetas ensayadas a la ruptura en edades especificadas.

Como las probetas en obras de pavimentación, en general no son representativas del estado en que quedó ejecutado el pavimento, el control final de la calidad de este, debe ser ejecutado a través de la extracción de testigos en el HCR endurecido.

La ejecución del HCR debe incluir el control del adecuado llenado de los puntos bajos, para cumplir con las tolerancias de irregularidad superficial especificadas, llenado, que deberá ser ejecutado escarificando la superficie del HCR fresco, en a lo menos 8 a 10 cm, agregando material y compactándolo hasta alcanzar el grado especificado.

Cuando la superficie del HCR comienza a blanquecer, producto del sol y del viento, se debe colocar una pequeña cantidad de agua, la que deberá controlarse para que no perjudique las características mecánicas del HCR.

Por ser el HCR compactado por vibrado, es extremadamente sensible a las condiciones del material de apoyo, por lo cual se debe antes de colocado en la pista, controlar el grado de compactación de la base y la humedad de ésta; bajo ninguna circunstancia se debe colocado sobre apoyos saturados o cercanos a la saturación, debido a que la humedad del material sobre el cual se colocará, se incorporará al HCR, dificultando (y algunas veces hasta imposibilitando) la terminación superficial; la humedad absorbida, de acuerdo a su cantidad, puede hasta disminuir la resistencia mecánica del pavimento.

2.2.2.1.3.5 Juntas

En relación a las juntas estructurales no son necesarias para este método constructivo con hormigón compactado con rodillo. Las juntas a utilizar, únicamente son las de contracción ya que estas tienen como misión fundamental disminuir las tensiones producidas tanto por los fenómenos de retracción como por los gradientes térmicos, de forma que no se produzcan fisuras por ello.

La distancia a la que deben disponerse las juntas de contracción se puede obtener a partir del espesor de la losa, no debiendo ser más de 20 a 25 veces el mismo. Sin embargo, en carreteras se debe hacer coincidir con el ancho de los carriles, esta distancia es aproximada a 3 metros. La relación entre las longitudes de los lados mayor y menor no debe ser superior a 1,5 metros (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2002).

La forma más común de ejecución de las juntas de contracción es por serrado, para ello, se recurre a sierras provistas de discos de diamante o carborundo, a fin de producir una ranura en el hormigón cuyo ancho puede variar entre 3 y 20 mm, debe tomarse un aproximado de 5% del espesor de losa y profundidad debe estar comprendida entre 1/4 y 1/3 del espesor de la losa (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2002).

Es fundamental que el corte alcance esta profundidad de manera que se genere un plano suficientemente débil en el pavimento para que, al producirse los movimientos debidos a la retracción del hormigón, éste se fisure por debajo del corte. Si el corte es menos profundo, se corre el peligro de que el pavimento se fisure en un emplazamiento distinto del de la junta (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2002).

El sellado de las juntas tiene como objetivo evitar la entrada de agua por las mismas, que podría afectar o a la capa de base del pavimento, la que podría llegar a erosionar provocando el bombeo de finos por las juntas. Además, el sellado impide también la entrada

de elementos incompresibles en las juntas que podrían provocar la aparición de desportillados en las mismas e incluso roturas de esquina. En la ranura de las juntas tiene que ser introducido un cordón de espuma de polietileno y rellena posteriormente con un producto de sellado como la silicona (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2002).

2.2.2.2.1.3.6 Curado

Los pavimentos de HCR, como todo hormigón, deben ser curados, fundamentalmente para garantizar que ellos alcancen las resistencias mecánicas deseadas y la durabilidad de proyecto.

El curado puede ser realizado por cualquier método que garantice el mantenimiento del agua dentro del material; pueden ser utilizados: agua, diques de arena húmeda, aspilleras, membranas de curado, riegos bituminosos, etc.

2.2.2.2.1.4 Ventajas y desventajas

- **Ventajas**

Hasta ahora se ha presentado de una manera general las principales características del material, pudiendo resumirse éstas como las siguientes:

- Los pavimentos de HCR son una tecnología que envuelve el uso de materiales y equipos de construcción convencionales en una aplicación no convencional, el resultado es una economía de tiempo en la construcción del pavimento, lo que influye significativamente en los costos de éste.
- El HCR puede ser fabricado en plantas de concreto tradicional o en plantas de suelo - cemento o grava - cemento, sus características mecánicas son semejantes al hormigón usado en pavimentos de concreto, aunque su método de fabricación es completamente diferente.
- En el caso de obras menores sometidas a tráfico livianos, el HCR puede ser colocado con la maquinaria tradicional utilizada en movimiento de tierras, (motoniveladora, rodillo vibratorio y rodillo neumático).
- En el caso de obras mayores, donde el tráfico sea medio y se requiera una buena terminación superficial, el equipo utilizado puede ser el comúnmente usado en obras de pavimentación asfáltica.
- Cuando el HCR utilizado en pavimentos que serán sometidos a cargas pesadas (consecuentemente éste tendrá espesores mayores), se requerirán grados de

compactación superiores y exigentes terminaciones, para lo cual se utilizan equipos especiales (vibrocompactadoras - terminadoras, de alta compactación inicial, rodillos vibratorios pesados y rodillos neumáticos adecuados).

- Alta capacidad de soporte inicial, lo que le permite al pavimento ser liberado al tráfico después de su terminación.

Todas las características mencionadas anteriormente hacen al HCR tornarse un interesante material de construcción para pavimentos, lo que debe ser tomado en cuenta al proyectarse obras de pavimentación, sean estas urbanas o rurales.

- **Desventajas**

- Requiere un buen control de fabricación y en obra, fundamentalmente de la humedad, terminación superficial y resistencias.
- Con los equipos comúnmente utilizados en movimientos de tierra, un acabado superficial exigente del HCR es difícil de ejecutar para que cumpla las exigencias de las carreteras de importancia (razón por la cual en algunos casos la adecuada terminación se logra colocando encima del HCR una delgada capa de asfalto, del orden de 3 cm).
- Cuando la terminación de un pavimento, que trabajará como revestimiento, no es adecuada y/o el curado es deficiente, el HCR sufrirá un desgaste superficial acelerado el cual si no es reparado, adecuadamente, continuará deteriorando el pavimento.
- Al requerirse un alto grado de compactación para alcanzar las resistencias del proyecto, si no se dispone de equipos adecuados, se deberán efectuar una gran cantidad de pasadas con rodillo vibrador, si el espesor del HCR es alto, se requiere un rodillo pesado (de más de 15 t) para lograr la adecuada compactación del pavimento.

El HCR es un material que a través de los años está siendo cada vez más estudiado, con la finalidad de poseer un material más económico y técnicamente cada vez mejor.

2.2.2.2.1.5 Ensayo de resistencia a la compresión

El objetivo principal del ensayo de resistencia a la compresión, como su nombre lo dice, es determinar la resistencia máxima que obtiene el cilindro de muestra a una carga aplicada axialmente.

2.2.2.2.1.5.1 Preparación de Hormigón Compactado con Rodillo en moldes de cilindros utilizando un martillo vibratorio

Esta práctica describe el diseño de especímenes cilíndricos de prueba de hormigón usando un martillo vibratorio. Las muestras del ensayo se diseñan verticalmente en moldes cilíndricos compactando la mezcla de hormigón seco en cuatro elevaciones usando un martillo vibratorio (ASTM C1435 / C1435 M - 08, 2014).

En esta práctica se proporciona requisitos estandarizados para diseñar mezclas de concreto de consistencia muy seca usadas comúnmente en la construcción de hormigón compactado con rodillo. Esta práctica es usada en lugar de pasar rodillos vibratorios, ya que no se puede compactar adecuadamente al concreto de esta consistencia, además, se utiliza para diseñar muestras de ensayo cilíndricas comúnmente usadas para probar la resistencia a la compresión del hormigón (ASTM C1435 / C1435 M - 08, 2014).

2.2.2.2.1.5.1.1 Equipos

- **Molde Cilíndrico.-** Un molde cilíndrico de 150 mm [6 plgs.] de diámetro por 300 mm [12 plgs.] de alto.



Ilustración 4: Moldes cilíndricos

Fuente: Autor

- **Martillo Vibrador.-** Un martillo de compactación vibrante que tenga una masa (sin apisonar la placa y el eje) de 10 ± 1.5 kg [22 ± 3.3 lb]. También debe tener una potencia mínima de 900 W y ser capaz de proporcionar 2000 ± 200 impactos/min.

Nota: El martillo es del tipo utilizado típicamente para descomponer hormigón y mampostería. Proporciona movimiento oscilatorio en la dirección axial que hace del martillo un compactador vibratorio efectivo.



Ilustración 5: Martillo vibrador

Fuente: Autor

- **Placa de Empuje.-** Una placa de acero circular unida a un eje de acero, que se inserta en el mandril del martillo vibrante. El diámetro de la placa será de 140 ± 3 mm [$5 \frac{1}{2} \pm 1/8$ pulgs.] y la masa del conjunto del eje de la placa será de 3 ± 1 kg [6.6 ± 2.2 lb].



Ilustración 6: Placa de empuje

Fuente: Autor

- **Herramientas Pequeñas.-** Una pala cuadrada, una varilla de apisonamiento y un cronómetro.

2.2.2.2.1.5.1.2 Muestreo

Las muestras de hormigón deberán tener un agregado de tamaño máximo a 50 mm [2 plgs.] o inferior. Es de suma importancia hacer el diseño dentro de los 45 minutos siguientes a la finalización de la mezcla, a menos que se especifique lo contrario (ASTM C1435 / C1435 M - 08, 2014).

2.2.2.2.1.5.1.3 Diseño de especímenes

- I. Recubrir los moldes cilíndricos con un lubricante adecuado o un rompedor de unión antes de la colada de los especímenes de ensayo para facilitar la retirada del molde.
- II. Sostener el molde estacionario bien sujetándolo a una base rígida, plana o pararse sobre los soportes de pie y centrar el martillo vibratorio de modo que los bordes de la placa de apisonamiento no toque las paredes del molde. Baje el martillo vibratorio al molde para comprobar la holgura adecuada.
- III. Coloque suficiente hormigón en el molde para que el molde se llene a una cuarta parte de su volumen después de la compactación, aproximadamente 3,4 kg [7.5 lb]. Utilice una varilla de apisonamiento para distribuir el hormigón suelto a medida que se añada. Durante el llenado, use palas y cucharas para obtener muestras representativas y manejar el concreto de tal manera que los agregados gruesos de mayor tamaño no se separen del mortero.
- IV. Coloque el martillo vibratorio con la placa de apisonamiento sobre el hormigón.



Ilustración 7: Muestra de hormigón siendo compactada en cilindro.

Fuente: Autor

- V. Inicie el martillo vibratorio y permita que el hormigón se compacte bajo la placa de apisonamiento. Observe el hormigón en el espacio anular entre el borde de la placa de apisonamiento y la pared interior del molde. A medida que el hormigón se compacte, el mortero debe llenar el espacio anular entre el borde exterior de la placa de apisonamiento y la pared interior del molde. Observe el mortero hasta que forme un anillo alrededor del perímetro total de la placa de apisonamiento. Cuando el anillo de mortero se forme completamente alrededor de la placa de apisonamiento, detenga el martillo vibratorio.



Ilustración 8: Anillo de mortero formado alrededor de la placa de apisonamiento.

Fuente: Autor

- VI. Si una roca evita que el anillo de mortero se forme en un lugar pequeño, aunque se haya formado en todos los otros lugares, el martillo vibratorio puede ser detenido y ser agregada la siguiente capa de hormigón.
- VII. Si una porción significativa del anillo de mortero no se forma después de 20 seg, el martillo vibratorio debe ser detenido y ser agregada la siguiente capa de hormigón. Esta situación puede ser el resultado de insuficiente mortero debido a un muestreo incorrecto, a una segregación, o una dosificación inadecuada de la mezcla. En estos casos, el hormigón debe inspeccionarse visualmente después de extraerlo del molde para determinar si hay una distribución de mortero adecuada y se decide si se acepta o se rechaza la muestra.
- VIII. Repita el procedimiento III – VII para el segundo y tercer llenado de hormigón, llenando el molde a aproximadamente la mitad y tres cuartos de su volumen, respectivamente. Para la cuarta llenada, rellene excesivamente el molde al amontonar el hormigón por encima de la parte superior del molde. Una vez más, coloque la placa de apisonamiento sobre el hormigón suelto y compactado. Si la placa de apisonamiento compacta el hormigón por debajo del nivel superior del molde, apague

el martillo vibratorio. Coloque hormigón adicional en el molde para que, una vez compactado, el hormigón pueda acabar alisado y nivelado en la parte superior del molde.

- IX. Finalmente, golpee la parte superior del hormigón con el martillo vibratorio y la placa de apisonamiento. Con el martillo en funcionamiento y la placa en contacto con el borde del molde del cilindro, mueva la placa hacia adelante y hacia atrás a través de la parte superior del cilindro para forzar el exceso de material más allá del borde. Continúe trabajando en la superficie hasta que esté lisa y nivelada con la parte superior del molde del cilindro.

2.3 Ejemplos análogos

En los países sudamericanos se ha utilizado el HCR en tramos experimentales y en obras de pavimentación, fundamentalmente en los siguientes países y en orden cronológico: Brasil, Argentina, Uruguay y Chile.

- Brasil

En Brasil las primeras obras de importancia realizadas con HCR datan de 1972, en Porto Alegre, al sur del País; este material fue utilizado como base de pavimentos flexibles de vías urbanas. También ha sido utilizado como base de pavimentos de concreto.

En ambos casos las carreteras donde ha sido empleado este material presentan tráfico pesado.

Como revestimiento ha sido utilizado en calles urbanas, áreas de estacionamiento y patios industriales; en todos los casos ha presentado un buen desempeño.

- Argentina

El HCR en este país ha sido usado desde 1986 en 13 tramos experimentales de diferentes longitudes construidos en diversas regiones del país, experimentándose en diferentes climas, materiales y procesos constructivos, se ha utilizado el HCR como capa de rodadura, base y como material para bacheo, obteniéndose importantes conclusiones, fundamentalmente en cuanto al uso de materiales locales y características constructivas.

En Argentina como en Brasil y Chile, las Administraciones Municipales, Provinciales y Nacionales, así como empresas particulares han colaborado fehacientemente en todas las etapas de los programas experimentales.

- Uruguay

En 1988 se ejecutó en Uruguay el primer tramo experimental, de aproximadamente 2.000 m², de pavimentos de HCR en los accesos a Montevideo con la participación del Instituto de Cemento Portland de Argentina, utilizándose agregados de granitos triturados y balasto natural lavado, no se utilizó aditivos retardadores de fraguado en la ejecución del HCR, por lo que se produjeron algunas fallas debido al corto tiempo de trabajabilidad de la mezcla (insuficiente para tipo de equipamiento que se utilizó en la distribución - motoniveladora).

- Chile

En Chile el Instituto Chileno de Cemento, con aportes Fiscales, ejecutó en 1989 tres tramos experimentales de HCR y otro de concreto tradicional, para comparar los comportamientos de estos dos materiales.

Uno de estos tramos fue construido en un camino de acceso a una fábrica de cemento y fue sometido a tráfico pesado; otro fue construido en una vía urbana y está solicitado por tráfico liviano.

El tercer tramo se ejecutó dentro de un recinto universitario local donde, también, fue construido un tramo de concreto común para comparar los comportamientos; ambos tramos fueron instrumentados con equipos de alta precisión, los cuales eran operados automáticamente por microcomputador, midiéndose las variaciones térmicas internas del ciclo diario, las variaciones de humedad del ciclo anual, aberturas de juntas, desplazamientos verticales, deflexiones, alabeos, etc. Estos tramos no fueron solicitados por tráfico.

Después de un año de la ejecución pudo concluirse, fundamentalmente, que las juntas en el pavimento sin tráfico se produjeron naturalmente cada 4 a 5 m, y que las aberturas de estas fueron menores que las del concreto común; los alabeos térmicos e hidráulicos afectaron al HCR de la misma forma que al concreto tradicional, la magnitud de las deflexiones del HCR en las esquinas de las losas fue decreciendo, a medida que el pavimento se subdividía, de manera natural, durante el proceso de retracción por secamiento.

Se coloca énfasis en las conclusiones, acerca de la necesidad de limitar, drásticamente, las temperaturas en el HCR fresco, para disminuir la retracción durante el enfriamiento y consecuentemente producir grietas más espaciadas y/o más cerradas, que beneficiarán la transferencia de carga.

CAPITULO III: METODOLOGIA

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se basa en la medición numérica, el análisis estadístico y la recolección de datos para probar un problema y proceder a plantear una solución.

En este proyecto se presentan dos realidades que deben estudiarse; la primera es la problemática del tráfico que se genera al reducirse un carril en cada lado desde el kilómetro tres hasta el kilómetro cinco de la Av. Samborondón y la segunda es el rápido desgaste del pavimento actual por diferentes motivos.

El método utilizado es empírico ya que se presentan dos problemáticas (el congestionamiento vehicular y el desgaste del pavimento) y una condicionante existente (la Ave. Samborondón) a la cual se le propondrá una adecuación a fin de que se solucione el problema presentado.

El estudio se desarrolló bajo una investigación de tipo experimental por que se tuvo que realizar un estudio a base de recolección de datos para poder presentar un diseño de vía eficaz tanto en forma como en material, el cual pasó una serie de pruebas y experimentaciones para ser elegido como óptimo para la utilización de este proyecto.

El diseño de la investigación fue de campo ya que la información se obtuvo en sitio, mediante los objetos directamente implicados en la investigación; también es experimental ya que cierta información, como las características del pavimento actual, se modificó con el fin de presentar uno mejor al actual.

El instrumento para la recolección de datos fue la observación sistemática ya que la herramienta elemental para la recopilación de datos fueron drones, gracias a estos se permitió la filmación del tráfico vehicular que circula sobre el tramo del kilómetro tres hasta el kilómetro cinco de la Av. Samborondón para poder obtener el tráfico promedio diario anual (TPDA).

Al culminar las filmaciones con los drones, se procedió a clasificar los vehículos por su peso y número de eje equivalentes, con un formato parecido al siguiente:

Livianos	Autos y camionetas	#
	Furgonetas	#
Buses	Sencillo + Sencillo (d)	#
Pesados	Sencillo + Sencillo (d)	#

Sencillo + Sencillo (d) + Tandem	#
Sencillo + Tandem	#
Sencillo + Tandem + Tandem	#
Sencillo + Tandem + Tridem	#
Sencillo + Tridem	#

Tabla 2: Formato de recolección de datos vehiculares

Fuente: Autor

CAPITULO IV: DISEÑO DE CARRETERA

4.1 Conteo vehicular

Se tomó dos estaciones de conteo vehicular para poder tener una más acertada obtención de datos ya que mediante el tramo selecto existen varias entradas y salidas de vehículos en ambas partes de la vía. La primera estación de conteo (estación A) fue en la abscisa 3+000, lugar donde se colocó el primer dron; La segunda estación de conteo (estación B) fue en la abscisa 5+000, lugar donde se colocó el segundo dron.

Los datos cubrieron las 24 horas del día en una sola jornada y durante un día común para que no exista alteración del tráfico y poder obtener una mayor precisión. Comenzó a las 5H00 AM del día lunes 16 de enero y terminó a las 5H00 AM del día martes 17 de enero del presente año.

4.1.1 Equipos para la recolección de datos vehiculares

- Dos drones “Phantom 4”
- Cuatro baterías extras para cada dron
- Dos cargadores de baterías
- Dos radio transmisores
- Memoria SD de 32 GB



Ilustración 9: Equipos de recolección de datos vehiculares

Fuente: Autor

4.1.2 Proceso de la recolección de datos vehiculares

La empresa de drones, Ecuadrones, fue la encargada de brindar este servicio. Cada dron fue piloteado por un profesional en las diferentes estaciones de conteo.

Los pilotos se comunicaban por radio para sincronizar el momento exacto en el que el dron empezaban a filmar y también cuando los tenían que bajar para poder cambiarles de batería de carga, y a su vez volver a suspenderlos en el aire para seguir filmando.

El tiempo de duración de cada batería de los drones era de aproximadamente treinta minutos, por lo que se llevó la cantidad necesaria de baterías y cargadores para no tener ningún tipo de problemas en la filmación.



Ilustración 10: Estación de conteo vehicular A (Durante el día)

Fuente: Autor



Ilustración 11: Estación de conteo vehicular A (Durante la noche)

Fuente: Autor



Ilustración 12: Estación de conteo vehicular B (Durante el día)

Fuente: Autor



Ilustración 13: Estación de conteo vehicular B (Durante la noche)

Fuente: Autor

4.1.3 Listado de urbanizaciones ubicadas en el tramo de estudio



Ilustración 14: Tramo de estudio con sus respectivos puntos de conteo

Fuente: Google Maps

La Puntilla - La Aurora		La Aurora - La Puntilla
1. Urb. Torres del Rio	14. Condominios	1. Rinconcito (Mini Piazza)
2. Urb. Las Pirámides	15. Urb. Vía al Rio	2. Domicilio “Topacio”
3. Urb. Sante Claide	16. Urb. El Quintanar	3. Guayaquil Tenis Club
4. Urb. Bosques de Rioja	17. Urb. Atlantis	4. Urb. Tenis Club
5. Vivero	18. River Park	5. Urb. San Isidro
6. Urb. Sendero al Rio	19. Domicilio	6. Urb. Palmar del Rio
7. Urb. Flor del Rio	20. Urb. Montego Bay	7. Urb. Torre del Sol
8. Urb. Rio Plata	21. Urb. Singapur	8. Liceo Panamericano
9. Urb. Esmeralda del Rio	22. Urb. Almera	
10. Urb. Costa Verde	23. Domicilio	
11. Urb. Toscano	24. Domicilio	
12. Urb. Veleros del Rio	25. Urb. Granollers	
13. Urb. Riviera Club		

Tabla 3: Lista de urbanizaciones ubicadas en el tramo de estudio

Fuente: Autor

4.1.4 Resultados obtenidos del conteo vehicular

A continuación vamos a encontrar los datos obtenidos durante las 24 horas de un día ordinario en el tramo del km. Tres hasta el km. Cinco de la ave. Samborondón; los datos están divididos en tablas mostrando el resultado en cada carril.

Punto A

Ubicación: Ruta La Puntilla – La Aurora

Livianos	Autos y Camionetas	46404
	Furgonetas	567
Buses	Sencillo + Sencillo (d)	751
Pesados	Sencillo + Sencillo (d)	360
	Sencillo + Sencillo (d) + Tandem	1
	Sencillo + Tandem	12
	Sencillo + Tandem + Tandem	1
	Sencillo + Tandem + Tridem	2
	Sencillo + Tridem	1

Livianos	Buses	Pesados
46971	751	377

Tabla 4: Cantidad de vehículos transitados en 24 horas, Punto A, La Puntilla – La Aurora

Ubicación: Ruta La Aurora – La Puntilla

Livianos	Autos y Camionetas	42280
	Furgonetas	502
Buses	Sencillo + Sencillo (d)	738
Pesados	Sencillo + Sencillo (d)	358
	Sencillo + Sencillo (d) + Tandem	1
	Sencillo + Tandem	11
	Sencillo + Tandem + Tandem	5
	Sencillo + Tandem + Tridem	1
	Sencillo + Tridem	1

Livianos	Buses	Pesados
42782	738	377

Tabla 5: Cantidad de vehículos transitados en 24 horas, Punto A, La Aurora – La Puntilla

Punto B

Ubicación: Ruta La Puntilla – La Aurora

Livianos	Autos y Camionetas	44752
	Furgonetas	598
Buses	Sencillo + Sencillo (d)	736
Pesados	Sencillo + Sencillo (d)	513
	Sencillo + Sencillo (d) + Tandem	2
	Sencillo + Tandem	33
	Sencillo + Tandem + Tandem	4
	Sencillo + Tandem + Tridem	4
	Sencillo + Tridem	0

Livianos	Buses	Pesados
45350	736	556

Tabla 6: Cantidad de vehículos transitados en 24 horas, Punto B, La Puntilla – La Aurora

Ubicación: Ruta La Aurora – La Puntilla

Livianos	Autos y Camionetas	41238
	Furgonetas	415
Buses	Sencillo + Sencillo (d)	750
Pesados	Sencillo + Sencillo (d)	521
	Sencillo + Sencillo (d) + Tandem	1
	Sencillo + Tandem	6
	Sencillo + Tandem + Tandem	3
	Sencillo + Tandem + Tridem	0
	Sencillo + Tridem	1

Livianos	Buses	Pesados
41653	750	532

Tabla 7: Cantidad de vehículos transitados en 24 horas, Punto B, La Aurora – La Puntilla

Ruta: La Puntilla – La Aurora

		0H00	1H00	2H00	3H00	4H00	5H00	6H00	7H00	8H00	9H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00	15H00	16H00	17H00	18H00	19H00	20H00	21H00	22H00	23H00
Livianos	Autos y Camionetas	519	389	317	237	212	228	1006	2707	2146	2280	2406	2679	2766	2850	2697	2612	2597	3296	3662	3374	3093	2186	1271	874
	Furgonetas	3	1	0	2	13	49	143	58	17	7	9	14	47	60	38	24	34	44	17	9	4	2	2	1
Buses	Sencillo + Sencillo (d)	0	0	0	0	8	22	43	70	59	58	52	51	46	38	42	45	46	52	42	39	18	16	4	0
Pesados	Sencillo + Sencillo (d)	2	1	1	0	2	10	23	26	48	54	51	48	32	27	33	39	43	29	20	15	8	0	0	1
	Sencillo + Sencillo (d) + Tandem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	Sencillo + Tandem	0	0	0	0	0	6	9	1	10	4	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sencillo + Tandem + Tandem	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sencillo + Tandem + Tridem	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sencillo + Tridem	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 8: Promedio de vehículos en un día dividido por horas (La Puntilla – La Aurora)

Fuente: Autor



Ilustración 15: Vehículos livianos promedio en un día dividido por horas (La Puntilla – La Aurora)

Fuente: Autor

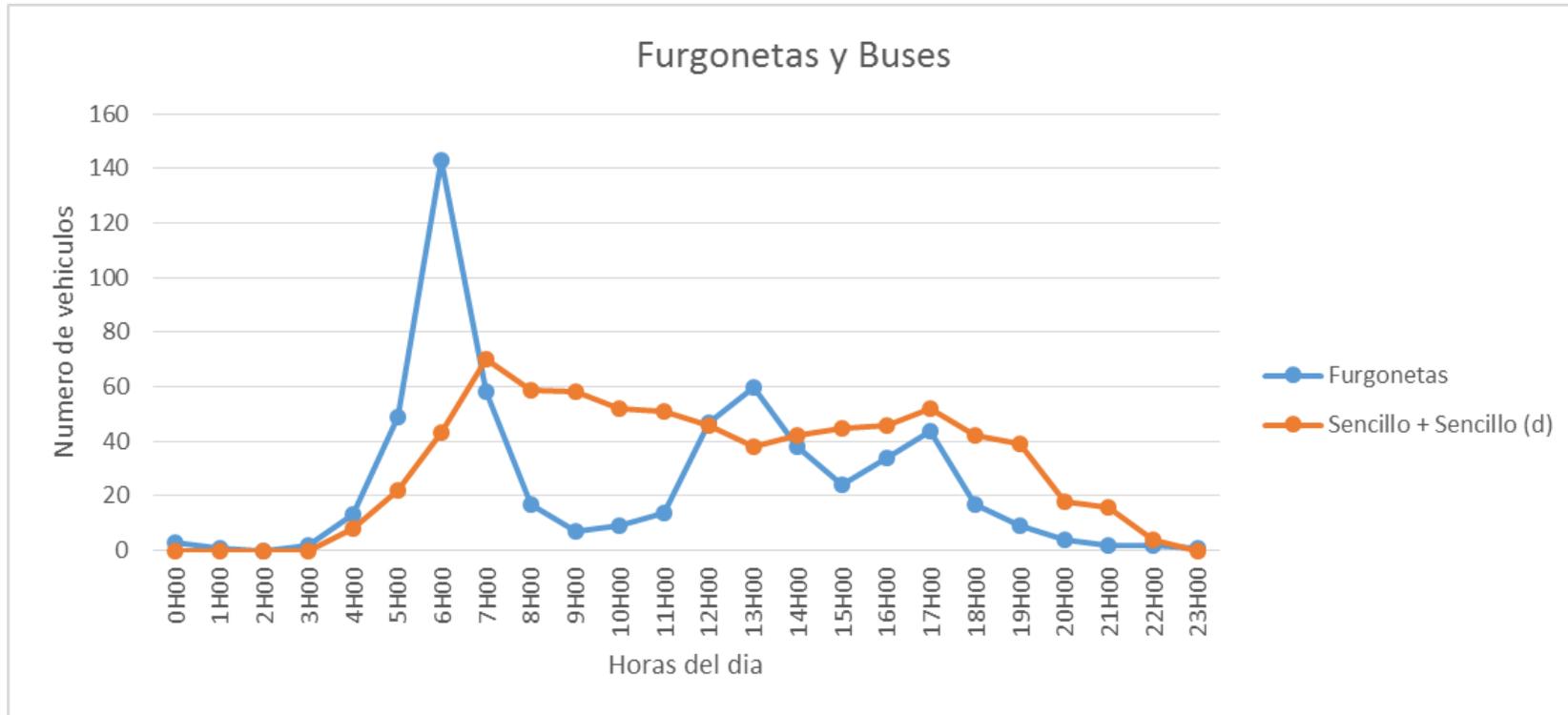


Ilustración 16: Furgonetas y buses promedio en un día dividido por horas (La Puntilla – La Aurora)

Fuente: Autor

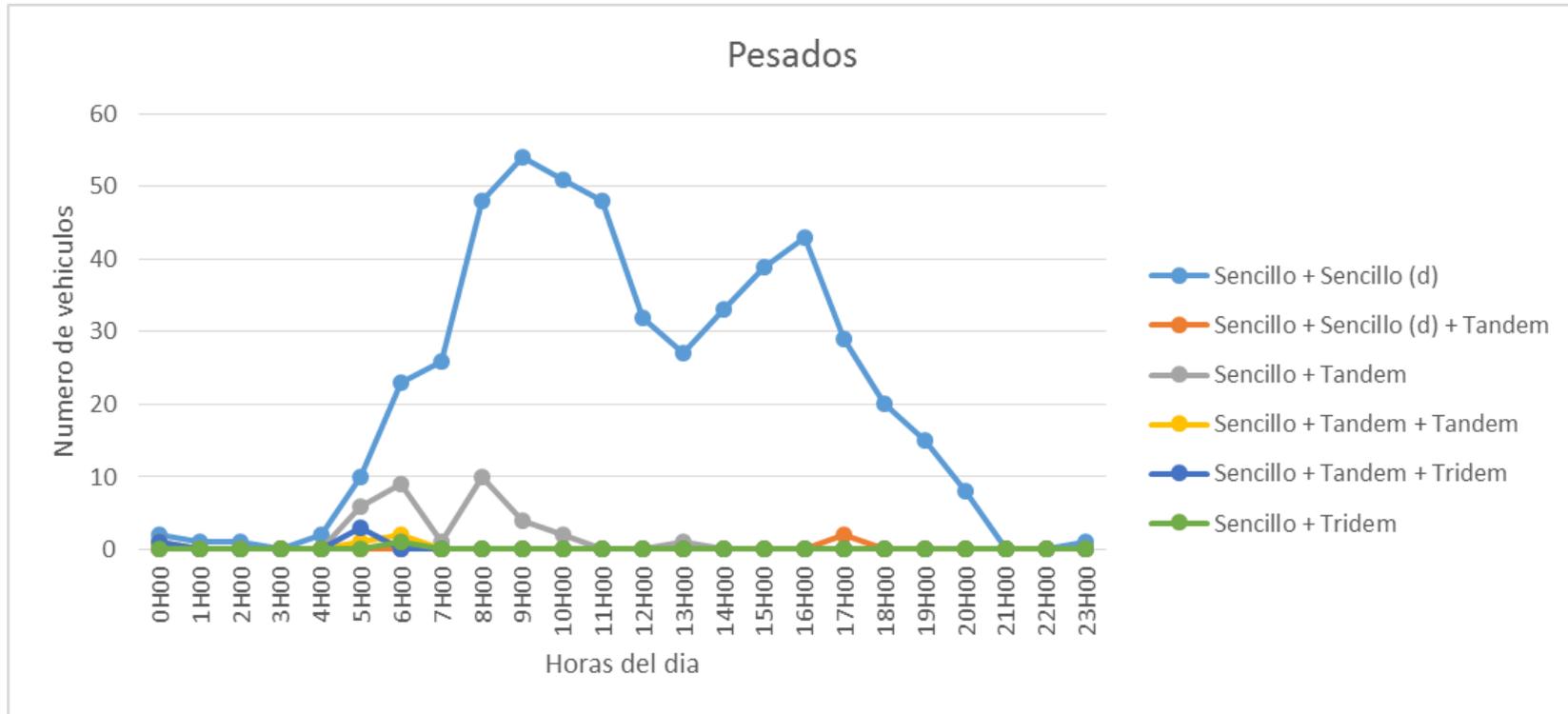


Ilustración 17: Vehículos pesados promedio en un día dividido por horas (La Puntilla – La Aurora)

Fuente: Autor

Ruta La Aurora – La Puntilla

		0H00	1H00	2H00	3H00	4H00	5H00	6H00	7H00	8H00	9H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00	15H00	16H00	17H00	18H00	19H00	20H00	21H00	22H00	23H00	
Livianos	Autos y Camionetas	437	354	309	255	242	387	2656	3817	2613	2244	2363	2259	2293	2435	2471	2497	2641	2737	2228	2039	1705	1492	1037	769	
	Furgonetas	3	1	0	1	4	13	118	47	22	7	8	15	23	31	37	52	65	24	19	9	1	0	2	0	
Buses	Sencillo + Sencillo (d)	1	0	0	0	4	7	53	57	55	53	50	45	41	39	43	46	50	60	47	37	33	20	8	1	
Pesados	Sencillo + Sencillo (d)	3	2	1	1	3	9	13	17	31	55	54	49	43	40	44	47	52	20	22	9	5	0	0	1	
	Sencillo + Sencillo (d) + Tandem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sencillo + Tandem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1	0	0	0	0	0
	Sencillo + Tandem + Tandem	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	Sencillo + Tandem + Tridem	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sencillo + Tridem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 9: Promedio de vehículos en un día dividido por horas (La Aurora – La Puntilla)

Fuente: Autor



Ilustración 18: Vehículos livianos promedio en un día dividido por horas (La Aurora – La Puntilla)

Fuente: Autor

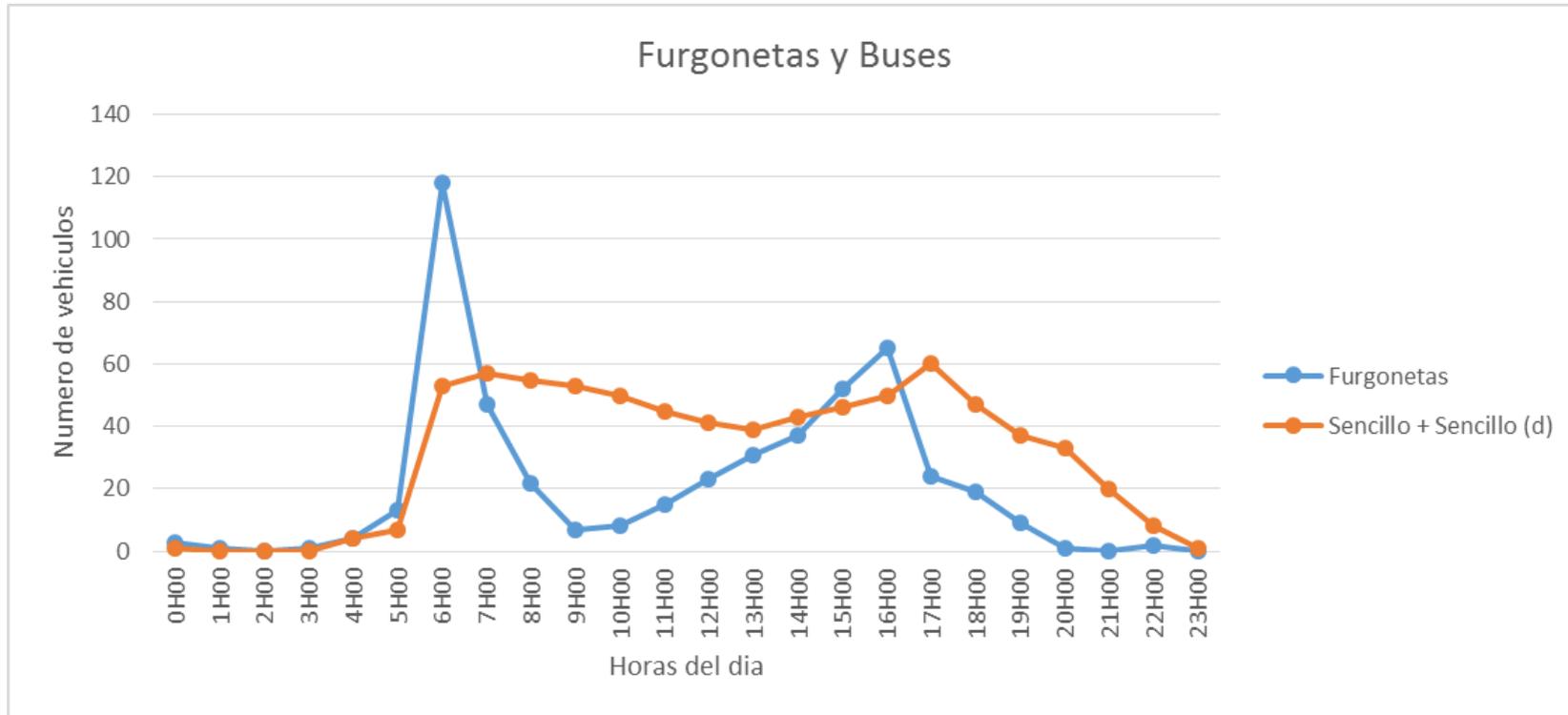


Ilustración 19: Furgonetas y buses promedio en un día dividido por horas (La Aurora – La Puntilla)

Fuente: Autor

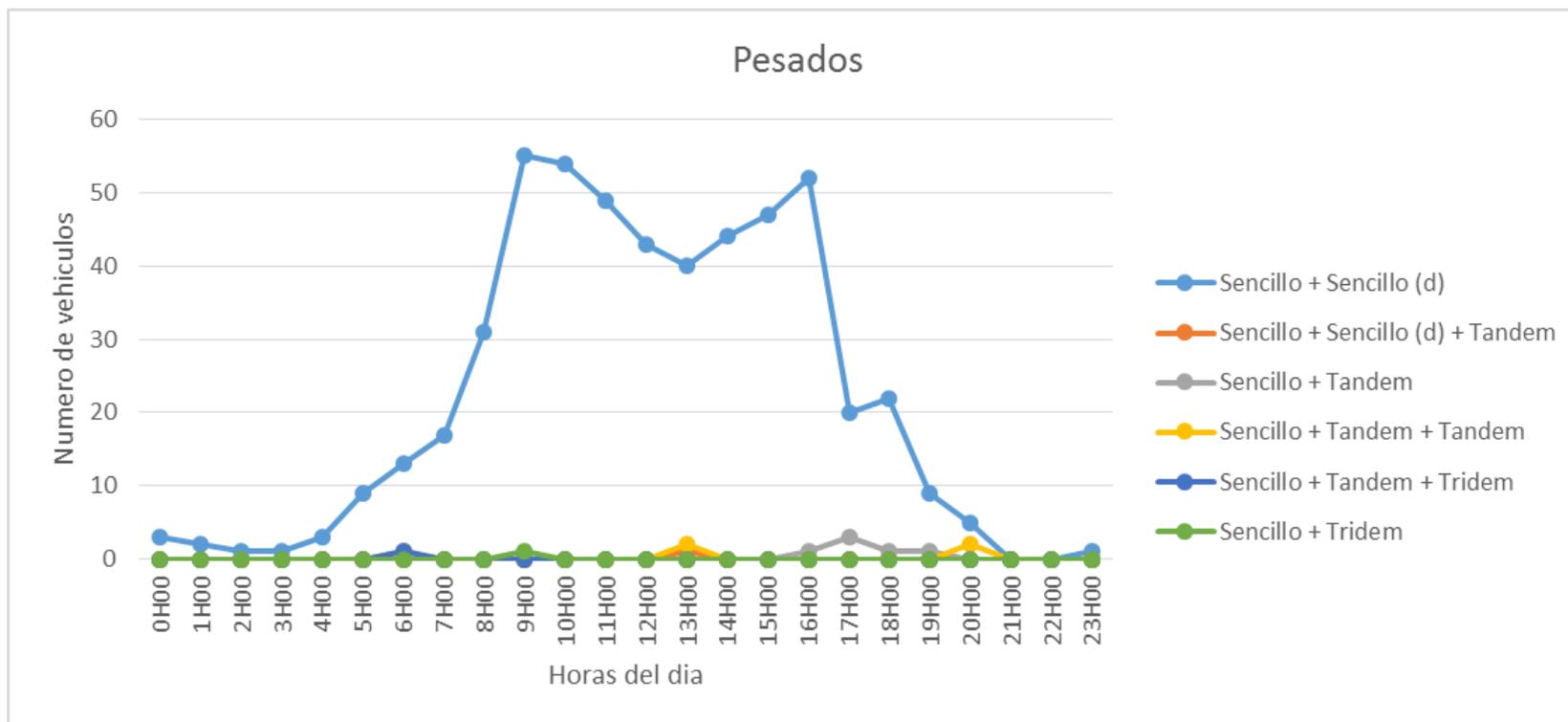


Ilustración 20: Vehículos pesados promedio en un día dividido por horas (La Aurora – La Puntilla)

Fuente: Autor

4.2. Cálculo del TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual)

Al proyectar una calle o carretera, la selección del tipo de vía, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición.

Para el presente proyecto formativo el TPDA indica el volumen de tráfico proyectado a 1 año, puesto que para diseño de pavimentos la fórmula exige ese dato.

El cálculo es efectuado mediante la siguiente fórmula:

$$T.P.D.A = T.P + T.G + T.D$$

T.P.D.A = Tráfico de Proyecto Diario Anual

T.P = Tráfico de Proyecto

T.G = Tráfico Generado

T.D = Tráfico de Desarrollo

Tráfico de Proyecto:

Es el volumen de tráfico obtenido durante el conteo vehicular, proyectado a 20 años según la tabla de crecimiento vehicular.

Tabla de Crecimiento Vehicular			
Periodo	Livianos	Buses	Pesados
2015-2020	0.0556	0.0300	0.0333
2020-2025	0.0495	0.0267	0.0296
2025-2030	0.0445	0.0240	0.0267
2030-2035	0.0404	0.0218	0.0243
2035-2040	0.0370	0.0201	0.0221

Tabla 10: Tasa de crecimiento anual de tráfico vehicular (Guayas)

Fuente: Departamento de Factibilidad - MOP

$$T.P = T.A (1 + i)^n$$

T.A = Es el volumen de tráfico obtenido en el conteo vehicular

n = número de años, se lo realiza año por año, por lo tanto su valor es 1

Tráfico Generado:

El volumen de tráfico generado se lo obtiene multiplicando la constante 0.2 por el tráfico proyectado.

$$T.G = 0,2 T.P$$

Tráfico de Desarrollo:

El volumen de tráfico de desarrollo se lo obtiene multiplicando la constante 0.25 por el tráfico proyectado.

$$T.D = 0,25 T.P$$

Año	<i>Tráfico Actual</i>			<i>Tráfico Proyectado</i>			<i>Tráfico Generado</i>			<i>Tráfico de Desarrollo</i>		
	Liviano	Buses	Pesados	Livianos	Buses	Pesados	Livianos	Buses	Pesados	Livianos	Buses	Pesados
2017	46971	751	377	49583	774	390	9917	155	78	12396	194	98
2018	49583	774	390	52340	798	403	10468	160	81	13085	200	101
2019	52340	798	403	55251	822	417	11051	165	84	13813	206	105
2020	55251	822	417	57986	844	430	11598	169	86	14497	211	108
2021	57986	844	430	60857	867	443	12172	174	89	15215	217	111
2022	60857	867	443	63870	891	457	12774	179	92	15968	223	115
2023	63870	891	457	67032	915	471	13407	183	95	16758	229	118
2024	67032	915	471	70351	940	485	14071	188	97	17588	235	122
2025	70351	940	485	73482	963	498	14697	193	100	18371	241	125
2026	73482	963	498	76752	987	512	15351	198	103	19188	247	128
2027	76752	987	512	80168	1011	526	16034	203	106	20042	253	132
2028	80168	1011	526	83736	1036	541	16748	208	109	20934	259	136
2029	83736	1036	541	87463	1061	556	17493	213	112	21866	266	139
2030	87463	1061	556	90997	1085	570	18200	217	114	22750	272	143
2031	90997	1085	570	94674	1109	584	18935	222	117	23669	278	146
2032	94674	1109	584	98499	1134	599	19700	227	120	24625	284	150
2033	98499	1134	599	102479	1159	614	20496	232	123	25620	290	154

2034	102479	1159	614	106620	1185	629	21324	237	126	26655	297	158
2035	106620	1185	629	110565	1209	643	22113	242	129	27642	303	161
2036	110565	1209	643	114656	1234	658	22932	247	132	28664	309	165
2037	114656	1234	658									

Tabla 11: Valores del tráfico actual, proyectado, generado y de desarrollo en los próximos 20 años

Fuente: Autor

4.3. Cálculo del Factor de Equivalencia

Todo vehículo que hace uso de un pavimento produce en este y en la subrasante, esfuerzos, deformaciones y deflexiones, infligiendo una cantidad infinitesimal de daño en la estructura. A medida que las repeticiones de carga se acumulan, también lo hacen las cantidades de daño, reduciendo así la vida del pavimento. El número de ejes equivalente es función de los valores de los conteos del tránsito en el año de puesta en servicio de este, de la tasa de crecimiento durante la duración de vida, de la composición del tránsito y de la naturaleza de la estructura de pavimento.

Diferentes tipos de vehículos y de configuraciones de ejes, producen efectos diferentes, que se traducen en distintos niveles de deterioro en el pavimento.

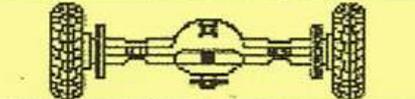
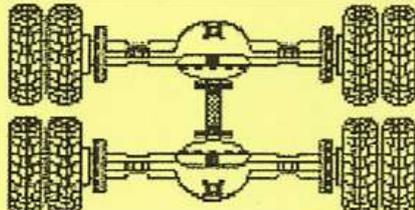
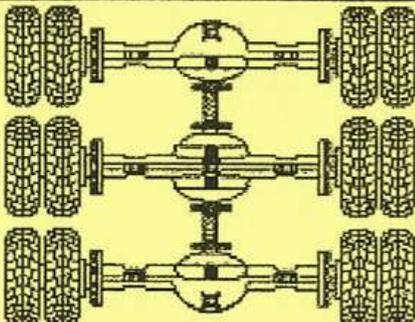
<p><i>Eje sencillo con llantas simples</i> 5.50T</p>	
<p><i>Eje sencillo con llantas dobles</i> 8.16T</p>	
<p><i>Eje tandem (doble) con llantas dual</i> 15.20T</p>	
<p><i>Eje tridem (triple) con llantas dual</i> 22.00T</p>	

Tabla 12: Clasificación de los ejes vehiculares

Fuente: Material de la clase Diseño de Pavimentos

Livianos				
Tipo	Forma de los Ejes	Ejes (Toneladas)		
		Delantero	Intermedio	Trasero
Autos y Camionetas	0---0	1	-	3
Furgonetas	0---0	3	-	4
Buses				
Tipo	Forma de los Ejes	Ejes (Toneladas)		
		Delantero	Intermedio	Trasero
Sencillo + Sencillo (d)	0---0	6	-	12
Pesados				
Tipo	Forma de los Ejes	Ejes (Toneladas)		
		Delantero	Intermedio	Trasero
Sencillo + Sencillo (d)	0---0	7	-	11
Sencillo + Sencillo (d) + Tandem	0---0---00	7	11	20
Sencillo + Tandem	0---00	7	-	20
Sencillo + Tandem + Tandem	0---00---00	7	20	20
Sencillo + Tandem + Tridem	0---00---000	7	20	24
Sencillo + Tridem	0---000	7	-	24

Tabla 13: Diferentes pesos de los vehículos según sus ejes

Fuente: Material de la clase Diseño de Pavimentos

Para el cálculo de los ESAL's, se puede tomar el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las siguientes relaciones para vehículos pesados, buses y camiones:

TIPO DE EJE	EJE EQUIVALENTE ($ESAL'_{S_{8,2tn}}$)
Eje simple de ruedas simples	$ESAL'_{S_{S1}} = \left[\frac{P}{5.50} \right]^{4.3}$
Eje simple de ruedas dobles	$ESAL'_{S_{S2}} = \left[\frac{P}{8.16} \right]^{4.3}$
Eje tándem de ruedas dobles	$ESAL'_{S_{TA}} = \left[\frac{P}{15.20} \right]^{4.3}$
Ejes tridem de ruedas dobles	$ESAL'_{S_{TR}} = \left[\frac{P}{22.00} \right]^{4.3}$
P = peso real por eje en toneladas	

Tabla 14: Cálculo de los ejes equivalentes según su tipo

Fuente: Material de la clase Diseño de Pavimentos

Autos y Camionetas				Factor de Equivalencia Livianos	0.0388
Tipo de Eje	Eje Equivalente	Eje Eq. * N. Veh	F.E.		
Eje de ruedas simples (D)	0.0007	30.41	0.037		
Eje de ruedas simples (T)	0.0738	3424.66			
Furgonetas					
Tipo de Eje	Eje Equivalente	Eje Eq. * N. Veh	F.E.		
Eje de ruedas simples (D)	0.0738	41.85	0.164		
Eje de ruedas simples (T)	0.2543	144.17			

Buses				Factor de Equivalencia Buses	3.3522
Tipo de Eje	Eje Equivalente	Eje Eq. * N. Veh	F.E.		
Eje de ruedas simples (D)	1.45	1091.77	3.352		
Eje simple de ruedas dobles (T)	5.25	3943.23			

Sencillo + Sencillo (d)				Factor de Equivalencia Pesados	3.2018
Tipo de Eje	Eje Equivalente	Eje Eq. * N. Veh	F.E.		
Eje de ruedas simples (D)	2.82	1015.46	3.216		
Eje simple de ruedas dobles (T)	3.61	1300.24			
Sencillo + Sencillo (d) + Tandem					
Tipo de Eje	Eje Equivalente	Eje Eq. * N. Veh	F.E.		
Eje de ruedas simples (D)	2.82	2.82	3.229		
Eje simple de ruedas dobles (I)	3.61	3.61			
Eje simple de ruedas dobles (T)	3.25	3.25			
Sencillo + Tandem					
Tipo de Eje	Eje Equivalente	Eje Eq. * N. Veh	F.E.		
Eje de ruedas simples (D)	2.82	33.85	3.038		
Eje simple de ruedas dobles (T)	3.25	39.06			
Sencillo + Tandem + Tandem					
Tipo de Eje	Eje Equivalente	Eje Eq. * N. Veh	F.E.		
Eje de ruedas simples (D)	2.82	2.82	3.110		
Eje simple de ruedas dobles (I)	3.25	3.25			
Eje simple de ruedas dobles (T)	3.25	3.25			
Sencillo + Tandem + Tridem					
Tipo de Eje	Eje Equivalente	Eje Eq. * N. Veh	F.E.		
Eje de ruedas simples (D)	2.82	5.64	2.510		
Eje simple de ruedas dobles (I)	3.25	6.51			
Eje simple de ruedas dobles (T)	1.45	2.91			
Sencillo + Tridem					
Tipo de Eje	Eje Equivalente	Eje Eq. * N. Veh	F.E.		
Eje de ruedas simples (D)	2.82	2.82	2.137		
Eje simple de ruedas dobles (T)	1.45	1.45			

Tabla 15: Cálculo del peso según su eje y cálculo del factor de equivalencia

Fuente: Autor

4.4. ESAL's

Es la cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente 8,16 t = 80 kN para un periodo determinado, utilizamos esta carga equivalente por efectos de cálculo ya que el transito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes.

$$ESAL_{(S)} = TPDA(1) * 365 * \frac{(1 + i)^n - 1}{\ln(1 + i)} * F. E.$$

TPDA = Tráfico promedio diario anual a 1 año (TP + TG + TD)

i = tasa de crecimiento vehicular

n = número de años de vida útil del pavimento para el presente proyecto 20 años

F.E = Factor de equivalencia

TPDA del año 2017 proyectado hasta el año 2020

TPDA	71896	1123	566
ESALs	3312955.18	4310434.63	2085153.04

TPDA del año 2020 proyectado hasta el año 2025

TPDA	84081	1224	624
ESALs	6727337.75	8003801.52	3925515.22

TPDA del año 2025 proyectado hasta el año 2030

TPDA	106550	1397	723
ESALs	8420067.19	9073872.21	4515617.23

TPDA del año 2030 proyectado hasta el año 2035

TPDA	131947	1574	827
ESALs	10321517.26	10167678.04	5134404.23

TPDA del año 2030 proyectado hasta el año 2035

TPDA	160320	1754	933
ESALs	4704958.32	4378778.00	2229079.07

Sumatoria total de los ESAL's

ESALs	30173880.52	31624129.77	15804615.76
-------	-------------	-------------	-------------

Total ESAL's = 77602626.04

4.5. Cálculo del W18

El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el período de diseño seleccionado, tránsito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8,2 Ton, se considera por carril de diseño. Se podría especular que los carriles se cargan en un 25%, repartiendo el tráfico, sin embargo existen ocasiones en que un carril se puede cargar más que el otro, por lo tanto se ha decidido diseñar para un 52%.

$$W_{18} = DD * DL * ESAL_{(S)}$$

DD = Factor de Distribución Direccional

Se recomienda 50% para la mayoría de las carreteras, pudiendo variar de 0.3 a 0.7, dependiendo de en qué dirección va el tránsito con mayor porcentaje de vehículos pesados.

DL = Factor de Distribución por Carril

Factor de distribución por carril, cuando se tengan dos o más carriles por sentido.

Numero de carriles	Porcentaje de W18 en el carril de
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4 o mas	50 - 60

Tabla 16: Porcentaje de W18 según el número de carriles

Fuente: Material de la clase Diseño de Pavimentos

$$W_{18} = 1 * 0,52 * 77602626.04$$

$$W_{18} = 40\ 353\ 365.54$$

4.6. Diseño de Hormigón Hidráulico Compactado con Rodillo

4.6.1 Agregado grueso

La piedra $\frac{3}{4}$ que se utiliza en el proyecto tiene las siguientes características:

Tamiz	Diámetro	Peso Parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Norma
1"	25.40	0	0%	0%	100%	100
3/8"	9.51	550	55%	55%	45%	20-55
N°4	4.75	350	35%	90%	10%	0-10
N°8	2.36	80	8%	98%	2%	0-5
Fondo		20	2%	100%	0%	
		1000	100%			

Tabla 17: Granulometría de piedra 3/4

Fuente: Autor

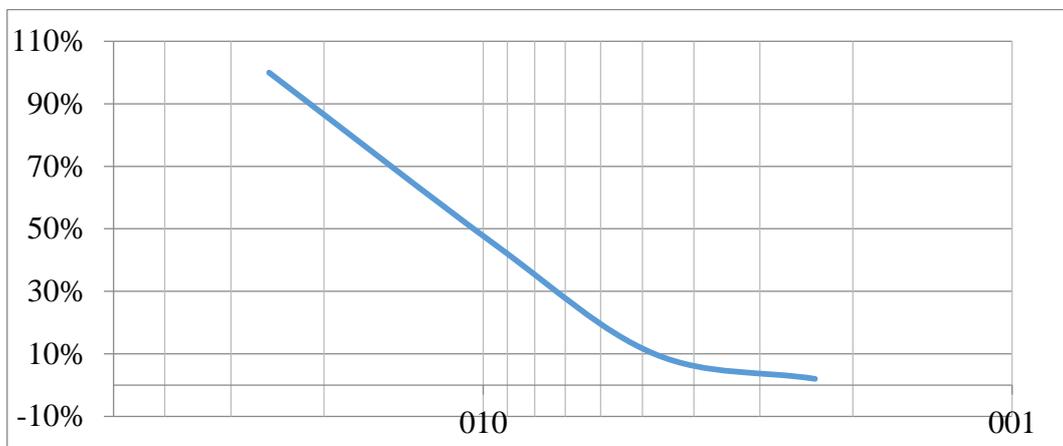


Ilustración 21: Curva granulométrica de piedra 3/4

Fuente: Autor

4.6.2 Agregado fino

La arena que se utiliza en el proyecto tiene las siguientes características:

Tamiz	Diámetro	Peso parcial	Porcentaje Retenido	Porcentaje Acumulado	Porcentaje Que Pasa	Norma
3/8	9.50	0	0%	0%	100%	100
N4	4.75	40	4%	4%	96%	95-100
N8	2.36	90	9%	13%	87%	80-100
n16	1.18	350	35%	48%	52%	50-85
n30	0.6	230	23%	71%	29%	25-60
n50	0.3	150	15%	86%	14%	5 a 30
N100	0.15	90	9%	95%	5%	0-10
Fondo		50	5%	100%	0%	
		1000	100%			

Tabla 18: Granulometría de arena homogenizada

Fuente: Autor

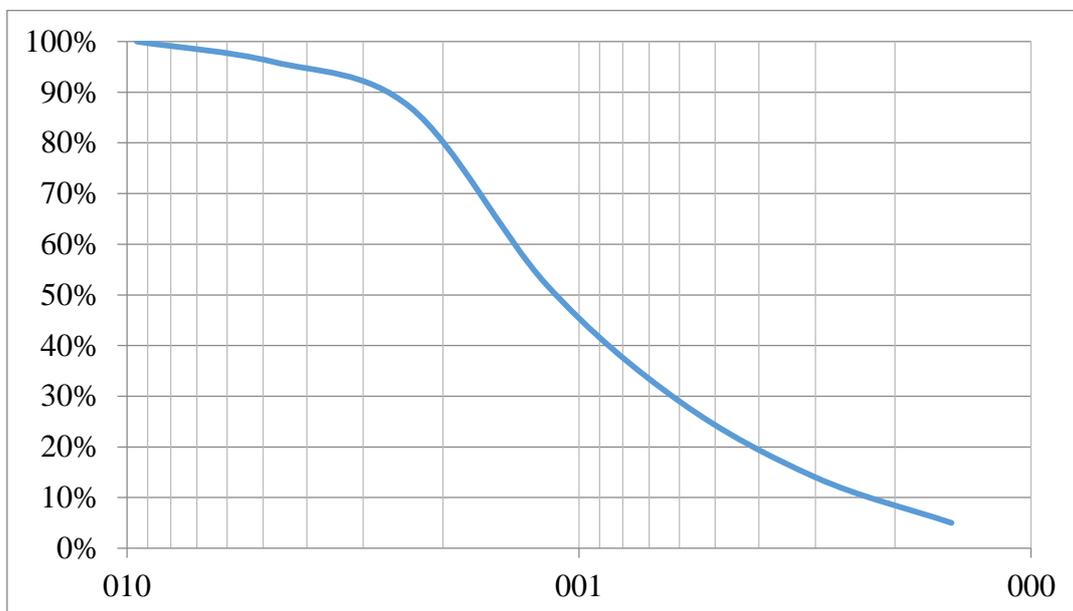


Ilustración 22: Curva granulométrica de arena homogenizada

Fuente: Autor

4.7. Diseño de hormigón

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO			
Resistencia a la compresión f'c (k/cm²):		350	
Revenimiento pedido:	5.	cm	
AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	
	T.Máx.= 3/4 "		
P.V.V. =	1655	k / m³	P-V.S. = 1597 k / m³
P.V.S. =	1542	k / m³	Ds.s.s. = 2617 k / m³
D.s.s.s.=	2739.8	k / m³	M.F. = 2.444
Absorción =	1.27	%	Absorción = 1.85 %
Abs.real =	1.47	%	Abs.real = 2.05 %
a/c =	0.35		
Agua (litros)	178	cemento (k/m³): 526.473143	# sacos /m³: 10.53
Aire (%) :	2	Coeficiente V.A.G.C.:	0.76
V.Total de agua:	184.27		
VOLUMEN PARA 1 m³ DE HORMIGON		PESO EN KG. PARA 1 m³ DE HORMIGON	
CEMENTO	0.167	m³	CEMENTO: 526.473143 kg.
AGUA:	0.184	m³	AGUA: 184.2656 kg.
PIEDRA:	0.459	m³	ARENA: 658.019 kg.
AIRE:	0.02	m³	PIEDRA: 1033.343 kg.
ARENA:	0.170	m³	2402.100
P+A:	0.629	x 0.40 =	0.251 mín. de arena
Piedra:	0.377		
PESO EN KG. PARA 1 SACO DE CEMENTO		VOLUMEN SUELTO	
CEMENTO:	50		ARENA: 0.03913155 m³
AGUA:	17.5		PIEDRA: 0.06364348 m³
ARENA:	62.493		
PIEDRA:	98.138		
NUMERO DE CAJONETAS DE 0.40 X 0,40 X 0,20 m..			
ARENA:	1.22		
PIEDRA:	1.99		
AGUA:	17.5	litros	

Ilustración 23: Diseño de hormigón de F'c=350 kg/cm²

Fuente: Material de la clase Tecnología del Hormigón

4.8.Cálculo del porcentaje de agua utilizado en el hormigón

Peso total de los agregados: 2217,83 kg

Peso de agua equivalente al 5,5 % del peso total: 121,98 kg

Peso de agua equivalente al 6,0 % del peso total: 133,07 kg

Peso de agua equivalente al 6,5 % del peso total: 144,16 kg

$$\text{Volumen Total de agua} = \text{Agua} * \left(1 + \left(\frac{\text{Absorción real Ag.Grueso} + \text{Abs.real Ag.Fino}}{100}\right)\right)$$

Porcentaje de agua	Volumen de agua a utilizar
5,5 %	117,83 litros
6,0 %	128,55 litros
6,5 %	139,26 litros

Relación A/C (Corregida)	Volumen de agua
0,35	178 litros (Hormigón convencional)
0,23	117,83 litros (H.C.R)
0,25	128,55 litros (H.C.R)
0,27	139,26 litros (H.C.R)

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO

Resistencia a la compresión f'c (k/cm²): **350**

Revenimiento pedido: 5. cm

AGREGADO GRUESO T.Máx.= 3/4 "

P.V.V. = 1655 k / m³
 P.V.S. = 1542 k / m³
 D.s.s.s.= 2739.8 k / m³
 Absorción = 1.27 %
 Abs.real = 1.47 %

AGREGADO FINO

P-V.S. = 1597 k / m³
 Ds.s.s. = 2617 k / m³
 M.F. = 2.444
 Absorción = 1.85 %
 Abs.real = 2.05 %

a/c = 0.23
 Agua (litros) 117.83
 Aire (%) : 2
 V.Total de agua: 121.98

cemento (k/m³): 530.337461 # sacos /m³: **10.61**
 Coeficiente V.A.G.C.: 0.76

VOLUMEN PARA 1 m³ DE HORMIGON

CEMENTO 0.168 m³
 AGUA: 0.122 m³
 PIEDRA: 0.459 m³
 AIRE: 0.02 m³
 ARENA: 0.231 m³
 P+A: 0.690 x 0.40 =
 Piedra: 0.414

PESO EN KG. PARA 1 m³ DE HORMIGON

CEMENTO: 530.337 kg.
 AGUA: 121.98 kg.
 ARENA: 721.937 kg.
 PIEDRA: 1133.720 kg.
 2507.975
 min. de arena

PESO EN KG. PARA 1 SACO DE CEMENTO

CEMENTO: 50
 AGUA: 11.50
 ARENA: 68.06
 PIEDRA: 106.89

VOLUMEN SUELTO

ARENA: 0.04261989 m³
 PIEDRA: 0.06931692 m³

NUMERO DE CAJONETAS DE 0.40 X 0.40 X 0.20 m

ARENA: 1.33
 PIEDRA: 2.17
 AGUA: 11.50 litros

Ilustración 24: Diseño de hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con 5,5% agua con relación al diseño original

Fuente: Autor

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO

Resistencia a la compresión f'c (k/cm²): **350**

Revenimiento pedido: 5. cm

AGREGADO GRUESO T.Máx.= 3/4 "

P.V.V. = 1655 k / m³
 P.V.S. = 1542 k / m³
 D.s.s.s.= 2739.8 k / m³
 Absorción = 1.27 %
 Abs.real = 1.47 %

AGREGADO FINO

P-V.S. = 1597 k / m³
 Ds.s.s. = 2617 k / m³
 M.F. = 2.444
 Absorción = 1.85 %
 Abs.real = 2.05 %

a/c = 0.25

Agua (litros) 128.55

Aire (%) : 2

V.Total de agua: 133.07

cemento (k/m³): 532.29984 # sacos /m³: **10.65**

Coeficiente V.A.G.C.: 0.76

VOLUMEN PARA 1 m³ DE HORMIGON

CEMENTO 0.169 m³
 AGUA: 0.133 m³
 PIEDRA: 0.459 m³
 AIRE: 0.02 m³
 ARENA: 0.219 m³
 P+A: 0.678 x 0.40 =
 Piedra: 0.407

PESO EN KG. PARA 1 m³ DE HORMIGON

CEMENTO: 532.300 kg.
 AGUA: 133.07 kg.
 ARENA: 709.669 kg.
 PIEDRA: 1114.454 kg.
 2489.492
 min. de arena

PESO EN KG. PARA 1 SACO DE CEMENTO

CEMENTO: 50
 AGUA: 12.50
 ARENA: 66.66
 PIEDRA: 104.68

VOLUMEN SUELTO

ARENA: 0.04174114 m³
 PIEDRA: 0.06788773 m³

NUMERO DE CAJONETAS DE 0.40 X 0.40 X 0.20 m

ARENA: 1.30
 PIEDRA: 2.12
 AGUA: 12.50 litros

Ilustración 25: Diseño de hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con 6,0% agua con relación al diseño original

Fuente: Autor

DISEÑO DE HORMIGON HIDRAULICO

Resistencia a la compresión f'c (k/cm²): **350**

Revenimiento pedido: 5. cm

AGREGADO GRUESO T.Máx.= 3/4 "

P.V.V. = 1655 k / m³
 P.V.S. = 1542 k / m³
 D.s.s.s.= 2739.8 k / m³
 Absorción = 1.27 %
 Abs.real = 1.47 %

AGREGADO FINO

P-V.S. = 1597 k / m³
 Ds.s.s. = 2617 k / m³
 M.F. = 2.444
 Absorción = 1.85 %
 Abs.real = 2.05 %

a/c = 0.27

Agua (litros) 139.26

Aire (%) : 2

V.Total de agua: 144.16

cemento (k/m³): 533.933156 # sacos /m³: **10.68**

Coeficiente V.A.G.C.: 0.76

VOLUMEN PARA 1 m³ DE HORMIGON

CEMENTO 0.170 m³
 AGUA: 0.144 m³
 PIEDRA: 0.459 m³
 AIRE: 0.02 m³
 ARENA: 0.207 m³
 P+A: 0.666 x 0.40 =
 Piedra: 0.400

PESO EN KG. PARA 1 m³ DE HORMIGON

CEMENTO: 533.933 kg.
 AGUA: 144.162 kg.
 ARENA: 697.520 kg.
 PIEDRA: 1095.376 kg.
 2470.991
 min. de arena

PESO EN KG. PARA 1 SACO DE CEMENTO

CEMENTO: 50
 AGUA: 13.50
 ARENA: 65.32
 PIEDRA: 102.58

VOLUMEN SUELTO

ARENA: 0.04090109 m³
 PIEDRA: 0.06652146 m³

NUMERO DE CAJONETAS DE 0.40 X 0.40 X 0.20 m

ARENA: 1.28
 PIEDRA: 2.08
 AGUA: 13.50 litros

Ilustración 26: Diseño de hormigón de $F'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con 6,5% agua con relación al diseño original

Fuente: Autor

4.9.Resultados ensayos a la compresión

Diseño de F'c = 350									
Cilindro N°	% Agua	Fecha de toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Porcentaje de resistencia de diseño
1	5,5	24/04/2017	1/05/2017	7	15.0	30.0	18605	105,30	30,08
2	5,5	24/04/2017	1/05/2017	7	15.0	30.0	18160	102,80	29,40
3	5,5	24/04/2017	8/05/2017	14	15.0	30.0	25360	143,5	41.00
4	5,5	24/04/2017	8/05/2017	14	15.0	30.0	25230	142,8	40.8
5	5,5	24/04/2017	22/05/2017	28	15.0	30.0	30080	170,2	48,62
6	5,5	24/04/2017	22/05/2017	28	15.0	30.0	29800	168,6	48.17

Tabla 19: Resultados de esfuerzos de hormigón de f'c = 350 kg/cm² con el 5,5% de agua

Fuente: Autor

Diseño de F'c = 350									
Cilindro N°	% Agua	Fecha de toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Porcentaje de resistencia de diseño
1	6,0	24/04/2017	1/05/2017	7	15.0	30.0	36750	207.96	59,42
2	6,0	24/04/2017	1/05/2017	7	15.0	30.0	36760	208.02	59,43
3	6,0	24/04/2017	8/05/2017	14	15.0	30.0	44700	252.96	72.27
4	6,0	24/04/2017	8/05/2017	14	15.0	30.0	44710	253.01	72.30
5	6,0	24/04/2017	22/05/2017	28	15.0	30.0	58660	331.91	94.83
6	6,0	24/04/2017	22/05/2017	28	15.0	30.0	58670	332.01	94.86

Tabla 20: Resultados de esfuerzos de hormigón de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ con el 6% de agua

Fuente: Autor

Diseño de $f'c = 350$									
Cilindro N°	% Agua	Fecha de toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Porcentaje de resistencia de diseño
1	6,5	24/04/2017	1/05/2017	7	15.0	30.0	39690	224.60	64.17
2	6,5	24/04/2017	1/05/2017	7	15.0	30.0	39700	224.66	64.20
3	6,5	24/04/2017	8/05/2017	14	15.0	30.0	48280	273.20	78.05
4	6,5	24/04/2017	8/05/2017	14	15.0	30.0	48290	273.25	78.07
5	6,5	24/04/2017	22/05/2017	28	15.0	30.0	63340	358.46	102.42
6	6,5	24/04/2017	22/05/2017	28	15.0	30.0	63360	358.57	102.44

Tabla 21: Resultados de esfuerzos de hormigón de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ con el 6,5% de agua

Fuente: Autor

4.10. Comparación de diferentes resistencias según porcentajes de agua

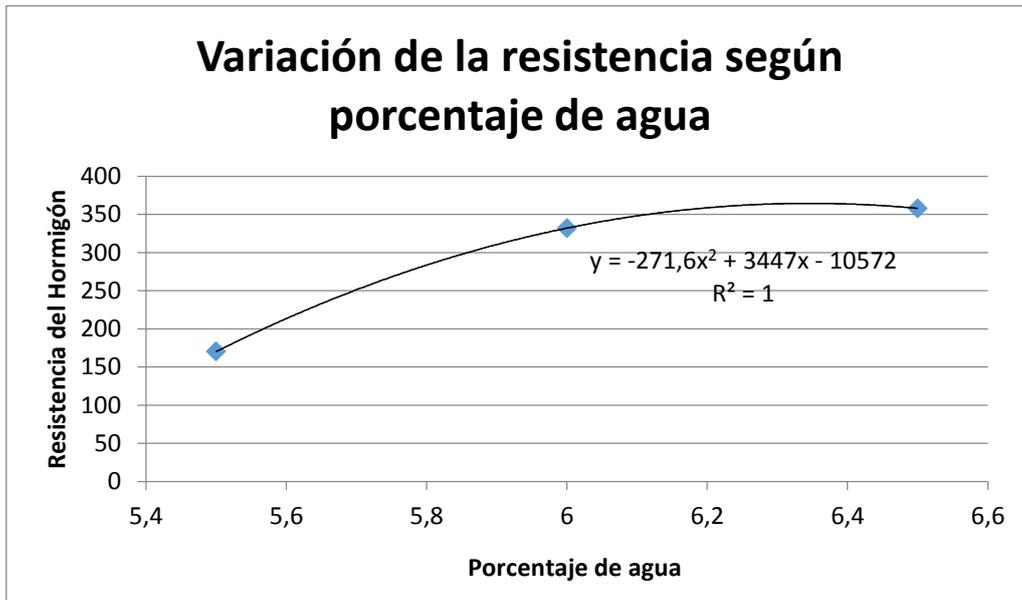


Ilustración 27: Curva de resistencia del hormigón según el porcentaje de agua

Fuente: Autor

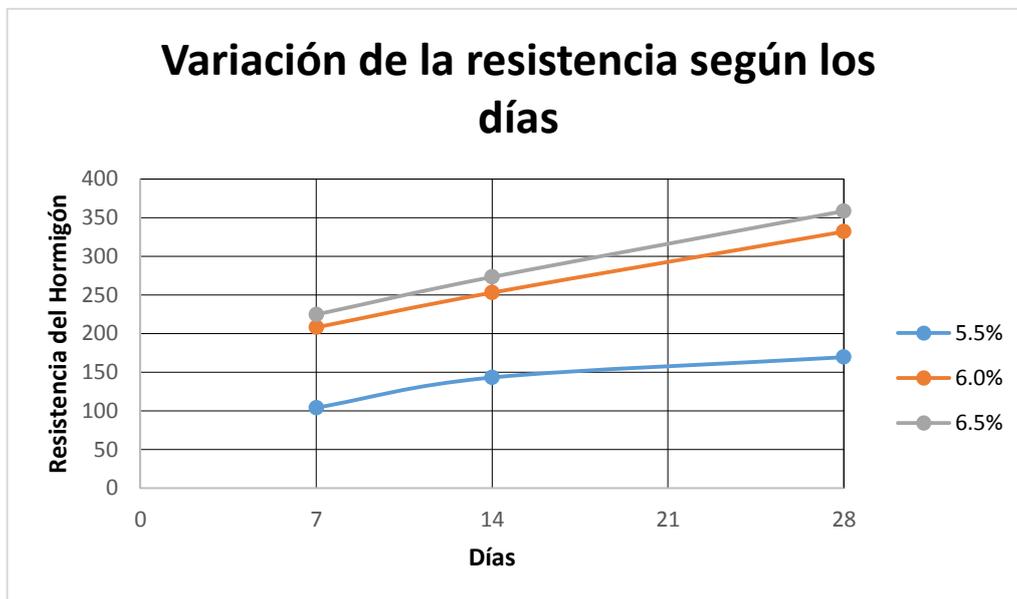


Ilustración 28: Curva de resistencia del hormigón según los días

Fuente: Autor

4.11. Diseño pavimento compactado con rodillo

4.11.1. Obtención del dato del CBR

Según datos del Municipio de Samborondón la resistencia del suelo es otorgada con un valor de CBR igual al 40%.

Con este valor se determina el módulo de reacción del suelo con la siguiente tabla:

VALOR DE RESISTENCIA -R- ⁽⁵⁾																			
5	10	20	30	40	50	60	70												
MÓDULO DE REACCIÓN -K- DE LA SUBRASANTE ⁽⁶⁾																			
	100	150	200	250	300	400	500	600	700										
VALOR DE SOPORTE ⁽⁷⁾																			
	10		20		30		40	50	60										
RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA -CBR-																			
	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100

Ilustración 29: Relación aproximada entre los valores K y CBR

Fuente: Material de la clase Diseño de Pavimentos

Valor K = 430

4.11.2. Módulo elástico del concreto

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura. Para concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano sugirió:

$$E_c = 57000 (f'_c)^{0.5}$$

Donde E_c y f'_c están dados en psi

$$E_c = 57000 (5100)^{0.5} = 4070614 \text{ psi} = 4 \times 10^6 \text{ psi}$$

4.11.3. Módulo de rotura del concreto

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios.

Los valores del módulo de rotura varían entre 2.8 MPa (400 psi) y 4.8 MPa (700 psi), llegando incluso a valores de 8.2 MPa (1200 psi), en concretos con alta resistencia inicial.

En el caso de hormigones especiales como el hormigón compactado con rodillo, el ensayo de resistencia a flexión del hormigón compactado con rodillo no se lo puede asimilar, por lo que se recomienda tomar el 10% del resultado del ensayo de la resistencia a la compresión.

El módulo de rotura del hormigón de diseño es de 3,5 MPa (510 psi).

4.11.4. Coeficiente de transferencia de carga (J)

Es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir las fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objetivo de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento. Mientras mejor sea la transferencia de cargas, mejor será el comportamiento de las losas del pavimento.

Esta transferencia de cargas se realiza a través de los extremos de las losas (juntas o grietas) y su valor depende del tipo de pavimento, del tipo de borde u hombro y de la colocación de los elementos de transmisión de carga.

Soporte lateral	Si	No	Si	No	Si	No	Tipo
ESALs en millones	Con pasadores con o sin refuerzo de temperatura		Con refuerzo continuo		Sin pasadores (fricción entre agregados)		
Hasta 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3 – 1	2.7	3.2	3.0	3.4	-	-	
1 – 3	2.7	3.2	3.1	3.6	-	-	
3 – 10	2.7	3.2	3.2	3.8	2.5	2.9	Caminos principales y autopistas
10 – 30	2.7	3.2	3.4	4.1	2.6	3.0	
más de 30	2.7	3.2	3.6	4.3	2.6	3.1	

Tabla 22: Coeficiente de transferencia de carga (J)

Fuente: Material de la clase Diseño de Pavimentos

En este caso no se consideró el Coeficiente de transmisión de carga debido a que el espesor de la carpeta de rodadura HCR se lo aplica similar al del pavimento flexible, es decir, no es necesario colocarle ni juntas transversales, ni juntas longitudinales.

4.11.5. Coeficiente de drenaje

Para la obtención de los coeficientes de drenaje el método actual de AASHTO se basa en la capacidad del drenaje para remover la humedad interna del pavimento, definiendo lo siguiente:

Porcentaje del Tiempo al cual está Expuesta la Estructura del Pavimento a Niveles de Humedad Próxima a la Saturación					
Calidad de Drenaje	Agua Removida en:	Menor del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor del 25%
Excelente	2 Horas	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1 Día	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1 Semana	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Pobre	1 Mes	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy Pobre	Agua no Drena	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Tabla 23: Porcentaje del tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento

Fuente: Material de la clase Diseño de Pavimentos

Para el valor de calidad de drenaje (Excelente), en el Ecuador los períodos de precipitación son altos durante los meses de Enero hasta Abril o Mayo, por lo tanto el porcentaje de tiempo que el pavimento está sometido a humedad y agua es mayor o igual al 25%.

Por lo tanto se trabaja con un valor de 1,20.

4.11.6. Índice de serviciabilidad

Me indica la forma del desgaste del pavimento y hasta que nivel de desgaste se puede llegar.

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

- ΔPSI =Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o terminal deseado.
- p_o =Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos).
- p_t =Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO propone valores entre 2,5 y 2.

$$\Delta PSI = 4,5 - 2,5 = 2,0$$

4.11.7. Confiabilidad

Con el parámetro “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, durarán como mínimo el período de diseño. Se consideran posibles variaciones en las predicciones del tránsito en ejes acumulados y en el comportamiento de la sección diseñada.

Tipo de camino	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Tabla 24: Niveles de confiabilidad

Fuente: Material de la clase Diseño de Pavimentos

Nuestra carretera es de tipo autopista por lo tanto el valor fluctúa entre 85 a 99,9 %, se decide trabajar con un valor promedio de 90.

4.11.8. Desviación Estándar Global

Valores de “ s_0 ” en los tramos de prueba de AASHTO no incluyeron errores en la estimación del tránsito; sin embargo, el error en la predicción del comportamiento de las secciones en tales tramos, fue de 0.25 para pavimentos rígidos y 0.35 para los flexibles, lo que corresponde a valores de la desviación estándar total debidos al tránsito de 0.35 y 0.45 para pavimentos rígidos y flexibles respectivamente.

CONDICIÓN DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S_0)	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39	0.49

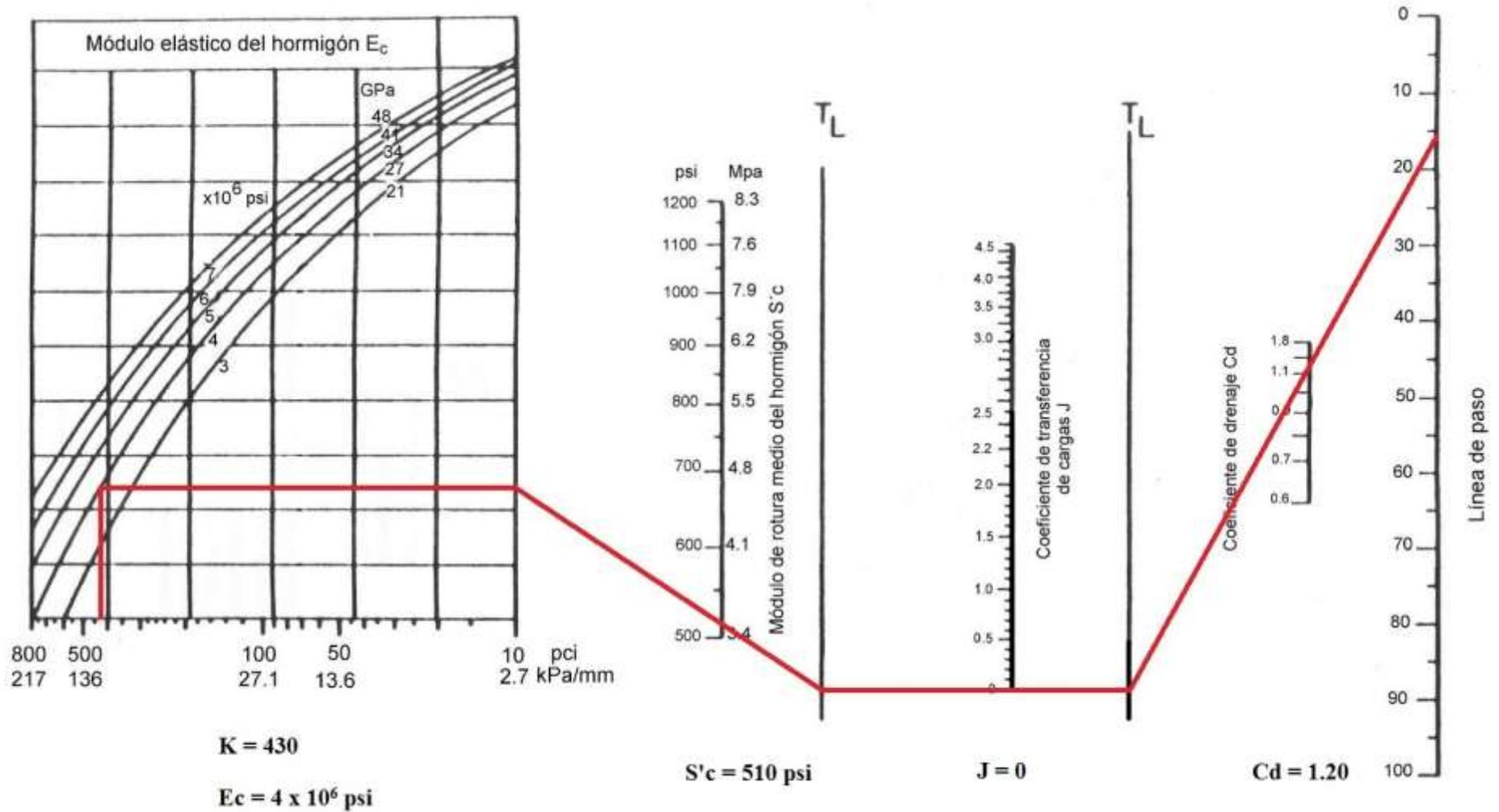
⁴Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

Tabla 25: Valores para la desviación estándar

Fuente: Material de la clase Diseño de Pavimentos

Al poder existir errores en el tránsito y ser pavimento rígido el valor a trabajar es de 0,39.

4.11.9. Ábaco de diseño para pavimentos rígidos



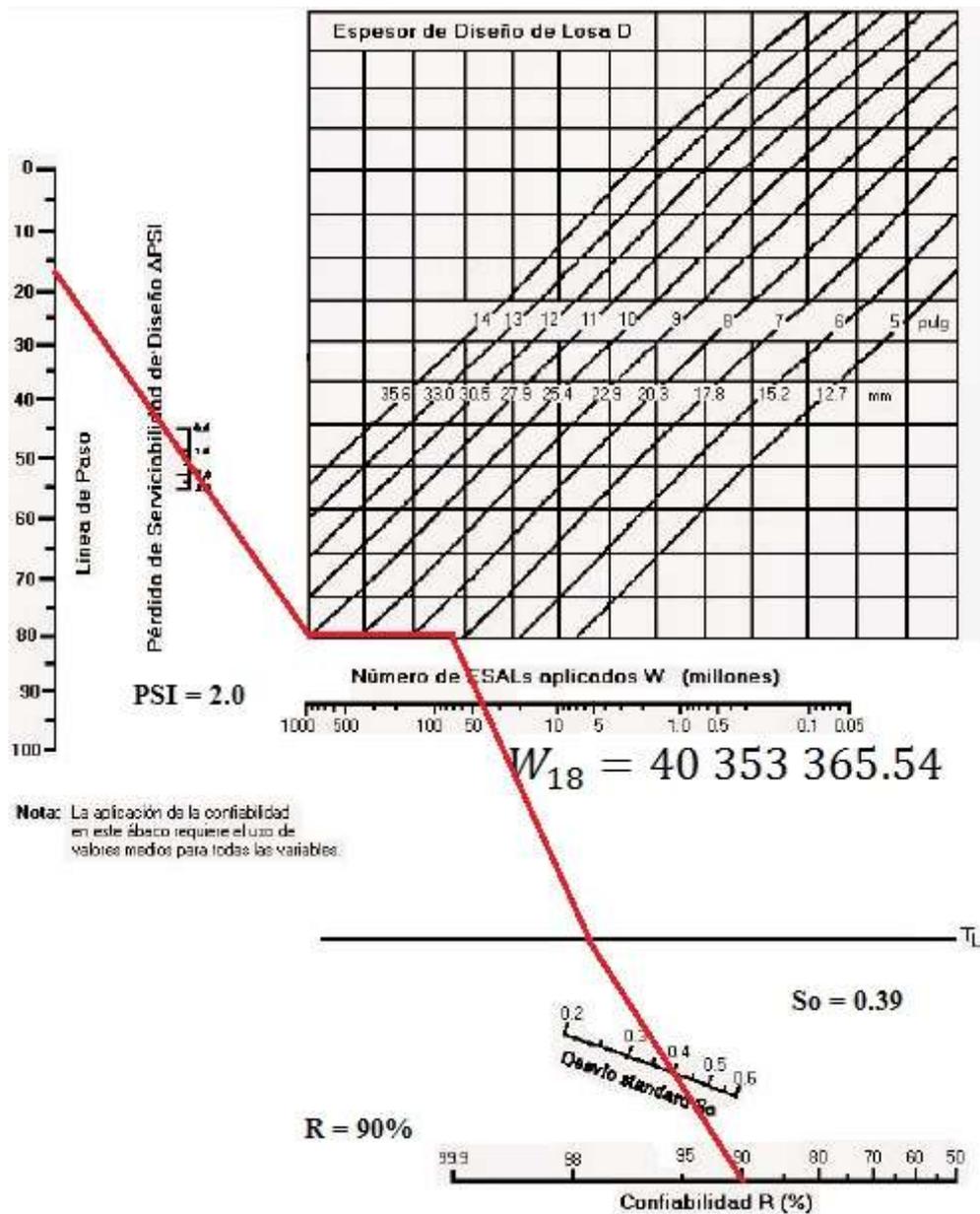
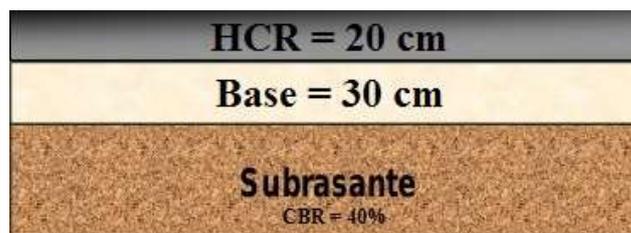


Ilustración 30: Ábaco de diseño para pavimentos rígidos

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, (AASHTO, 1993)

Espesor de pavimento: 7,4 pulg = 18,75 cm

4.12. Sección transversal:



CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El hormigón compactado con rodillo tiende a aumentar su resistencia a la compresión con la cantidad óptima de agua y los materiales apropiados tal como se comprobó con los ensayos realizados en el laboratorio de la UEES.

El hormigón compactado con rodillo a pesar de que es una mezcla levemente más costosa a comparación de un pavimento hidráulico, puede generar un ahorro aproximado de 4,5% una vez concluida su construcción.

Las áreas circundantes de la Ave. Samborondón aún no alcanzan su cien por ciento de ocupación por consiguiente es necesario vincular nuevas opciones para descongestionar el tráfico en esta zona.

El diseño de un carril más en ambas direcciones de la Ave. Samborondón de la zona selecta, claramente beneficiaría a la fluidez del tráfico vehicular, no solo en los dos kilómetros propuestos, indirectamente favorecería a toda la Ave. Samborondón pese a que la oferta de vehículos actualmente es muy inferior a la demanda.

El conteo vehicular y clasificación de vehículos es mucho más fiable al realizarlo con un aparato digital, ya que ofrece mayor precisión al momento de realizar los cálculos.

El período de vida útil del Hormigón Compactado con Rodillo es mucho mayor por las condiciones del material en comparación con el pavimento flexible que actualmente se encuentra ejecutado en la Ave. Samborondón.

Recomendaciones

Dependiendo de los volúmenes de tráfico y cumpliendo con todos los ensayos que nos recomiendan las normas según los materiales que se dispongan en el entorno, se debe probar hasta determinar la cantidad optima de agua que permita alcanzar la resistencia a la compresión para pavimentos rígidos como en este caso el HCR y aplicarlos tanto para vías con volumen de tráfico alto, mediano y bajo.

Al proponerse la construcción de un “cuarto carril” tanto de ida como de retorno y en base al volumen de tráfico que existe en los actuales momentos, se podrá superar la pequeña

diferencia que existe en ciertas horas entre la demanda vial y la oferta vehicular que está brindando la avenida Samborondón actualmente.

Aplicar en el conteo vehicular la utilización de drones que permite en oficina poder realizar un mejor conteo y clasificación de livianos, buses y pesados, tomando en cuenta las cantidades de ejes que estos generan por efecto de repeticiones en la Ave. Samborondón y poder diseñar de mejor forma los pavimentos.

Bibliografía

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. United States of America.
- ACI Committee. (2014). *327R-14 Guía para pavimentos de hormigón compactado con rodillos*. United States of America: United States of America.
- Aníbal Villón, J. (29 de Septiembre de 2015). Alcaldes de Guayaquil y Samborondón firman contrato para construcción de nuevo puente. *El Universo*.
- ASTM C125 - 16. (2014). *Terminología Estándar Relativa a los Agregados de Hormigón y Concreto*.
- ASTM C1435 / C1435 M - 08. (2014). *Práctica Normativa para la preparación de Hormigón Compactado con Rodillo en moldes de cilindros utilizando un martillo vibratorio*.
- Carvajal Lituma, M. (22 de Septiembre de 2012). *La Puntilla-Samborondón, una obra de titanes*. Obtenido de La Puntilla-Samborondón, una obra de titanes: <https://cifrasclave.wordpress.com/tag/samborondon/>
- Clave. (Marzo de 2012). *Bienes Raíces Clave!* Obtenido de Bienes Raíces Clave!: <http://www.clave.com.ec/index.php?idSeccion=630>
- E. J. Yoder, M. W. (1995). *Principio del Diseño de Pavimentos*. Canada: United States of America.
- Fernández A., R. (2011). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. Santiago de Chile: Fondo Editorial.
- Holcim Web Page. (n.d.). *Holcim*. Retrieved from <http://www.holcim.com.ec/productos-y-servicios/portafolio-holcim/cementoholcim.html>
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. (2002). *Manual de pavimentos de hormigón compactado con rodillo*. Madrid.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2014). *Ecuador en cifras*. Obtenido de Ecuador en cifras: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Mercometro. (2014). *Mercometro*. Obtenido de Mercometro: http://www.mercometro.com/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=59
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *Norma para Estudios y Diseños Viales* (Libro A ed., Vol. II). Quito: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- Miranda, E. (2016, Marzo 10). Se reorganiza el tránsito en Samborondón. *El Universo*.
- Parodi Romanó, P. V. (4 de Agosto de 2015). Tráfico impresionante en vía a Samborondón. *El Universo*.
- Tecnologimartin. (2015, Septiembre 22). *Plantilla Awesome Inc*. Retrieved from <http://tecnologimartin-2015.blogspot.com/2015/09/semana-vi-agregados.html>