

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Desarrollo de un Sistema de Drenaje para la Aplicación de Hormigón
Permeable

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Kevin Carrasco

Vinicio Peralta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

Este trabajo y mi paso por la universidad, se lo dedico en primer lugar a Dios, por ser el pilar fundamental en mi vida, guiarme y llenarme de muchas bendiciones que me permitieron llegar hasta donde estoy ahora.

A mis padres y hermanas, por darme su amor, apoyarme en cada uno de los momentos que lo necesité y por ser quienes me formaron a lo largo de mi vida.

Carrasco Cevallos Kevin Eduardo

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi familia, por todo su apoyo que me han dado a lo largos de los años, formando el profesional que soy.

A todos mis amigos, que, lastimosamente no puedo incluir en este pequeño espacio, pero que tienen una gran parte de mi corazón.

Peralta Merelo Vinicio Jesús

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme las fuerzas para no rendirme en los momentos difíciles y por bendecirme con todas las personas y situaciones que puso en mi camino para poder llegar a ser quien soy ahora. A mis padres y hermanas, por amarme incondicionalmente, por saber comprenderme en los momentos que lo necesité, por aliviar mis cargas y apoyarme en toda mi carrera.

A las dos personas en las que más me he apoyado en este último tiempo, mi compañero de tesis y hermano, Vinicio y a mi novia Daniella por ser quienes han estado en los momentos más difíciles y ayudar a esforzarme para poder dar todo de mí en mis estudios.

A todos los amigos que he hecho en la universidad y a los que aún conservo, por ayudarme a no sentirme solo en cada materia y día de mi carrera universitaria, apoyándome con su compañía y buena amistad, que espero perdure durante mucho tiempo más.

Y finalmente, a mis profesores y a la ESPOL por formarme como profesional.

Carrasco Cevallos Kevin Eduardo

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por su apoyo en todo momento de mi vida.

A mi familia, ya que siempre estuvieron para mí en los momentos en los que más los necesitaba.

A todos los amigos que he hecho a lo largo de mi vida, estén ahora o no, porque sin ellos no estaría donde estoy ahora.

Peralta Merelo Vinicio Jesús

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Kevin Eduardo Carrasco Cevallos y Vinicio Jesús Peralta Merelo y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Kevin Eduardo Carrasco
Cevallos



Vinicio Jesús Peralta
Merelo

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**MIGUEL ANGEL
CHAVEZ MONCAYO**

PhD. Miguel Chávez



Firmado electrónicamente por:
**MIJAIL
EDUARDO ARIAS
HIDALGO**

PhD. Mijaíl Arias Hidalgo

RESUMEN

La ciudad de Guayaquil, Ecuador, tiene un inminente problema de inundaciones en sus calles. Los sumideros y los desagües no han cumplido de manera correcta su función, debido a la mala cultura ciudadana o los malos diseños de los alcantarillados. Por lo que, se propone el uso de un hormigón permeable como parte de un sistema de drenaje. El lugar donde se aplicará este proyecto es en el parqueadero de la planta de hormigón San Eduardo, de la empresa Holcim Ecuador. Mediante pruebas de laboratorio, se desarrollaron diferentes placas de hormigón permeable variando su espesor e índice de poros. Se utilizó la norma ASTM C1701 para determinar la tasa de infiltración de dichas placas, y se demostró que esta característica sí depende de su estructura. También, se confirmó los tiempos de concentración estimados para el sistema de drenaje de la industria. Además, se realizó un análisis de ciclo de vida simplificado para las alternativas propuestas, en donde se determinó que el hormigón permeable no impacta de manera negativa al medio ambiente. Por otro lado, la elaboración de este proyecto tiene un costo aproximado de \$1840.42 y con una duración de obra de siete días laborables. Se concluye el aumento de eficiencia en el alcantarillado pluvial aplicando el hormigón permeable. Igualmente se comprueba la importancia de la implementación de tuberías resistentes para un sistema de drenaje.

Palabras Clave: Hormigón Permeable, Tasa de Infiltración, Sistema de Drenaje, Tiempo de Concentración.

ABSTRACT

The city of Guayaquil, Ecuador, has an endemic flooding problem across its streets. The drainage elements and sinks have not work properly, either because of the lack of culture of the citizens or poor designs. In that context, it is proposed the use of pervious concrete as part of an enhanced stormwater system. The project study area is the parking lot of the San Eduardo concrete facility (which belongs to Holcim Ecuador). Laboratory tests were conducted to develop several pervious concrete plates, varying their thickness and porosity indices. The ASTM C1701 standard was used to determine the infiltration rate of the plates and prove that this characteristic does depend on the latter properties. The estimated concentration times for the drainage system were confirmed, as well. Furthermore, a simplified life cycle analysis was carried out for the proposed options, showing that pervious concrete does not have a negative impact on the environment. On the other hand, the elaboration of this project has an approximate cost of USD 1840.42, with a duration of seven labor days. The main conclusion was the increased efficiency of the drainage system, when applying pervious concrete and the importance of the implementation of high resistance pipelines along the network.

Keywords: *Pervious Concrete, Infiltration Rate, Drainage System, Concentration Time.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IX
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIV
CAPÍTULO 1.....	15
1. Introducción.....	15
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Localización.....	17
1.3 Información básica.....	18
1.3.1 Cemento.....	20
1.3.2 Hormigón.....	28
1.3.3 Hormigón Permeable.....	35
1.3.4 Pavimentos.....	37
1.4 Objetivos.....	44
1.4.1 Objetivo General.....	45
1.4.2 Objetivos Específicos.....	45
1.5 Justificación.....	45
1.6 Restricciones.....	46
CAPÍTULO 2.....	48
2. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	48
2.1 Metodología.....	48

2.1.1	Investigaciones previas.	48
2.1.2	Pruebas de laboratorio para agregado y diseño ideal.	49
2.1.3	Aplicación en pavimentos rígidos.	50
2.1.4	Pruebas de laboratorio para espesor y porcentaje de porosidad	50
2.1.5	Aplicación en sistema de drenaje.....	51
2.2	Trabajo de campo, laboratorio y gabinete.....	51
2.2.1	Trabajo de campo	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2	Trabajo de laboratorio	51
2.2.3	Trabajo de gabinete	53
2.3	Análisis de alternativas	61
2.3.1	Descripción de alternativas	61
2.3.2	Selección de alternativa óptima.....	63
CAPÍTULO 3.....		66
3.	DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES.....	66
3.1	Diseños.....	66
3.1.1	Tasa de Infiltración	66
3.1.2	Distancia entre sumideros.....	68
3.1.3	Tiempo de Concentración	69
3.1.4	Diseño de Tuberías	71
3.2	Análisis de Resultados.....	73
3.3	Especificaciones técnicas	74
CAPÍTULO 4.....		76
4.	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA SIMPLIFICADO.....	76
4.1	Objetivos.....	76
4.1.1	Objetivo general	76
4.1.2	Objetivos específicos	76
4.2	Descripción de alternativas de producto	76

4.2.1	Hormigón Permeable	76
4.2.2	Sistema de Drenaje con Pavimento Asfáltico.....	78
4.2.3	Sistema de cubierta o techo verde	80
4.2.4	Sistema de drenaje de sumideros con hormigón convencional.....	82
4.3	Identificación de impactos ambientales	85
4.4	Valoración de impactos ambientales	87
4.5	Análisis de resultados	90
4.6	Medidas de prevención/mitigación	91
4.7	Conclusiones	95
CAPÍTULO 5.....		96
5.	PRESUPUESTO	96
5.1	Descripción de rubros	96
5.2	Análisis de costos unitarios.....	96
5.3	Descripción de cantidades de obra.....	96
5.4	Valoración integral del costo del proyecto incluyendo las medidas de prevención y mitigación del impacto ambiental.....	97
5.5	Cronograma valorado	97
CAPÍTULO 6.....		98
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
6.1	Conclusiones	98
6.2	Recomendaciones	98
BIBLIOGRAFÍA.....		100
APÉNDICE A		112
APUS, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA		112
APÉNDICE B		127
MATRICES DE LEOPOLD.....		127
APÉNDICE C.....		136

PLANOS 136

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
FHWA	Federal Highway Administration
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
WPRS	Water and Power Resources Service
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
TPDA	Tráfico Promedio Diario Anual
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
APUS	Análisis de Precios Unitarios

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetros
m	Metros
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
Km ²	Kilómetro cuadrado
h	Hora
s	Segundos
min	Minutos
kg	Kilogramos
msnm	Metros sobre el nivel del mar
°C	Grados centígrados
MPa	Megapascales

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Canal de Wellton-Mohawk (Domínguez, 2019).....	16
Figura 1.2 Localización del Sector San Eduardo (Google Earth, 2021)	17
Figura 1.3 Planta de Hormigón San Eduardo (Diario El Universo, 2019).....	18
Figura 1.4 Ubicación de Planta de Hormigón San Eduardo (Google Earth, 2021).....	19
Figura 1.5 Procesos de Fabricación del Cemento (Holcim Mexico, 2020).....	21
Figura 1.6 Proceso de Hidratación del Cemento (Land & Stephan, 2015).....	24
Figura 1.7 El Cemento y Fraguado del Hormigón (Asocreto, 2020).....	25
Figura 1.8 Tipos de Cemento (Holcim, 2015)	28
Figura 1.9 Vertido directo del Hormigón (Pavex, 2019)	29
Figura 1.10 Proceso de Elaboración del Concreto (Holcim México, 2021)	31
Figura 1.11 Hormigón de Baja Densidad (Autores).....	32
Figura 1.12 Hormigón Masivo (Hormigón al Día, 2019)	33
Figura 1.13 Muestra de Hormigón Polimérico (Fibraplus, 2019)	34
Figura 1.14 Cilindros de Hormigón Celular (Autores).....	34
Figura 1.15 Placa de Hormigón Permeable (Autores).....	35
Figura 1.16 Esquema de la Estructura del Hormigón Permeable (Autores).....	36
Figura 1.17 Elaboración de un Pavimento (Holcim Nicaragua, 2020).....	38
Figura 1.18 Uso de un Pavimento Flexible (Suárez, 2018).....	38
Figura 1.19 Composición de un Pavimento Flexible (Reyes Lizcano, 2011).....	39
Figura 1.20 Distribución de Esfuerzos del Pavimento Flexible vs Pavimento Rígido (Daily Blog, 2009)	39
Figura 1.21 Uso de un Pavimento Rígido (PSIconcreto, 2020).....	41
Figura 1.22 Composición de un Pavimento Rígido (Barajas Reina & Buitrago Martínez, 2017).....	41
Figura 1.23 Distribución de Esfuerzos del Pavimento Permeable vs Pavimento Flexible (Ardila, 2017)	42
Figura 1.24 Uso de Pavimento Permeable (Castro-Fresno et al., 2013).....	43
Figura 1.25 Distintas Presentaciones del Pavimento Permeable (Sprouse et al., 2020)	44
Figura 2.1: Área de estudio (Autores)	49

Figura 2.2 Prueba de hormigón permeable realizada en Holcim Ecuador, Planta San Eduardo (Autores).....	51
Figura 2.3 Comprobación de consistencia de hormigón permeable (Autores).....	52
Figura 2.4 Fundición de placa de 15 cm de espesor con un índice de porosidad del 15% (Autores).....	53
Figura 3.1: Ensayo de penetración de agua a la placa de 15 [cm] de espesor y 15% de índice de vacíos (Autores)	66
Figura 3.2: Disposición de las perforaciones (Autores).....	71
Figura 3.3: Corte transversal de la tubería (Autores)	72
Figura 4.1: Esquema de hormigón permeable (FHWA, 2013)	77
Figura 4.2: Estructura de pavimento asfáltico (Virginia Asphalt Association, 2005) ...	79
Figura 4.3: Situación actual de los sumideros en planta San Eduardo (Autores).....	80
Figura 4.4: Esquema de cubierta verde (Libélula, 2008).....	81
Figura 4.5: Sumidero de la planta San Eduardo (Autores).....	83
Figura 4.6: Sumidero horizontal (SERVIU, 2009)	83
Figura 4.7: Índice de Impacto Ambiental de las Alternativas (Autores)	87
Figura 4.8: Índice de Impacto Ambiental por Fases del Ciclo de Vida (Autores).....	88
Figura 4.9: Índice de Impacto Ambiental por Medios (Autores).....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Intensidad máxima [mm/h] de estación M0056 Guayaquil Aeropuerto (INAMHI, 2019)	57
Tabla 2.2: Matriz de Likert para diferentes soluciones de hormigón permeable (Gonzalo, 2015)	65
Tabla 3.1: Tasas de Infiltración de las diferentes placas (Autores)	67
Tabla 3.2 Resumen de Distancia entre Sumideros (Autores)	70
Tabla 3.3: Dosificación de las diferentes placas (Autores).....	75
Tabla 4.1: Matriz de Tito (Ingeniería Ambiental, 2018)	85
Tabla 4.2: Grado de incidencia (Ingeniería Ambiental, 2018)	86
Tabla 4.3: Calificación del Impacto Ambiental (Ingeniería Ambiental, 2018).....	86
Tabla 4.4: Medidas de Prevención o Mitigación (Autores)	91

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Implementación general del muelle
- PLANO 2 Ubicación de ánodos en tablestacado frontal
- PLANO 3 Ubicación de ánodos en tablestacado lateral norte y sur

CAPÍTULO 1

1. Introducción

En la ciudad de Guayaquil, las épocas de lluvias son comunes en las temporadas de invierno. En virtud, gran parte de los sectores de este cantón han tenido problemas de inundaciones o acumulaciones de gran cantidad de agua en las calles. Tal situación ha ocasionado que varias personas pierdan o se dañen sus pertenencias, además, de imposibilitar el paso de vehículos y de los ciudadanos.

Como solución a esta problemática, el municipio ha construido obras que puedan solventar todo este problema pluvial, como los drenajes o alcantarillados. Sin embargo, estas “soluciones” no han sido suficientes ni tampoco eficientes en el momento que se las necesita. Esto puede ser por cuestiones de diseño o también debido a que las personas dejan desperdicios en las calles ocasionando obstrucción en los canales.

Nuestro proyecto intentará solucionar el problema de inundación del parqueadero de la planta San Eduardo de Holcim. Para esto necesitará un hormigón de 21 MPa resistencia a la compresión y el diseño de un sistema de sumideros para recolectar el agua del hormigón permeable. Para el sistema de sumideros se evaluará el desempeño de diferentes espesores de hormigón permeable y de diferentes porcentajes de vacíos.

En el capítulo uno de este proyecto trata de una introducción hacia los problemas de acumulación de agua pluvial que aquejan ciertos sectores de Guayaquil y la revisión de literatura y las nuevas tendencias que existen en los últimos años. La sección dos corresponde a la metodología a utilizar. La sección número tres, trata sobre la resolución del problema considerando las restricciones existentes en el entorno y la aplicación de normas. También se mostrarán los resultados de las pruebas realizadas y el análisis profundo respectivo de los mismos. En los capítulos posteriores a los mencionados, se hace un análisis económico y ambiental del

proyecto. Por último, se deducen las conclusiones acerca de lo ocurrido a lo largo de la investigación y también las recomendaciones apropiadas.

1.1 Antecedentes

El hormigón sin finos, llamado así inicialmente en el siglo XIX, tuvo su primera aparición en la construcción de dos casas del Reino Unido. Sin embargo, dejó de utilizarse en 1923. Ese año, en Países Bajos, se construyeron 50 casas con Clinker. El uso típico de este hormigón se mantuvo para la construcción de casas, sobre todo después de la segunda guerra mundial, donde en Alemania, debido a los escombros y a la falta de trabajadores, decidieron usar los ladrillos, triturarlos, y con un poco de cemento construir casas (Tennis et al., 2004).

El hormigón sin finos tuvo su primer uso como drenaje gracias a los Servicios de Recursos de Agua y Poder (WPRS por sus siglas en inglés), en donde realizaron varios ensayos, entre ellos, de compresión, infiltración, congelamiento y deshielo. Finalmente, se implementaron en dos grandes proyectos la presa de Fresno en California y el canal de Welton-Mohawk en Nuevo México. No obstante, cada proyecto tenía problemas (Ghafoori & Dutta, 1995).



Figura 1.1 Canal de Wellton-Mohawk (Domínguez, 2019)

En Fresno, el agregado grueso comenzó a lixiviarse. En Nuevo México los porcentajes de vacíos reales fueron diferentes a los estimados en el laboratorio. Es

por esta razón que se fue perfeccionando el hormigón permeable. En Ecuador se han hecho estudios en la universidad San Francisco de Quito y en la universidad de Machala. En Holcim se implementó el hormigón permeable en un túnel en la ciudad de Cuenca, Azuay (Ghafoori & Dutta, 1995).

1.2 Localización

La localización de la zona de estudio se ubica en San Eduardo de la ciudad de Guayaquil. Este sector se encuentra en el Sur Oeste de la ciudad y posee las coordenadas $2^{\circ}11'29''\text{S}$ $79^{\circ}56'13''\text{W}$. La elevación sobre el nivel del mar más alto que se haya encontrado en San Eduardo es de 212 metros. Otros sectores populares de la ciudad que podemos nombrar y que limitan con la localización del proyecto son: Al norte – Los Ceibos, Mapasingue y Urdesa; Al sur – Estero Salado y Abel Gilbert; Al oeste con el Bosque Protector Cerro Blanco; Al este con Bellavista. La extensión de este sector es de $7.81 \text{ [Km}^2\text{]}$ y está compuesto por viviendas, áreas verdes y bosques.

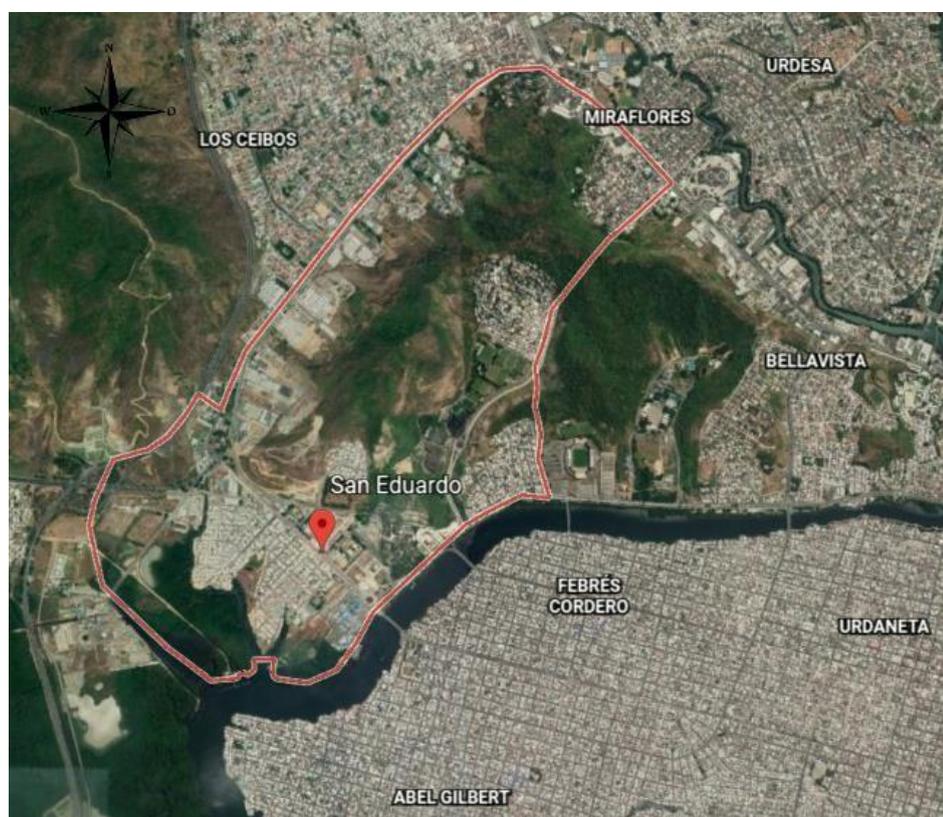


Figura 1.2 Localización del Sector San Eduardo (Google Earth, 2021)

El sector de San Eduardo cuenta con zonas urbanas, comerciales e industriales. Además, posee elevaciones y construcciones conocidas como el Cerro San Eduardo y el túnel San Eduardo. Otros lugares de referencia por los que podemos ubicar a la localización del proyecto son: el estadio del equipo ecuatoriano de fútbol Barcelona Sporting Club y la empresa cementera más grande del país, Holcim Ecuador S.A. que es el lugar de la zona de estudio.

1.3 Información básica

Holcim Ecuador S.A. es la empresa líder en la producción de cemento en el país y en varios países del mundo. Esta compañía no solo se encarga de la producción de cemento, también ofrece servicios de construcción para obras de ingeniería civil agregando la producción de agregados y concreto. Una de las características que define a Holcim como una empresa multinacional, es que está en constante aprendizaje sobre como atacar a los problemas que acogen al mundo, brindando soluciones innovadoras a las necesidades que lo requieran. Además, el ser una productora de materiales y elementos para obras de construcción, están abiertos a ser criticados por atentar con el medio ambiente. Por ello, la empresa se compromete con el desarrollo sostenible de cada uno de sus productos y soluciones, donde ha sido reconocido en varias ocasiones por tener una conciencia ambiental.

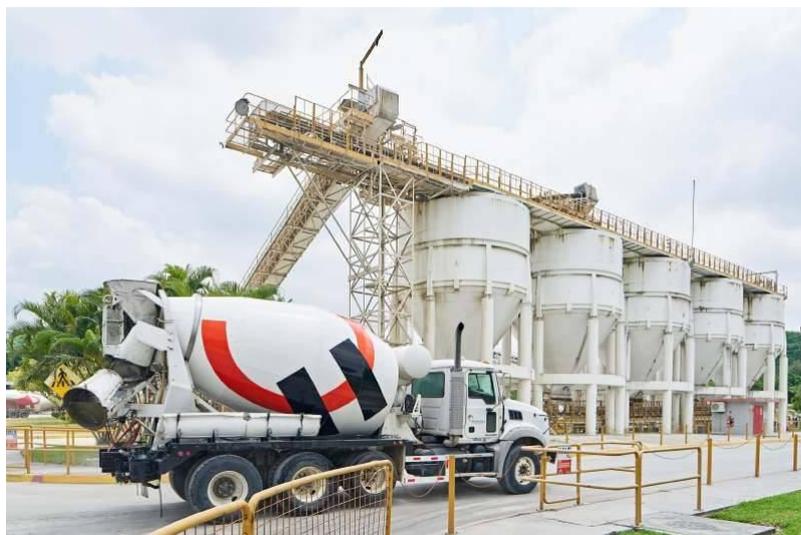


Figura 1.3 Planta de Hormigón San Eduardo (Diario El Universo, 2019)

La entidad pertenece al grupo Holcim de Suiza, y llegó a Ecuador en el año 1921 (Mosquera, 2011). En dicho país opera desde ese año, pero la empresa suiza como tal, lleva en función durante más de 100 años, desde 1912 para ser exactos (Holcim, 2015). A lo largo de los años, se ha convertido en la industria productora de cementos líder en el mundo (Arreaga, 2020). Antes poseer su aclamado nombre, la empresa como tal optaba el nombre de "Industrias y Construcciones Compañía Limitada" en el año de 1921. No obstante, es hasta 1923 que inaugura la cementera creando oportunidades de cambio en la ciudad de Guayaquil. En el año de 1948, la industria cambia su nombre a "La Cemento Nacional". Pero es hasta el año 2004 donde finalmente logra adoptar el nombre su empresa madre "Holcim", pasando a ser Holcim Ecuador S.A (Chilán & Campoverde, 2016).

En sus primeros inicios, Industrias y Construcciones producía el cemento llamado "Condor". Cuando llegó su primer cambio de nombre, el cemento producido se pasó a llamar "Cemento Rocafuerte". Al convertirse en Holcim, su cemento estrella pasa a llamarse "Holcim Fuerte" (Culqui, 2010). En Ecuador, la industria cuenta con diversas plantas alrededor del país. No solo plantas productoras de cemento, si no también plantas de concreto, plantas de agregados y moliendas de cemento. La planta de Hormigón San Eduardo es el lugar donde se realizarán las pruebas de laboratorio del proyecto. El parqueadero de la planta es el lugar en cuestión donde se centró la investigación y se encuentra en las coordenadas: 2°11'26" S 79°56'02" W, a 7 m.s.n.m.

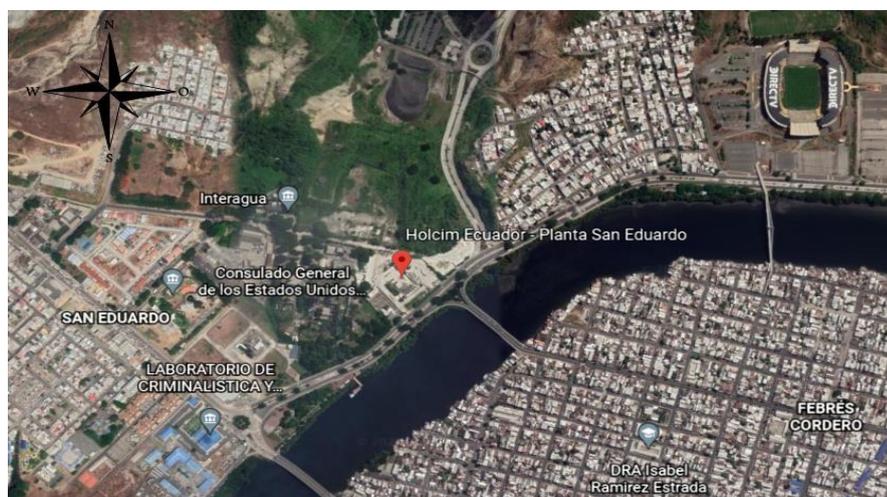


Figura 1.4 Ubicación de Planta de Hormigón San Eduardo (Google Earth, 2021)

1.3.1 Cemento

El cemento es uno de los materiales esenciales en las mezclas de hormigón y de la mayoría de las construcciones de ingeniería civil en el mundo (Garcia, 2011). Es un conglomerante hidráulico o, en otras palabras, un material capaz de unir partículas o fragmentos por medio de reacciones químicas producidas por su combinación con el agua, formando una pasta que a medida que pasa el tiempo y dependiendo de sus características se va secando, logrando un endurecimiento y unión de materiales (Locher, 2006). El cemento provee buena resistencia y una durabilidad a elementos hechos de hormigón. Estas propiedades pueden ser modificadas por los aditivos, que son componentes que alteran las funciones del cemento y su reacción con el agua (Ahmadi Moghadam et al., 2020).

1.3.1.1 Fabricación del cemento

El cemento puede parecer un elemento común de la naturaleza, pero no es así. Dicho material está compuesto por diversos minerales y materiales inorgánicos. La materia prima es obtenida mediante la trituración de rocas gigantes y también mediante la detonación de explosivos. Tras haber conseguido los elementos principales del cemento, se los transporta a una planta de agregados (Dunuweera & Rajapakse, 2018).

El material que resulta de haber triturado las rocas, se lo traslada a un molino donde se le va a reducir su tamaño. Posteriormente, se les añade otros ingredientes como minerales de hierro o también cenizas volantes para mezclarlos. Además, se dosifican las cantidades dependiendo que tipo de cemento se requiere (Sengupta, 2020).

El motivo de disminuir el tamaño de los materiales triturados es para que el calor se distribuya de mejor manera y no existan elementos que se hayan quemado más, o menos, que otros (American, 1891). Una vez pulverizado el material, se lo transporta a un silo para poder realizar la correcta homogenización de los elementos añadidos. Esto formará un solo material en forma de harina, que pasará directamente a los hornos de cemento a una temperatura aproximada de 1500°C (Jackson, 2003).

Las altas temperaturas de los hornos provocan la creación de uno de los principales elementos del cemento, el Clinker. Por medio de un horno rotatorio, el agua contenida en la mezcla es evaporada y llevan a la calcinación de componentes de carbonato. El Clinker aparece mediante la combustión de las materias primas previamente mezcladas. Este proceso químico, acaba con las impurezas de la mezcla y obtiene nuevos minerales que componen al Clinker (Van Oss & Padovani, 2002).

Tras haber pasado por el proceso de calcinación, el material resultante es llevado por un molino de rodillos para seguir moliéndolo hasta que llegue a una temperatura óptima o se enfríe levemente. Para terminar el proceso de fabricación de cemento, al Clinker resultante de los procesos anteriores, se lo combina con yeso en una proporción del 3% a 5% del total Clinker y se vuelve a triturar. Como producto final de la trituración, se tiene el cemento (Michaux et al., 1990).

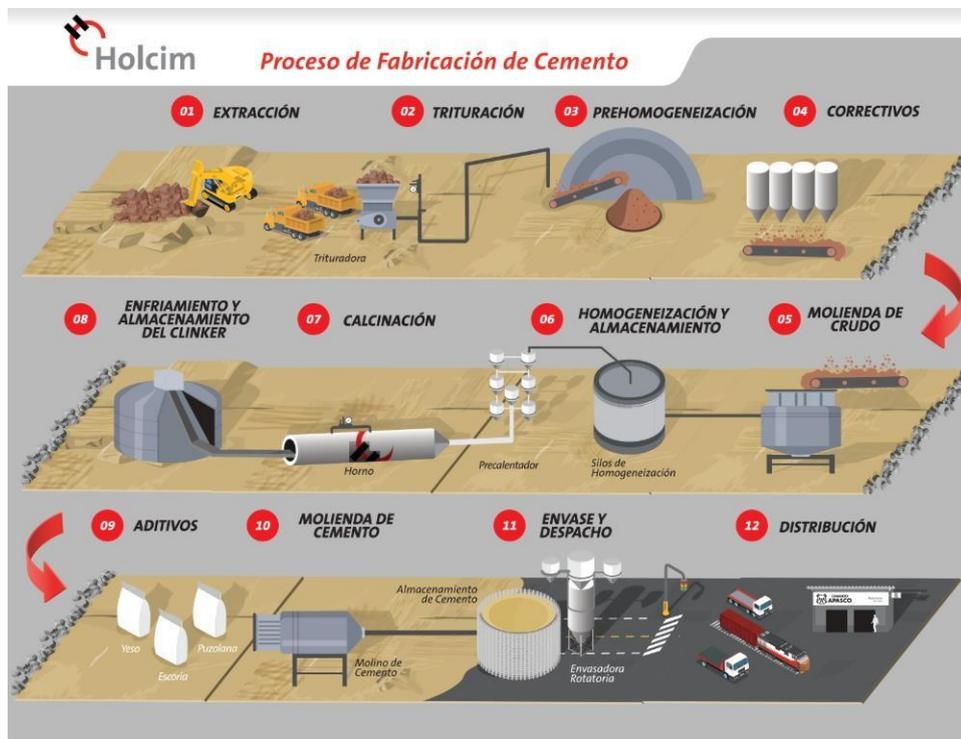


Figura 1.5 Procesos de Fabricación del Cemento (Holcim Mexico, 2020)

1.3.1.2 Componentes del cemento

Este conglomerante químico cuenta con diferentes componentes minerales, los cuales provienen de los procesos anteriores de fabricación y de la mezcla del Clinker con el yeso. Los minerales resultantes principales son cuatro, silicato tricálcico (C3S), silicato dicálcico (C2S), aluminato tricálcico ((C3A) y ferroaluminato tetracálcico (C4AF) (Hassan et al., 2021). La composición de los minerales que componen al cemento es: silicato tricálcico $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ (AlSi35) O180, silicato dicálcico $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ (Na0.5K0.5) (Al3Si42) O180, aluminato tricálcico $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ y ferroaluminato tetracálcico $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$. Estos minerales provienen de la combustión a temperaturas entre 1400 y 1500°C (Yoshioka et al., 2002).

El compuesto silicato tricálcico es influyente en la reología del hormigón, hace que el cemento en combinación con el agua se haga más viscoso y plástico (Link et al., 2020). Por otro lado, el aluminato tricálcico se presente como el compuesto más reactivo, hidratando al cemento precipitadamente y reaccionando velozmente al agua. El compuesto ferroaluminato tetracálcico es un componente que es capaz de reducir las temperaturas de fusión. Provee una hidratación acelerada al cemento. Sin embargo, no afecta a la resistencia propia de la mezcla de agua con cemento (Marchon & Flatt, 2016).

1.3.1.3 Especificaciones del cemento

Las normativas que rigen las especificaciones del cemento son 2 en el Ecuador. La norma NTE INEN es la norma nacional y la norma ASTM es la norma internacional. Para el caso de los cementos Portland se tiene que la norma ASTM C150 presenta los requisitos y especificaciones a seguir (ASTM, 2019). Por parte de la normativa nacional se tiene a la NTE INEN 152. Para cementos hidráulicos con especificaciones de requisitos en desempeño, se hace cargo la norma ASTM C1157 (ASTM Committee C01.10, 2011). Mientras que en territorio nacional se hace cargo la NTE INEN 2380 (INEN, 2002).

1.3.1.4 Hidratación, fraguado y endurecimiento

El cemento adquiere propiedades al momento de mezclarse con el agua. Estas propiedades son hidratación, fraguado y endurecimiento. En el cemento, el fraguado, la hidratación y el endurecimiento se los puede hallar mediante procesos calorimétricos. Es decir, por medio de su temperatura. Los procesos caloríficos provienen de la interacción del agua con el cemento. La hidratación del cemento otorga una propiedad reológica al hormigón, ya que es responsable de su estructuración. Cuando el cemento hace contacto con el agua, las partículas del cemento reaccionan y se crean compuestos hidratados formando la pasta de cemento. La pasta de cemento tiene la característica de endurecerse con el tiempo, pasando de estar en estado viscoso a un estado sólido (Ollivier et al., 2013).

La hidratación del cemento y lo que ocasiona en la pasta está relacionada a cuan hidratadas estén las partículas. Si las partículas de cemento son pequeñas, demandará más agua para hidratarse debido al área de superficie específica que toma el control de la velocidad de reacción de los elementos y así tener una buena consistencia. Cuando el cemento empieza a hidratarse, el primero compuesto que reacciona es el Aluminato, uno de sus principales componentes. (Klein & Phillips, 1914). En realidad, los cuatro compuestos están presentes en la hidratación del cemento. Ayudan a las partículas de cemento a diluirse con el agua. El silicato de calcio controla la disolución y reduce el total acceso al agua (Marchon & Flatt, 2016). Sin embargo, en el cemento los componentes que tienen un mayor porcentaje de composición son la alita (C3S) y la belita (C2S) con 50% y 25% respectivamente. El aluminato y la ferrita completan el resto de la estructura del cemento (Birchall et al., 1978).

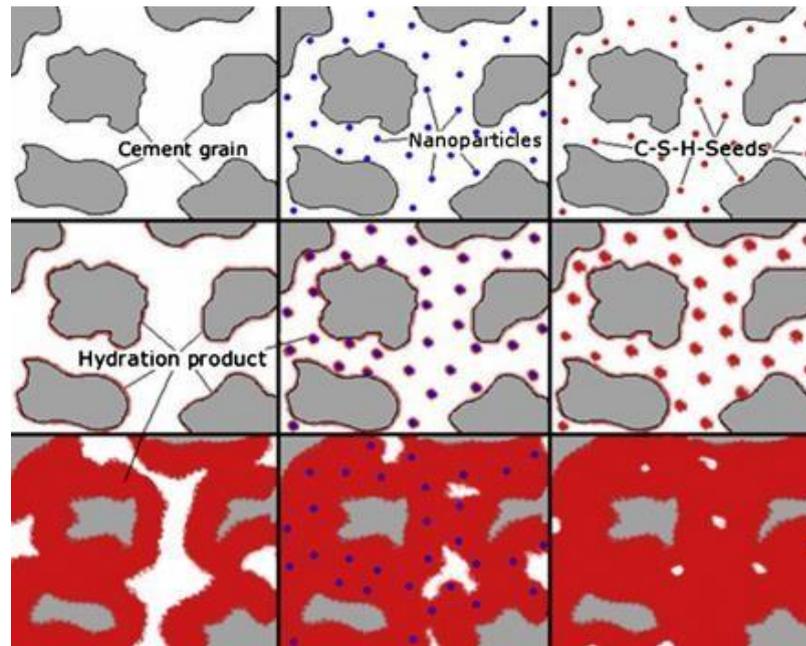


Figura 1.6 Proceso de Hidratación del Cemento (Land & Stephan, 2015)

El tiempo de fraguado se puede definir como el tiempo que le toma a la mezcla de cemento y agua, endurecerse. Este endurecimiento se lo puede clasificar como el tiempo inicial de fraguado y el tiempo final de fraguado (Romero Jaramillo, 2018). El fraguado es la característica que sirve para saber qué tan rígido es el hormigón o el mortero con determinada cantidad de cemento. Las partículas de cemento se hidratan y se unen mediante procesos de hidratación y por reacciones químicas dando como resultado a la pasta de cemento (M. H. Zhang et al., 2010). El fraguado del cemento empieza en el momento en que se agrega agua. El endurecimiento se debe a las reacciones químicas de los compuestos.



Figura 1.7 El Cemento y Fraguado del Hormigón (Asocreto, 2020)

La hidratación es un proceso exotérmico. Estas propiedades intrínsecas del cemento se rigen por la composición química del cemento. Es decir, las propiedades químicas podrán ser modificadas por medio de su composición. Algunas de estas propiedades sin contar con las mencionadas en este punto son la durabilidad y resistencia (Chatterjee, 2018). Cuando se tiene un cemento con un tiempo de fraguado reducido, se obtiene un beneficio en la reparación debido a que el tiempo de vertido es reducido también (Sorokin & Yur'eva, 1985). Una correcta composición del cemento se determina cuando los agregados que componen al hormigón o pasta de cemento se unen fuertemente y el agua no penetra en la pasta u concreto (Erdem et al., 2003).

Existen fenómenos referentes a estas características del cemento, que son modificados por otros agentes como lo son los aditivos. Aunque son más acordes al hormigón y a la pasta de cemento puesto que, se los añade cuando se mezclan los elementos. Tienen relación con el cemento ya que afectan a las propiedades de fraguado, rendimiento y endurecimiento (Uchikawa et al., 1992). Una vez formada la pasta de cemento, se pasa a la etapa de aceleración, significa que se pasará de estado plástico a sólido. El agua se ha consumido, el periodo post aceleración dictamina que se ha reducido el agua y desacelerado el proceso, endureciendo la pasta (Nwankwo et al., 2020).

La trabajabilidad del cemento es la capacidad que se tiene para manejar de mejor forma el material y se ve afectado por el tamaño de las partículas de cemento, la relación agua/cemento al momento de la mezcla (Von Daake & Stephan, 2016). Estos procesos de hidratación son de vital importancia para el tiempo de las obras. Puesto que, cuando la mezcla empieza a fraguar, la fluidez se reduce y podría ocasionar juntas frías en las capas. También es el inicio del proceso de endurecimiento del hormigón (Ghoddousi et al., 2016).

1.3.1.5 Propiedades del cemento

Las propiedades que otorga el cemento al hormigón vienen de parte de un buen diseño. Es decir, una excelente dosificación hace que los cementos provean de durabilidad y de defensas contra el deterioro de sus propiedades, alargan la vida útil (Taylor, 2012). Las propiedades físicas y mecánicas tienen gran peso en la descripción de un cemento, ya que estas características son las que dictaminan si el material está apto para poder restaurarse y tener usos clínicos (Islam et al., 2006). La resistencia es la propiedad más esperada del cemento, puesto que con ella se piensa en recrear grandes obras y construcciones de la ingeniería civil. Para generar un cemento con una resistencia elevada, en la composición se añade moderadamente un cuarzo molido (Feldman & Beaudoin, 1976).

El tiempo de hidratación está relacionado con la resistencia, mientras más compuestos hidratados haya, se incrementará la fuerza. Esto nos lleva a la relación agua/cemento, la cantidad de cemento que se necesitará para formar una buena pasta de cemento deberá ser mayor que la de agua. Mientras menor sea la relación agua/cemento, se incrementará la resistencia (Odler, 1991). La resistencia empieza a elevarse a medida que pasa el tiempo de curado, que es el control de la humedad y temperatura de la pasta de cemento. El aumento de resistencia empieza a notarse a partir de los 7 días (Saha & Pal, 1984).

Existen factores que afectan a la resistencia que otorga el cemento. El tamaño de los agregados y la porosidad inciden en esta propiedad porque no existe cohesión entre los elementos. Sin embargo, que un hormigón sea poroso tiene otros beneficios, como el drenaje (Roy & Gouda, 1973). Varias causas repercuten en las

propiedades mecánicas y pueden llegar a afectar gravemente a las mezclas con cemento. Algunos de estos factores son la relación agua/cemento, el curado y el uso de aditivos. Un mal diseño y cuidado, provoca fallos en las pruebas de las propiedades mecánicas (H. Kim et al., 2020).

Otra de las propiedades del cemento es el calor de hidratación que se da en el momento que el cemento entra en contacto con el agua. Este contacto es provocado por los componentes minerales del cemento, liberando de calor y por consiguiente, la temperatura de la mezcla empieza a aumentar (Paine, 2019). El calor de hidratación se mide en Joules por gramo de cemento. Generalmente se lo puede medir por medio de la diferencia de calor de solución de los cementos hidratados y no hidratados (Renaud et al., 2008). La durabilidad y el calor de hidratación están relacionados con la vida útil.

Si se aumenta la durabilidad, la vida útil también lo hará, pero también se ve beneficiado de la misma manera si se disminuye el calor de hidratación y la porosidad (Ramezani pour, 2014). Se debe tener precaución con esta propiedad del cemento, ya que, al enfriarse, generan grietas y contracciones. Este problema se contrarresta con un controlador de temperatura (Barnes & Bensted, 2002). Los cementos que poseen un calor de hidratación reducido tienen su uso general en cimentaciones, presas de hormigón o en estribos para puentes, debido a que el calor se manifiesta poco a poco.

1.3.1.6 Tipos de cemento

Existen diversos tipos de cementos, con diferentes características y propiedades. La composición química del cemento es lo que determina el tipo de cemento que se requiere (Aïtcin, 2016). Las normativas que determinan el tipo de cemento son: ASTM C150, AASHTO M 85, y ASTM C1157. Los requisitos que dicta la norma AASHTO M85 son los mismos que la normativa ASTM C150 (Komastka et al., 2003). Según la norma ASTM C 150, existen 5 tipos de cementos, Tipo I, II, III, IV y V. También son llamados los cementos estándar. Cuentan con usos y propiedades específicas (Claisse, 2016).

El cemento Tipo I posee una resistencia muy alta y el tiempo de endurecimiento es reducido, se recomienda su uso para entornos de baja temperatura. El Tipo II cuenta con un calor de hidratación y resistencia a sulfatos moderada, se recomienda su uso para ambientes agresivos (Chipana Ronald Dennis, 2020). El Tipo III muestra elevado calor de hidratación y se recomienda para climas fríos. El Tipo IV presenta muy bajo calor de hidratación y se usa para superestructuras. Y el Tipo V se caracteriza por una resistencia a sulfatos aumentada y para climas agresivos (Popovics, 1992).

Actualmente, la normativa ASTM C150 posee 5 nuevos tipos de cemento. Estas son variaciones de los 5 tipos mencionadas: IA, IIA y IIIA, cuya característica es el incorporador de aire de aire. También, II (MH) y III (MH) para calor de hidratación moderado y moderada resistencia a sulfatos específicos (Hasan, 2020). La norma ASTM C 1157 clasifica a los cementos por su rendimiento hidráulico. El tipo GU prioriza su uso es en construcciones en general. El tipo HE contiene una alta resistencia inicial (American Society of Testing and Materials, 2017). El tipo MS trabaja para obtener una moderada resistencia a los sulfatos. El tipo HS posee una alta resistencia a los sulfatos y sirve para construcciones hidráulicas. El MH constituye de un moderado calor de hidratación, sirviendo para bases estabilizadas o vías. El tipo LH presenta un bajo calor de hidratación (INEN, 2002).



Figura 1.8 Tipos de Cemento (Holcim, 2015)

1.3.2 Hormigón

El hormigón o concreto es uno de los pilares fundamentales de la construcción en las últimas décadas. La unión de agregados gruesos y finos junto al cemento y

agua forma este material compuesto que endurece y va ganando resistencia al paso del tiempo (Gjørnv, 2019). La palabra concreto, proviene del latín “concretus”, que significa condensado y reforzado. Fue implementado como tal a finales del imperio romano (Alhalabi Z., 2017). No obstante, la gran demanda de este compuesto ha generado una gran presión sobre los recursos naturales para agregados y cemento. Por esta razón, en los últimos años se ha hecho un esfuerzo para utilizar desechos como reemplazo de ciertos componentes (Dash & Patro, 2021).



Figura 1.9 Vertido directo del Hormigón (Pavex, 2019)

Las ventajas de esta mezcla son varias, entre ellas las más importantes son su gran durabilidad, su fácil colocación y su alta resistencia a altas temperaturas (Kodur, 2014). Un buen concreto debe satisfacer sus requerimientos en estados plásticos y reforzados. En estado plástico debe ser trabajable y libre de segregación. En su estado reforzado debe ser fuerte e impermeable (Surahyo, 2019). No obstante, la poca ductilidad y la baja resistencia a la flexión produce que no se pueda utilizar el concreto en todas secciones en una obra (Zhao et al., 2020).

Con respecto a la fabricación del hormigón, se debe tener en cuenta que se necesitan las propiedades físicas de los agregados. Se deben realizar sus ensayos de granulometría, densidad y absorción, y pasantes del tamiz N200. El ensayo de granulometría (ASTM, 2018) es fundamental para determinar el tamaño máximo

del agregado que tendrá el concreto. También sirve para determinar la mezcla óptima entre agregado fino y agregado grueso. Los ensayos de densidad y absorción varían para cada tipo de agregado. Aunque el principio es el mismo, el principio de Arquímedes, el agregado grueso (ASTM C127, 2015) se ensaya de manera diferente que el agregado fino (ASTM International, 2015).

Es imperativo este ensayo para obtener la densidad de los agregados para poder realizar un diseño de hormigón cerrando al metro cúbico, y también obtener la densidad de estos, para determinar la cantidad de agua para que estén en su estado saturado superficialmente seco. Finalmente, a ambos agregados se los expone ante el ensayo de pasantes de tamiz N200 (ASTM, 2013). Este ensayo determina la cantidad de polvo que tiene cada material, desechando el agregado con un porcentaje de polvo mayor al 2,5%. Esta información es trascendental debido a que una elevada cantidad de micropartículas absorben con mayor facilidad el agua, aumentando el requerimiento de este último producto.

Al momento de realizar la mezcla, se debe considerar el proceso en el que se vierten los elementos al tambor. Primero se debe homogenizar los agregados finos y gruesos. Luego de tener una mezcla uniforme, se procede a echar el cemento para que todos los factores logren unirse eficientemente. Finalmente, se vierte el agua junto con los aditivos, si es que existieran (American Society of Testing and Materials, 2017). Cabe recalcar que dicho proceso es aplicable tanto en laboratorio como en una escala mayor, como un mixer. Luego de mezclar bien los materiales, se pueden hacer ensayos en el hormigón fresco. Dichos ensayos varían dependiendo de las especificaciones requeridas por el que solicita el hormigón (ASTM International, 2003).



Figura 1.10 Proceso de Elaboración del Concreto (Holcim México, 2021)

En la actualidad se han desarrollado varios tipos de concreto, entre ellos (Kumar Mehta, 1993):

- De baja densidad: reemplaza el agregado grueso por esferas de poliestireno expandido para bajar su densidad (Jones et al., 2017). El uso de una celulosa es importante, ya que, si no se emplea, las bolas sólo se presentarían en la parte superficial del concreto (Pan et al., 2014).

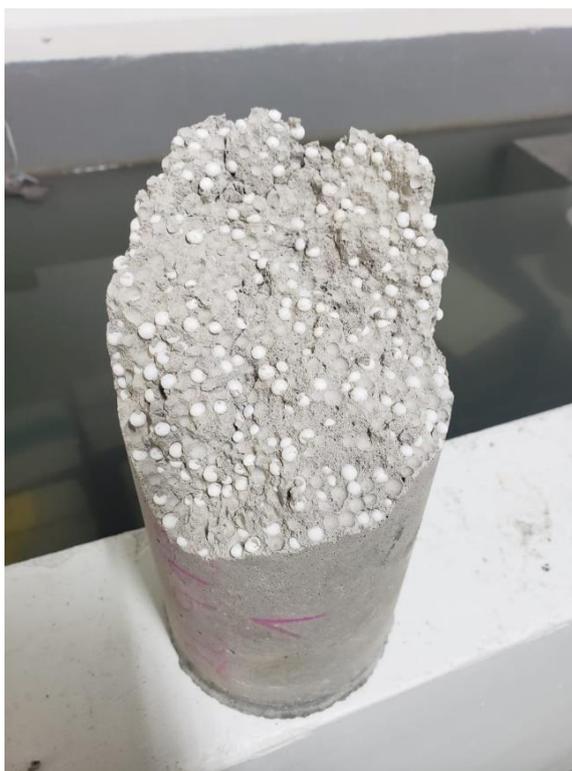


Figura 1.11 Hormigón de Baja Densidad (Autores)

- Con alta trabajabilidad: gracias a su cualidad, no requiere compactación o vibración, llegando a cualquier parte del armado, paredes y esquinas (Shiva Kumar Reddy & Nagi Reddy, 2019). A pesar de ello, la única variable notable es la cantidad de superplastificante presente en la mezcla, se puede implementar los agregados finos y gruesos con normalidad (Revilla-Cuesta et al., 2020).
- Masivos: diseñados para disipar las grandes cantidades de calor que generan al fundirse. No sólo utilizando un tipo de cemento especial, también pueden usar un sistema de tuberías para enfriar el hormigón desde su núcleo (Nguyen et al., 2019). El calor puede llegar a ser tan grande, que comienzan a existir esfuerzos térmicos en la superficie del concreto, el cual, no solo afecta el armado, sino a elementos adyacentes (Bushmanova et al., 2017).



Figura 1.12 Hormigón Masivo (Hormigón al Día, 2019)

En los últimos años, los avances en el hormigón han logrado desarrollar hormigones especiales como (Mindess, 1981):

- Poliméricos: combinaciones mecánicas de diferentes polímeros que no dependen de químicos para la unión de estos. Requieren estabilizadores para que la mezcla no se segregue y tienen las mismas propiedades que un hormigón convencional (Rodríguez Martínez et al., 2014). Se ha empleado sulfuro, debido a la gran disponibilidad en todo el mundo, para aumentar la resistencia de la corrosión en el concreto (Al-Otaibi et al., 2019).



Figura 1.13 Muestra de Hormigón Polimérico (Fibraplus, 2019)

- Celular: implementando un agente espumante, este concreto logra bajar de manera drástica su densidad, afectando su resistencia a la compresión. Su mayor propiedad es el aislamiento acústico y térmico que provee. Teniendo una gran trabajabilidad, gracias a estudios recientes se ha llegado a tener una resistencia óptima, alcanzando los 7 MPa (Chica & Alzate, 2019). Indiferente a ello, se puede utilizar diferentes tipos de espumantes, a base de agua y a base de aire. Esto afecta no sólo la composición química del hormigón, sino también el porcentaje de vacíos del mismo, e incluso el tamaño de los poros (S. Zhang et al., 2020).



Figura 1.14 Cilindros de Hormigón Celular (Autores)

- Permeable: se adentrará a detalle en la siguiente sección.

1.3.3 Hormigón Permeable

Es un tipo de concreto que tiene pocos o ningún material fino, creando así un sistema abierto y poroso por el cual se puede drenar el agua fácilmente (Lederle et al., 2020). Es un tipo de hormigón sustentable y amigable con el ambiente. Ha sido utilizado en su mayoría en climas cálidos ya que las propiedades del cemento decaen en ambientes con deshielo (Divya Bhavana et al., 2017). Gracias a diversos estudios, se ha concluido que el porcentaje de vacíos puede variar entre 10% a 35% y se pueden obtener resistencias a compresión de 3.4 MPa a 27.5 MPa, a compresión, y 1 a 3.4 MPa a flexión. Sólo para comparar, un pavimento convencional puede llegar a tener entre 24 a 34 MPa en resistencia a la compresión y 2.4 a 4.1 MPa en resistencia a la flexión (Debnath & Sarkar, 2020).



Figura 1.15 Placa de Hormigón Permeable (Autores)

La estructura del hormigón permeable se puede apreciar en el siguiente esquema. Se puede observar como el agregado grueso tiene una capa de mortero la cual funciona como pegamento para darle la resistencia deseada. También se pueden apreciar las porosidades por las cuales se infiltra el agua (Castro-Fresno et al., 2013). Aunque el agregado grueso es el que determina la resistencia máxima del

hormigón, se puede modificar el mortero, la mezcla de cemento y agregado fino, para que ayude en el aguanete. Se han implementado mezclas entre agregado finos e incluso aumentado la relación arena/cemento (Land & Stephan, 2015).

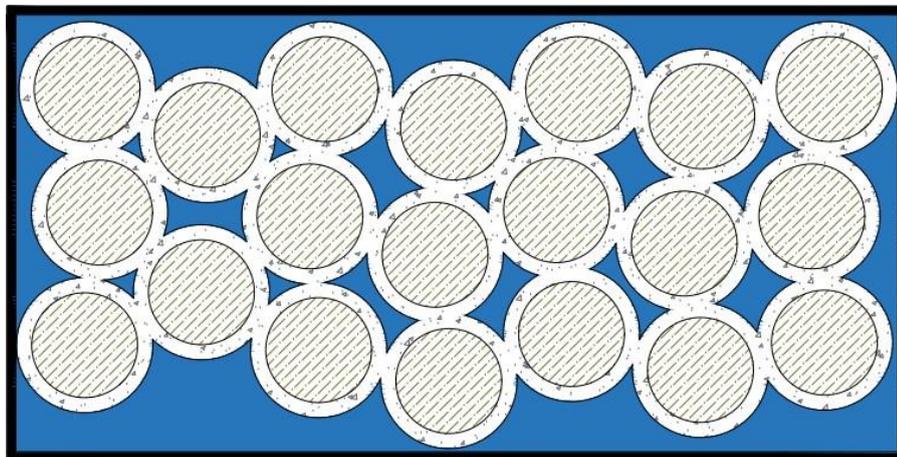


Figura 1.16 Esquema de la Estructura del Hormigón Permeable (Autores)

En la actualidad, se ha modificado la estructura de esta mezcla para obtener mejores resultados. Por ejemplo, el empleo de humo de sílice en el mismo mejora la viscosidad del material y su resistencia (Adil et al., 2020). En otros ensayos, se utilizó material reciclado, tanto agregado fino como agregado grueso, para la creación de la mezcla, obteniendo resultados similares en resistencia e infiltración (Zhu et al., 2020). La importancia de agregar polímeros al hormigón también se ha desarrollado. Dicho material aumenta la resistencia a la flexión y aumenta la densidad del concreto. No obstante, un pavimento convencional sigue teniendo mayor desempeño (Borhan & Al Karawi, 2020).

Cabe recalcar que el mayor uso de este concreto es para pavimentos, usualmente parqueaderos, o para aceras y caminos residenciales. Básicamente, en una localidad donde se necesite drenar agua, y no demande mucha resistencia a la compresión (Divya Bhavana et al., 2017). Sin embargo, se puede llegar a aumentar la resistencia a la compresión empleando un agregado grueso de mayor densidad. Debe ser similar a los usados en pavimentos para poder llegar a esta capacidad (Sun et al., 2018). La compactación es relevante, debido a que el hormigón permeable se considera como una alternativa al pavimento. Se debe considerar,

también, el agregado que se encuentra por debajo del mismo, ya que este absorberá agua y puede llegar a expandirse, dañando la estructura de la mezcla (Zhong et al., 2018).

1.3.4 Pavimentos

Los pavimentos son elementos de estructuras viales, las cuales están específicamente diseñadas para soportar los esfuerzos producidos por vehículos de cualquier tamaño hacia la subrasante, sin que la capacidad portante de la misma no se vea afectada (Chapoñan Cueva & Quispe Cirilo, 2017). Las características propias de un pavimento se dividen en funcionales y estructurales. De manera estructural, el pavimento se rige a sus deflexiones y al espesor de capa, debido a que hacen referencia a la capacidad estructural del pavimento (Janani et al., 2020).

De otra manera, las características funcionales se relacionan con la seguridad de los usuarios. Es así, que poseen resistencia alta a fallas y deslizamientos, buena calidad de textura, medición de tensión y adecuado nivel de reflejo (Rada et al., 2012). Estas propiedades se alcanzan cuando el pavimento tiene un apropiado diseño y consideraciones económicas. Por otro lado, el pavimento sirve para brindar buen color, aislar ruidos y de una rodadura uniforme resistente al tráfico vehicular (Ranadive & Tapase, 2016).

Así como los pavimentos poseen ciertas propiedades benefactoras, también están expuestos a cambios que alteran su calidad y trabajo. El cambio climático es el causante principal de los deterioros de pavimentos. Factores como: temperatura, humedad, nieve, viento, nivel del mar, mitigación ocasionan deterioros en su composición (Qiao et al., 2020). Sin embargo, estas capas están expuestas a fallas, las cuales pueden ser las fisuras, grietas, deterioro superficial, ahuellamiento, retracción, juntas y otros deterioros derivados de estos mencionados anteriormente (Francois et al., 2019). Cada una de estas es capaz de tener la mejor calidad posible. Además, las capas inferiores pueden ser de menor calidad, ya que son las que menos esfuerzos van a recibir, a diferencia de la primera capa. Esta última se encarga de transmitir los esfuerzos, procurando no dañar la última capa (Gomez Vallejos, 2014).



Figura 1.17 Elaboración de un Pavimento (Holcim Nicaragua, 2020)

1.3.4.1 Pavimentos Flexibles

En el mundo, alrededor del 95% de las construcciones de calles y carreteras están conformadas por pavimentos flexibles están compuestos por una carpeta asfáltica en la parte superior, base y subbase que lo componen agregados, y subrasante siendo ésta ultima la capa natural del suelo (Gautam et al., 2018).



Figura 1.18 Uso de un Pavimento Flexible (Suárez, 2018)

Los pavimentos flexibles cuentan con un aglutinante natural, que es el Betún asfáltico. Este material se encarga de dar cohesión a la mezcla y permite que los

elementos se puedan adherir. El betón se lo utiliza principalmente por sus características viscoelásticas. En los pavimentos rígidos, el aglutinante es el cemento (Aziz et al., 2015).

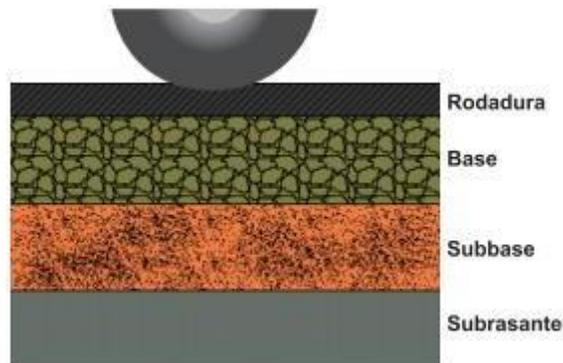


Figura 1.19 Composición de un Pavimento Flexible (Reyes Lizcano, 2011)

Al no tener una primera capa conformada por una losa, los esfuerzos de van a transmitir de manera diferente, de forma puntual. Además, poseen más número de capas logrando que puedan resistir grandes deformaciones (Burgos Vasquez, 2014). Aun teniendo gran resistencia a deformaciones, los pavimentos flexibles a comparación de los pavimentos rígidos, no cuentan con una gran durabilidad, frecuentando daños y fallas si no se le aplica el correcto mantenimiento (Alsaif et al., 2018).

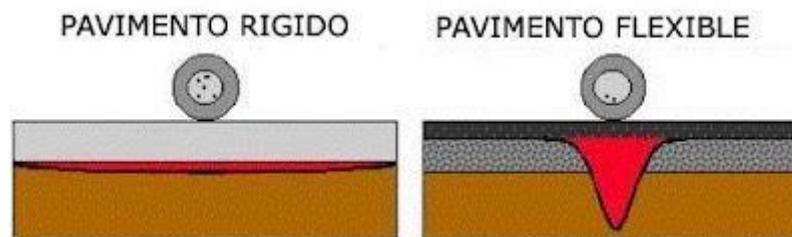


Figura 1.20 Distribución de Esfuerzos del Pavimento Flexible vs Pavimento Rígido (Daily Blog, 2009)

Por las citadas razones, en la capa asfáltica los esfuerzos se distribuyen de forma puntual logrando que los esfuerzos se centralicen mucho más cerca del área cargada (Solanki & Zaman, 2017). Los pavimentos flexibles son usados

generalmente en autopistas, aeropuertos y carreteras, debido a su buena resistencia frente a cargas pesadas, tráfico, deslizamientos (Hassani et al., 2020).

Como todo elemento estructural y de obra civil, los pavimentos flexibles en virtud de su uso están expuestos a sufrir fallas. Mientras más se utilicen los pavimentos flexibles y menos mantenimiento se les dé, van a experimentar fallas por agrietamiento a causa de la fatiga, exudación, ahuellamiento y baches (Elnashar et al., 2019).

Los principales factores que inciden en el deterioro de los pavimentos flexibles provienen de las tensiones elevadas en el pavimento, ocasionando que se formen grietas y pequeñas roturas. Adicional a esto, la temperatura y el paso repetido de vehículos extremadamente pesados repercuten en el desgaste de estos elementos. Debido al costoso mantenimiento, muchas veces se omite este proceso. En consecuencia, se requiere de un mejor diseño investigando a fondo las fallas estructurales y funcionales en las vías.

1.3.4.2 Pavimentos Rígidos

Tienen varios usos, entre los cuales se pueden enlistar, aeropuertos, carreteras, parqueaderos, lugares de operación de vehículos pesados, pisos industriales, etc. (Montalvo Guevara, 2015). Las principales características mecánicas que posee un pavimento rígido son la resistencia a la carga de tráfico vehicular y la durabilidad como elemento estructural. Además, un pavimento rígido proporciona bajos costos de mantenimiento junto con una vida útil aumentada (Pillay et al., 2020). La vida útil de un pavimento rígido de buena calidad es de aproximadamente 40 años, siendo la vida útil entre 15 a 20 años. Las partes que componen a un pavimento rígido son, la losa de concreto, base, subbase y subrasante. Se puede decir, que la losa del pavimento, es una placa sobrepuesta sobre un suelo elástico (Olita et al., 2020).



Figura 1.21 Uso de un Pavimento Rígido (PSIconcreto, 2020)

Los pavimentos rígidos están conformados por losas de hormigón unidas por juntas longitudinales y transversales. Están exclusivamente construida para que pueda aguantar las grandes cargas producidas por el tráfico (Shaban et al., 2020).

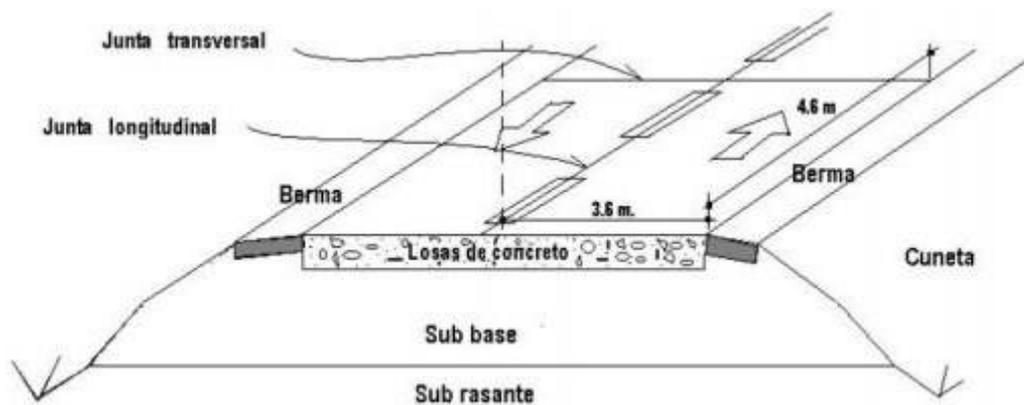


Figura 1.22 Composición de un Pavimento Rígido (Barajas Reina & Buitrago Martínez, 2017)

Debido a su composición, los pavimentos rígidos tienen la característica de poder distribuir los esfuerzos del tráfico vehicular de manera uniforme y por toda la placa de concreto. Esto se debe a que los desplazamientos verticales se asocian al rendimiento del pavimento (S. M. Kim & McCullough, 2003). Los pavimentos rígidos se clasifican en 3 grupos: pavimentos de concreto de refuerzo continuo que no poseen juntas de contracción; pavimentos de concreto reforzado con juntas que

tienen la característica de poseer una losa más larga y los pavimentos de concreto simple con juntas que son los más accesibles y fáciles de construir (Sedano & Sedano, 2019).

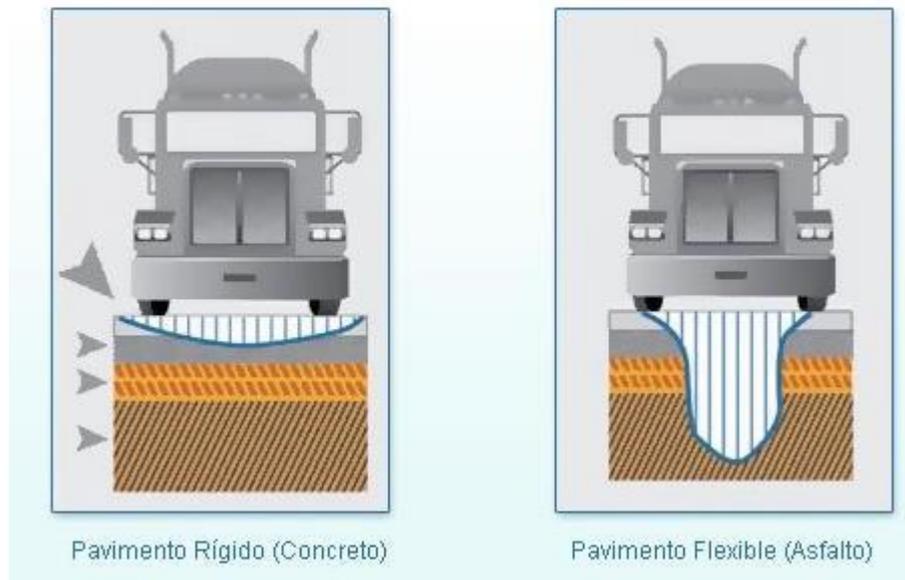


Figura 1.23 Distribución de Esfuerzos del Pavimento Permeable vs Pavimento Flexible (Ardila, 2017)

Los pavimentos rígidos tienden a sufrir defectos estructurales y funcionales, debido a que las cargas que son proporcionadas por los vehículos forman fisuras por fatiga y fallas en las juntas transversales y bombeo. Estas cargas se dan de manera repetida y es ocasionada mayormente por vehículos pesados (Kabir & Hiller, 2021). Algunas de las fallas y deterioros de los pavimentos rígidos también son ocasionados por los cambios climáticos. Estos cambios, tienen presencia en la superficie del pavimento, afectando a su capacidad funcional mostrando grietas por contracción o el desgaste del material (Niken et al., 2020).

Existen fallas que a simple vista no se pueden notar. Sin embargo, la rugosidad del pavimento es un factor determinante para estudiar en qué estado se encuentra el pavimento. Es así, que se pueden evitar problemas de daños a vehículos y permitiendo que tengan excelentes trayectos (Elghriany et al., 2016). Recientemente, se ha optado por preferir la construcción de pavimentos rígidos, ya que estos pavimentos cuentan con una mayor durabilidad y pueden reducir el

impacto ambiental e incremento del costo de la elaboración de los asfaltos, que provienen del petróleo (Pacheco-Torres et al., 2018).

1.3.4.2.1 Pavimentos Permeables

Estos poseen una capa que permite el paso de fluidos hacia una capa interior. El diseño apunta al almacenamiento y conducción tardía de aguas pluviales. Los pavimentos permeables no son un tipo de pavimento, más bien forman parte de los pavimentos rígidos debido a que poseen una capa de hormigón permeable, lo cual es la causa de su nombre (Saadeh et al., 2019).

Las características de este tipo de pavimento rígido brindan soluciones a problemas de efectos de isla de calor en una urbe, y escorrentías extremas. Al reducir estos efectos, marca una diferencia sobre aquellos pavimentos que utilizan asfalto convencional (Lu et al., 2019).



Figura 1.24 Uso de Pavimento Permeable (Castro-Fresno et al., 2013)

En ocasiones, el pavimento permeable cuenta con otros materiales para poder aprovechar de mejor manera este elemento estructural. Consecuentemente, se les agrega a su composición telas de geotextil para separar reservorio y subrasante, y tuberías de drenaje para las descargas (Kayhanian et al., 2019). Un mantenimiento correcto de pavimento permeable es de vital importancia si se requiere usar este elemento de manera sostenible, debido a que ayuda a mejorar la calidad de agua pluvial que se infiltra, porque sirve como filtro (Razzaghmanesh & Borst, 2019).



Figura 1.25 Distintas Presentaciones del Pavimento Permeable (Sprouse et al., 2020)

Además, los mantenimientos periódicos ayudan con la obstrucción partículas atoradas en la superficie permeable, evitando así que se disminuya la calidad del drenaje y el rendimiento (Kia et al., 2021). Los estudios sobre los pavimentos permeables tienen sus primeros usos en USA y Japón, en los años 80. Debido a su composición y a su baja resistencia, el uso de este elemento se ve limitado a ciertos lugares como plazas, estacionamientos y parques (Yang & Jiang, 2003). La resistencia esperada de los pavimentos permeables convencionales está en un rango de <math><30\text{ MPa}</math> y la porosidad que posee en los diseños, va desde los 15 a 35% (Sumanasooriya & Neithalath, 2011).

1.4 Objetivos

El presente proyecto tiene como fin responder las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuán beneficioso es el usar un hormigón poroso con respecto de un hormigón convencional para la construcción de pavimentos rígidos?
- ¿Cuál es la incidencia entre el porcentaje de filtración vs espesor en una placa de hormigón permeable?
- ¿Qué papel juega la porosidad en cuanto a la efectividad del drenaje en un concreto permeable?

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar un sistema de sumideros para el parqueadero de la planta San Eduardo de Holcim, utilizando hormigón permeable para mejorar el drenaje pluvial.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Comparar las ventajas que ofrece un hormigón permeable con respecto de un hormigón convencional.
- Analizar el desempeño del hormigón permeable variando su espesor y su porcentaje de vacíos.
- Diseñar un sistema de sumideros, usando hormigones permeables en diferente espesor y disposición.

1.5 Justificación

De acuerdo con lo experimentado en sectores urbanos inundados, el hormigón permeable se presenta como una medida eficaz y de grandes beneficios para el ahorro de recursos hídricos, el medio ambiente y la reducción de contaminación en la descarga de alcantarillado pluvial. En la actualidad, en otras partes del mundo se ha propuesto como una solución sostenible al hormigón permeable que ha brindado buenos resultados.

Si en cada sector con problemas de acumulación de agua pluvial, se implementara el hormigón permeable como pavimento de una calle, avenida o estacionamiento, la cantidad de agua de lluvia captada sería mucho mayor en comparación a si se usase un alcantarillado convencional. Esto se da porque éste último puede estar en riesgo de estancarse y ocasionar más problemas. Además, el agua captada podría ser redireccionada a un reservorio, donde se la trataría para el consumo humano.

Existen muchos beneficios que brinda el concreto permeable. Sería un error no poder contar con este tipo de proyecto, porque es un gran aporte a cualquier sector que tenga problemas con la descarga de agua lluvia.

Por otro lado, el concreto permeable otorga condiciones de conducción mucho más estables a comparación de un pavimento fabricado con hormigón convencional. Esto se explica porque la permeabilidad del concreto tiene como una de las características minimizar la película de agua que se logra formar cuando se tiene una precipitación elevada. En adición a lo mencionado con anterioridad, al tener una superficie porosa, se disminuye el reflejo de los brillos y la formación de salpicaduras de agua.

1.6 Restricciones

Debido a la naturaleza del hormigón permeable (bajas resistencias), no se podrá utilizar esta investigación para una vía principal o una avenida con cargas pesadas. Sólo en el caso de una vía principal, se necesitaría realizar un estudio de tránsito e identificar la carga máxima que soportará el hormigón. Si se requiriese implementar la misma dosificación del hormigón permeable en otro parqueadero, es recomendable caracterizar el agregado a utilizar antes de la fundición final. Estos ensayos de caracterización son: índice de masa compactada y suelta; y densidad y absorción.

La topografía del terreno podría ser un problema para la elaboración de este proyecto. Generalmente, lo primero que se piensa cuando se trata de un desfogue de agua lluvia, es que el lugar donde tiene que ser empleado debe contar con una mínima pendiente (ej. 0.5%). Sin embargo, dicha inclinación no debe ser demasiado pronunciada (ej. >3%) ya que ocasiona escurrimiento del agua en la parte de abajo y provocando daños cerca de la capa de rodadura.

Otra restricción que hay que tener en cuenta es la saturación por medio de finos. Este problema se origina cuando no se hace un correcto mantenimiento del hormigón. Si bien es una gran ventaja evitar el taponamiento por desperdicios grandes, también existen los materiales finos. Estos provocan obstrucciones aún

peores dentro del consolidado. El resultado de no tener cuidado con este tipo de estructuras es que se puede generar pérdidas de dinero tanto en daños, como en arreglar el problema.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Metodología

El proyecto presente está orientado a una metodología investigativa. Incluyó revisión literaria acerca de casos de aplicación de hormigón permeable, pruebas de laboratorio con relación a la composición y diseño de la mezcla, así como elección de una alternativa óptima para emplearla en un sistema de drenaje. Del mismo modo, se implicó elaboración de planos, el respectivo presupuesto del proyecto y conclusiones acerca del trabajo realizado.

2.1.1 Investigaciones previas.

Para poder realizar un proyecto que contenga hormigón permeable, se deben hacer investigaciones acerca del mismo, con la finalidad de recopilar y estudiar toda la información que conlleva un tema tan extenso. Desde requerimientos mínimos, qué agregados se usaron, hasta dónde se han aplicado los concretos permeables, son algunos de los factores iniciales que se tomaron en cuenta para poder comenzar el presente proyecto integrador.

Inicialmente, lo que se averiguó con los estudios fueron los componentes que conforman al hormigón permeable. Así como también, la cantidad de cada uno de los materiales a usar. Como se mencionó anteriormente, el concreto permeable lo constituye en su mayoría el agregado grueso y en una cantidad mínima de agregado fino. Esta información fue corroborada en la literatura existente. Por lo que, se procedió con una selección de agregados para las respectivas pruebas de laboratorio.

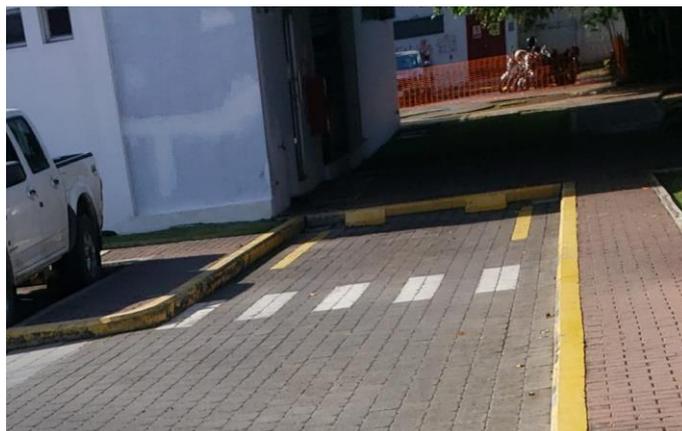


Figura 2.1: Área de estudio (Autores)

La acumulación de agua en el sitio de estudio (parqueadero) es el principal problema. El tipo de uso de esta clase de hormigón conlleva precisamente a estos establecimientos. La mayoría de los casos que se han averiguado, han utilizado al concreto permeable como solución para acumulaciones de agua en parqueaderos. En vías sin tráfico pesado ha habido aplicaciones, pero no han sido tan numerosas como con los estacionamientos, porque no es tan común encontrar vías por donde no pase algún vehículo pesado.

2.1.2 Pruebas de laboratorio para agregado y diseño ideal.

En primer lugar, se determinó los componentes del hormigón permeable y las proporciones de estos en los diseños. Con la selección de agregados y utilizando un cemento HE de alta resistencia inicial, se procedió con las pruebas de laboratorio para poder encontrar un agregado que añada una resistencia a la compresión esperada de 21 MPa y con una buena filtración de agua por los vacíos.

El mayor problema que se encontró en los ensayos con los agregados es la adherencia con la pasta de cemento. Es decir, que no exista cohesión o unión entre elementos. Además, se debe tener cuidado con la cohesión, debido a que debe existir un determinado porcentaje de vacíos para que pueda ocurrir la filtración de agua en el hormigón permeable.

Debido a lo anterior, en los diseños de las mezclas se incluyó un aditivo plastificante. Sin embargo, esto añade otro cuidado en la mezcla ya que la pasta puede hacerse tan fluida

que en la aplicación de placas o el moldeo de probetas para las pruebas se vaya al fondo. Si esto ocurriese, se taparía el inferior de estos elementos y perjudicando los ensayos de filtración.

2.1.3 Aplicación en pavimentos rígidos.

Como se ha dicho con anterioridad, este proyecto fue aplicado en un parqueadero, en donde se contó con un pavimento rígido para poder llevar a cabo la obra. Se investigó los requerimientos de este tipo de pavimentos, en donde los estudios se centraron en la capa superior de los pavimentos rígidos que es la losa de hormigón. De esta manera, se logró reemplazar esta placa de hormigón convencional con una de hormigón permeable.

En esta investigación, se halló datos de espesores mínimos de losas para pavimentos rígidos, para poder elaborar las pruebas de laboratorio. Se obtuvo diferentes escenarios, debido a que se cuenta con diferentes espesores y porcentajes de porosidad. Se tomó como ejemplo el requerimiento mínimo de espesor y demás casos de estudio de hormigón permeable. En tal contexto, se realizaron las respectivas comparaciones entre las placas.

2.1.4 Pruebas de laboratorio para espesor y porcentaje de porosidad.

Una vez elegidos los casos de estudio tanto para espesor como para porcentajes de porosidad, se procedió con la combinación de casos. Es decir, se probó espesores con diferentes porosidades para al final elegir la combinación con mejores resultados. Esto se hizo con el fin de poder aplicar el pavimento rígido, ligado al sistema de drenaje.



Figura 2.2 Prueba de hormigón permeable realizada en Holcim Ecuador, Planta San Eduardo (Autores)

2.1.5 Aplicación en sistema de drenaje.

Diseñar el sistema de drenaje es el resultado final de este proyecto, incorporando la mejor combinación de resultados de las pruebas realizadas. Se empleó conocimientos de diseño de sistemas de drenaje, hidráulica e hidrología para diseñar el sistema. El diseño como tal, se encuentra en el capítulo 3. Cabe mencionar, que en el diseño se tomó en cuenta con las restricciones mencionadas en el apartado 1.6.

2.2 Trabajo de laboratorio y gabinete

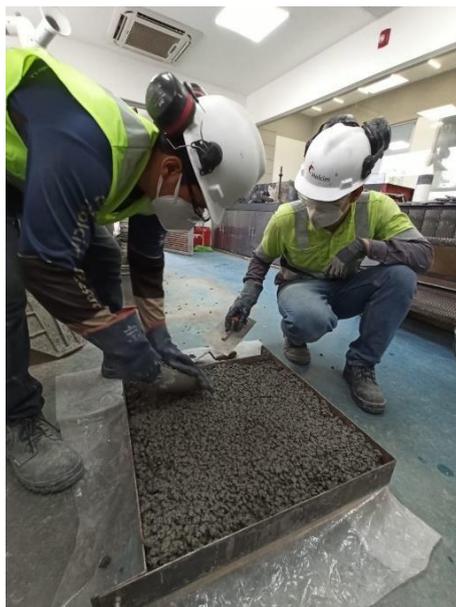
2.2.1 Trabajo de laboratorio

Como ya se ha mencionado, se realizaron las diferentes placas con diferentes espesores e índices de porosidad. Se tuvo que retirar el material de la planta Pascuales, ya que la piedra de basalto sólo se despacha en dicha planta. El cemento que se utilizó fue el Holcim Premium. La consistencia de la mezcla se verificó formando una esfera del hormigón, y comprobando que no se deshaga o que escurra demasiada agua.



Figura 2.3 Comprobación de consistencia de hormigón permeable (Autores)

Al momento de fundir, las diferentes placas se compactaron utilizando un vástago cuadrado y se enrazaban utilizando una viga de aluminio. Se tuvo precaución cuidado en los bordes y las esquinas del molde, porque, al no ser un hormigón convencional, este no se puede vibrar, por lo que se debieron rellenar los vacíos manualmente. Los ensayos se dejaron reposar por dos días en el molde, luego se desencofraron, etiquetaron y guardaron para su respectivo ensayo de permeabilidad. El proceso de curado se llevó a cabo rociando agua con una manguera, o en su defecto, un balde de agua. Cabe recalcar que el movimiento de la placa desprendió una pequeña cantidad de agregado de esta. La cantidad no excedió el 1%, debido a que se trataban de entre 5 a 10 piedras. No obstante, esto es común en esta clase de hormigón.



**Figura 2.4 Fundición de placa de 15 cm de espesor con un índice de porosidad del 15%
(Autores)**

2.2.2 Trabajo de gabinete

2.2.2.1 Tasa de infiltración

Se midió la tasa de infiltración del hormigón permeable según la norma ASTM C1701. En dicho ensayo, se emplea un anillo de infiltración de 50 [mm] de altura mínima y 300 ± 10 [mm] de diámetro. Dentro del anillo se debe marcar dos líneas desde el fondo, de 10 y 15 [mm] respectivamente. El fondo del anillo debe ser recto.

El ensayo comienza limpiando el área de prueba, quitando el polvo o cualquier otra partícula que pueda interferir. Se coloca el anillo con las marcas internas hacia abajo y se sella con alguna pasta sellante. Se realiza un pre-humedecimiento, en donde se debe mantener el caudal entre las marcas internas del anillo. Para esto se utiliza un total de 3.60 ± 0.05 [Kg] de agua. Se debe medir el tiempo de este paso desde que el agua topa la superficie del hormigón permeable hasta que ya no exista agua superficial, cerrando el tiempo la décima de segundo más cercana. El ensayo debe continuar luego dentro de 2 [min] después de la fase de pre-humedecimiento. Si esta fase duró menos de 30 [s], se debe utilizar 18.00 ± 0.25 [Kg] de agua total. Si el tiempo fue mayor o igual a 30 [s], se debe utilizar 3.60 ± 0.05 [Kg] de agua total.

Posteriormente, se debe verter el agua para mantener un caudal constante entre las marcas internas del anillo de infiltración. Se debe medir la masa de agua al 0.05 [Kg]

más cercano. Se debe medir el tiempo de este paso desde que el agua topa la superficie del hormigón permeable hasta que ya no exista agua superficial, cerrando el tiempo al 0.1 [s] más cercano.

Si el ensayo se repitiese en el mismo lugar, el ensayo no requeriría pre-humedecimiento si se realiza dentro de 5 min después del primer ensayo. Si se realizaran dos ensayos en el mismo día en el mismo punto, la tasa de infiltración será el promedio de los dos ensayos. No está permitido ejecutar más de dos ensayos al día en el mismo punto.

Para calcular la tasa de infiltración, la norma utiliza la siguiente fórmula:

$$I = \frac{K M}{(D^2 t)}$$

(Ecuación 2.1)

Donde:

K = Factor necesario para convertir las unidades de los datos en unidades de infiltración, tiene un valor de 4 583 666 000 [(mm³·s) / (Kg·h)].

M = Masa de agua infiltrada, en [Kg].

D = Diámetro interno del anillo de infiltración, en [mm].

t = Tiempo requerido para que la masa de agua infiltre el hormigón, en [s].

I = Tasa de infiltración, en [mm/h].

El equipo que se empleó en la planta San Eduardo fue la parte superior de un balde recto, cortado para tener la altura mínima requerida por la norma. Como fue especificado, se estableció un marcado dentro del balde y se mantuvo el caudal de agua entre las marcas. La pasta sellante utilizada fue plastilina, ya que se determinó que servía como un buen sellante y, además, era fácil de conseguir.

2.2.2.2 Espaciamiento entre Sumideros

Para calcular el espaciamiento entre sumideros, se empezó calculando el caudal total del canal. El cálculo es necesario para demostrar que, implementando el hormigón permeable, la distancia máxima entre sumideros puede ser mayor a la de un hormigón

convencional, o en su defecto soportar mayor intensidad de lluvia. Todas las fórmulas utilizadas se extrajeron del Urban Drainage Design Manual (FHWA, 2009). Se calculó el caudal total que entra a un sumidero directamente con la siguiente fórmula:

$$Q_a = \frac{3}{8} \frac{\phi}{n} S_x^{\frac{5}{3}} \sqrt{S_o} T^{\frac{8}{3}}$$

(Ecuación 2.2)

Donde:

Φ = Constante de la ecuación, igual a 1 en sistema internacional o 1.5 en sistema inglés, adimensional.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

S_x = Pendiente lateral del canal, en [m/m].

S_o = Pendiente longitudinal del canal, en [m/m].

T = Ancho superior del canal, en [m]

Este caudal, Q_a , representa el caudal que transporta el canal, en [m³/s]. No obstante, existe un caudal no entrante al sumidero, el cual se denomina caudal *bypass*. Para calcular dicho caudal, se necesitó la longitud necesaria para que el sumidero capture totalmente todo el caudal del canal y la eficiencia del sumidero:

$$L_T = K_U Q_a^{0.42} S_o^{0.3} [1 / (n S_x)]^{0.6}$$

(Ecuación 2.3)

En donde:

K_U = Constante de la ecuación, igual a 0.817 para sistema internacional o 0.6 para sistema inglés, adimensional.

L_T = Longitud del sumidero para interceptar el 100% del caudal del canal, en [m].

Con esta fórmula, podemos obtener la eficiencia del sumidero, gracias a la fórmula:

$$E = 1 - [1 - (L/L_T)]^{1.8}$$

(Ecuación 2.4)

Donde:

E = Eficiencia del sumidero, en porcentaje.

L = Longitud del sumidero existente, en [m].

La eficiencia del sumidero depende de cambios a sus pendientes, sección del canal y, en pequeña escala, a la rugosidad del pavimento. Por esta razón, se expresó la eficiencia también de la siguiente forma:

$$E = Q_i/Q_a$$

(Ecuación 2.5)

Donde:

Q_i = Caudal interceptado por el sumidero, en [m³/s].

Despejando el caudal interceptado, y sustituyéndolo en la fórmula del caudal *bypass*, se obtuvo finalmente el caudal que no fue interceptado por el sumidero:

$$Q_b = Q_a - Q_i = Q_a(1 - E)$$

(Ecuación 2.6)

Donde:

Q_b = Caudal no interceptado por el sumidero, en [m³/s]

Con el caudal total y no interceptado, se puede calcular el espaciamiento máximo entre sumideros, utilizando el caudal total de la cuenca, mediante la fórmula del método racional. No obstante, se implementó una modificación de la fórmula ya que se necesita el flujo lateral del parqueadero:

$$q_n = CIW$$

(Ecuación 2.7)

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía, adimensional.

I = Intensidad de lluvia, en [m/s].

W = Ancho de la calzada, en [m].

q_n = Caudal lateral, en [m²/s].

El caudal lateral especifica cuánta agua proviene lateralmente de parqueadero, mas no del canal. El coeficiente de escorrentía utilizado es de 0.95, el cual es un valor común para superficies casi impermeables en hormigón.

La intensidad de lluvia se obtuvo mediante datos del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador):

Tabla 2.1 Intensidad máxima [mm/h] de estación M0056 Guayaquil Aeropuerto (INAMHI, 2019)

Período de retorno T [Años]						
t [min]	2	5	10	25	50	100
5	96.4	117.6	136.7	166.7	193.7	225.2
10	77.9	95.1	110.5	131.8	156.7	182.1
15	68.8	84.0	97.6	119.1	138.4	160.8
20	63.3	76.9	89.4	109.0	126.7	147.3
30	57.1	69.7	81.0	98.8	114.9	133.5
60	42.8	52.2	60.7	74.0	86.0	100.0
120	31.2	38.1	44.3	54.0	62.8	73.0
360	13.3	16.2	18.8	23.0	26.7	31.0
1440	4.5	5.5	6.4	7.8	9.1	10.3

Se uso dicha estación, ya que es la más cercana al área de estudio. Debido a recomendaciones de diseño (Interagua, 2015) para sistemas de drenaje urbano, se eligió un período de retorno de 10 años, con un tiempo de lluvia de 5 minutos, siendo esta la lluvia más agresiva. Finalmente, se seleccionó el valor de 136.70 [mm/h].

Con estos caudales, se logró calcular el espaciamiento máximo entre sumideros:

$$L = (Q_a - Q_b)/q_n$$

(Ecuación 2.8)

Esta fórmula indica que la distancia entre sumideros depende no sólo del caudal dentro del canal, sino también del caudal entrante lateralmente y el caudal total lateral. La resta de los dos caudales indica el caudal netamente entre dos sumideros. Es imperativo dividirlo para el caudal lateral dado que indica la ganancia de caudal entre dichos sumideros. Con esta distancia, se puede afirmar si una red de drenaje está correctamente diseñada.

2.2.2.3 Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración indica el tiempo que toma al agua viajar del punto más alejado del sumidero (microcuenca de drenaje) al mismo. Este es el tiempo que le toma al agua viajar todo el canal del sumidero más el tiempo que le toma para llegar al canal. Si el tiempo de concentración es mayor a 5 minutos, se necesita utilizar un tiempo de lluvia mayor, o, en su defecto, revisar o repetir el cálculo. No obstante, si es menor, se considera que la lluvia duraría ese tiempo, y el espaciamiento está correcto.

Como se trata del punto más alejado del sumidero, se requirió calcular el punto hidráulico más crítico. Este punto se considera con las pendientes longitudinales y transversales, y es deducible por geometría, siendo igual a:

$$W' = W \sqrt{1 + (S_o/S_x)^2}$$

(Ecuación 2.9)

Donde:

W' = Ancho hidráulico crítico, en [m].

El tiempo lateral, el tiempo que le toma al agua llegar al canal, tiene la siguiente fórmula:

$$t_{c1} = \frac{K_U}{I_o^{0.4}} \left(\frac{n W'}{\sqrt{S}} \right)^{0.6}$$

(Ecuación 2.10)

Donde:

K_U = Constante de la ecuación, igual a 6.92 en sistema internacional o 0.933 en sistema inglés, adimensional.

I_o = Intensidad de lluvia por coeficiente de escorrentía, en [mm/h].

S = Pendiente de la calzada, en [m/m].

t_{c1} = Tiempo que le toma llegar al agua al canal, en [min].

En esta función, la intensidad de lluvia normal debe ser multiplicada por el coeficiente de escorrentía, ya que existirá una parte del agua que será absorbida por la calzada. Para el presente proyecto, puede parecer insignificante, pero en el hipotético caso de que se precise de un material permeable, dicha intensidad tendrá una gran variación. Se hace hincapié en el tema de las unidades, ya que la intensidad de lluvia está en sus unidades base, y la constante de la ecuación se encarga de transformarla en las unidades requeridas. La pendiente de la calzada es la pendiente total, no la longitudinal o transversal. Se puede estimar como la raíz cuadrada de la sumatoria de los cuadrados de dichas pendientes. Se utiliza el ancho hidráulico crítico ya que, como se mencionó antes, es el punto más lejano dentro del canal.

Se debe tomar en cuenta el tiempo que le toma al agua recorrer todo el canal. Este tiempo es igual a:

$$t_{c2} = 4/3(Q_a^{0.75} - Q_b^{0.75})[K_1^{0.25}/(K_2 q_n)]$$

(Ecuación 2.11)

Donde:

t_{c2} = Tiempo que le toma al agua recorrer todo el caudal, en [min].

En esta fórmula, K_1 y K_2 son expresiones que están relacionadas con el caudal al inicio del tramo y al final del tramo. Ambas funciones son muy similares:

$$K_1 = [K_U S_o^{0.5} S_x^{1.67} / n]$$

(Ecuación 2.12)

$$K_2 = [K_U S_o^{0.5} S_x^{0.67} / n]$$

(Ecuación 2.13)

Donde:

K_U = Constante de las ecuaciones. K_1 tiene valores de 0.38 en sistema internacional y 0.56 para sistema inglés. K_2 tiene valores de 0.752 en sistema internacional y 1.11 para sistema inglés. Ambas son adimensionales.

Con la sumatoria de ambos tiempos, se pudo comprobar que nuestro calculo es correcto. En el caso de que el tiempo de concentración sea mayor, debe recalcularse una menor intensidad de lluvia, o en su defecto, buscar un tiempo mayor en la tabla 2.1.

2.2.2.4 Diseño de Tubería

Las fórmulas que se utilizaron en el diseño de la tubería, por la cual será transportada toda el agua que permeó, siguen una secuencia lógica. Se empieza calculando el agua total que fue infiltrada. Para esto se debe utilizar la ecuación 2.7. Cabe recalcar que se debe utilizar el área total del hormigón permeable, y se debe utilizar un coeficiente de infiltración, el cual no es más que lo sobrante del coeficiente de escorrentía:

$$Q = (1 - C) I A$$

(Ecuación 2.14)

Donde:

1-C = Medida de coeficiente de infiltración, adimensional.

I = Intensidad de lluvia, en [m/s].

A = Área del hormigón permeable, en [m²].

Por lógica, todo lo que se infiltra por el hormigón permeable debería ser transportado por las tuberías. Por esta razón, es posible utilizar la ecuación 2.14, sin el coeficiente de infiltración. No obstante, se debe tener en cuenta la forma en la que el agua entrará por la tubería. Dependiendo de la forma de perforación, el área variará. Dicha área se multiplicaría por la infiltración del hormigón permeable y por la cantidad de tuberías a utilizar. En ese sentido, inclusive las pendientes lateral y longitudinal de diseño vial

juegan un rol importante. Se espera que el caudal de infiltración de la tubería sea mayor al caudal de infiltración del hormigón permeable. En caso contrario, se requeriría implementar más tuberías, o más perforaciones, lo que sea más conveniente.

Para comprobar el correcto diseño de la tubería, se usó la función de Terzidis-Srivastava (Terzidis, 2005), para determinar el tirante normal:

$$\theta_n = \frac{Q n}{\Phi^3 \sqrt{S_o}}$$

(Ecuación 2.15)

$$y_n = \Phi 1.56 \theta_n^{7/15} [1 - 0.565 (0.3353 - \theta_n)^{0.4971}]$$

(Ecuación 2.16)

Donde:

Q = Caudal dentro de la tubería, en [m³/s].

n = Rugosidad de la tubería.

Φ = Diámetro interno de la tubería, en [m]

S_o = Pendiente de la tubería, adimensional.

θ_n = Parámetro, adimensional.

y_n = Tirante normal dentro de la tubería, en [m].

Cabe recalcar, el caudal dentro de la tubería no es el que se calcula con la infiltración del hormigón permeable. El caudal interno se calculó con la intensidad de lluvia de la zona.

2.3 Análisis de alternativas

2.3.1 Descripción de alternativas

2.3.1.1 Sistema de drenaje con hormigón convencional

Como primera alternativa se propuso un sistema de drenaje con hormigón convencional. Este sistema lo conforma un pavimento rígido, con una carpeta superior elaborada con concreto convencional y sus respectivas capas compuestas por agregados determinados. Además, la estructura de este sistema lo componen

también los sumideros, cuya función se remite al drenaje del agua lluvia acumulada en el pavimento. Si bien el sistema de drenaje es construido en base a las normas rigentes, ya sean locales, nacionales o internacionales, el funcionamiento se basa en la colocación del sistema con respecto a las pendientes transversales y longitudinales. El agua acumulada se dirige con respecto a la caída de las pendientes hacia los sumideros, los cuales captan el agua y transportándola hacia las tuberías que se encargan de desfugarla. Aunque, el precio de un hormigón convencional con respecto de un pavimento asfáltico sea más alto, la vida útil y resistencia del material compensan esa desventaja. La vida útil de un concreto para pavimento es aproximadamente 20 años y sus resistencias mucho mayores a simple vista del material. Esta alternativa tiene un costo aproximado de \$120 por el metro cúbico. Dicho valor tiene en consideración el transporte de mixer y materiales brutos. Este costo corresponde a un hormigón convencional de 210 Kg/cm².

2.3.1.2 Sistema de drenaje con pavimento asfáltico

Otra alternativa considerada es la contraparte del pavimento rígido, y es el pavimento flexible. En la parte superior de sus capas, se encuentra una carpeta asfáltica, elaborada por un material de asfalto como su nombre lo dice. Este pavimento, cuenta con más capas que el pavimento rígido, ya que la base no se omite en su elaboración. La estructura de este sistema de drenaje es similar con el hormigón convencional, constando de sumideros para la parte de drenaje de agua. Sin embargo, lo que lo diferencia es la parte de los costos en su construcción y el tiempo de ejecución, por ser menos costoso que el concreto y tener una puesta en obra con menos tiempo. Este escenario sin embargo no es completo, ya que se puede conseguir costos menores de construcción, pero el ahuellamiento producido por los vehículos ocasiona que no haya un buen drenaje de agua. También el mantenimiento de estos pavimentos es frecuente, por lo que no es viable de usar. Esta propuesta tiene un valor aproximado de \$140 por metro cúbico. Dicho valor solo tiene en consideración la mezcla de asfalto, más no el movimiento de tierra y relleno.

2.3.1.3 Cubierta Verde

Una alternativa diferente de los pavimentos es la cubierta o techo verde, como su nombre lo indica es una solución verde que consta de vegetación. Debido a su

composición, la cubierta verde es un apropiado sistema de drenaje de agua lluvia. Las plantas absorben un porcentaje de agua, mientras que la otra parte pasa por las capas de drenaje, pasando por tuberías o canaletas que transportan el agua a hacia donde se lo requiera. Sin embargo, esta alternativa no siempre es viable debido a sus controversiales y potenciales costos de operación y mantenimiento. Además, las personas que están encargadas del mantenimiento de la cubierta verde deben estar preparadas para realizar dicho trabajo, es decir, no cualquier persona puede hacerlo. Dicha alternativa tiene un costo aproximado de \$2000 por metro cúbico. Como se puede observar es la propuesta de mayor valor. No obstante, su impacto ambiental y resultados son directamente proporcionales a su costo.

2.3.1.4 Hormigón Permeable

La alternativa más viable, es el hormigón permeable. Como se mencionó en la sección 1.3.3, el hormigón permeable es un tipo de concreto con una porosidad determinada. Al tener ese tipo de estructura, permite que la capacidad filtrante sea mayor, captando una cantidad considerable de agua, lo que lo hace una alternativa adecuada para el problema existente en el proyecto. Para implementar el concreto permeable como solución, se lo añade en forma de placa como la capa superior a una estructura de pavimento. Como resultado, se tiene a un sistema de drenaje con una mayor eficacia, puesto que se tiene dos elementos que se encargan de la captación de agua lluvia, el hormigón permeable y los sumideros ya existentes en el parqueadero. El mantenimiento de este no es dificultoso y su puesta en obra tiene el mismo tiempo que un pavimento rígido. Además, la vida útil del concreto permeable está entre los 20 y 40 años. La alternativa tiene un costo aproximado de \$110 el metro cúbico. Es menor que un hormigón convencional debido a la menor necesidad de material, en especial la arena. Dicho valor consta de transporte de mixer y material bruto.

2.3.2 Selección de alternativa óptima

Debido a las inundaciones en el parqueadero, se optó por implementar un sistema de drenaje aplicando hormigón permeable y un recolector de agua para reutilizar dicho recurso. No se empleó un sistema de drenaje con sumidero debido a que en dicha localización ya existe uno, pero es obsoleto y no está totalmente operativo

porque presenta inundación con una pequeña lluvia. Adicionalmente, debido a la presencia de árboles, el sumidero tiene a sellarse con las hojas de la corriente superficial de agua, disminuyendo aún más su eficiencia de atrapamiento.

Por otro lado, el presente estudio no incluyó soluciones basadas en la naturaleza (también llamadas verde-azules) debido a que la inundación se produce sobre la calle, por lo que el constante tráfico vehicular deteriorará la flora. A pesar de ello, cabe recalcar que en la acera no se presenta algún tipo de inundación, debido a que toda el agua superficial que presenta dicha sección de la acera cae directamente a la calle, por lo que esta obtiene mayor carga hídrica. En consecuencia, el enfoque principal del presente estudio es de una solución gris que es el hormigón permeable. Por tanto, se determinó la eficacia de diferentes espesores con base en la magnitud de la tasa de infiltración.

El ensayo para medir dicha tasa de infiltración, ASTM C1701, indica que el ensayo comienza cuando el agua toca la superficie del hormigón permeable y termina cuando no exista agua superficial. Si se comprueba que la tasa de infiltración no varía con diferentes espesores, se procede a definir el porcentaje de vacíos óptimo. Un mayor porcentaje de vacíos es proporcional a una menor resistencia a la compresión. Teniendo esto en mente, se puede establecer un porcentaje de vacíos de 15% como óptimo.

Pero, se tiene que conducir ensayos para poder concluir la teoría. En cuanto a la colocación del hormigón permeable, se espera fundirlo con una ligera inclinación, aproximadamente entre el 2% al 3%. Tal disposición se debe definir sobre una capa impermeable para que el agua a infiltrarse se dirija al sistema de drenaje y finalmente al tanque de captación de agua. Dicho recolector estará conectado a su vez por un sistema de tuberías para así poder reutilizar el agua en el riego de plantas o algún otro uso.

La tabla 2.3 resume nuestras posibles soluciones con diferentes espesores y porcentajes de vacíos con una escala de matriz de Likert. La escala va de mayor a menor, donde 5 es el mayor grado de expectativa y 1 el menor grado de expectativa.

No se utiliza un espesor mayor a 15 cm ya que mientras más profundo sea el hormigón permeable, más difícil será controlar el porcentaje de vacíos. A pesar de ello, se puede colocar un ancho mayor sólo al comprobar lo ya mencionado, y, sobre todo, si es necesario.

Tabla 2.2: Matriz de Likert para diferentes soluciones de hormigón permeable (Gonzalo, 2015)

Espesor Vacíos	7 centímetros	10 centímetros	15 centímetros
15%	3	4	5
18%	2	3	4
20%	1	2	3

A través de la matriz de Likert se eligió la opción de mayor grado de expectativa a la placa de hormigón permeable de espesor de 15 cm, con un porcentaje de porosidad de 15%. El espesor recomendable de un hormigón permeable es 15 cm. Los estudios realizados a lo largo de los años lo comprueban.

Además, se escogió al porcentaje de vacíos de 15% debido a que, un mayor índice de porosidad influye negativamente en la resistencia de la placa. Del mismo modo, se escogió valores que limitan con el valor optado para saber en cuánto varían los resultados.

El motivo por el cual no se fabricó placas de mayor espesor, es debido a que, la concretera tiene un tope. Por lo que no se puede realizar ensayos que conlleven una cantidad mayor a 40 litros de hormigón. En adición a esto, la porosidad será más difícil de controlar a medida que la cantidad de hormigón aumente.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

3.1 Diseños

3.1.1 Tasa de Infiltración

A continuación, se demuestra un ejemplo de cómo utilizar la ecuación 2.1, para calcular la tasa de infiltración del hormigón permeable. En este ejemplo, se utilizó la placa de 15% de índice de porosidad con 15 cm de espesor, al ser la que se colocó en el parqueadero.



Figura 3.1: Ensayo de penetración de agua a la placa de 15 [cm] de espesor y 15% de índice de vacíos (Autores)

Para dicha prueba, se siguió el procedimiento anteriormente establecido. Como la fase de pre-humedecimiento duró menos de 30 [s], se utilizó 18 [Kg] de agua. Manteniendo el caudal constante entre las marcas del anillo, se midió un tiempo de 32.6 [s], lo cual es un tiempo bastante aceptable. Utilizando la ecuación ya mencionada, obtenemos:

$$I = \frac{(4\ 583\ 666\ 000 \text{ [(mm}^3 \cdot \text{s)} / (\text{Kg} \cdot \text{h})]) (18[\text{Kg}])}{((300[\text{mm}])^2 (28.6[\text{s}]))} = 32053.61 \text{ [mm/h]}$$

Cada placa fue ensayada 3 veces para promediar los valores de infiltración. Se siguió el mismo procedimiento que el ejemplo. Las fases de pre-humedecimiento de todas las placas duraron menos de 30 [s], por lo que se usó 18 [Kg] de agua.

La tabla 3.1 resume todo el proceso que se ejecutó:

Tabla 3.1: Tasas de Infiltración de las diferentes placas (Autores)

Índice de Porosidad [%]	Espesor [cm]	Tiempo [s]	Tasa de Infiltración [mm/h]	Tasa de Infiltración Promedio [mm/h]
15	7	29.2	31394.97	31621.36
		28.3	32393.40	
		29.5	31075.70	
	10	27.0	33953.08	34783.22
		27.3	33579.97	
		24.9	36816.59	
	15	28.6	32053.61	32480.49
		29.4	31181.40	
		26.8	34206.46	
18	7	26.8	34206.46	34632.80
		27.4	33457.42	
		25.3	36234.51	
	10	25.9	35395.10	35872.24
		23.8	38518.20	
		27.2	33703.43	
	15	29.4	31181.40	32190.25
		28.6	32053.61	
		27.5	33335.75	
20	7	26.7	34334.58	38733.48
		22.7	40384.72	
		22.1	41481.14	
	10	21.6	42441.35	39584.93
		24.4	37632.73	
		23.7	38680.73	
	15	25.3	36234.51	38866.30
		21.5	42638.75	
		24.3	37725.65	

3.1.2 Distancia entre sumideros

A continuación, se muestra el proceso utilizado para determinar la distancia entre sumideros para un sistema convencional de sumideros, con hormigón convencional. Para el ejercicio se debe aclarar los datos conocidos y existentes del parqueadero.

La rugosidad del hormigón será de 0.015. La pendiente transversal de la calle es de 3%. La pendiente longitudinal de la calzada es de 2%. El ancho superior del canal es de 1 [m]. El largo de la rejilla es de 0.6 [m]. El coeficiente de escurrimiento del hormigón es de 0.95. El ancho total de la calzada es de 3.2 [m]. La intensidad de lluvia, determinada por el INAMHI, para un período de retorno de 10 años con un tiempo de concentración de 5 [min], fue 136.70 [mm/hr].

Comenzando con la ecuación 2.2, se calculó el caudal del canal:

$$Q_a = \frac{3}{8} \frac{(1)}{(0.015)} (0.03)^3 \sqrt{(0.02)} (1[m])^3 = 0.01 [m^3/s]$$

Se procedió a calcular longitud efectiva del sumidero, utilizando la ecuación 2.3. Se recuerda que es necesaria para calcular su efectividad:

$$L_T = (0.817) (0.01 [m^3/s])^{0.42} (0.02)^{0.3} [1 / ((0.015) (0.03))]^{0.6} = 3.758 [m]$$

Se calcula la eficiencia, implementando la longitud efectiva y la longitud del sumidero, expresada como la ecuación 2.4:

$$E = 1 - \left[1 - \left(\frac{0.6 [m]}{3.758 [m]} \right) \right]^{1.8} = 0.269$$

Con la eficiencia, calculamos el caudal bypass, utilizando la ecuación 2.6:

$$Q_b = (0.01 [m^3/s])(1 - 0.269) = 0.007 [m^3/s]$$

Se estimó el caudal lateral, mediante la ecuación 2.7:

$$q_n = (0.95)(3.797 \times 10^{-5} \text{ [m/s]})(3.2 \text{ [m]}) = 1.154 \times 10^{-4} \text{ [m}^2/\text{s]}$$

Finalmente, se calculó la distancia máxima entre sumideros del parqueadero, con la ecuación 2.8:

$$L = (0.01 \text{ [m}^3/\text{s]} - 0.007 \text{ [m}^3/\text{s}]) / (1.154 \times 10^{-4} \text{ [m}^2/\text{s}]) = 23.849 \text{ [m]}$$

Con esta distancia, se consiguió un adecuado dimensionamiento de los sumideros de la planta San Eduardo. Esto se debe a que la distancia actual entre aquellos elementos es de 15 [m]. Si la distancia hubiera sido mayor a la calculada, podría ser esta la razón de las inundaciones de la planta. No obstante, se debe calcular la misma distancia con la implementación de hormigón permeable.

3.1.3 Tiempo de Concentración

Se presentan los cálculos del tiempo de concentración de un hormigón convencional. Se implementan los mismos datos del parqueadero, usados en la sección anterior.

Se inicia implementando la ecuación 2.9 para determinar el ancho hidráulico crítico:

$$W' = (3.2 \text{ [m]}) \sqrt{1 + (0.02/0.03)^2} = 3.846 \text{ [m]}$$

Con este ancho, se puede calcular el tiempo que le toma al agua llegar al canal, gracias a la ecuación 2.10:

$$t_{c1} = \frac{6.92}{((0.95)(136.70 \text{ [mm/hr]}))^{0.4}} \left(\frac{(0.015)(3.846 \text{ [m]})}{\sqrt{0.03^2 + 0.02^2}} \right)^{0.6} = 0.008 \text{ [min]}$$

Se estimó el tiempo el cual le toma al agua recorrer todo el canal, utilizando la ecuación 2.12, 2.13 y 2.11:

$$K_1 = [(0.56)(0.02)^{0.5}(0.03)^{1.67} / (0.015)] = 0.015$$

$$K_2 = [(0.752) (0.02)^{0.5} (0.03)^{0.67} / (0.015)] = 0.685$$

$$t_{c2} = 4/3((0.01 [m^3/s])^{0.75} - (0.007 [m^3/s])^{0.75})[K_1^{0.25}/((1.154 \times 10^{-4} [m^2/s])K_2)] \\ = 0.666 [min]$$

$$t_c = t_{c1} + t_{c2} = 0.008 [min] + 0.666 [min] = 0.674 [min]$$

A continuación, presentamos una tabla resumen de todos los resultados obtenidos con las fórmulas. En la tabla 3.2, los valores para hormigón permeable son los mismos, a excepción de la rugosidad del material y el coeficiente de escorrentía, siendo 0.018 y 0.4, respectivamente.

Tabla 3.2 Resumen de Distancia entre Sumideros (Autores)

	Hormigón Convencional	Hormigón Permeable
Caudal del Canal (Qa) [m ³ /s]	0.010	0.009
Longitud Efectiva (Lt) [m]	3.758	3.120
Eficiencia (E)	0.269	0.319
Caudal Bypass (Qb) [m ³ /s]	0.007	0.006
Caudal Lateral (qn) [m ³ /s]	1.15E-04	4.86E-05
Distancia entre sumideros (L) [m]	23.849	56.035
Tiempo del Agua al Canal tc1 [min]	0.008	0.013
Tiempo del Agua por Canal tc2 [min]	0.666	1.894
Tiempo de Concentración tc [min]	0.674	1.907

3.1.4 Diseño de Tuberías

Se exhibe el proceso que seguimos para diseñar el sistema de drenaje. Se aplicó la tasa de infiltración del hormigón permeable, ya que es el agua se infiltrará siguiendo dicha velocidad.

Se usó la ecuación 2.14, para determinar el caudal que ingresará al hormigón permeable:

$$Q = (1 - 0.4) (0.00004 \text{ [m/s]}) (3.2 \text{ [m]}) (6 \text{ [m]}) = 0.00044 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

El caudal que entra al hormigón permeable es el mismo caudal que entra a las tuberías. Por esta razón se implementó el método racional para determinar el caudal dentro de las tuberías. Se aplicó la tasa de infiltración de la placa de hormigón permeable de 15 [cm] de espesor y un índice de porosidad del 15%.

La perforación de la tubería se realizó con una broca, con un diámetro de 3/4". La disposición de los agujeros de la tubería tiene como fin no comprometer la resistencia de esta. Consultando con expertos, optamos perforarla de la siguiente manera:

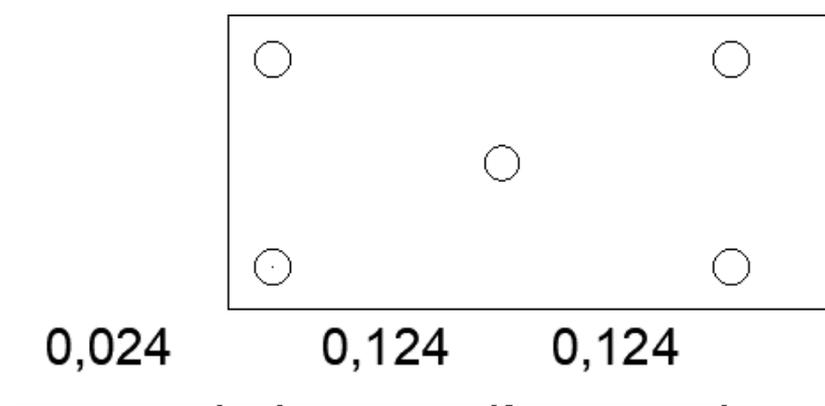


Figura 3.2: Disposición de las perforaciones (Autores)

Utilizando 3 tuberías, se obtuvo un número de perforaciones igual a 156 por tubería. Mediante el método racional, se estimó el caudal entrante a la tubería igual a:

$$Q = (0.00902 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \left(\frac{\pi (0.01905 \text{ [m]})^2}{4} \right) (156) (3) = 0.00063 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Como se puede observar, el caudal de entrada a las tuberías es mayor que el caudal producido por la lluvia, por lo que se puede concluir que toda el agua será conducida directamente a la tubería.

A través de las ecuaciones 2.15 y 2.16, podemos comprobar el tirante dentro de las tuberías. Se debe realizar este cálculo para determinar si dentro de la tubería el tirante será mayor al diámetro de esta. Para ello, se aplicó el caudal provocado por la lluvia, así como una rugosidad de 0.015, ideal para tuberías de PVC, y el diámetro interno de la tubería de 153.6 [mm] (6"):

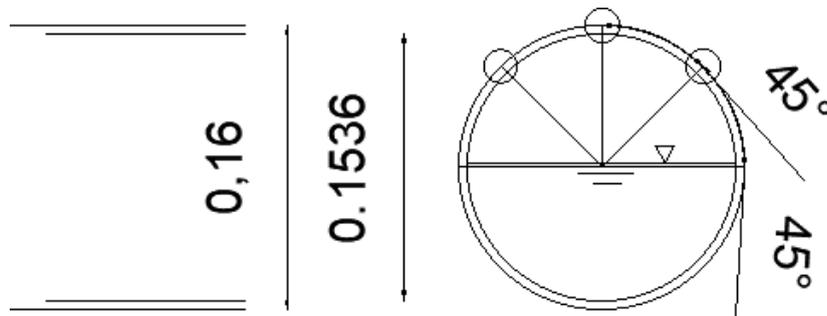


Figura 3.3: Corte transversal de la tubería (Autores)

$$\theta_n = \frac{(0.00044 \text{ [m}^3\text{/s]}/3) (0.015)}{(0.1536 \text{ [m]})^3 \sqrt{(0.015)}} = 0.002639$$

Hay que tener en cuenta que el caudal se lo divide en tres partes, ya que sólo queremos el caudal dentro de una tubería. La pendiente de nuestra tubería es de 0.015 [m/m], ya que sólo está permitido bajar esta cantidad en nuestra área de estudio.

$$y_n = (0.1536 \text{ [m]}) 1.56 (0.002639)^{\frac{7}{15}} [1 - 0.565 (0.3353 - 0.002639)^{0.4971}]$$

$$= 10.10 \text{ [mm]}$$

Se pudo concluir, el tirante dentro de la tubería es menor al diámetro interno de esta. Esto es beneficioso, ya que, para un caudal mayor, la disposición de la tubería va a mantener una capacidad de carga (conductividad) apropiada.

3.2 Análisis de Resultados

Como se ha mencionado anteriormente, todos los valores están interrelacionados. Si existiera una mayor intensidad, los caudales calculados serían mayores. Si la pendiente del terreno fuera mayor, la tasa de infiltración del hormigón permeable sería menor. Analizando la distancia entre sumideros del hormigón convencional y hormigón permeable, se puede afirmar que una disminución en el coeficiente de escorrentía aumentaría la distancia entre sumideros. Esto se debe a que el caudal lateral sería menor, como se puede observar en el caso del hormigón permeable. No obstante, la distancia entre sumideros para el hormigón permeable es mucho mayor que la del hormigón convencional. Esto se atribuye a dicho coeficiente de escorrentía (efecto inversamente proporcional).

Las pendientes juegan un papel preponderante. Como se ha mencionado, una pendiente muy elevada, disminuiría la capacidad de captación de ambos sistemas. Esto se atribuye a que el agua tenderá a continuar por el canal, y no a adentrarse en el sumidero, o el hormigón permeable. No obstante, ese dato se hace más presente en este último, por lo que se recomienda no implementar dicha solución en pendientes muy elevadas. Una pendiente cero, o negativa, afectará al hormigón convencional, pero no al hormigón permeable. Las fórmulas dicen lo contrario, pero lógicamente, incluso si no hay pendiente de por medio, el hormigón permeable cumplirá su función de permitir el paso del agua a las tuberías debajo de este. La pendiente de las tuberías tiene un mayor impacto, porque, debido a ella, el tirante dentro de la tubería puede aumentar, requiriendo una tubería con mayor diámetro.

Con respecto a las tuberías, se optó por utilizar una tubería de 160 [mm] de diámetro externo ya que, al ser un área de estudio pequeña, no se consideró pertinente el uso de una de mayor diámetro. No obstante, al querer implementar el hormigón permeable, se recomienda utilizar el diámetro de tubería mínimos recomendado por Interagua. El hecho de tener un bajo TPDA, refuerza la decisión de escoger un diámetro de tubería menor.

Los bajos tiempos de concentración indican una característica importante de ambos sistemas. Se pueden tener precipitaciones más fuertes en menos tiempo, sin afectar el

rendimiento de los sumideros. Por otro lado, hay que tener en cuenta que, para el sistema existente, esto no es del todo cierto. Esto refuerza la teoría de que el motivo de la inundación en el parqueadero es la obstrucción de los sumideros. Afortunadamente, al utilizar hormigón permeable, no se tomaría en cuenta dicho contratiempo. Debido a su naturaleza, el mismo paño puede servir como reservorio, permitiendo la dilatación del efecto de inundación sobre la vía o colapso temprano de los sumideros.

Ciertamente, en los cálculos mostrados no se consideró las pérdidas del diseño. Sin embargo, al ser un área de estudio pequeña, las pérdidas también serían pequeñas. También hay que mencionar que se decidió dividir el caudal de entrada al sistema en partes iguales, lo cual, en el uso, no es cierto. En el caso de que todo el caudal ingrese por una tubería, se necesitaría una tubería de mayor diámetro de interno, o, en su defecto, perforaciones más grandes. Sin embargo, la última alternativa no es recomendable, ya que podría afectar la resistencia de la tubería, logrando que llegase a fallar estructuralmente en algún punto.

3.3 Especificaciones técnicas

La norma implementada para el ensayo de infiltración fue la ASTM C1701. Esta norma fue explicada con anterioridad, pero se debe recalcar el hecho del uso de un balde cortado por la mitad como anillo de infiltración, y plastilina como material sellante. Se utilizó el Manual de Diseño de Drenaje Urbano de la FHWA para determinar la distancia entre sumideros. Fue de utilidad al momento de calcular el diseño de las tuberías a utilizar.

Para las placas de hormigón, las siguientes dosificaciones fueron diseñadas. Para obtener los diferentes espesores se variaba los litros a verter, debido a que se trató de tener la menor variación posible entre placas del mismo índice de porosidad:

Tabla 3.3: Dosificación de las diferentes placas (Autores)

	15%	18%	20%
Cemento HE [Kg/m ³]	431	390	363
Piedra Basalto 3/8" [Kg/m ³]	1536	1536	1536
Arena de Río [Kg/m ³]	129	117	109
Agua [Kg/m ³]	116	105	98
Aditivo [Kg/m ³]	2.16	1.95	1.82
Relación a/c	0.27	0.27	0.27

La cantidad de piedra se mantiene constante debido a su masa compactada suelta. El basalto tiene una densidad aproximada de 2870 [Kg/m³]. La arena de río tiene una densidad aproximada de 2670 [Kg/m³].

CAPÍTULO 4

4. ANALISIS DE CICLO DE VIDA SIMPLIFICADO

4.1 Objetivos

4.1.1 Objetivo general

- Comparar el hormigón permeable con otros métodos constructivos mediante un análisis de ciclo de vida para identificar la alternativa ambientalmente preferible.

4.1.2 Objetivos específicos

- Describir el proyecto desde el punto de vista ambiental y sus actividades relacionadas a todas las fases su ciclo de vida.
- Identificar los impactos ambientes y valorarlos.
- Proponer un plan de manejo ambiental para el proyecto.

4.2 Descripción de alternativas de producto

4.2.1 Hormigón Permeable

El hormigón permeable es un tipo especial de hormigón que permite la penetración del agua a través de él. Esta agua puede ser reutilizada o transportada. Como ya se mencionó en el capítulo 1, el hormigón permeable puede utilizarse en lugares con poca pendiente, o con tráfico vehicular liviano. Es por esta razón que se utiliza comúnmente en ciudadelas, parques, o parqueaderos.

La alternativa presenta implementar una capa de hormigón permeable sobre una capa de material filtrante, el cual es comúnmente piedra. Debajo de la piedra se colocaría la subbase y, entre la subbase y el material filtrante, una tubería con agujeros que se conectaría al sistema de drenaje ya existente de la planta San Eduardo. La MTOP indica que tanto la distancia de los orificios como el diámetro de estos de la tubería dependerán únicamente del diseño.



Figura 4.1: Esquema de hormigón permeable (FHWA, 2013)

4.2.1.1 Extracción de materias primas y fabricación

Las materias primas para el hormigón permeable son extraídas de canteras. Estas canteras pueden explotar la piedra o excavarla. La explotación genera un mayor impacto ambiental, por lo que se busca utilizar materiales provenientes de canteras que posean planes de mitigación de impacto ambiental.

Se necesitaría retirar el hormigón existente en el parqueadero. Se deberá mover la tierra para colocar la tubería perforada, teniendo en cuenta la profundidad mínima que se deben colocar las tuberías para evitar que se rompan. Luego de dicha colocación, se vierte el material filtrante, piedra, hasta llegar al espesor requerido y finalmente se fundiría el hormigón permeable. Se requerirán compactadores de suelo y volquetas para dichas acciones.

Adentrándonos a la fundición del hormigón permeable, se requerirá el uso de *mixers* desde la planta Pascuales. Esto se debe a que el agregado para realizar el hormigón permeable, la piedra basalto, sólo se encuentra en dicha planta. Al tratarse de hormigón, se implementará cemento, arena, agua y piedra, materiales los cuales generan mucha contaminación, al momento de extraerlos. En el caso del cemento, no se puede implementar el cemento de carbono neutro, ya que el hormigón permeable, por su naturaleza porosa, no tiene grandes resistencias como los hormigones convencionales, por lo que se requiere un cemento con mayor resistencia a la compresión.

4.2.1.2 Aplicación

Una vez terminado el proceso constructivo, el hormigón permeable comenzará su funcionamiento. Es común que los primeros vehículos que transiten en el parqueadero

desprendan un poco de agregado grueso del hormigón, por lo que esas piedras son consideradas como contaminación. También hay que tener en cuenta que el mantenimiento estándar del hormigón permeable puede llegar a ser costoso, usando aire o agua a presión, provocando pérdidas en materiales.

4.2.1.3 Disposición Final

Luego de la vida útil del hormigón, 50 años aproximadamente, este puede ser removido y colocar un nuevo hormigón permeable sobre el sistema ya existente. Por otro lado, cuando se deba cambiar la tubería, se deberá realizar todo el proceso constructivo nuevamente. No obstante, podría utilizarse un tipo de material diferente para que la vida útil de la tubería sea más elevada. El hormigón permeable que se sustraería del sitio puede ser reciclado en una escombrera. No necesitaría proceso de trituración ya que el mismo hormigón está conformado mayormente por agregado grueso, facilitando el proceso de reciclado.

4.2.2 Sistema de Drenaje con Pavimento Asfáltico

El pavimento asfáltico es la solución más común para una carretera. Fácil de aplicar y de bajo costo, su serviciabilidad puede verse afectada por un mal mantenimiento. Esto tiene un impacto negativo en su ciclo de vida (Hoang, 2019). No obstante, debido a las condiciones naturales del terreno y al área de estudio pequeña, esta solución puede considerarse como óptima.

Una correcta implementación de pavimento asfáltico, acoplándose al sistema de drenaje existente, podría aumentar su vida útil a aproximadamente 7 años, debido al bajo uso que necesitará. Sin embargo, esta solución causa riesgos a los vehículos debido a la película de agua que se forma en la superficie y a la poca fricción del material (Hou et al., 2018). Hay que considerar el ahuellamiento del pavimento asfáltico, provocado no por el tránsito, sino por las lluvias y el peso del agua.

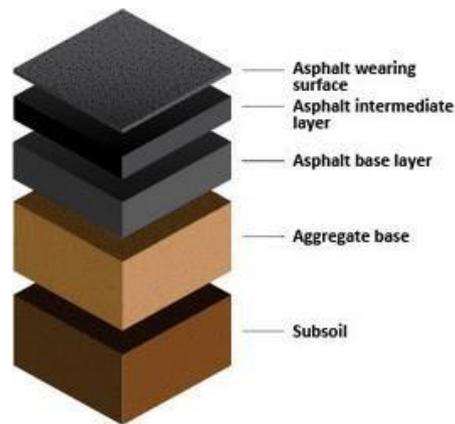


Figura 4.2: Estructura de pavimento asfáltico (Virginia Asphalt Association, 2005)

4.2.2.1 Extracción de materias primas y fabricación

El asfalto es una mezcla de arena, piedra y material asfáltico de petróleo. La extracción de estos materiales genera un gran impacto ambiental, especialmente el material asfáltico. Considerando el hecho de la pequeña vida útil del material, es recomendable implementar canteras o distribuidores con planes de mitigación de impacto ambiental.

El pavimento asfáltico tiene un precio aproximado de \$12 el metro cuadrado, con 8 centímetros de espesor, lo cual lo hace una solución barata para un área pequeña, según el CYPE de ingenieros del Ecuador. Se debe tener en cuenta el ancho de la carpeta asfáltica, ya que, para un mayor ancho, el precio aumenta. Dicha mezcla es premezclada y luego colocada y compactada en sitio. Considerando su elaboración, el material puede llegar a ser poco contaminante. Por otro lado, la baja vida útil de esta solución puede producir un costo mayor a largo plazo, pero se puede aumentar el tiempo necesario para un mantenimiento, como ya se mencionó anteriormente.

Al implementar el pavimento asfáltico con el sistema de drenaje, se debería excavar y mover tierras, para mejorar la subrasante. Se vertería la mezcla y se compactaría para darle un acabado impecable. El mayor impacto se produce por el movimiento de tierras, debido a la gran cantidad de material para mover, por la necesidad del material.

4.2.2.2 Aplicación

El pavimento asfáltico tiene una vida útil de 5 años, aproximadamente. Considerando el bajo tráfico, podría aumentar, pero a un máximo de 7 años, por la naturaleza frágil del

material. Durante el funcionamiento, se espera que el agua superficial se transporte a los sumideros. No obstante, la situación actual de los sumideros dificulta dicha acción, por lo que se debería dar mantenimiento constante no sólo al asfalto, sino también a los sumideros.

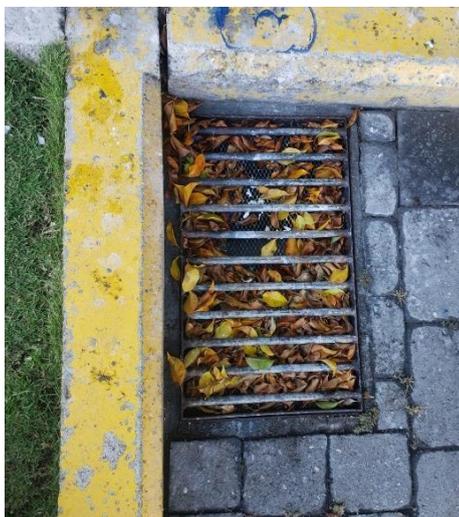


Figura 4.3: Situación actual de los sumideros en planta San Eduardo (Autores)

A pesar de dichas consideraciones, hay que tener en cuenta que el ahuellamiento del pavimento puede ocurrir antes de lo esperado, por lo que la fase de abandono puede ser adelantada.

4.2.2.3 Disposición Final

Luego de su vida útil de 5 a 7 años, se correspondería a reemplazar el pavimento asfáltico por uno totalmente nuevo. Esto no solo generaría nuevos gastos a la gestión, también provocaría mayor contaminación ambiental, debido a que se repetiría el mismo proceso de la fase de construcción, a pesar de que tiene baja contaminación. Por otra parte, se podría evitar dicho proceso si se implementa un proceso de mantenimiento exhaustivo, y se rellena constantemente el ahuellamiento que se presente.

4.2.3 Sistema de cubierta o techo verde

Los techos verdes son un sistema que consta de capas con superficie vegetal, las cuales permiten un correcto drenaje del agua lluvia, logrando que los volúmenes de esorrentía disminuyan (Grullón – Penkova et al., 2020). Además, afecta a los caudales grandes para que no tengan efecto en la ciudad. Las cubiertas verdes cuentan con muchas ventajas,

sin contar el principal uso para este proyecto que es el control de las precipitaciones que será explicado en el apartado 4.2.1.3.2. La vegetación que se encuentra en las capas logra minimizar la contaminación que trae consigo el agua lluvia.



Figura 4.4: Esquema de cubierta verde (Libélula, 2008)

Además, aportan al medio ambiente brindando una mejor calidad de aire y reducen en cierta manera el calor existente en la ciudad (Bové, 2019). No obstante, no todo son beneficios para esta solución verde, porque el costo de la dificultosa instalación y mantenimiento de estos sistemas son muy elevados (Euclid, 2018). Por otro lado, existen pocas personas que están capacitadas para poder trabajar con este tipo de estructuras. Estas desventajas afectan en gran manera a los techos verdes, haciendo que las personas no opten por su uso (Marchena, 2012).

4.2.3.1 Extracción de materias primas y fabricación

La materia prima la encontramos en la naturaleza. No obstante, no se puede utilizar cualquier planta en una cubierta verde. Usualmente se utilizan musgos, hierbas y pasto, pero si el lugar es favorable, pueden llegarse a usar plantas más grandes. La membrana filtrante debajo de la plantación es una mezcla de polímeros. Dicho material se considera contaminante, pero su impacto se contrarresta con la implementación de la vegetación.

En la construcción de un techo verde se debe tener en cuenta componentes, los cuales son importantes para su implementación debido a que se deben respetar si se quiere un resultado eficaz. En primer lugar, se debe tener una estructura que pueda soportar las

demás capas de la cubierta verde. Luego se coloca una capa impermeabilizante que puede ser de etileno propileno o poliuretano. La capa de drenaje de agua es la siguiente en ser puesta, puede ser conformada por tubos de drenaje, canaletas, tableros de drenaje, etc.

Como es una cubierta que posee vegetación, una protección anti-raíz es útil para que las raíces de las plantas no dañen alguna capa. De la misma manera, se coloca una capa de filtración constituida por materiales como fibras de poliéster para que el drenaje no sea obstruido. Para que la vegetación pueda crecer y aprovechar tener un techo verde con vida, se implementa una capa de material orgánico, agregados, agua y aire. Por último, la capa final es la que está compuesta por la vegetación.

4.2.3.2 Aplicación

La aplicación de la cubierta verde para este proyecto se centra en el drenaje del agua. La vegetación y el sistema de drenaje son los que ayudan a captar y a controlar el agua. Cuando el agua cae sobre la cubierta, alrededor del 40% del agua es captada por la vegetación y retenida. Mientras que el otro 60% se lo lleva el sistema de drenaje, llevando el agua a donde se haya requerido inicialmente. (Ibañez, 2008)

4.2.3.3 Disposición Final

El mantenimiento de una cubierta verde se vuelve problemático cuando no existen épocas lluviosas, porque se debe regar la vegetación cada cierto tiempo. Esto genera una pérdida y un efecto inverso a lo que se quiere lograr, ya que se estaría gastando agua en lugar de ahorrarla o distribuirla a otro lado para no desperdiciarla. (Pacheco, 2017). Cuando una cubierta verde llega a su fin, esta puede ser reemplazada, cada una de sus capas pueden ser removidas y vueltas a colocar para que funcione nuevamente. Sin embargo, este cambio genera un alto costo al usuario.

4.2.4 Sistema de drenaje de sumideros con hormigón convencional

Los sistemas de drenaje de sumideros son las soluciones más usadas en las ciudades para poder mitigar la acumulación de agua lluvia y evitar las inundaciones. Se los puede visualizar en casi toda zona urbana. Existen varios sistemas de drenaje, pero

básicamente y de manera general, las tuberías, colectores, rejillas son los componentes que logran hacer funcionar este sistema. (NDS, 2007)

La razón por la cual es el sistema más utilizado no es porque sea el más barato, ni porque sea el de más fácil instalación, sino porque es el que ofrece una solución más rápida y de mayor escala, donde su mantenimiento se lo realiza cada cierto periodo debido a la vida útil mínima de 15 años.



Figura 4.5: Sumidero de la planta San Eduardo (Autores)

Sin embargo, así como es una solución rápida y de gran captación, tiene fallas debido a la acumulación enorme de agua por lluvias torrenciales o tormentas, haciendo que las tuberías y sumideros se ahoguen. Además, las personas aportan negativamente botando basura a las calles, obstruyendo los sumideros.

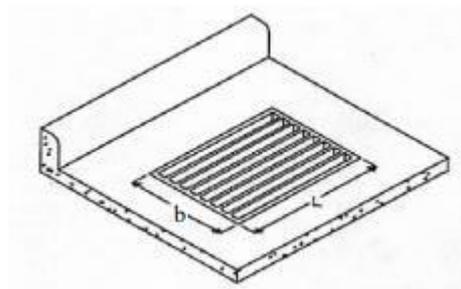


Figura 4.6: Sumidero horizontal (SERVIU, 2009)

4.2.4.1 Extracción de materias primas y fabricación

Los materiales que se usan en el hormigón convencional son los mismos especificados en el hormigón permeable. Por esta razón, se espera implementar las mismas consideraciones.

La fase constructiva de un sistema de drenaje por sumideros consta de estructuras y conexiones debido a que es una solución de gran tamaño, que se lo emplea mayormente en ciudades. Las estructuras de captación compuestas por sumideros son las que tienen como función captar el agua, pueden ser rejillas u orificios.

También constan de estructuras de conducción, que como su nombre lo indica, se encargan de transportar el agua captada de los sumideros. Estas tuberías se unen por medio de estructuras de conexión. Y al final la construcción de un sistema de drenaje por sumideros, conlleva el vertido del agua y no permite que haya problemas cuando se descargue todo el material captado. (Yuridia, 2018)

Inicialmente, se hace un estudio topográfico de campo para saber qué tan inclinado es el terreno, realizar el movimiento de tierras y poder trabajar en la construcción del sistema. Por lo general, las pendientes usadas en sumideros en la ciudad de Guayaquil están entre el 0.5% a 2%. Se realiza los trabajos de vertidos de hormigón y armado de los sistemas de vertido, seguido de la colocación de las estructuras de conducción con sus respectivas conexiones. Finalmente, las rejillas son colocadas como las estructuras de captación. (Valdivielso, 2010)

4.2.4.2 Aplicación

El funcionamiento de este sistema de drenaje no es complicado. Mediante las pendientes longitudinales y transversales del terreno, el agua que cae es redirigida hacia los sumideros, los cuales pueden ser rejillas u orificios de ciertos diámetros, en donde se va a captar el agua y a transportarla por las tuberías que fueron colocadas en la fase constructiva. Una vez captada el agua, las tuberías se encargan de descargar el agua hacia donde se haya requerido inicialmente. (Karmat, 2017)

4.2.4.3 Disposición Final

La vida útil de un sistema de drenaje de sumideros es de mínimo 15 años. Como una estrategia para poder reemplazar sus elementos en periodos diferentes, se tiende a colocar elementos que cumplan en diferentes años su vida útil. De este modo, se reemplaza o se da mantenimiento por elementos y no a la estructura en general (Jiménez, 2013).

4.3 Identificación de impactos ambientales

Para poder identificar los impactos ambientales de las diferentes alternativas, es necesario cualificar la importancia y magnitud del impacto ambiental. Se utilizó la matriz de Tito, en donde se evalúa que tanto influyen sus actividades mediante características de extensión, duración y reversibilidad por medio de puntajes. Para la importancia, la tabla 4.1 será la referencia para su evaluación:

Tabla 4.1: Matriz de Tito (Ingeniería Ambiental, 2018)

Característica	Puntaje				
	1	2.5	5	7.5	10
Extensión	Puntual	Particular	Local	Generalizada	Regional
Duración	Esporádica	Temporal	Periódica	Recurrente	Permanente
Reversibilidad	Completamente Reversible	Medianamente Reversible	Parcialmente Reversible	Medianamente Irreversible	Completamente Irreversible

La matriz funciona de tal manera que, al cualificar la extensión, duración y reversibilidad de la actividad con el respectivo puntaje para la importancia, se sumarán esos valores como lo dicta la siguiente fórmula:

$$Imp = We \times E + Wd \times D + Wr \times R$$

Donde:

Imp = Valor de importancia del impacto ambiental

We = Peso de la Extensión

E = Valor de la extensión

Wd = Peso de la duración

D = Valor de la duración

Wr = Peso de la reversibilidad

R = Valor de la reversibilidad

Los valores de W_e , W_d y W_r serán 0.35, 0.40 y 0.25 respectivamente. Estos valores se han escogido de acuerdo con el criterio del creador de la misma matriz de Tito. Además, estos valores deben cumplir el criterio de:

$$W_e + W_r + W_d = 1$$

Para cualificar la magnitud se utilizará la siguiente escala, que se asemeja a la escala de tito mostrada anteriormente:

Tabla 4.2: Grado de incidencia (Ingeniería Ambiental, 2018)

Grado de incidencia sobre factor	Puntaje
Poca incidencia	1 o 2.5
Mediana incidencia	5
Alta incidencia	7.5 o 10

Por otro lado, en la tabla 4.3 se muestra la escala cualitativa de Tito, en donde se evaluará el índice de impacto ambiental. Para poder hacer uso de esta tabla de valoración, se debe usar la fórmula de valoración cualitativa del índice de impacto ambiental según Tito.

$$IA = \pm \sqrt{Imp * Mag}$$

Donde:

IA = Índice de impacto ambiental

Imp = Valor de importancia del impacto ambiental

Mag = Valor de Magnitud

(+) si es beneficioso, (-) si es perjudicial.

Tabla 4.3: Calificación del Impacto Ambiental (Ingeniería Ambiental, 2018)

Calificación del impacto ambiental	Valor del índice de impacto ambiental (IA)
Altamente significativo	$ IA \geq 7.5$
Significativo	$7.5 > IA \geq 5.0$
Despreciable	$5.0 > IA \geq 2.5$
Benéfico	$2.5 > IA \geq 0$

Cabe indicar que, en la identificación de impactos ambientales, se omitió el impacto positivo asociado a la generación de empleo. La razón de esto es que al no conocer datos de plazas de empleos para cada sistema constructivo se asume que el número de plazas de empleo para cada fase de ciclo de vida en cada alternativa es el mismo, por lo que, en el análisis este impacto no mostraría diferencias entre las alternativas.

4.4 Valoración de impactos ambientales

En la valoración de los impactos ambientales de las alternativas se optó por usar la matriz de Leopold, ya que la matriz cumplía con las características esenciales para poder valorar la magnitud y el impacto ambiental de las actividades de las diferentes alternativas. Esta matriz aplica información que se puede cualificar porque relaciona las causas y los efectos de las actividades. Las matrices de Leopold de cada alternativa de producto se las encuentra en el apéndice B.

A continuación, se muestran las gráficas como resultado de haber utilizado la matriz de Leopold:

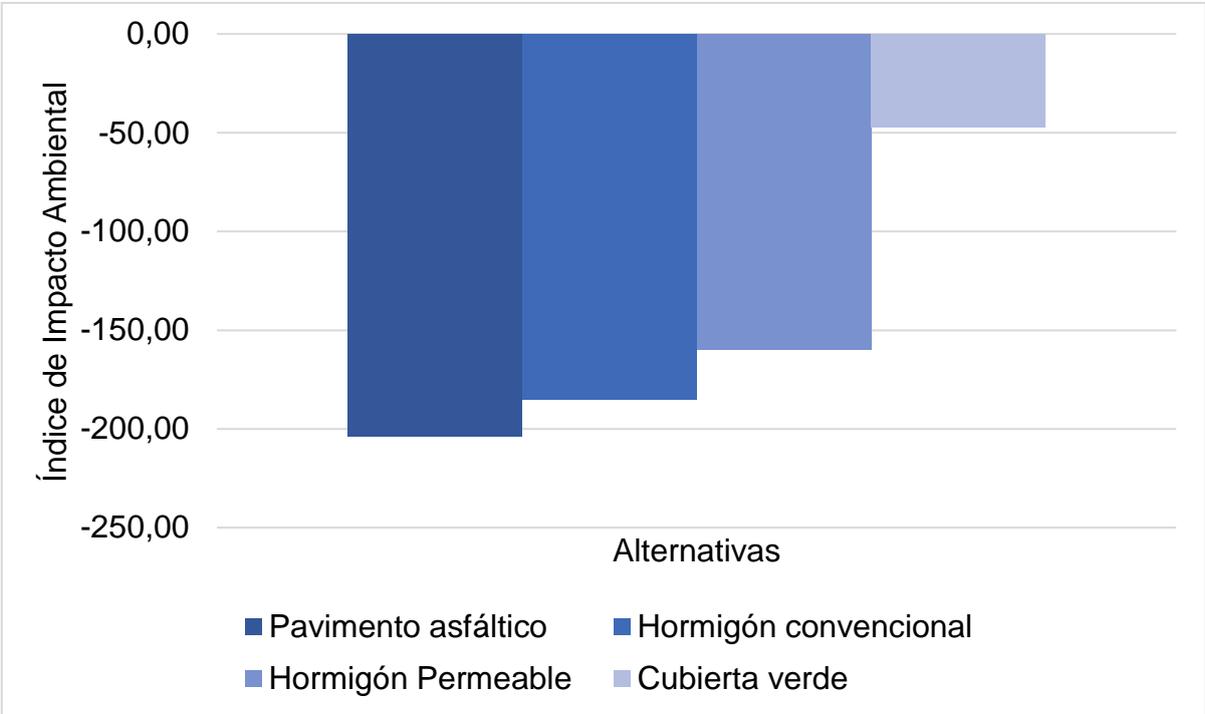


Figura 4.7: Índice de Impacto Ambiental de las Alternativas (Autores)

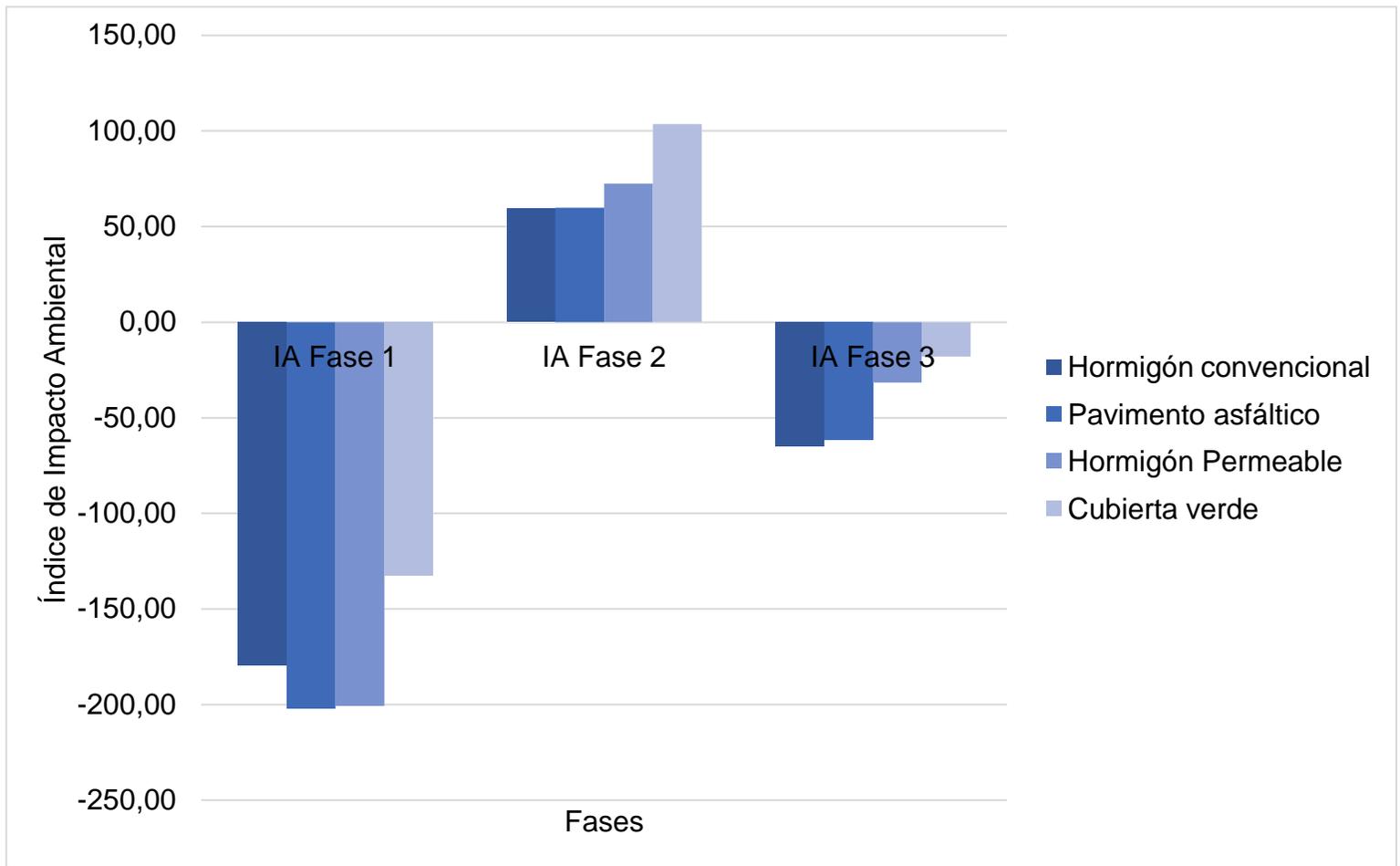


Figura 4.8: Índice de Impacto Ambiental por Fases del Ciclo de Vida (Autores)

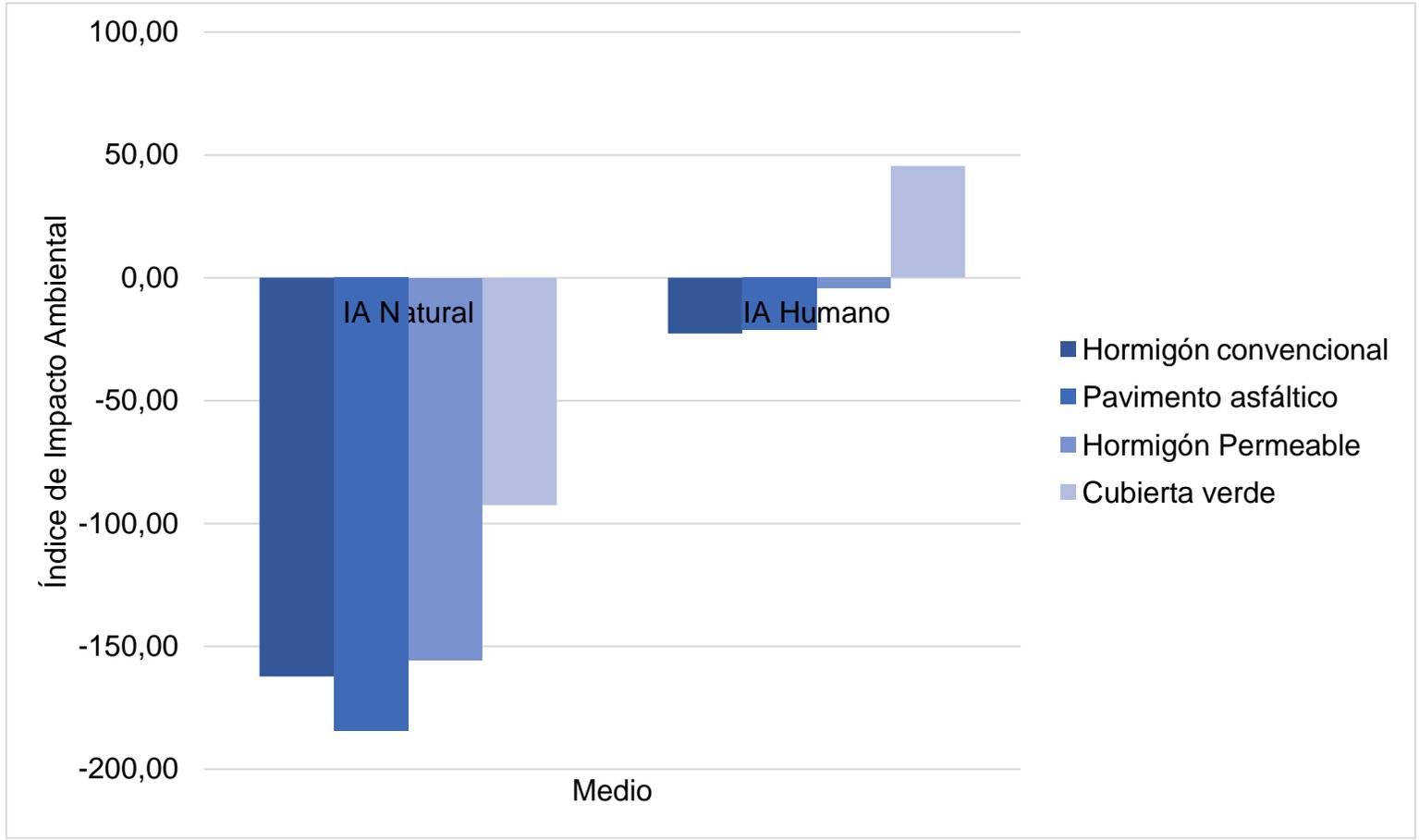


Figura 4.9: Índice de Impacto Ambiental por Medios (Autores)

4.5 Análisis de resultados

Tras haber realizado el análisis de impacto ambiental de las alternativas, se obtuvo como resultado que el producto que mayor impacto ambiental negativo va a tener es el de pavimento asfáltico. Mientras que, el producto con un impacto ambiental de menor afectación es la alternativa de cubierta verde, como se evidencia en la figura 4.7. Además, se analizó el impacto ambiental cuando se toma como referencia las fases de ciclo de vida de cada producto. Estas fases son: extracción de materia prima (fase 1), aplicación (fase 2) y disposición final (fase 3). Como se muestra en la figura 4.8, la mayor incidencia de impacto ambiental corresponde a la fase 1, teniendo picos de impacto ambiental de hasta -200, que corresponden a la alternativa de hormigón convencional.

Por otra parte, los resultados menos impactantes pertenecen a la alternativa de cubierta verde. Sin embargo, en la misma figura 4.8 se pueden evidenciar que existen valores positivos y que muestran impactos beneficiosos al medio. Este caso se encuentra en la fase 2, particularmente se refiere a acciones de captación, drenaje y descarga de agua. Estos resultados cobran sentido ya que los productos son soluciones para poder mitigar los problemas de acumulación de agua. La alternativa de cubierta verde presentó el impacto ambiental más positivo en referencia a la fase de aplicación del ciclo de vida. En tanto que, el hormigón convencional contiene los valores positivos más bajos en la fase de aplicación.

En adición a los análisis anteriores, también se optó por evaluar el impacto ambiental en relación con los medios, en este caso son: el medio natural y el medio humano. El primero contiene factores de la naturaleza que reciben los efectos de realizar los procesos de las fases del ciclo de vida. Por otro lado, el medio humano propone factores en donde el ser humano tiene incidencia. El medio natural es el que más afectaciones negativas recibe. En este caso, el producto de pavimento asfáltico, por sus reacciones químicas y extracciones de materia prima, incide negativamente en ese medio. Por otra parte, la cubierta verde conlleva los impactos de menor afectación frente este medio, incluso hasta interviene de manera positiva al medio humano, como se puede visualizar en la figura 4.9.

4.6 Medidas de prevención/mitigación

Las actividades de las diferentes alternativas del proyecto generan impactos ambientales, que pueden ser significativos para el entorno en que se va a trabajar, por lo que se elaboró una tabla con las respectivas medidas de prevención/mitigación. Con el fin de reducir y controlar los impactos ambientales de las actividades del proyecto.

Tabla 4.4: Medidas de Prevención o Mitigación (Autores)

Etapas	Actividades	Impactos Ambientales	Medidas de Prevención/Mitigación
Extracción de materias primas	Extracción de rocas y transporte	Contaminación de aire	Uso de equipos de control de emisiones de contaminantes y elección de rutas cortas para disminuir la emisión de gases
	Extracción de asfalto de la refinación de petróleo	Contaminación de aire por gases tóxicos	Disminuir el uso de los recursos para la elaboración de estos materiales
	Transporte de mezcla al punto	Contaminación de aire por gases	Elección de rutas cortas para disminuir la emisión de gases

	Movimiento de tierras	Alteración de las propiedades del perfil de suelo	Reutilización de escombros
	Instalación de tuberías	Producción de desechos tóxicos	Manejo correcto de materiales tóxicos en recipientes adecuados
	Vertido de material filtrante	Acumulación de desechos	Separación correcta de desechos y su correcto manejo para el retiro de estos
	Fundición de hormigón (convencional y permeable)	Emisión de CO ₂ , contaminación de suelo, producción de residuos, uso excesivo de agua	Utilizar cemento de baja huella de carbono, separación correcta de desperdicios para su retiro, reutilizar agua
	Vertido de material asfáltico	Emisión de CO ₂ , contaminación de suelo, producción de residuos, generación de calor	Utilización asfalto reciclable, separación correcta de desperdicios para su retiro, reutilizar agua

	Hidratación de plantas	Uso de agua excesivo	Correcto uso de agua y su respectiva reutilización
Aplicación	Mantenimiento de cubierta	Mantenimiento costoso	Reutilización de agua, aprendizaje de mantenimiento de la cubierta por parte de los propietarios para reducir gastos
	Drenaje de agua	Ahogamiento de tuberías	Diseñar de manera correcta las tuberías para evitar el ahogamiento
	Descarga de agua	Descarga de agua contaminada	Distribuir la descarga de agua contaminada a sus respectivas redes de alcantarillado
	Mantenimiento periódico	Obstrucción de espacio, uso excesivo de agua	Destinar área para realizar los mantenimientos y reutilización de agua empleada
	Captación de agua por losa permeable	Acumulación de desechos	Realizar un correcto mantenimiento y separación correcta de desperdicios para su retiro

	Retiro de escombros	Contaminación de aire	Proveer del equipo adecuado de protección a los trabajadores
	Mantenimiento de producto	Producción de desechos, alteración del suelo y generación de agua contaminada	Separación correcta de desechos y su correcto manejo, terreno preparado para mantenimiento
Disposición final	Reemplazo de producto	Generación de ruido, producción de desechos, emisión de CO2	Agilizar los procesos constructivos de la obra para emitir ruido en el menor tiempo posible, Separación correcta de desechos y su correcto manejo, utilizar cemento con baja huella de carbono

4.7 Conclusiones

Una vez culminado las evaluaciones de ciclo de vida de cada una de las alternativas de los productos, se determinó que la aplicación de hormigón permeable en un sistema de drenaje genera en su mayoría efectos ambientales positivos para la zona de estudio, mientras que sus efectos negativos pueden ser compensados o no ocasionan gran daño al entorno en donde se realiza la obra. No obstante, se elabora una tabla de medidas de prevención para un mejor desarrollo y gestión en la realización del producto, como se evidencia en la tabla 4.4.

Como resultado de haber evaluado los impactos ambientales de los productos, se determinó que la alternativa de cubierta verde es la opción que menos impacto negativo posee. Debido a sus componentes, la cubierta verde no conlleva procesos que generen efectos irreversibles o permanentes al entorno en donde se lleva a cabo el proyecto. No obstante, a pedido del cliente, se escoge la alternativa de hormigón permeable, que es la más relevante a su giro del negocio y que demuestra no generar efectos negativos a gran escala para la zona de estudio.

Las alternativas que poseen un mayor impacto ambiental negativo son el desarrollo de un sistema de drenaje con hormigón convencional y pavimento asfáltico. Ambas soluciones tienen un impacto negativo debido a su propia elaboración, y la extracción de su materia prima. No obstante, el constante mantenimiento de estos aporta en su impacto.

Por medio de la tabla 4.6 se puede comprobar que una de las actividades que mayor impacto ambiental negativo genera es la elaboración de hormigón. Esto se debe a todos los procesos que lleva consigo la elaboración de concreto ya sea permeable o convencional. Por lo tanto, se debe tomar en cuenta las medidas de prevención y mitigación de esta actividad.

CAPÍTULO 5

5. PRESUPUESTO

En esta sección se evaluarán todos los costos y rubros de la construcción del sistema de drenaje para la aplicación de hormigón permeable. En donde, se tomarán en cuenta los procesos constructivos, materiales, equipos, planificación y la gestión de todo el proyecto. Para lo cual, es necesario un análisis de precios unitarios (APUS) para las actividades que se van a realizar y al final tener un costo general de la obra.

5.1 Descripción de rubros

Los rubros son la representación de las etapas o fases que va a tener la obra, para que cada una de las mismas tenga asignado un valor según las funciones que realicen. Para este proyecto, los rubros para tener en cuenta son: Obras preliminares, Movimiento de tierras, instalación de materiales de drenaje, fundición de hormigón y componente ambiental. Para tener en cuenta que no se consideran costos indirectos, los resultados y tablas se pueden apreciar en el apéndice A.

5.2 Análisis de costos unitarios

En el análisis de costos unitarios hay que considerar los valores establecidos para cada una de las actividades de los rubros previamente enunciados. De modo que, la mano de obra, materiales, equipos y transporte poseen precios que han sido decretados para su respectivo análisis. Los precios unitarios y tablas se encuentran dispuestos en el apartado de Apéndice A.

5.3 Descripción de cantidades de obra

Para determinar las cantidades necesarias que se va a requerir para cada rubro, es necesario asignar una unidad correspondiente que va a estar asociada a la descripción de los materiales. Por lo cual, unidades como [m], [m²], [m³] nos permiten calcular áreas, volúmenes, unidades, pesos, etc., logrando que se pueda cuantificar las diversas actividades, materiales y equipos que se van a utilizar a lo largo de la obra. Se puede apreciar las cantidades de cada rubro en el apéndice A.

5.4 Valoración integral del costo del proyecto incluyendo las medidas de prevención y mitigación del impacto ambiental

En el presupuesto final se ha agregado un componente ambiental, con el fin de incluir el costo de la implementación de las medidas de prevención de las actividades y mitigar el impacto ambiental significativo para la obra. En el apéndice A se puede visualizar el presupuesto general incluyendo el componente ambiental.

5.5 Cronograma valorado

Para culminar los análisis del presupuesto, se procedió a elaborar el cronograma de actividades en referencia a los rubros, precios unitarios y cantidades de la obra a realizar. En la elaboración de cronograma se utilizó el programa Excel. El cronograma contiene las horas, fechas de comienzo y culminación de cada actividad. La descripción del cronograma se encuentra en el apéndice A.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Gracias al análisis previo, se puede concluir que la tasa de infiltración no depende del ancho del hormigón permeable. La tasa de infiltración depende únicamente del índice de porosidad. Dicha afirmación se refuerza gracias a que las tasas de infiltración para un mismo índice de porosidad son muy similares. Se puede afirmar, también, que el espesor del hormigón permeable tendría como fin ser un volumen de captación, que ayude al sumidero en su tarea de recolectar agua.

Gracias a la naturaleza del hormigón permeable, la distancia máxima entre sumideros es mayor a la de un hormigón convencional. Esta información puede mejorar enormemente los costos en obras de sistemas de drenajes, ya que podrían existir áreas de captación mayores. Otra ventaja sería el hecho de que no se puede obstruir el hormigón permeable en su totalidad, ya que toda su estructura infiltra el agua superficial. Esto permite una mejor infiltración, en comparación al hormigón convencional.

El sistema de drenaje implementando hormigón permeable disminuye la vulnerabilidad, y por su intermedio, el riesgo de inundación. Utilizando tuberías apropiadas, junto a un material filtrante y una geomalla, se puede alcanzar una mayor infiltración. La implementación de un mayor número de tuberías se posible, lo cual aumentaría la capacidad del hormigón permeable para infiltrar toda el agua de la precipitación. Con un mayor número de tuberías, se lograría disminuir el área de perforación, para no comprometer de gran manera la resistencia de los tubos.

6.2 Recomendaciones

Se sugiere realizar ensayos de flexión al hormigón permeable. El fin de este ensayo sería reconocer su resistencia máxima, y su variación frente al índice de porosidad. Es recomendable moldear vigas de diferentes espesores, para comparar su resistencia frente a un hormigón convencional del mismo ancho.

Como se ha hablado con anterioridad, se recomienda no implementar el hormigón permeable en lugares con pendientes elevadas, mayores a 3%. Las grandes pendientes ocasionarían una mayor cantidad de agua superficial, disminuyendo la eficiencia del hormigón permeable. Como todo sistema, un drenaje tiene sus limitantes, siendo la pendiente una de ellas.

Se propone utilizar tuberías más grandes, a partir de 200 [mm] (8"), ya que así lo indica la norma de Interagua. Se optó no utilizar tuberías de mayor diámetro debido a la baja carga que se tendrá en el parqueadero. En una ciudadela, o parque público, se espera un mayor número de transeúntes, por lo que un mayor diámetro, con un mayor espesor, es necesario para cubrir la cuota. También, es imperativo tener la tubería debajo de un metro del hormigón permeable, ya que, de lo contrario, podría fracturarse.

BIBLIOGRAFÍA

- Adil, G., Kevern, J. T., & Mann, D. (2020). Influence of silica fume on mechanical and durability of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118453>
- Ahmadi Moghadam, H., Mirzaei, A., & Abedi Dehghi, Z. (2020). The relation between porosity, hydration degree and compressive strength of Portland cement pastes in the presence of aluminum chloride additive. *Construction and Building Materials*, 250, 118884. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118884>
- Aïtcin, P. C. (2016). Portland cement. In *Science and Technology of Concrete Admixtures* (pp. 27–51). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100693-1.00003-5>
- Al-Otaibi, S., Al-Aibani, A., Al-Bahar, S., Abdulsalam, M., & Al-Fadala, S. (2019). Potential for producing concrete blocks using sulphur polymeric concrete in Kuwait. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 31(4). <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2018.02.004>
- Alhalabi Z., S. (2017). Self-healing concrete: definition, mechanism and application in different types of structures. *International Research Journal*, 5-1 (59).
- Alsaif, A., Koutas, L., Bernal, S. A., Guadagnini, M., & Pilakoutas, K. (2018). Mechanical performance of steel fibre reinforced rubberised concrete for flexible concrete pavements. *Construction and Building Materials*, 172, 533–543. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.010>
- American, S. (1891). Portland Cement and Portland Cement Concrete. *Scientific American*, 32(833supp), 13308–13309. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican12191891-13308csupp>
- American Society of Testing and Materials. (2017). ASTM C 1157/ C1157M-20 Standard Performance Specification for Hydraulic Cement. *ASTM International*, 6–8.
- ASTM. (2013). ASTM C117-13 Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No . 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. *ASTM International*, 200.
- ASTM. (2018). ASTM C33/C33M – 18: Standard Specification for Concrete Aggregates. In *ASTM*.
- ASTM. (2019). ASTM C150 / C150M-19a Standard Specification for Portland Cement. *Annual Book of ASTM Standards*, 10.
- ASTM C127. (2015). ASTM C127 Standard Test Method for Density , Relative Density

- (Specific Gravity), and Absorption. *ASTM Standard Book, September*.
- ASTM Committee C01.10. (2011). ASTM C1157-11 Standard Performance Specification for Hydraulic Cement. In *Annual Book of ASTM Standards Volume 04.01* (pp. 1–5). American Society for Testing and Materials.
- ASTM International. (2003). ASTM C143/C143M, Standard Test Method for slump of hydraulic-cement concrete. *ASTM Int.*
- ASTM International. (2015). ASTM C128 - 15: Standard Test Method for Relative Gravity (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. *Annual Book of ASTM Standards*.
- Aziz, M. M. A., Rahman, M. T., Hainin, M. R., & Bakar, W. A. W. A. (2015). An overview on alternative binders for flexible pavement. In *Construction and Building Materials* (Vol. 84, pp. 315–319). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.068>
- Barnes, P., & Bensted, J. (2002). Structure and Performance of Cements. In *Structure and Performance of Cements*. <https://doi.org/10.1201/9781482295016>
- Birchall, J. D., Howard, A. J., & Bailey, J. E. (1978). ON THE HYDRATION OF PORTLAND CEMENT. *Proc R Soc London Ser A*, 360(1702), 445–453. <https://doi.org/10.1098/rspa.1978.0078>
- Borhan, T. M., & Al Karawi, R. J. (2020). Experimental investigations on polymer modified pervious concrete. In *Case Studies in Construction Materials* (Vol. 12). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00335>
- Burgos Vasquez, B. M. (2014). Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: Santa Elvira–El Arenal, en la comuna de Valdivia. *Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38405574/deterioros_en_pavimentos.pdf?1438901293=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDETERIOROS_EN_PAVIMENTOS_FLEXIBLE_S_Y_RIG.pdf&Expires=1615652062&Signature=VRbZ4eJaT63mwjmaQWmyVAsb2qnYe5aLbnG7FqCuB2P
- Bushmanova, A. V., Videnkov, N. V., Semenov, K. V., Barabanshchikov, Y. G., Dernakova, A. V., & Korovina, V. K. (2017). The thermo-stressed state in massive concrete structures. *Magazine of Civil Engineering*, 71(3). <https://doi.org/10.18720/MCE.71.6>
- Castro-Fresno, D., Andrés-Valeri, V. C., Sañudo-Fontaneda, L. A., & Rodriguez-

- Hernandez, J. (2013). Sustainable drainage practices in Spain, specially focused on pervious pavements. In *Water (Switzerland)* (Vol. 5, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/w5010067>
- Cement Chemistry by H. F. Taylor. (2012). *Journal of Coastal Research*, 15(2).
- Chapoñan Cueva, J. M., & Quispe Cirilo, J. (2017). “*Analisis Del Comportamiento En Las Propiedades Del Concreto Hidraulico Para El Diseño De Pavimentos Rigidos Adicionando Fibras De Polipropileno En El a.a.H.H Villamaria-Nuevo Chimbote*” (pp. 1–214). Universidad Nacional Del Santa.
- Chatterjee, A. K. (2018). Cement Production Technology. In *Cement Production Technology*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203703335>
- Chica, L., & Alzate, A. (2019). Cellular concrete review: New trends for application in construction. In *Construction and Building Materials* (Vol. 200). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.136>
- Chipana Ronald Dennis, M. M. C. (2020). *Influencia del calor de hidratación en concreto a bajas temperaturas, dosificado con cemento comercializados en la ciudad de Juliaca* (pp. 1–94).
- Claisse, P. A. (2016). Cements and cement replacement materials. In *Civil Engineering Materials* (pp. 163–176). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100275-9.00018-8>
- Dash, M. K., & Patro, S. K. (2021). Performance assessment of ferrochrome slag as partial replacement of fine aggregate in concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 25(4). <https://doi.org/10.1080/19648189.2018.1539674>
- Debnath, B., & Sarkar, P. P. (2020). Pervious concrete as an alternative pavement strategy: a state-of-the-art review. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(12). <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1554217>
- Divya Bhavana, T., Koushik, S., Uday Mani Kumar, K., & Srinath, R. (2017). Pervious concrete pavement. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4). <https://doi.org/10.3141/2113-02>
- Dunuweera, S. P., & Rajapakse, R. M. G. (2018). Cement Types, Composition, Uses and Advantages of Nanocement, Environmental Impact on Cement Production, and Possible Solutions. In *Advances in Materials Science and Engineering* (Vol. 2018). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2018/4158682>
- Elghriany, A., Yi, P., Liu, P., & Yu, Q. (2016). Investigation of the effect of pavement

- roughness on crash rates for rigid pavement. *Journal of Transportation Safety and Security*, 8(2), 164–176. <https://doi.org/10.1080/19439962.2015.1025458>
- Elnashar, G., Bhat, R. B., & Sedaghati, R. (2019). Modeling pavement damage and predicting fatigue cracking of flexible pavements based on a combination of deterministic method with stochastic approach using Miner's hypothesis. *SN Applied Sciences*, 1(3). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0238-5>
- Erdem, T. K., Turanli, L., & Erdogan, T. Y. (2003). Setting time: An important criterion to determine the length of the delay period before steam curing of concrete. *Cement and Concrete Research*, 33(5), 741–745. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01058-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01058-X)
- Feldman, R. F., & Beaudoin, J. J. (1976). Microstructure and strength of hydrated cement. *Cement and Concrete Research*, 6(3), 389–400. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(76\)90102-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(76)90102-2)
- FHWA. (2009). *Urban Drainage Design Manual*.
- Francois, A., Ali, A., & Mehta, Y. (2019). Evaluating the impact of different types of stabilised bases on the overall performance of flexible pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(8), 938–946. <https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1366766>
- Garcia, I. G. (2011). *Carbonatación del hormigón: combinación de CO2 con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH* (p. 202). Universidad Complutense de Madrid.
- Gautam, P. K., Kalla, P., Jethoo, A. S., Agrawal, R., & Singh, H. (2018). Sustainable use of waste in flexible pavement: A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 180, pp. 239–253). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.067>
- Ghafoori, N., & Dutta, S. (1995). Building and Nonpavement Applications of No-Fines Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 7(4). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0899-1561\(1995\)7:4\(286\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0899-1561(1995)7:4(286))
- Ghoddousi, P., Shirzadi Javid, A. A., Sobhani, J., & Zaki Alamdari, A. (2016). A new method to determine initial setting time of cement and concrete using plate test. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 49(8). <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0709-0>
- Gjørsv, O. E. (2019). High-strength concrete. In *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00007-1>
- Gomez Vallejos, S. J. (2014). *Diseño Estructural del Pavimento Flexible Para el Anillo Vial*

del Óvalo Grau – Trujillo - la Libertad. 121.
<http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/638>

- Grullón – Penkova, I. F., Zimmerman, J. K., & González, G. (2020). Green roofs in the tropics: design considerations and vegetation dynamics. *Heliyon*, 6(8), e04712. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E04712>
- Hasan, N. (2020). Mass Concrete. In *Durability and Sustainability of Concrete* (pp. 117–139). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51573-7_5
- Hassan, S., Salah, H., & Shehata, N. (2021). Effects of alternative calcium sulphate-bearing materials on cement characteristics in vertical mill and storing. *Case Studies in Construction Materials*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00489>
- Hassani, A., Taghipoor, M., & Karimi, M. M. (2020). A state of the art of semi-flexible pavements: Introduction, design, and performance. In *Construction and Building Materials* (Vol. 253). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119196>
- Hoang, N. D. (2019). Automatic detection of asphalt pavement raveling using image texture based feature extraction and stochastic gradient descent logistic regression. *Automation in Construction*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102843>
- Hou, Y., Zhang, H., Wu, J., Wang, L., & Xiong, H. (2018). Study on the microscopic friction between tire and asphalt pavement based on molecular dynamics simulation. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.09.001>
- INEN. (2002). NTE INEN 2380:2011 Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. *Norma Inen 2380 - 2011 Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1(Primera Edición).
- Interagua. (2015). *Ajuste y Revisión del Plan Maestro Agua Potable, Alcantarillado Sanitario y Alcantarillado Pluvial*.
- Islam, I., Kheng Chng, H., & Jin Yap, A. U. (2006). Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and portland cement. *Journal of Endodontics*, 32(3), 193–197. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.10.043>
- Jackson, P. J. (2003). Portland Cement: Classification and Manufacture. In *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* (pp. 25–94). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-075066256-7/50014-X>
- Janani, L., Dixit, R. K., Sunitha, V., & Mathew, S. (2020). Prioritisation of pavement maintenance sections deploying functional characteristics of pavements. *International*

- Journal of Pavement Engineering*, 21(14), 1815–1822.
<https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1567923>
- Jones, M. R., Ozlutas, K., & Zheng, L. (2017). High-volume, ultra-low-density fly ash foamed concrete. *Magazine of Concrete Research*, 69(22).
<https://doi.org/10.1680/jmacr.17.00063>
- Kabir, R., & Hiller, J. E. (2021). Numerical analyses of rigid and flexible pavements responses under heavy vehicles' loading. *Road Materials and Pavement Design*, 22(2), 333–356. <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1621189>
- Kayhanian, M., Li, H., Harvey, J. T., & Liang, X. (2019). Application of permeable pavements in highways for stormwater runoff management and pollution prevention: California research experiences. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(4), 358–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2019.01.001>
- Kia, A., Delens, J. M., Wong, H. S., & Cheeseman, C. R. (2021). Structural and hydrological design of permeable concrete pavements. *Case Studies in Construction Materials*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00564>
- Kim, H., Son, H. M., Park, S., & Lee, H. K. (2020). Effects of biological admixtures on hydration and mechanical properties of Portland cement paste. *Construction and Building Materials*, 235, 117461. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117461>
- Kim, S. M., & McCullough, B. F. (2003). Dynamic response of plate on viscous Winkler foundation to moving loads of varying amplitude. *Engineering Structures*, 25(9), 1179–1188. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(03\)00066-X](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(03)00066-X)
- Klein, A. A., & Phillips, A. J. (1914). The hydration of Portland cement. *Journal of the Franklin Institute*, 178(5), 635–639. [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(14\)90279-4](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(14)90279-4)
- Kodur, V. (2014). Properties of concrete at elevated temperatures. In *ISRN Civil Engineering* (Vol. 2014). <https://doi.org/10.1155/2014/468510>
- Komastka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2003). Design and Control of Concrete Mixtures. Preface and Acknowledgments. *Construction*.
- Kumar Mehta, P. (1993). *Concrete: structure, properties, and methods* (2nd ed.). Prentice-Hall, Inc.
- Land, G., & Stephan, D. (2015). Controlling cement hydration with nanoparticles. *Cement and Concrete Composites*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.12.003>
- Lederle, R., Shepard, T., & De La Vega Meza, V. (2020). Comparison of methods for measuring infiltration rate of pervious concrete. *Construction and Building Materials*,

244. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118339>

- Link, J., Sowoidnich, T., Pfitzner, C., Gil-Diaz, T., Heberling, F., Lützenkirchen, J., Schäfer, T., Ludwig, H. M., & Haist, M. (2020). The influences of cement hydration and temperature on the thixotropy of cement paste. *Materials*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/MA13081853>
- Locher, F. W. (2006). *Cement Principles of Production and Use*. VLB-Meldung.
- Lu, G., Wang, Y., Li, H., Wang, D., & Oeser, M. (2019). The environmental impact evaluation on the application of permeable pavement based on life cycle analysis. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(4), 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2019.05.006>
- Marchon, D., & Flatt, R. J. (2016). Mechanisms of cement hydration. In *Science and Technology of Concrete Admixtures* (pp. 129–145). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100693-1.00008-4>
- Michaux, M., Nelson, E. B., & Vidick, B. (1990). Chemistry and Characterization of Portland Cement. *Developments in Petroleum Science*, 28(C), 2-1-2–17. [https://doi.org/10.1016/S0376-7361\(09\)70300-0](https://doi.org/10.1016/S0376-7361(09)70300-0)
- Mindess, S. (1981). *Concrete* (1st ed.). Prentice-Hall, Inc.
- Montalvo Guevara, M. E. (2015). PAVIMENTOS RIGIDOS REFORZADOS CON FIBRAS DE ACERO VERSUS PAVIMENTOS TRADICIONALES. *Pontifica UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU*. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6117>
- Nguyen, T. C., Huynh, T. P., & Tang, V. L. (2019). Prevention of crack formation in massive concrete at an early age by cooling pipe system. *Asian Journal of Civil Engineering*, 20(8). <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00175-5>
- Niken, C., Rainal, Karami, M., & Sasana, P. (2020). Deep-hair-cracks mechanism of rigid pavement in humid tropical weather. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 857(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/857/1/012028>
- Nwankwo, C. O., Bamigboye, G. O., Davies, I. E. E., & Michaels, T. A. (2020). High volume Portland cement replacement: A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 260). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120445>
- Odler, I. (1991). Strength of cement (final report). *Materials and Structures*, 24(2). <https://doi.org/10.1007/BF02472476>
- Olita, S., Diomedi, M., & Ciampa, D. (2020). Alternative formula for rigid pavement stress calculation in corner load conditions. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*,

15(5), 59–79. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2020-15.507>

- Ollivier, J. P., Torrenti, J. M., & Carcassès, M. (2013). Physical Properties of Concrete and Concrete Constituents. In *Physical Properties of Concrete and Concrete Constituents*. <https://doi.org/10.1002/9781118562734>
- Pacheco-Torres, R., Cerro-Prada, E., Escolano, F., & Varela, F. (2018). Fatigue performance of waste rubber concrete for rigid road pavements. *Construction and Building Materials*, 176, 539–548. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.030>
- Paine, K. A. (2019). Physicochemical and mechanical properties of Portland cements. In *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* (pp. 285–339). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100773-0.00007-1>
- Pan, Z., Li, H., & Liu, W. (2014). Preparation and characterization of super low density foamed concrete from Portland cement and admixtures. *Construction and Building Materials*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.078>
- Pillay, D. L., Olalusi, O. B., & Mostafa, M. M. H. (2020). A Review of the Engineering Properties of Concrete with Paper Mill Waste Ash — Towards Sustainable Rigid Pavement Construction. In *Silicon*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00664-2>
- Popovics, S. (1992). Portland Cement—Types, Properties and Specifications. In *Concrete Materials* (pp. 3–102). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-8155-1308-7.50006-5>
- Qiao, Y., Dawson, A. R., Parry, T., Flintsch, G., & Wang, W. (2020). Flexible pavements and climate change: A comprehensive review and implicatio. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/su12031057>
- Rada, G. R., Perera, R. W., Prabhakar, V. C., & Wisser, L. J. (2012). Relating ride quality and structural adequacy for pavement rehabilitation and management decisions. *Transportation Research Record*, 2304. <https://doi.org/10.3141/2304-04>
- Ramezani pour, A. A. (2014). Cement Replacement Materials; Properties, Durability, Sustainability. In *Springer Geochemistry/Mineralogy* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36721-2>
- Ranadive, M. S., & Tapase, A. B. (2016). Parameter sensitive analysis of flexible pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(6), 466–472. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.12.001>
- Razzaghmanesh, M., & Borst, M. (2019). Long-term effects of three types of permeable pavements on nutrient infiltrate concentrations. *Science of the Total Environment*, 670,

893–901. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.279>

- Renaud, P., Chartier, S., & Kaufman, D. (2008). Properties of concrete by A.M. Neville. In *Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications, SPPRA 2008*.
- Revilla-Cuesta, V., Skaf, M., Faleschini, F., Manso, J. M., & Ortega-López, V. (2020). Self-compacting concrete manufactured with recycled concrete aggregate: An overview. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 262). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121362>
- Reyes Lizcano, F. (2011). Comportamiento hidráulico, beneficios y limitaciones de la aplicación de un SDGA a una estructura de pavimento flexible. In *Infraestructura Vial* (Vol. 13, Issue 24).
- Rodríguez Martínez, A. D., Domínguez Patiño, M. L., Melgoza Alemán, R. M., & Rosas Trejo, G. A. (2014). Characterization by Thermogravimetric Analysis of Polymeric Concrete with High Density Polyethylene Mechanically Recycled. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 02(04). <https://doi.org/10.4236/jmmce.2014.24030>
- Romero Jaramillo, F. J. (2018). Resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210$ kg/cm² sustituyendo al cemento por la combinación de un 8% por el polvo de la concha de abanico y 12% por las cenizas de la cascara de arroz. In *Desarrollo de la expresión oral a través de títeres con niños de 5 años de la I.E. N° 821067 San Pablo - Cajamarca*.
- Roy, D. M., & Gouda, G. R. (1973). High strength generation in cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 3(6), 807–820. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(73\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0008-8846(73)90013-6)
- Saadeh, S., Ralla, A., Al-Zubi, Y., Wu, R., & Harvey, J. (2019). Application of fully permeable pavements as a sustainable approach for mitigation of stormwater runoff. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(4), 338–350. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2019.02.001>
- Saha, S., & Pal, S. (1984). Mechanical properties of bone cement: A review. *Journal of Biomedical Materials Research*, 18(4). <https://doi.org/10.1002/jbm.820180411>
- Sedano, E., & Sedano, J. (2019). OPTIMIZACION METAHEURISTICA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS. In *Repositorio Institucional - UNH* (p. 80). Universidad Nacional de Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2755>

- Sengupta, P. (2020). Refractories for the Cement Industry. In *Refractories for the Cement Industry*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-21340-4>
- Shaban, A. M., Alsabbagh, A., Wtaife, S., & Suksawang, N. (2020). Effect of Pavement Foundation Materials on Rigid Pavement Response. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 671(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/671/1/012085>
- Shiva Kumar Reddy, N., & Nagi Reddy, P. (2019). Strength evaluation on M25 & M 30 grades of self compaction concrete by partial replacement of saw dust in fine aggregates. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2 Special issue 3). <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1221.0782S319>
- Solanki, P., & Zaman, M. (2017). Design of semi-rigid type of flexible pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(2), 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.10.004>
- Sorokin, I. N., & Yur'eva, N. D. (1985). A quick-setting refractory cement and the concrete based on it. *Refractories*, 26(7–8). <https://doi.org/10.1007/BF01399784>
- Sprouse, C. E., Hoover, C., Obritsch, O., & Thomazin, H. (2020). Advancing pervious pavements through nomenclature, standards, and holistic green design. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 18). <https://doi.org/10.3390/SU12187422>
- Sumanasooriya, M. S., & Neithalath, N. (2011). Pore structure features of pervious concretes proportioned for desired porosities and their performance prediction. *Cement and Concrete Composites*, 33(8). <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.06.002>
- Sun, Z., Lin, X., & Vollpracht, A. (2018). Pervious concrete made of alkali activated slag and geopolymers. *Construction and Building Materials*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.067>
- Surahyo, A. (2019). Proportioning of Concrete Mixes. In *Concrete Construction*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10510-5_4
- Tennis, P. D., Leming, M. L., & Akers, D. J. (2004). Pervious Concrete Pavements EB302.02. In *Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, USA*.
- Terzidis, G. (2005). *Explicit method for calculating uniform depth of trapezoidal open channel flow*.
- Uchikawa, H., Hanehara, S., Shirasaka, T., & Sawaki, D. (1992). Effect of admixture on

- hydration of cement, adsorptive behavior of admixture and fluidity and setting of fresh cement paste. *Cement and Concrete Research*, 22(6), 1115–1129. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(92\)90041-S](https://doi.org/10.1016/0008-8846(92)90041-S)
- Van Oss, H. G., & Padovani, A. C. (2002). Cement manufacture and the environment - Part I: Chemistry and technology. *Journal of Industrial Ecology*, 6(1), 89–105. <https://doi.org/10.1162/108819802320971650>
- Von Daake, H., & Stephan, D. (2016). Setting of cement with controlled superplasticizer addition monitored by ultrasonic measurements and calorimetry. *Cement and Concrete Composites*, 66, 24–37. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.11.004>
- Yang, J., & Jiang, G. (2003). Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. *Cement and Concrete Research*, 33(3). [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00966-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00966-3)
- Yoshioka, K., Tazawa, E. I., Kawai, K., & Enohata, T. (2002). Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals. *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1507–1513. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00782-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00782-2)
- Zhang, M. H., Sisomphon, K., Ng, T. S., & Sun, D. J. (2010). Effect of superplasticizers on workability retention and initial setting time of cement pastes. *Construction and Building Materials*, 24(9), 1700–1707. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.021>
- Zhang, S., Cao, K., Wang, C., Wang, X., Deng, G., & Wei, P. (2020). Influence of the porosity and pore size on the compressive and splitting strengths of cellular concrete with millimeter-size pores. *Construction and Building Materials*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117508>
- Zhao, Z., Guan, X., Xiao, F., Xie, Z., Xia, P., & Zhou, Q. (2020). Applications of asphalt concrete overlay on Portland cement concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120045>
- Zhong, R., Leng, Z., & Poon, C. sun. (2018). Research and application of pervious concrete as a sustainable pavement material: A state-of-the-art and state-of-the-practice review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 183). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.131>
- Zhu, H., Wen, C., Wang, Z., & Li, L. (2020). Study on the permeability of recycled aggregate pervious concrete with fibers. *Materials*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/ma13020321>

APÉNDICE A

APUS, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE
UBICACIÓN: Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil
ELABORADO POR: VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO
RUBRO: 1
CÓDIGO: 1.1 **UNIDAD:** m2
DESCRIPCIÓN: LIMPIEZA Y DESBROCE

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					0.10
SUBTOTAL (M)					0.10

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Peón (EST. OC. E2)	2	3.60	7.20	0.29	2.09
SUBTOTAL (N)					2.09

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = Ax B
SUBTOTAL (O)				

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
		A	B	C = Ax B
SUBTOTAL (P)				

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	2.19
--	------

INDIRECTOS 20.00%	0.44
--------------------------	------

UTILIDADES 0.00%	
-------------------------	--

COSTO TOTAL DEL RUBRO	2.63
------------------------------	------

VALOR UNITARIO	2.63
-----------------------	------

PROYECTO: SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE
UBICACIÓN: Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil
ELABORADO POR: VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO
RUBRO: 2
CÓDIGO: 1.2 **UNIDAD:** m3
DESCRIPCIÓN: RETIRO DE MATERIAL EXISTENTE

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					0.09
Excavadora de oruga	1.00	45.00	45.00	0.08	3.60
SUBTOTAL (M)					3.69

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Maestro de obra civil (EST. OC. C1)	1.00	4.03	4.03	0.08	0.32
Peón (EST. OC. E2)	2.00	3.60	7.20	0.08	0.58
Engrasador responsable (EST. OC.D2)	1.00	3.67	3.67	0.08	0.29
Operador de excavadora	2.00	4.05	8.1	0.08	0.65
SUBTOTAL (N)					1.84

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = AxB
SUBTOTAL (O)				

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
		A	B	C = AxB
SUBTOTAL (P)				

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)		5.53
INDIRECTOS 20.00%		1.11
UTILIDADES 0.00%		
COSTO TOTAL DEL RUBRO		6.64
VALOR UNITARIO		6.64

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE
UBICACIÓN: Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil
ELABORADO POR: VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO
RUBRO: 3
CÓDIGO: 1.3 **UNIDAD:** m3
DESCRIPCIÓN: EXCAVACIÓN DE ZANJAS Y DESALOJO DE MATERIAL EXCAVADO

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					0.12
Volqueta m3	1.00	30.00	30.00	0.10	3.00
SUBTOTAL (M)					3.12

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Chofer de volqueta (EST. OC. Chofer C1)	1.00	5.25	5.25	0.10	0.53
Maestro de obra civil (EST. OC. C1)	1.00	4.03	4.03	0.08	0.32
Peón (EST. OC. E2)	2.00	3.60	7.20	0.08	0.58
Engrasador responsable (EST. OC.D2)	1.00	3.67	3.67	0.08	0.29
Operador de excavadora	2.00	4.05	8.1	0.08	0.65
SUBTOTAL (N)					2.37

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = Ax B
SUBTOTAL (O)				

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
		A	B	C = Ax B
SUBTOTAL (P)				

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)

5.48

INDIRECTOS 20.00%

1.10

UTILIDADES 0.00%**COSTO TOTAL DEL RUBRO**

6.58

VALOR UNITARIO

6.58

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE
UBICACIÓN: Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil
ELABORADO POR: VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO
RUBRO: 4
CÓDIGO: 1.4 **UNIDAD:** u
DESCRIPCIÓN: INSTALACION DE TUBERÍAS DE 10Ø

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					0.12
SUBTOTAL (M)					0.12

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Plomero EST.OC. D2)	1.00	3.62	3.62	0.17	0.62
Peón (EST. OC. E2)	3.00	3.60	10.80	0.17	1.84
SUBTOTAL (N)					2.45

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = Ax B
Tubería de PVC 200mm	u	1.00	51.33	51.33
SUBTOTAL (O)				51.33

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
		A	B	C = Ax B
SUBTOTAL (P)				

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	53.90
INDIRECTOS 20.00%	10.78
UTILIDADES 0.00%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	64.68
VALOR UNITARIO	64.68

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE
UBICACIÓN: Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil
ELABORADO POR: VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO
RUBRO: 5
CÓDIGO: 1.5 **UNIDAD:** u
DESCRIPCIÓN: COLOCACION DE GEOMEMBRANA

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					0.06
SUBTOTAL (M)					0.06

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Maestro de obra civil (EST. OC. C1)	1.00	4.03	4.03	0.08	0.32
Peón (EST. OC. E2)	3.00	3.60	10.80	0.08	0.86
SUBTOTAL (N)					1.19

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = AxB
Geotextil	u	1.00	100	100.00
SUBTOTAL (O)				100.00

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
		A	B	C = AxB
SUBTOTAL (P)				

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	101.25
INDIRECTOS 20.00%	20.25
UTILIDADES 0.00%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	121.49
VALOR UNITARIO	121.49

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO:	SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE				
UBICACIÓN:	Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil				
ELABORADO POR:	VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO				
RUBRO:	6				
CÓDIGO:	1.6				UNIDAD: m3
DESCRIPCIÓN:	RELLENO CON MATERIAL FILTRANTE				

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					0.39
Volqueta m3	1.00	30.00	30.00	0.10	3.00
SUBTOTAL (M)					3.39

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Peón (EST. OC. O2)	3.00	3.60	10.80	0.60	6.48
Albañil (EST. OC. D2)	1.00	3.87	3.87	0.20	0.77
Chofer de volqueta (EST. OC. Chofer C1)	1.00	5.25	5.25	0.10	0.53
SUBTOTAL (N)					7.78

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = AxB
Material de relleno - grava #78	kg/m3	1536.00	0.007	10.752
SUBTOTAL (O)				10.752

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
		A	B	C = AxB
SUBTOTAL (P)				

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	21.92
INDIRECTOS 20.00%	4.38
UTILIDADES 0.00%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	26.30
VALOR UNITARIO	26.30

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO:	SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE				
UBICACIÓN:	Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil				
ELABORADO POR:	VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO				
RUBRO:	7				
CÓDIGO:	1.7				UNIDAD: m3
DESCRIPCIÓN:	HORMIGON PERMEABLE DE 210 KG/CM2				

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS					
-------------------------------------	--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					1.29
Regla vibratoria	1.00	3.50	3.50	1.00	3.50
SUBTOTAL (M)					4.79

MANO DE OBRA					
--------------	--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Maestro de obra (EST. OC. C1)	1.00	4.03	4.03	1.00	4.03
Albañiles (EST. OC. C1)	2.00	3.65	7.30	1.00	7.30
Peón (EST. OC. E2)	4.00	3.60	14.40	1.00	14.40
SUBTOTAL (N)					25.73

MATERIALES					
------------	--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = Ax B
Cemento HE RMX - Holcim	kg/m3	425.00	0.1079	45.86
Arena de Río Anropevi	kg/m3	1536	0.007	10.75
Piedra #78 Verdú	kg/m3	138	0.0096	1.32
Agua	kg/m3	119	0.00146	0.17
Aditivo 5012	kg/m3	2.13	0.83	1.77
SUBTOTAL (O)				59.88

TRANSPORTE					
------------	--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
Mixer	u	1	70	70
SUBTOTAL (P)				70

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	160.39
INDIRECTOS 20.00%	32.08
UTILIDADES 0.00%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	192.47
VALOR UNITARIO	192.47

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
-------------------------------	--	--	--	--	--

PROYECTO: SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE
UBICACIÓN: Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil
ELABORADO POR: VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO
RUBRO: 8
CÓDIGO: 1.8 **UNIDAD:** m
DESCRIPCIÓN: SEÑALETICA EN PAVIMENTO

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					0.03
SUBTOTAL (M)					0.03

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = Ax B	R	D = CxR
Maestro de obra civil (EST. OC. C1)	1.00	4.03	4.03	0.08	0.32
Peón (EST. OC. E2)	1.00	3.60	3.60	0.08	0.29
SUBTOTAL (N)					0.61

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = Ax B
Pintura de trafico	gl	0.01	28	0.14
SUBTOTAL (O)				0.14

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
		A	B	C = Ax B
SUBTOTAL (P)				

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P) 0.78

INDIRECTOS 20.00% 0.16

UTILIDADES 0.00%

COSTO TOTAL DEL RUBRO 0.94

VALOR UNITARIO 0.94

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE

UBICACIÓN: Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil
ELABORADO POR: VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO
RUBRO: 9
CÓDIGO: 1.9 **UNIDAD:** u
DESCRIPCIÓN: LETREROS INFORMATIVOS Y PREVENTIVOS

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					0.06
Soldadora	1.00	2.5	2.50	0.30	0.75
SUBTOTAL (M)					0.81

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Maestro soldador	0.50	4.04	2.02	0.30	0.61
Peón (EST. OC. E2)	0.50	3.60	1.80	0.30	0.54
SUBTOTAL (N)					1.15

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = AxB
Letrero de seguridad	u	1.00	50	50.00
SUBTOTAL (O)				50.00

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
		A	B	C = AxB
SUBTOTAL (P)				

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	51.95
INDIRECTOS 20.00%	10.39
UTILIDADES 0.00%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	62.34
VALOR UNITARIO	62.34

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO:	SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE				
UBICACIÓN:	Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil				
ELABORADO POR:	VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO				
RUBRO:	10				
CÓDIGO:	2.0			UNIDAD:	m3
DESCRIPCIÓN:	AGUA PARA CONTROL DE POLVO				

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS					
--	--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					0.04
Tanquero de agua 2000 lts.	1.00	20	20.00	0.10	2.00
SUBTOTAL (M)					2.04

MANO DE OBRA					
---------------------	--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Tanquero	1.00	5.29	5.29	0.10	0.53
Peón (EST. OC. E2)	1.00	3.60	3.60	0.10	0.36
SUBTOTAL (N)					0.89

MATERIALES					
-------------------	--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = AxB
Agua	m3	1.05	1.25	1.31
SUBTOTAL (O)				1.31

TRANSPORTE					
-------------------	--	--	--	--	--

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
		A	B	C = AxB
SUBTOTAL (P)				

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	4.25
INDIRECTOS 20.00%	0.85
UTILIDADES 0.00%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	5.10
VALOR UNITARIO	5.10

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
--------------------------------------	--	--	--	--	--

PROYECTO: SISTEMA DE DRENAJE PARA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE
UBICACIÓN: Holcim Ecuador S.A. - Planta San Eduardo - Guayaquil
ELABORADO POR: VINICIO PERALTA - KEVIN CARRASCO
RUBRO: 11
CÓDIGO: 2.1 **UNIDAD:** u
DESCRIPCIÓN: SEÑALIZACION TEMPORAL DE OBRA

EQUIPOS. MAQUINARIAS Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Herramienta menor 5% de M.O					0.51
Soldadora	1.00	2.5	2.50	0.80	2.00
SUBTOTAL (M)					2.51

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/H.	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = AxB	R	D = CxR
Maestro soldador	0.50	4.04	2.02	0.80	1.62
Peón (EST. OC. E2)	3.00	3.60	10.80	0.80	8.64
SUBTOTAL (N)					10.26

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
		A	B	C = AxB
Letreros Preventivos	m	1.00	5.5	5.50
SUBTOTAL (O)				5.50

TRANSPORTE

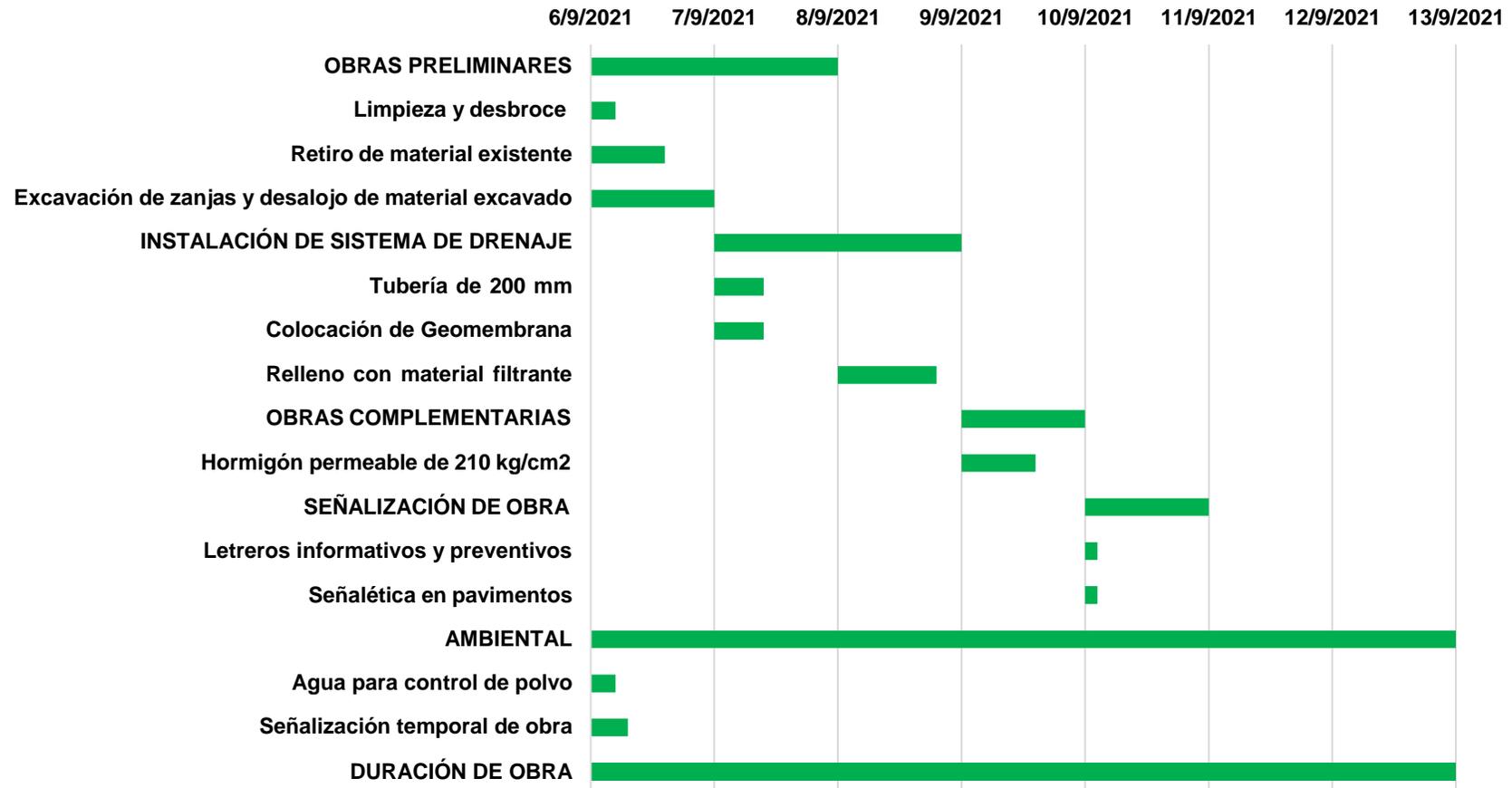
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/Km.	COSTO
		A	B	C = AxB
SUBTOTAL (P)				

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)	18.27
INDIRECTOS 20.00%	3.65
UTILIDADES 0.00%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO	21.92
VALOR UNITARIO	21.92

PRESUPUESTO GENERAL						
TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS. UNIDADES. CANTIDADES Y PRECIOS						
CÓDIGO	RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
1. OBRAS PRELIMINARES						
1.1	1.00	Limpieza y desbroce	m2	20.04	2.63	52.72
1.2	2.00	Retiro de material existente	m3	3.00	6.64	19.92
1.3	3.00	Excavación de zanjas y desalojo de material excavado	m3	24.05	6.58	158.25
2. INSTALACIÓN DE SISTEMA DE DRENAJE						
1.4	4.00	Tubería de 200 mm	u	3.00	64.68	194.05
1.5	5.00	Colocación de Geomembrana	u	1.00	121.49	121.49
1.6	6.00	Relleno con material filtrante	m3	20.04	26.30	527.13
3. OBRAS COMPLEMENTARIAS						
1.7	7.00	Hormigón permeable de 210 kg/cm2	m3	3.00	192.47	577.41
4. SEÑALIZACIÓN DE OBRA						
1.8	8.00	Señalética en pavimento	m	6.00	0.94	5.62
1.9	9.00	Letreros informativos y preventivos	u	2.00	62.34	124.69
5. AMBIENTAL						
2.0	10.00	Agua para control de polvo	m3	3.00	5.10	15.29
2.1	11.00	Señalización temporal de obra	u	2.00	21.92	43.85
TOTAL DE PRESUPUESTO						1840.42

CRONOGRAMA PROYECTO DISEÑO DE SISTEMA DE DRENAJE PARA LA APLICACIÓN DE HORMIGON PERMEABLE				
Actividades	Duración (días)	Comienzo	Fin	Costo (\$)
OBRAS PRELIMINARES	2.00	6/9/2021	7/9/2021	230.88
Limpieza y desbroce	0.20	6/9/2021	6/9/2021	52.72
Retiro de material existente	0.60	6/9/2021	6/9/2021	19.92
Excavación de zanjas y desalojo de material excavado	1.00	6/9/2021	7/9/2021	158.25
INSTALACIÓN DE SISTEMA DE DRENAJE	2.00	7/9/2021	9/9/2021	842.68
Tubería de 200 mm	0.40	7/9/2021	7/9/2021	194.05
Colocación de Geomembrana	0.40	7/9/2021	7/9/2021	121.49
Relleno con material filtrante	0.80	8/9/2021	9/9/2021	527.13
OBRAS COMPLEMENTARIAS	1.00	9/9/2021	10/9/2021	577.41
Hormigón permeable de 210 kg/cm2	0.60	9/9/2021	10/9/2021	577.41
SEÑALIZACIÓN DE OBRA	1.00	10/9/2021	10/9/2021	130.31
Letreros informativos y preventivos	0.10	10/9/2021	10/9/2021	5.62
Señalética en pavimentos	0.10	10/9/2021	10/9/2021	124.69
AMBIENTAL	7.00	6/9/2021	13/9/2021	59.13
Agua para control de polvo	0.20	6/9/2021	10/9/2021	15.29
Señalización temporal de obra	0.30	6/9/2021	10/9/2021	43.85
DURACIÓN DE OBRA	7.00	6/9/2021	13/9/2021	1840.42

DIAGRAMA DE GANTT



APÉNDICE B

MATRICES DE LEOPOLD

Acciones que afectan a sistemas de drenaje con pavimentos asfálticos																				
Extracción de materia prima y fabricación										Aplicación						Disposición final				
		Extracción de rocas y transporte	Extracción de asfalto de la refinación de petróleo	Transporte de asfalto	Transporte de mezcla al punto	Retiro de material existente	Movimiento de tierras	Colocación de tuberías	Instalación cámaras de captación	Relleno con material filtrante	Vertido de material asfáltico	Soporte de cargas de vehículos	Captación de agua por sumideros	Drenaje de agua	Descarga de agua	Mantenimiento de periódico	Revisión de tuberías	Reemplazo de producto		
Elementos ambientales	Características Físicas y Químicas	Aire	Calidad de aire	10 -5	7.5 -5	1 -7.5	2.5 -1		2.5 -5		5 -3.125	7.5 -4.125					5 -3.125	7.5 -4.375		
			Ruido	5 -10	7.5 -7.75	7.5 -2.5	5 -5	7.5 -1	5 -5	2.5 -6	5 -3.125	7.5 -3.125	5 -3.125				5 -6	7.5 -3.125	7.5 -4.125	
		Agua	Calidad de agua		7.5 -10									5 -7.75	7.5 -4.125	10 -4.38				
			Flujo de agua											5 -6	7.5 -6	10 -7.75				
		Suelo	Calidad del suelo	10 -5	10 -10			1 -5	2.5 -5		2.5 -2.5	2.5 -1.975	5 -10						2.5 -4.125	5 -7
			Tipo de suelo	10 -5	10 -7.75				5 -5			5 -2.5	7.5 -7.75						2.5 -3.125	5 -6
	Clima	Temperatura		10 -5								10 -5								
	Demografía	Calidad de vida			1 -1	1 -5	2.5 -1						7.5 -7.75	7.5 -7.75	7.5 -7.75	7.5 -6	5 -7.75	5 -6	5 -7.75	
	Socioeconómico	Espacio	Servicios públicos				7.5 -6			2.5 -1.6	5 -1.975	5 -4.125	5 -6	7.5 -7.75	7.5 -7.75	7.5 -6	5 -4.375		5 -7.75	
			Servicios sociales				5 -6	2.5 -5	1 -1			2.5 -2.5	5 -6	7.5 -7.75	7.5 -7.75	7.5 -4.38	5 -6		5 -7.75	

Donde:

	: Benéfico		: Despreciable		: Significativo		: Altamente significativo
--	------------	--	----------------	--	-----------------	--	---------------------------

Acciones que afectan sistemas de drenaje con hormigón convencional																				
Extracción de materia prima y fabricación										Aplicación					Disposición final					
		Extracción de rocas y transporte	Trituración de rocas y clasificación de agregados	Transporte de materiales a mezcladora	Transporte de mezcla al punto	Retiro de material existente	Movimiento de tierras	Colocación de tuberías	Instalación cámaras de captación	Relleno con material filtrante	Vertido de hormigón	Soporte de cargas de vehículos	Captación de agua por sumideros	Drenaje de agua	Descarga de agua	Mantenimiento de estructura	Revisión de tuberías	Reemplazo de producto		
Elementos ambientales	Características Físicas y Químicas	Aire	Calidad de aire	10	7.5	1	2.5			5	7.5						5	7.5		
			Ruido	-5	-5	-7.5	-1		-5		3.125	4.125							3.125	-7
		Agua	Calidad de agua		7.5										5	7.5	10			
			Flujo de agua		-10										7.75	4.38	4.38			
		Suelo	Calidad del suelo	10	10			1	2.5		2.5	2.5	5						2.5	5
			Tipo de suelo	6	-10			5	-5		-2.5	1.975	-10						4.125	-7
	Clima	Temperatura		10								10								
				-5								4.375								
	Socioeconómico	Demografía	Calidad de vida			1	1	2.5						7.5	7.5	7.5	7.5	5	5	
		Espacio	Servicios públicos					7.5		2.5	5	5	5	7.5	7.5	7.5	5		5	
			Servicios sociales					6	2.5	1			2.5	5	7.5	7.5	7.5	5		5
							6	-5	-1			4.375	-7.75	7.75	7.75	4.38	-6		7.75	

Donde:

	: Benéfico		: Despreciable		: Significativo		: Altamente significativo
--	------------	--	----------------	--	-----------------	--	---------------------------

		Acciones que afectan a sistemas de drenaje con hormigón permeable																		
		Extracción de materia prima y fabricación										Aplicación							Disposición final	
		Extracción de rocas y transporte	Trituración de rocas y clasificación de agregados	Transporte de materiales a mezcladora	Transporte de mezcla al punto	Retiro de material existente	Movimiento de tierras	Colocación de tuberías	Instalación cámaras de captación	Relleno con material filtrante	Fundición de hormigón permeable	Soporte de cargas de vehículos	Captación de agua por sumideros	Captación de agua por losa permeable	Drenaje de agua	Descarga de agua	Retiro de escombros	Mantenimiento de hormigón permeable	Reemplazo de producto	
Elementos ambientales	Características Físicas y Químicas	Aire	Calidad de aire	5	5	5	7.5	2.5	2.5			5	7.5							
			Ruido	-6	-6	-6	-4.375	-4.125	-5			5	-3.125	-3.125						
		Agua	Calidad de agua										5	5	10	10	5	5	5	5
			Flujo de agua				10						5	10	10	10	5	7.5	5	5
		Suelo	Calidad del suelo	5				1	2.5		2.5	2.5	5							
			Tipo de suelo	-10			10		5		-2.5	-1.975	-10							
	Clima	Temperatura			5	5						10								
	Demografía	Calidad de vida					2.5						7.5	7.5	10	7.5	7.5	5	7.5	
	Socioeconómico	Espacio	Servicios públicos				7.5			2.5	5	5	5	7.5	7.5	7.5	7.5	2.5	5	
			Servicios sociales					5	2.5	1			2.5	5	7.5	7.5	7.5	2.5	5	

Donde:

	: Benéfico		: Despreciable		: Significativo		: Altamente significativo
--	------------	--	----------------	--	-----------------	--	---------------------------

Acciones que afectan a Cubierta Verde															
Fabricación							Aplicación				Disposición final				
		Colocación de estructura portante	Capa impermeable	Implementación de capa de drenaje	Protección anti-raíz	Instalación capa filtrante	Puesta capa material orgánico	Colocación capa vegetal	Captación de agua	Hidratación de plantas	Drenaje de agua	Mantenimiento de cubierta	Reemplazo de cubierta		
Elementos ambientales	Características Físicas y Químicas	Aire	Calidad de aire	2.5 -6				2.5 - 4.375							
			Ruido	2.5 -6	5 - 4.375	7.5 - 4.375	5 - 6	5 - 4.125	7.5 - 6	5 - 4.375			7.5 - 4.375	7.5 - 4.375	
		Agua	Calidad de agua								7.5 9.12	7.5 6	7.5 7		
			Flujo de agua								7.5 7	5 6	7.5 6		
		Suelo	Calidad del suelo	5 - 4.375	2.5 - 5	5 - 4.125	7.5 - 4.375	1 - 4.125	2.5 - 7	2.5 - 6					5 - 6
			Tipo de suelo	1 - 5	2.5 - 6	1 - 4.125	5 - 4.375	2.5 - 4.375	5 - 7	5 - 6					7.5 - 6
	Clima	Temperatura						2.5 - 4.375	7.5 - 4.125						
	Socioeconómico	Demografía	Calidad de vida	2.5 - 4.125		2.5 - 4.375	2.5 - 2.125	7.5 - 4.125	7.5 - 6	2.5 - 6	7.5 6	7.5 7	7.5 9.12		
		Espacio	Servicios públicos							10 9.12	10 9.12	10 10	5 - 6		
			Servicios sociales								10 9.12	10 9.12	10 10	7.5 - 7	

Donde:

	: Benéfico		: Despreciable		: Significativo		: Altamente significativo
--	------------	--	----------------	--	-----------------	--	---------------------------

Matrices de Leopold con resultados de impacto ambiental

		Acciones que afectan a sistemas de drenaje con pavimentos asfálticos																		Índice de Impacto Ambiental	
		Extracción de materia prima y fabricación (Fase 1)										Aplicación (Fase 2)						Disposición final (Fase 3)			
		Extracción de rocas y transporte	Extracción de asfalto de la refinación de petróleo	Transporte de asfalto	Transporte de mezcla al punto	Retiro de material existente	Movimiento de tierras	Colocación de tuberías	Instalación cámaras de captación	Relleno con material filtrante	Vertido de material asfáltico	Soporte de cargas de vehículos	Captación de agua por sumideros	Drenaje de agua	Descarga de agua	Mantenimiento de periódico	Revisión de tuberías	Reemplazo de producto			
Elementos ambientales	Medio Natural	Aire	Calidad de aire	-7.07	-6.12	-2.74	-1.58	0.00	-3.54	0.00	0.00	-3.95	-5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	-3.95	-5.73	-40.25	
			Ruido	-7.07	-7.62	-4.33	-5.00	-2.74	-5.00	-3.87	-3.95	-3.95	-4.84	-3.95	0.00	0.00	0.00	-5.48	-4.84	-5.56	-68.22
		Agua	Calidad de agua	0.00	-8.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.22	5.56	6.62	0.00	0.00	0.00	9.75
			Flujo de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.48	6.71	8.80	0.00	0.00	0.00	20.99
		Suelo	Calidad del suelo	-7.07	-10.00	0.00	0.00	-2.24	-3.54	0.00	-2.50	-2.22	-7.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-3.21	-5.92	-43.76
			Tipo de suelo	-7.07	-8.80	0.00	0.00	0.00	-5.00	0.00	0.00	-3.54	-7.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.80	-5.48	-40.31
	Clima	Temperatura	0.00	-7.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-14.14	
	Demografía	Calidad de vida	0.00	0.00	-1.00	-2.24	-1.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.62	7.62	7.62	6.71	-6.22	-5.48	-6.22	-8.41	
	Medio Humano	Espacio	Servicios públicos	0.00	0.00	0.00	0.00	-6.71	0.00	0.00	-2.00	-3.14	-4.54	-5.48	7.62	7.62	6.71	-4.68	0.00	-6.22	-10.82
			Servicios sociales	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.48	-3.54	-1.00	0.00	0.00	-2.50	-5.48	7.62	7.62	5.73	-5.48	0.00	-6.22	-8.71
Índice de Impacto Ambiental			-28.28	-48.28	-8.07	-8.82	-18.74	-20.61	-4.87	-8.45	-16.81	-39.21	-22.53	34.57	35.14	34.57	-21.86	-20.28	-41.36	-203.88	
-202.14										59.90						-61.64					

Donde:

	: Benéfico		: Despreciable		: Significativo		: Altamente significativo
--	------------	--	----------------	--	-----------------	--	---------------------------

		Acciones que afectan sistemas de drenaje con hormigón convencional																			Índice de Impacto Ambiental
		Extracción de materia prima y fabricación (Fase 1)										Aplicación (Fase 2)						Disposición final (Fase 3)			
		Extracción de rocas y transporte	Trituración de rocas y clasificación de agregados	Transporte de materiales a mezcladora	Transporte de mezcla al punto	Retiro de material existente	Movimiento de tierras	Colocación de tuberías	Instalación de cámaras de captación	Relleno con material filtrante	Vertido de hormigón	Soporte de cargas de vehículos	Captación de agua por sumideros	Drenaje de agua	Descarga de agua	Mantenimiento de estructura	Revisión de tuberías	Reemplazo de producto			
Elementos ambientales	Medio Natural	Aire	Calidad de aire	-7.07	-6.12	-2.74	-1.58	0.00	-3.54	0.00	0.00	-3.95	-5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-3.95	-7.25	-41.76
			Ruido	-7.07	-7.62	5.73	-5.00	-2.74	-5.00	-3.87	-3.95	-3.95	-4.84	-3.95	0.00	0.00	0.00	-5.48	-4.84	-5.48	-58.07
		Agua	Calidad de agua	0.00	-8.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.22	5.73	6.62	0.00	0.00	0.00	9.91
			Flujo de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.22	6.71	8.80	0.00	0.00	0.00	21.74
		Suelo	Calidad del suelo	7.75	-10.00	0.00	0.00	-2.24	-3.54	0.00	-2.50	-2.22	-7.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-3.21	-5.92	-28.95
			Tipo de suelo	-7.07	-8.80	0.00	0.00	0.00	-5.00	0.00	0.00	-3.54	-8.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.80	-7.25	-43.11
	Clima	Temperatura	0.00	-7.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-6.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-13.69	
	Demografía	Calidad de vida	0.00	0.00	-1.00	-2.24	-1.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.62	7.62	7.62	6.71	-6.22	-5.48	-6.22	-8.41	
	Medio Humano	Espacio	Servicios públicos	0.00	0.00	0.00	0.00	-6.71	0.00	0.00	-2.00	-3.14	-5.48	-6.22	7.62	7.62	6.71	-4.68	0.00	-6.22	-12.50
			Servicios sociales	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.48	-3.54	-1.00	0.00	0.00	-3.31	-6.22	7.62	7.62	5.73	-5.48	0.00	-6.22	-10.27
Índice de Impacto Ambiental			-13.47	-48.28	1.99	-8.82	-18.74	-20.61	-4.87	-8.45	-16.81	-41.53	-24.03	35.32	35.31	34.57	-21.86	-20.28	-44.56	-185.11	
										-179.59						59.32			-64.84		

Donde:

	: Benéfico		: Despreciable		: Significativo		: Altamente significativo
--	------------	--	----------------	--	-----------------	--	---------------------------

Acciones que afectan a sistemas de drenaje con hormigón permeable																						Índice de Impacto Ambiental
Extracción de materia prima y fabricación (Fase 1)											Aplicación (Fase 2)								Disposición final (Fase 3)			
Extracción de rocas y transporte	Trituración de rocas y clasificación de agregados	Transporte de materiales a mezcladora	Transporte de mezcla al punto	Retiro de material existente	Movimiento de tierras	Colocación de tuberías	Instalación de cámaras de captación	Relleno con material filtrante	Fundición de hormigón permeable	Soporte de cargas de vehículos	Captación de agua por sumideros	Captación de agua por losa permeable	Drenaje de agua	Descarga de agua	Retiro de escombros	Mantenimiento de hormigón permeable	Reemplazo de producto					
Elementos ambientales	Medio Natural	Aire	Calidad de aire	-5.48	-5.48	-5.48	-5.73	-3.21	-3.54	0.00	0.00	-3.95	-4.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-37.70	
			Ruido	-8.28	-8.28	-3.31	-3.31	-6.71	-5.00	-3.87	-3.95	-3.95	-3.87	-3.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.68	-3.95	-63.11
		Agua	Calidad de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.22	3.95	6.62	6.62	-5.48	-4.68	-6.22	7.03
			Flujo de agua	0.00	0.00	0.00	-7.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.22	5.59	5.59	5.59	-3.95	-5.73	-6.22	0.00
		Suelo	Calidad del suelo	-7.07	0.00	0.00	0.00	-2.24	-3.54	0.00	-2.50	-2.22	-7.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-24.64
			Tipo de suelo	-7.07	0.00	0.00	-8.37	0.00	-5.00	0.00	0.00	-3.54	-8.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-32.63
	Clima	Temperatura	0.00	0.00	-4.68	-4.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-6.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-15.97	
	Demografía	Calidad de vida	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.73	7.25	10.00	8.66	7.25	-3.95	-4.84	-5.59	11.46	
	Medio Humano	Espacio	Servicios públicos	0.00	0.00	0.00	0.00	-6.71	0.00	0.00	-2.00	-3.14	-5.48	-6.22	7.25	8.66	8.66	7.25	-3.31	-3.95	-4.84	-3.84
			Servicios sociales	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.48	-3.54	-1.00	0.00	0.00	-3.31	-6.22	7.25	8.66	8.66	7.25	-3.31	-4.68	-4.84	-0.56
Índice de Impacto Ambiental			-27.90	-13.75	-13.46	-29.15	-25.92	-20.61	-4.87	-8.45	-16.81	-39.84	-22.13	34.19	36.86	38.18	33.94	-20.00	-28.55	-31.68	-159.95	
-200.77											72.49								-31.68			

Donde:

: Benéfico	: Despreciable	: Significativo	: Altamente significativo
------------	----------------	-----------------	---------------------------

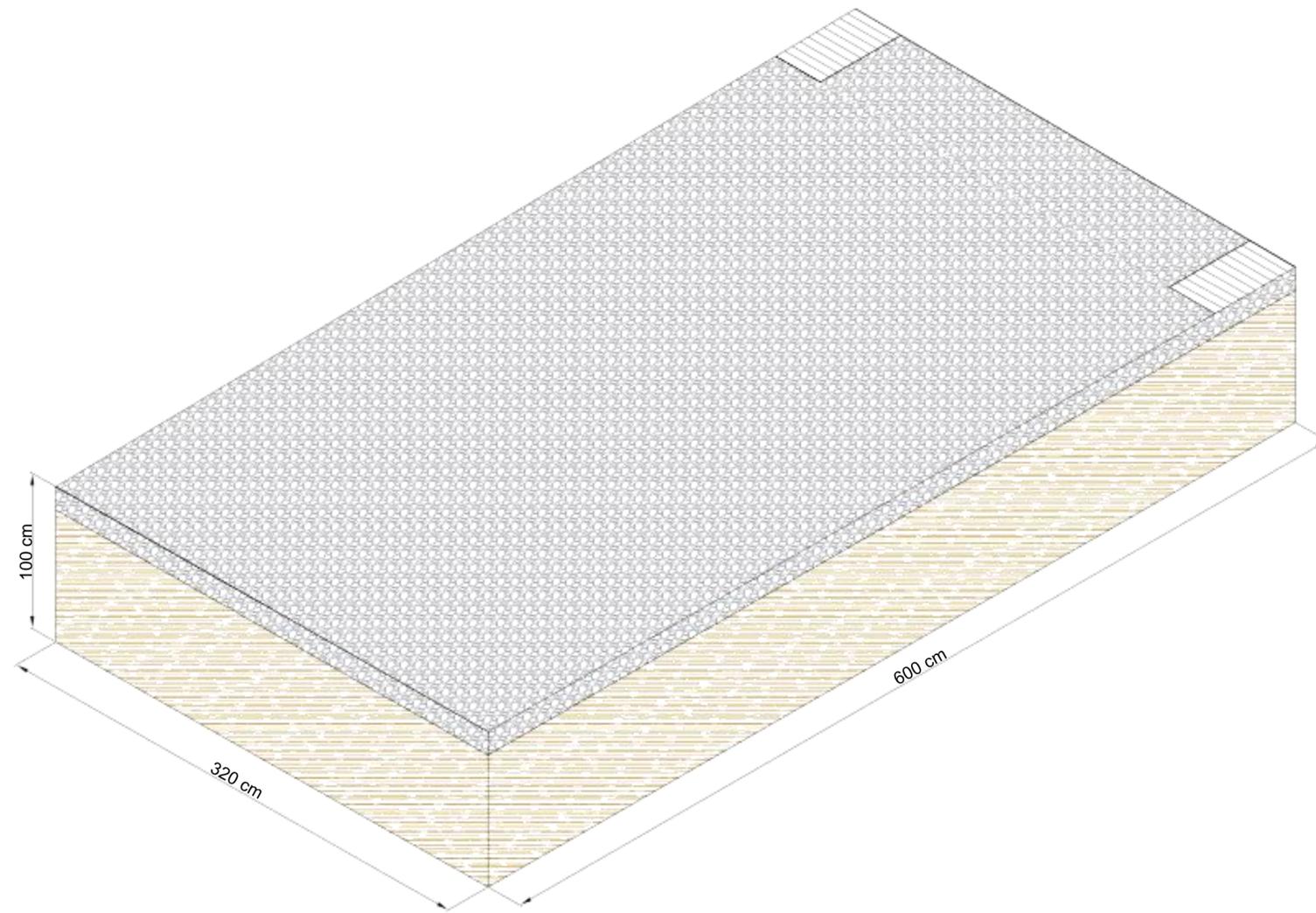
		Acciones que afectan a Cubierta Verde													Índice de Impacto Ambiental	
		Fabricación (Fase 1)							Aplicación (Fase 2)				Disposición final (Fase 3)			
		Colocación de estructura portante	Capa impermeable	Implementación de capa de drenaje	Protección anti-raíz	Instalación capa filtrante	Puesta capa material orgánico	Colocación capa vegetal	Captación de agua	Hidratación de plantas	Drenaje de agua	Mantenimiento de cubierta	Reemplazo de cubierta			
Elementos ambientales	Medio Natural	Aire	Calidad de aire	-3.87	0.00	0.00	0.00	-3.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.18	
			Ruido	-3.87	-4.68	-5.73	-5.48	-4.54	-6.71	-4.68	0.00	0.00	0.00	-5.73	-5.73	-47.14
		Agua	Calidad de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.27	6.71	7.25	0.00	0.00	22.22
			Flujo de agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.25	5.48	6.71	0.00	0.00	19.43
		Suelo	Calidad del suelo	-4.68	-3.54	-4.54	-5.73	-2.03	-4.18	-3.87	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.48	-34.05
			Tipo de suelo	-2.24	-3.87	-2.03	-4.68	-3.31	-5.92	-5.48	0.00	0.00	0.00	0.00	-6.71	-34.23
	Clima	Temperatura	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-3.31	-5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-8.87	
	Demografía	Calidad de vida	-3.21	0.00	-3.31	-2.30	-5.56	-6.71	-3.87	6.71	7.25	8.27	0.00	0.00	-2.74	
	Medio Humano	Espacio	Servicios públicos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.55	9.55	10.00	-5.48	0.00	23.62
			Servicios sociales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.55	9.55	10.00	-7.25	0.00	21.85
Índice de Impacto Ambiental			-17.87	-12.09	-15.61	-18.19	-18.75	-26.82	-23.46	41.32	38.53	42.22	-18.45	-17.91	-47.07	
							-132.79				103.63				-17.91	

Donde:

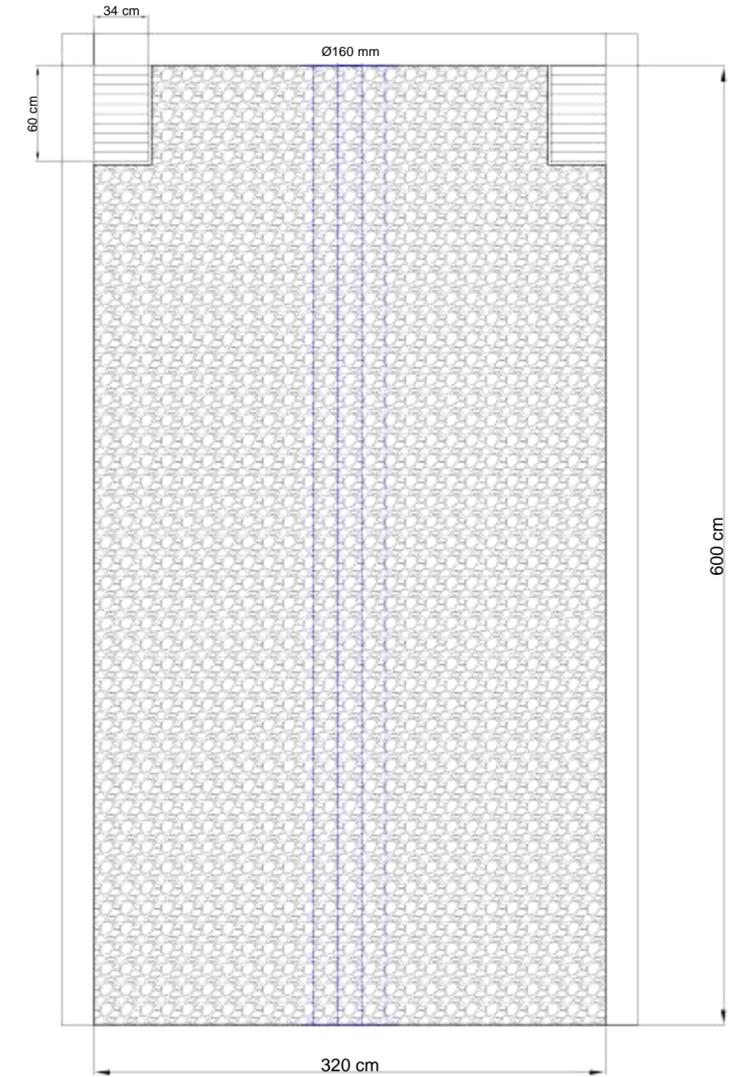
	: Benéfico		: Despreciable		: Significativo		: Altamente significativo
--	------------	--	----------------	--	-----------------	--	---------------------------

APÉNDICE C

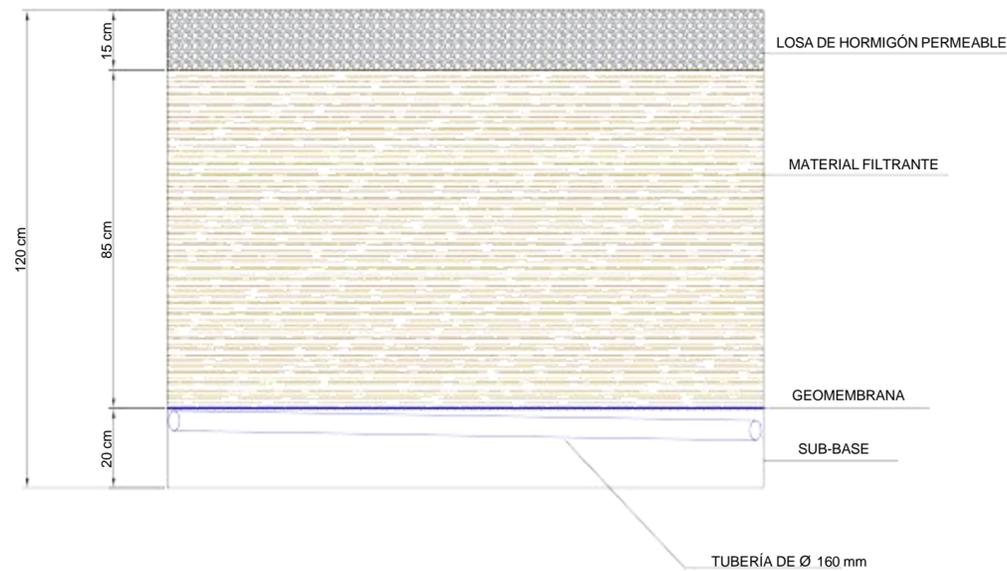
PLANOS



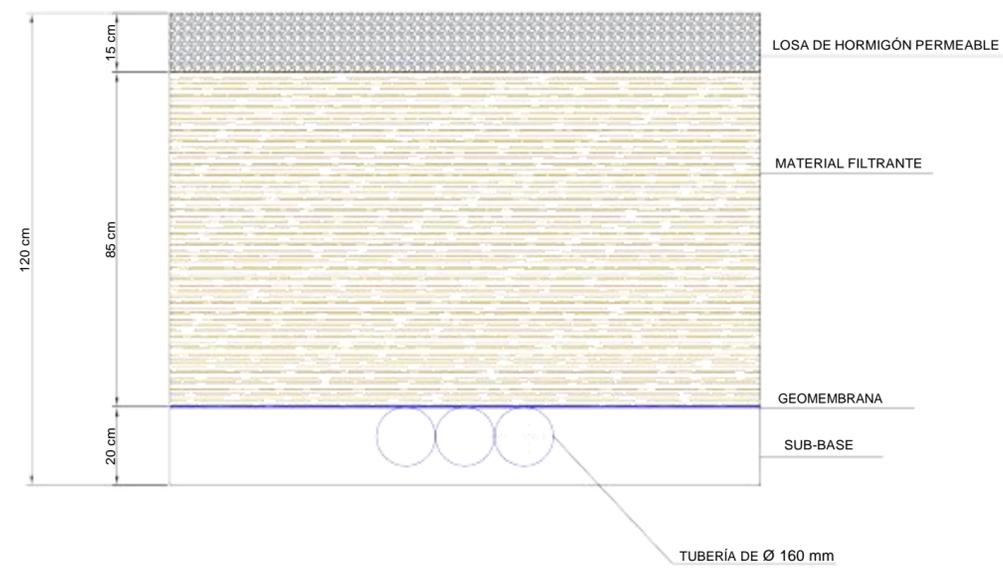
VISTA ISOMÉTRICA DEL HORMIGÓN PERMEABLE



VISTA EN PLANTA DEL PARQUEADERO:
ESCALA 1:20



VISTA LATERAL: ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO
ESCALA 1:5



VISTA FRONTAL: ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO
ESCALA 1:5

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y MATERIALES

HORMIGÓN PERMEABLE DE 210 KG/CM²
TUBOS DE PVC
GEOMEMBRANA
MATERIAL FILTRANTE

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:
DESARROLLO DE SISTEMA DE DRENAJE PARA LA APLICACIÓN DE HORMIGÓN PERMEABLE

CONTENIDO:
PLANTA, VISTAS E ISOMETRÍA

COORDINADOR DE MATERIA INTEGRADORA: Ph.D Miguel Chávez	TUTORES DE CONOCIMIENTOS ESPECÍFICOS: Ph.D Carlos Rodríguez Msc. Pablo Daza Dist Int Carola Zavala	ESTUDIANTES: Kevin Carrasco Cevallos Yinicio Peralta Merelo	FECHA DE ENTREGA: 17 de Agosto, 2021
TUTOR DE CONOCIMIENTO: Ph.D Mijaíl Arias			LÁMINA: A 1/1
			ESCALA: Indicadas