



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES



**“USO DE CAUCHO DE DESECHO EN LA ELABORACIÓN
DE CONCRETO HIDRÁULICO”**

T E S I S

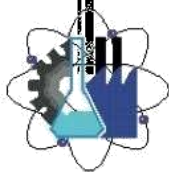
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES

PRESENTA:

I.M. JOSÉ LEOPOLDO BRITO RODRÍGUEZ.

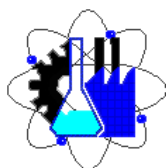
**ASESOR: DR. JESÚS MARIO COLÍN DE LA CRUZ,
CO - ASESOR: DR. HORACIO MARTÍNEZ VALENCIA.**



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

CUERNAVACA MORELOS, MARZO 2021.

El presente proyecto de investigación de tesis del Programa de Posgrado de la Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables (MIATS) fue realizado en las instalaciones del Taller Multidisciplinario Básico (TAMULBA) de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FCQeI) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), ubicada en Av. Universidad 1001, Chamilpa, C. P. 62209, Cuernavaca, Morelos, bajo la dirección del Doctor **JESÚS MARIO COLÍN DE LA CRUZ**, y codirección del Doctor **HORACIO MARTÍNEZ VALENCIA**.



COMITÉ REVISOR

DR. JESÚS MARIO COLÍN DE LA CRUZ

DR. HORACIO MARTÍNEZ VALENCIA

DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA

DRA. CONSTANZA MACHÍN RAMÍREZ

DR. ÁLVARO TORRES ISLAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias
Químicas e Ingeniería

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA
Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT
SGC certificado en la norma ISO 9001:2015

Secretaría de Investigación y Posgrado

FORMATO T-2
NOMBRAMIENTO DE COMISIÓN REVISORA
Y DICTAMEN DE REVISIÓN

Cuernavaca, Mor., a 20 de enero de 2021.

DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA
DR. ÁLVARO TORRES ISLAS
DR. JESÚS MARIO COLÍN DE LA CRUZ
DRA. CONSTANZA MACHÍN RAMÍREZ
DR. HORACIO MARTÍNEZ VALENCIA
PROFESORES DE LA FCQeI
P R E S E N T E

Por este conducto, me permito informarle que ha sido asignado como integrante de la Comisión Revisora de la tesis que presenta el Ing. José Leopoldo Brito Rodríguez, titulada: “Uso de caucho de desecho en la elaboración de concreto hidráulico”, realizada bajo la dirección del Dr. Jesús Mario Colín de la Cruz del Programa Educativo de Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables. Agradezco su valiosa participación en esta Comisión y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

A T E N T A M E N T E
Por una humanidad culta

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
ENCARGADA DE DESPACHO DE LA DIRECCIÓN DE LA FCQEI

D I C T A M E N

DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ
ENCARGADA DE DESPACHO DE LA DIRECCIÓN DE LA FCQEI
P R E S E N T E

En respuesta a su amable solicitud para formar parte de la Comisión Revisora de la tesis mencionada y una vez realizada la revisión correspondiente, me permito informarle que mi VOTO es:.

D I C T A M E N

NOMBRE	VOTO	FIRMA
Dra. Jesús del Carmen Peralta Abarca	APROBADO	
Dr. Álvaro Torres Islas	APROBADO	
Dr. Jesús Mario Colín de la Cruz.	APROBADO	
Dra. Constanza Machín Ramírez	APROBADO	
DR. Horacio Martínez Valencia.	APROBADO	

Se anexan firmas electrónicas



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2021-01-20 21:19:08 | Firmante

YYWw1TOGZiPqrlcsEgldXxMhmXpcB6i59Kq5sZ0DxCzvJdZsS8GzBftDF85+rq0sbOTfsxdwPdOZHdcfTd354LLq6xB/+lkq9Fac+ujU5SNPA2Q+cCl5Xgfm7oQQobLPdM3yiJblzU
QYISbt5MZKD3iEBqCVE0/RaQrikpV7OJKuXpDRV43EKzpEcpo7/tN0WU9h1dQ/0YxSIBdUHLahwc+I06+x/ZxdYSZasnZ0+v8kb/YOM0QLOicXFcb06vuP9XSWcEAzrAXkNsraR
DtnDAKJPlsDZhUmBP4Bw5RlSyedH9HVMVXdIRnG10P0orgN2JkD3ZmD7aXmnQxxyHJbMlw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



sPlw0f

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/gjl6czoqWkiTpFMCI5NRHRSfDwN4wfnb>

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

HORACIO MARTINEZ VALENCIA | Fecha:2021-01-22 15:09:58 | Firmante

VWGWz5bpiMurgg03V8ojjSacOoOdO+RiKz24ALsMjYELKB/AqmyBW1Xpi4mkjKKBv09bSGhdiPEx207NjW35jyzZIMFi8z4bk2UVX8Kf8oOFhQpY6zsWuPaRGTYQIVxCg5d04IN663AnQyOegMaW7/81x2CiTSwqQUmzA+6RVFgeNtMpQ1EjMb+rUflpYATOcc9mJYcOOBZi1sUOHd+XIAFNZ46DyGktueES/OMX+AXVn2bPMNT+QsKgrtCBMjSbP/4Rn3elpviDhUwssVcjLCtVoWsNKD3zQwifzBHMLZkobajD0F5+HUQtfbxdkLoGNCCw5sge5Vp9yS/fXIFA==

ALVARO TORRES ISLAS | Fecha:2021-01-22 15:56:44 | Firmante

Gy6q8R9Gt1LLf24LRgrcF8dy4foc0yvSumukaOgu9INno3yZhUxsF8nJaYvAS0oxY+eNGJksFHKrUxe1QHfZcg6hDdhV3PM1NgvNH6cqxhBhjHu68+00bUrGjhMV9kNjre345zvfS/C2a4ZFgP/TxuqBHM1YSayL0jaJduaaa80fIEkgy+gdh1U1BffH2QR50JAfkhiwQZEKX72FNgn+srBqQ+4gj5JGFHvaqVsYKakTXKJ8WY9t2qTvpMgEgk1GfWcXZZd8RyHLyxMW4IQf03LkBqBAUIrcwQrglhxczky+cT4n7pU1kKf5bLapQ1TOIGU+4j5sPlqGhmBdmng==

JESUS MARIO COLIN DE LA CRUZ | Fecha:2021-01-22 17:48:05 | Firmante

sX0judCf2zjemn4fZCDaoVGVAYxPIRIUVnzSHBskUy7qmD+nL5t875a4GPZGzzZETpwhhNpwbMV+qnmRUFoi5KGiBTsq0LzMIwV8Bhq41+CT2j90DZK23ZI93Qp9dh1D9yX4I9U6vq8mk9Q2iAgWd+RvLzqcVzyYGb6keNTYQEE+nO3uu6YNBWzJN2Z6IwjkQqWDFMx9tEXq+OROoV9hVp+ihz7fK6HLz40h2Rkkg6Q+x99qr6WqB8KLPBGACnKQ+6Tb3EfnO+J/64AffUkAuGfH0cpUriSYopz/rhlPw1SnxmW/GLBxMV04I72GUZ8dEsagHbKq46JgjWSL6q0Q==

JESUS DEL CARMEN PERALTA ABARCA | Fecha:2021-01-22 17:57:30 | Firmante

T13DbfOXSGCUJJFO+aJSzLk3hCCRx8eF+pCWGQTwsLZZbKGL8NZe3dyMo1bDQFZxkKw4cpK5clmREp/Z5sXzJfS+SMPTg59zkbqWIFeuMGxAn91VZJSJ12h9shI4c0AeqlcKdk+Fjk3SAveJY2QEE0mMwHn+edJXnkLw4m9cmLb39/GsPWWHG4jdByj2Rd0SDCE+HFz6799ltFDAGBDI2Hx4FI+LpgJUTGDm++T1e4eRyAnavUmsOUzPXIEJDGMPC9k3gcSQkKWJ/ln1ubWhrXCy2RfNDFqvrING0lzdqWm1gynCXELI9OJ7eiD0sfUtKfU7Rv2YnJ0yKiJi+tgG==

CONSTANZA MACHIN RAMIREZ | Fecha:2021-01-29 18:29:54 | Firmante

BRyYgst7u6Q3R5Qyu9HEI36HrC8PrSKPF+8J015m0UOqyg1TlzRTzZKvcGIYizZjkDJaG5riRQJzLLZngUzs7Z5UyzXCVOXi7qB+Ye2wr2HXFVUoBcA22T6EplxuGghkarIEjdlmQvzr0Vrlpa+I2fBCEK3R5FJq3iBjOv+eat/ImtPAdT1XTSjg8N2wpBJMmxY9kOd9og/7FGy5SsUNcRFN3YpkYxRrkN45h3H2ybCL1540+Z7ingwGaU5K8yyjVfqApercDxtCmcb24JQGIUmQFIMNm2eYgZBeqgEm/1NHq6AePwFKNOPnMck5HZu69Cqq3h6BAWqhrZCYiRmw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



RdoelF

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/CiBzL5vCIIGiSlgEqBFiFyImLntyPsN3>

DEDICATORIA

A mi Dios, por la oportunidad de terminar este proyecto de vida.

A mis padres por alentarme en todo momento.

A Carmen Torres S, por exhortarme a realizar este proyecto y su apoyo en todo momento.

A Ivonne por todo su entusiasmo, apoyo y amistad; a Vanessa Villafranco de igual manera por todo su apoyo incondicional.

A mis compañeros de la maestría y profesores de la maestría que confiaron en mí, y me apoyaron en cada una de mis actividades para la elaboración de este trabajo de investigación.

Al Dr. Osvaldo Flores Cedillo, del Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM por el apoyo brindado y su siempre disponibilidad en la realización de este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

A la UAEM – FCQeI por la oportunidad de formarme profesionalmente.

Al SITAUAEM por su apoyo en la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. Jesús Mario Colín de la Cruz por su asesoramiento durante este proyecto y compartirme sus conocimientos.

Al Dr. Horacio Martínez Valencia por compartir sus conocimientos, su tan objetiva orientación y permitirme hacer uso del equipo de Plasma.

Al Instituto de Ciencias Físicas, por permitirme hacer uso de sus instalaciones.

Al Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Química de la UNAM, por permitirme hacer uso de sus instalaciones.

A los Maestros del Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Química de la UNAM, M. Sergio García, M. Gerardo Aramburo y M. Itzel Reyes

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO 1	11
1.1 Antecedentes.....	11
1.1.1 Llantas de desecho.	11
1.1.2 Vulcanización (renovado).....	15
1.1.3 El concreto hidráulico.	17
1.1.4 Carreteras.....	20
1.1.5 Infraestructura urbana.	24
1.1.6 Principales Instituciones internacionales del Concreto Hidráulico.	25
1.2 Marco teórico.....	25
CAPITULO 2	29
2.1 Justificación	29
2.1.1 Maestría en Ingeniería ambiental y tecnologías sustentables.	30
2.2 Objetivo general.....	33
2.3 Objetivos específicos.	33
CAPÍTULO 3	34
3.1 Diseño experimental	34
3.2 Estrategia experimental.	35
MATERIAL Y MÉTODOS.....	36
3.3 Material	36
3.2 Método a realizar:	36
3.3. Elección del tamaño máximo de agregado,.....	37
3.4. Definir los porcentajes de caucho incluido en cada mezcla de concreto hidráulico.....	37
3.6. Realizar los especímenes de concreto con las proporciones estimadas	38
3.7. Definir los ensayos a realizar a los especímenes obtenidos.	38
CAPÍTULO 4	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	42
4.1 Proceso de curado.	42
4.2 Proceso de Plasma.....	43
4.3 Resistencia a la compresión.....	43
4.4 Esfuerzo de ruptura y esfuerzo máximo.....	44

4.5 Análisis elemental en microscopio	49
CAPÍTULO 5	52
5.1 Conclusiones.....	52
5.2 Perspectivas	53
Referencias	54

Índice de Imágenes

IMAGEN 1. LLANTAS DE DESECHO TIRADAS EN VÍA PÚBLICA.....	10
IMAGEN 2. CONTAMINACIÓN DE CAMIONES QUE TRANSPORTAN AGREGADOS.....	10
IMAGEN 3. CONTAMINACIÓN Y GENERACIÓN DE FOCOS DE INSALUBRIDAD	13
IMAGEN 4. JASON CHOWDHURY, 2019	19
IMAGEN 5. LOSAS DE RODAMIENTO (INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO IMCYC, 2012).....	20
IMAGEN 6. AUTOPISTA MÉXICO – TUXPAN (IMCYC 2012)	21
IMAGEN 7. DESARROLLO URBANO (IMCYC, RAQUEL OCHOA, 2014).....	24
IMAGEN 10. MACETAS DE LLANTAS RECICLADAS.	31
IMAGEN 9. IMPERMEABILIZANTES CON LLANTAS RECICLADAS.....	31
IMAGEN 8. BACHEO CON CONCRETO Y LLANTAS USADAS.	31
IMAGEN 11. CORTE DE LLANTAS DE FIGURAS AMORFAS	36
IMAGEN 12. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.....	38
IMAGEN 13. PROCESO DE CURADO.....	38
IMAGEN 14. PROCESO DE PLASMA.	39
IMAGEN 15. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	40
IMAGEN 16. ANÁLISIS DE ESPECÍMENES.....	41
IMAGEN 17. PROCESO DE CURADO.....	42

IMAGEN 18. PROCESO DE PLASMA A ESPECÍMENES DE CONCRETO.....	43
IMAGEN 19. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	44
IMAGEN 20. ESFUERZO DE RUPTURA.....	45
IMAGEN 21. ESFUERZO DE RUPTURA.....	45
IMAGEN 22. ZONA DE FISURA IMPACTANDO EN PIEZA DE CAUCHO.....	49
IMAGEN 23. ZONA DE FISURA IMPACTANDO EN PIEZA DE CAUCHO.....	50

Índice de Figuras

FIGURA 1. IMPORTANCIA DEL TRÁFICO PESADO EN EL DISEÑO DE UN CONCRETO HIDRÁULICO (IMCYC, 2009).....	21
FIGURA 2. CAPACIDAD DE CARGA DEL CONCRETO HIDRÁULICO (IMCYC, 2019) .; ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 3. VENTAJAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO (IMCYC, 2009); ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 4. PRINCIPALES INSTITUCIONES INTERNACIONALES	25
FIGURA 5. ANALOGÍA CONCRETO-ASFALTO (SAFETY CONSIDERATIONS OF RUTTING AND WASHBOARDING ASPHALT: ROAS SURFACES, ILLINOIS UNIVERSITY S/F).....	26
FIGURA 6. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	35
FIGURA 7. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL.....	35

Índice de Gráficas

GRÁFICA 1. PORCENTAJES ÓPTIMOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO	18
GRÁFICA 2. COSTOS DE ASFALTO Y CONCRETO (IMCYC, 20019)	23
GRÁFICA 3. PRODUCCIÓN GLOBAL DEL CEMENTO	27

GRÁFICA 4. DIAGRAMA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA ELEMENTOS SIN PLASMA.	46
GRÁFICA 5. DIAGRAMA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN A ELEMENTOS CON PLASMA.....	47
GRÁFICA 6. ESFUERZO DE FRACTURA.....	48
GRÁFICA 7. ESFUERZO MÁXIMO.....	49

Listado de abreviaturas.

AF. Agregado Fino.

AG. Agregado Grueso.

CH. Concreto Hidráulico.

Esf. Esfuerzo

FCQeI. Facultad de Ciencias Químicas e Ingenierías.

ICF. Instituto de Ciencias en Física.

LID. Llantas de Desecho.

Máx. Máximo

Mín. Mínimo.

MIATS. Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables.

SITUAEM. Sindicato Independiente de Trabajadores Académicos de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

TAMULBA. Taller Multidisciplinario Básico.

UAEM. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

Las actividades cotidianas de desarrollo y crecimiento de nuestra sociedad han originado un impacto considerable en el medio ambiente, en donde se ha visto presente el uso indiscriminado de los recursos naturales no renovables. En el área de la construcción se utilizan recursos no renovables tales como la arena y la grava para la elaboración de concreto hidráulico (CH), el cual es utilizado en el desarrollo de losas de rodamiento (carreteras), edificación de complejos urbanos, presas hidráulicas, puentes automotrices y viales, banquetas, etc. Sin embargo, para su fabricación se requiere de cementantes, agua, y agregados finos y gruesos (NMX-C-155-ONNCCE-2004). La grava que generalmente es usada como agregado grueso (AG), es sustraída frecuentemente de lechos acuáticos, fondos de ríos, y de minas. Esta extracción constante ha reducido y afectado los espacios naturales, produciendo erosión, reducción y cambio de rumbo de los caudales de los ríos, alterando y destruyendo el hábitat natural de varias especies endémicas, por lo que la actividad de extracción de este recurso no renovable es considerada de gran impacto ambiental.

Partiendo de esta premisa, con la intención de poder aminorar el impacto ambiental observado, se propuso explorar en esta investigación la inclusión de las llantas de desecho (LID) para el diseño de un CH. Además de que se tiene como antecedente, qué, tan solo en México se desechan 28 millones de llantas al año, convirtiendo a este residuo en una fuente de contaminación por su escaso uso en procesos de reciclado. Es cierto, que un porcentaje mínimo de LID se van a centros de acopio en algunas regiones del país, no obstante, éstos no son suficientes. Las LID que son acopiadas son vendidas a empresas cementeras, cuyo procesamiento en hornos de alta temperatura genera combustible y a la vez una alta emisión de contaminantes al aire. Sin embargo, una cantidad mayor de LID son dispuestas en tiraderos a cielo abierto, en donde estas son quemadas deliberadamente.

Por tal razón, se suma la intención de poder contribuir con el desarrollo de procesos más amigables ambientalmente, a fin de disminuir la contaminación que generan las LID incorporándolas en el diseño del CH. Como parte de la metodología, se elaboraron especímenes de CH empleando diferentes porcentajes de LID (0, 10, 20, 25 y 40 %) en la mezcla, con el objetivo de poder estudiar las propiedades mecánicas que se producen en este diseño, para lo qué, los especímenes fueron sometidos a ensayos en ausencia y presencia de plasma, y a ensayos de resistencia a la compresión

ABSTRACT

The daily development and growth activities of our society have caused a considerable impact on the environment, where the indiscriminate use of non-renewable natural resources has been present. In the construction area, non-renewable resources such as sand and gravel are used for the production of hydraulic concrete (CH), which is used in the development of bearing slabs (roads), construction of urban complexes, hydraulic dams, automotive and road bridges, sidewalks, etc. However, its manufacture requires cementitious materials, water, and fine and coarse aggregates (NMX-C-155-ONNCCE-2004). Gravel, which is generally used as a coarse aggregate (AG), is frequently removed from water beds, river bottoms, and mines. This constant extraction has reduced and affected natural spaces, causing erosion, reduction and change of course of river flows, altering and destroying the natural habitat of various endemic species, so the extraction activity of this non-renewable resource is considered of great environmental impact.

Based on this premise, with the intention of being able to reduce the observed environmental impact, it was proposed to explore in this research the inclusion of scrap tires (LID) for the design of a CH. In addition to having as an antecedent, what, in Mexico alone, 28 million tires are discarded per year, making this waste a source of contamination due to its low use in recycling processes. It is true that a minimum percentage of LID go to collection centers in some regions of the country, however, these are not enough. The LID that are collected are sold to cement companies, whose processing in high-temperature furnaces generates fuel and at the same time a high emission of pollutants into the air. However, a larger number of LIDs are disposed of in open dumps, where they are deliberately burned.

For this reason, the intention is added to be able to contribute to the development of more environmentally friendly processes, in order to reduce the pollution generated by LIDs by incorporating them into the CH design. As part of the methodology, CH specimens were elaborated using different percentages of LID (0, 10, 20, 25 and 40%) in the mixture, with the objective of being able to study the mechanical properties that occur in this design, for which What, the specimens were subjected to tests in the absence and presence of plasma, and to compressive strength tests.

INTRODUCCIÓN

Las llantas de desecho de cualquier automotor son un problema en nuestra sociedad, no existe un programa de administración de la cadena inversa de suministro que contemple la recolección y reúso de las llantas producidas y colocadas en el mercado automotriz. La sociedad no fomenta la cultura de reciclaje en ningún ambiente, no exige a sus autoridades competentes el reciclaje obligatorio de ningún residuo que se genera en nuestro planeta, incluso los centros de acopio de llantas usadas son pocos operando a lo largo de la República Mexicana, las llanteras en ocasiones ofertan llantas nuevas con el beneficio de permitir dejar tus llantas usadas, estas tiendas venden las llantas usadas a fábricas de renovado para su re vulcanización, en otros casos las LID son dispuestas a basureros municipales que están colocados a cielo abierto. Pero el peor de los escenarios es cuando la gente tira sus LID en ríos, barrancas, lagos y cualquier otro lugar que uno se pueda imaginar (Imagen 1). Toda vez que las LID están tiradas a cielo abierto causan contaminación al suelo, agua y propiciando el desarrollo de fauna nociva a la salud como los mosquitos que transmiten el dengue, además de causar una contaminación visual. En otro escenario, para fabricar concreto hidráulico se necesitan cementantes, agua, grava y arena; en especial enfocaremos este trabajo de investigación al uso de LID en sustitución parcial de la grava en el diseño de concreto hidráulico, la cual es extraída de minas y fondos de ríos, esta extracción desmedida, descontrolada y no regulada por alguna autoridad en el tema causa un impacto al medio ambiente, gran parte de la grava es extraída de cuencas y arroyos, modificando el cauce de estos, y a la vez ocasionando que la fauna silvestre emigre a otros lugares donde las condiciones para su supervivencia no son favorables, la población acuática también se ve afectada, haciendo lo mismo, migrar a rio abajo hasta encontrar las condiciones favorables para su existencia. En el mismo contexto, la extracción de la grava también se realiza en minas localizadas en zonas montañosas, provocando la migración de la fauna silvestre a lugares donde las condiciones sean las mínimas para su sobre vivencia. También se ve afectada la flora, llevando todo esto a la deforestación del lugar propiciando la erosión del medio ambiente. Terrenos de cultivo son reemplazados por áreas de extracción de dicho material. De igual forma, el proceso de trituración del material extraído y la transportación del material no cuentan con medidas de prevención de la contaminación generada por estos (Imagen 2), los medios de transporte con sus emisiones excesivas al medio ambiente, al igual las maquinas utilizadas en la trituración de la grava.

Se realiza un diseño de mezclas de concreto hidráulico de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y LID en porcentajes parciales para obtener una mezcla de concreto con LID que sea una opción para mitigar en lo posible la contaminación que estas LID generan en el medio ambiente.



Imagen 1. Llantas de desecho tiradas en vía pública. A Meza, Altamira 2017



Imagen 2. Contaminación de camiones que transportan agregados. S/A

CAPÍTULO 1

1.1 Antecedentes

En la actualidad, la humanidad enfrenta problemas de contaminación en todo el planeta como resultado de las acciones por obtener un desarrollo y bienestar socioeconómico, todas las actividades realizadas para lograr este fin no son seguidas dentro de un marco de respeto y conservación de nuestro entorno ambiental. Se desarrollan productos y servicios en todo el mundo con el único objetivo de satisfacer las necesidades diarias de la humanidad, resultando no siempre estar alineados con beneficios ambientales, pero sí muy satisfactorios económicamente para los desarrolladores de estos. Este problema no es particular de algún país en vías de desarrollo, o de un país de primer mundo, es un problema globalizado que aun creemos que no es determinante en nuestro futuro ambiental.

Nuestro futuro ambiental no depende solo de campañas de reciclaje, las cuales actualmente están tomando fuerza en cada uno de los rubros de la contaminación ambiental, nuestro futuro ambiental debe de estar respaldado en la prevención y corrección de todas las actividades involucradas en el desarrollo de los productos y servicios a realizarse.

1.1.1 Llantas de desecho.

La contaminación ambiental está conformada por distintas vertientes, tales como lo es la contaminación del agua, del suelo, del aire. Para estas formas de contaminación, es imperante colocar toda nuestra atención con la misma importancia que cualquier otra, a la contaminación a los suelos provocada por la práctica de desechar llantas usadas al medio ambiente.

Los negocios que comercian con llantas, tales como llanteras y talacheras, tienen un gran problema de almacenamiento, cuando brindan sus servicios a cambio de que el cliente consuma sus productos y servicios, las llanteras y talacheras acuerdan quedarse con las llantas de desecho, lo que les provoca un problema de almacenamiento, ya que no es fácil deshacerse de las llantas; los camiones de recolección de basura de los municipios cobran cantidades elevadas por llevarse cierto número de llantas, aun y cuando esta práctica no es legal. También existen empresas particulares de recolección de llantas usadas, que de igual forma cobran ciertas cantidades monetarias por llevarse las llantas, estas empresas particulares comercializan las llantas usadas con empresas que operan hornos de altas temperaturas (Sr. Marcelino Morales González; Talachería Siglo XXI, libramiento México – Oaxaca S/N, Yecapixtla Morelos, 2018).

Otras empresas someten a un ciclo de re vulcanizado a las llantas usadas, utilizando procesos químicos que utilizan grandes cantidades de azufre y otros compuestos mezclados a altas temperaturas, durante este proceso son liberados bastas cantidades de gases tóxicos contaminantes al ambiente. En estas re-vulcanizadoras, solo reciben llantas que cumplan con las características físicas establecidas para su reutilización, las llantas que no cumplen con las características solicitadas son compradas a un precio aún menor, las cuales son destinadas a ser usadas como combustible en hornos de alta temperatura, y son vendidas a cementeras.

Las llantas de desecho de cualquier automotor son un problema en nuestra sociedad, no existe un programa de administración de la cadena inversa de suministro que contemple la recolección y reúso de las llantas producidas y colocadas en el mercado automotriz. La sociedad no fomenta la cultura de reciclaje en ningún ambiente, no exige a sus autoridades competentes el reciclaje obligatorio de ningún residuo que se genera en nuestro planeta, incluso los centros de acopio de llantas usadas son pocos operando a lo largo de la República Mexicana, las llanteras en ocasiones ofertan atractivas promociones al adquirir llantas nuevas con el beneficio extra de permitir dejar las llantas usadas, estas tiendas venden las llantas usadas a fábricas de renovado para su re vulcanización, ya vulcanizadas son reintegradas al mercado, donde su precio es menor a una llanta nueva directa de fábrica; en otros casos las llantas de desecho son dispuestas a basureros municipales que están colocados a cielo abierto. Pero el peor de los escenarios es cuando la gente tira sus llantas en ríos, barrancas, lagos y cualquier otro lugar que uno se pueda imaginar. Toda vez que las llantas de desecho están tiradas a cielo abierto causan contaminación al suelo, propiciando además el desarrollo de fauna nociva a la salud como los mosquitos que transmiten diversas enfermedades, además de causar una contaminación visual, al mismo tiempo algunas personas intentan dar un uso a las LID incluyéndolas en la elaboración de artesanías o utilizándolas como material de adorno en algunos jardines, sin embargo, alno contar con las condiciones necesarias para su correcto uso, estas llantas no dejan de contaminar (Imagen 3).

En el año 2010 el Gobierno Federal, a través de SEMARNAT, publica el Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México 2010.

Las llantas usadas de desecho no tienen un uso final establecido, y son dispuestas en tiraderos a cielo abierto y en contacto directo con el suelo; y muchas veces son quemadas deliberadamente a cielo abierto, aun y cuando existe una guía para el establecimiento de un centro de acopio de llantas de desecho

publicado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2012), mas no son suficientes las medidas observadas para la prevención de contaminación por LID.



Imagen 3. Contaminación y generación de focos de insalubridad

Existen centros de acopio en México, pero no son suficientes y además no cuentan con planes o programas de reúso de las llantas, una vez que adquieren las llantas, estos centros de acopio principalmente las venden a empresas que las usan en sus hornos tales como las cementeras. Las cementeras usan filtros en las chimeneas de los hornos siendo insuficientes para la emisión de gases contaminantes y dañinos a la capa de ozono.

El último Plan de Manejo de Neumáticos Usados de Desecho se publicó en el año 2015. En este Plan de Manejo de Neumáticos Usados de Desecho se establecen los lineamientos para la disposición final de neumáticos usados, pero en la actualidad es un bajo porcentaje de los que realmente operan.

En la actualidad (2019) una de las constantes de la pobre actividad de reciclaje, es su alto costo de inversión inicial.

Se observa un difícil y costoso camino comercial en el reciclaje de llantas; el cual requiere de una inversión altamente costosa, así lo describe Marissa Sánchez de la revista Entrepreneur. Pero también debemos de observar una oportunidad de minimizar los costos de reciclaje de llantas al incluir estas llantas de desecho en el diseño de concretos hidráulicos.

En los centros de acopio las llantas no se clasifican generalmente por sus características particulares, solo por tipo de uso, que son de automóvil o camiones. Particularmente en México, nuestra sociedad no tiene la cultura de reciclaje ni la responsabilidad de saber cuál será la disposición final de las llantas que desechamos al cambiarlas por unas nuevas. Generalmente las dejamos en los negocios donde compramos las llantas nuevas y estos establecimientos solo las tiran a la basura aun y cuando los camiones que recolectan la basura no tienen permitido la recolección de LID. Muy pocos establecimientos las almacenan para depositarlas en un centro de acopio autorizado.

Existen intentos de parte del gobierno federal para implementar el acopio de llantas y otros residuos en centros de acopio, pero los mismos programas no son actualizados, son abandonados u olvidados, pues la última actualización del Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México 2010 fue precisamente en el año 2010 (SEMARNAT, 2010).

En Morelos, Como parte del Día Internacional del Reciclaje, celebrado el 17 de mayo del 2015, las secretarías de Desarrollo Sustentable (SDS) y de Salud, en coordinación con Bridgestone México anunciaron la segunda edición del “*Llantatón*”, campaña de acopio y reciclaje de neumáticos en desuso. El propósito de esta campaña fue eliminar la contaminación ambiental, concientizar a la población, concertar con las autoridades para facilitar la recolección y el acopio de los residuos, además de eliminar los focos de insalubridad que afectan a la comunidad en general, y lograr una mejor utilización de estos (Gobierno del Estado de Morelos, 2015). A la fecha, se repite anualmente en nuestro Estado este evento de recolección, al igual se replica en otros Estados de la República.

Esto es muestra de los intentos del gobierno y el sector productivo por colaborar en propuestas de la problemática de las llantas de desecho.

A continuación, se muestra el directorio de centros de acopio de residuos urbanos en la Ciudad de México para el año 2009 (existen 11 centros autorizados, de los cuales se encuentran vigentes como centros de reciclaje solamente tres de ellos, y de estos tres solo dos continúan con sus actividades de acopio):

- Comercializadora de SBR, S.A. de C.V. Poniente 9, mz. 10, lt. 8, del. Gustavo A. Madero. Tel. 5794 8759.
- ECONTAINER, S. A. de C. V. Calle Héroes de Granaditas núm. 1, col. San Pedro Xalostoc, Ecatepec, edo. de México. Tel. 5788 0338, 5788 9870.
- Manejo Responsable de Llantas Usadas, A. C. Manuel María Contreras No. 133-155, col. Cuauhtémoc, del. Cuauhtémoc. Tel. 5166 6199.

En la Ciudad de México solo existen tres centros de acopio autorizados (SEDEMA 2009 s/f), de los cuales solo siguen operando dos de ellos:

- Comercializadora de SBR, S.A. de C.V. Poniente 9, mz. 10, lt. 8, del. Gustavo A. Madero. Tel. 5794 8759.
- ECONTAINER, S. A. de C. V. Calle Héroes de Granaditas núm. 1, col. San Pedro Xalostoc, Ecatepec, edo. de México. Tel. 5788 0338, 5788 9870.

El tercer centro de acopio no funciona ya como tal. Se han realizados llamadas telefónicas sin lograr respuesta alguna, ya que la operadora indica que ese número ya no existe.

Bajo el escenario anterior, la mayoría de las personas que tienen la necesidad de deshacerse de sus llantas usadas, prefieren deshacerse de ellas de manera irregular, esto es, tirándolas en cualquier lugar, ya sea en alguna vía pública, terrenos solos, lugares deshabitados, todo esto sin recibir sanción alguna, pero si causando un gran daño al medio ambiente.

El daño generado al medio ambiente es de gran consideración, como ya se ha mencionado anteriormente, el tirar llantas directamente a cualquier superficie, y en cualquier lugar, permite la proliferación de fauna nociva a la salud del ser humano, la proliferación de larvas de moscas y mosquitos transmisores del dengue y otras enfermedades mortales.

1.1.2 Vulcanización (renovado).

La vulcanización es un proceso químico para la conversión del caucho o polímeros relacionados en materiales más duraderos a través de la adición de azufre u otros equivalentes "curativos". Estos aditivos modifican el polímero mediante la formación de enlaces cruzados (puentes) entre las distintas cadenas de polímeros (Hules y Plásticos de México, "Revista Tecnológica", Año 1 num.1 febrero de 1993). El

material vulcanizado es menos pegajoso y tiene propiedades mecánicas superiores. Una amplia gama de productos se fabrica con caucho vulcanizado incluidos los neumáticos (Frederick R. Eirich, 1978. Science and Technology of Rubber).

Métodos de vulcanización.

Existe una variedad de métodos para la vulcanización. El método económicamente más importante (vulcanización de neumáticos) utiliza alta presión y temperatura. Una temperatura de vulcanización típica de un neumático es de 10 minutos a 170°C. Este tipo de vulcanización utiliza el denominado moldeo por compresión. El artículo de goma es forzado a adoptar la forma del molde.

Vulcanización con azufre

Por mucho, los métodos más comunes de vulcanización dependen del azufre. El azufre, por sí mismo, es un agente de vulcanización lento y no vulcaniza poliolefinas sintéticas. Incluso con caucho natural, grandes cantidades de azufre, así como altas temperaturas y largos períodos de calentamiento son necesarios y se obtiene una eficiencia de entrecruzamiento insatisfactorio con propiedades de resistencia y de envejecimiento insuficiente. Sólo con acelerantes de vulcanización se puede lograr la calidad adecuada. La multiplicidad de los efectos de vulcanización demandados, no se puede lograr con un compuesto universal. Son necesarios un gran número de aditivos diversos, que comprenden el sistema de vulcanización, los métodos para la vulcanización pueden ser:

- Azufre solo
- Azufre convencional y aceleradores
- Baja cantidad de azufre y aceleradores
- Sistema donador de azufre

Reciclaje y des vulcanización

El mercado del caucho es enorme, sólo en América del Norte se usan alrededor de 4,5 millones de toneladas cada año. La industria del automóvil consume aproximadamente el 79% del caucho virgen y el 57% del caucho sintético. Hasta la fecha, el caucho reciclado no se ha utilizado como un reemplazo de caucho nuevo en cantidades significativas, en gran parte debido a que las propiedades deseadas no han sido alcanzadas. Los neumáticos usados son los más visibles de los residuos hechos de caucho, se estima

que América del Norte por sí sola genera unos 300 millones de llantas de desecho al año, que se añaden a las ya existentes. Se estima que menos del 10% de los residuos de caucho se vuelven a utilizar en cualquier tipo de producto nuevo. Los Estados Unidos, la Unión Europea, Europa del Este, América Latina, Japón y el Oriente Medio en conjunto producen cerca de mil millones de neumáticos al año, con una acumulación aproximada de tres millones de dólares en Europa y seis millones de dólares en América del Norte.

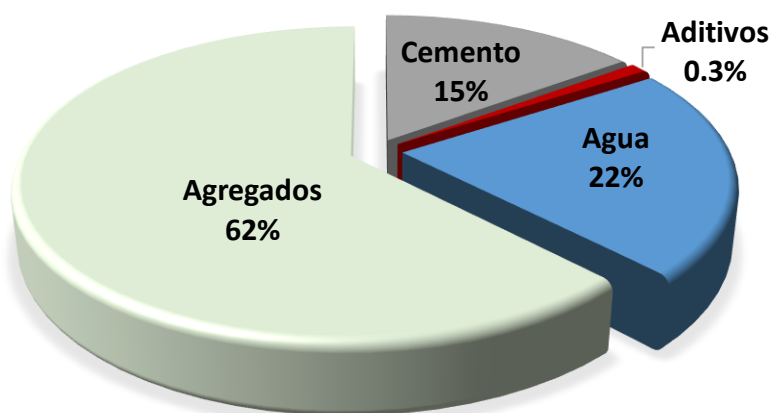
El proceso de reciclado de caucho comienza con la trituración. Después de que el acero y el refuerzo de fibras se extraen, y de una molienda secundaria, el polvo de caucho resultante está listo para la re-manufactura de productos. Hasta ahora, este material inerte sólo podía ser utilizado en aplicaciones que no requieren vulcanización. En el proceso de reciclaje de caucho, la des vulcanización comienza con la desvinculación de las moléculas de azufre de las moléculas de caucho, lo que facilita la formación de nuevos enlaces cruzados. Se han desarrollado dos procesos de reciclaje de caucho: el proceso de aceite modificado y el proceso de agua-aceite. Con cada uno de estos procesos, el aceite y un agente de recuperación se añaden al polvo de caucho regenerado, que se somete a altas temperaturas y presión durante un largo período de tiempo (5-12 horas) en un equipo especial y también requiere un extenso post-procesamiento mecánico. El caucho regenerado de estos procesos tiene alteradas sus propiedades y no es apto para su uso en muchos productos, incluidos los neumáticos. Por lo general, estos diversos procesos de des vulcanización no han podido dar lugar a una des vulcanización importante, no han logrado conseguir una calidad consistente, o han sido prohibitivamente caros.

1.1.3 El concreto hidráulico.

El concreto hidráulico es el material más usado y preferido en la industria de la construcción en todo el mundo. Generalmente, en la sociedad que no está inmersa en el mundo de la construcción se confunde el termino cemento con el termino concreto, y debemos saber que la diferencia entre uno y otro es que el Concreto Hidráulico es una combinación de cemento Portland, agregados finos y gruesos, agua y en ocasiones aditivos (Grafica 1), para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente (IMCyC 2012), y el cemento es un componente más del CH.

El concreto hidráulico se utiliza en el desarrollo de grandes obras civiles a nivel mundial (Imagen 4), así como en la construcción de viviendas, puentes, carreteras, presas, aeropuertos, centros comerciales y más; se utilizan millones de toneladas de agregados para la elaboración de este material de construcción, siendo la grava uno de los materiales que se utiliza en el concreto, también es cierto que la extracción de los

agregados utilizados en el concreto es causa de impacto ambiental. La extracción de la grava se realiza en minas localizadas en zonas montañosas, causando la migración de la fauna silvestre a lugares donde las condiciones sean las mínimas para su sobre vivencia. También se ve afectada la flora, llevando todo esto a la deforestación del lugar propiciando la erosión del medio ambiente, el proceso de trituración del material extraído y la transportación del material no cuentan con medidas de prevención de la contaminación generada por estos, los medios de transporte con sus emisiones excesivas al medio ambiente, al igual las maquinas utilizadas en la trituración de la grava. La industria de la construcción con el objetivo de ayudar a mitigar los efectos del impacto ambiental producido por la extracción y uso de agregados utilizados para la elaboración del concreto hidráulico, enfoca sus esfuerzos en obtener concretos amigables con el medio ambiente, con lo que se han diseñados concretos sustituyendo parte de los agregados y cemento por materiales reciclados, utilizando materiales de desecho para reciclarlos e incorporarlos en los diseños de concretos, algunos de estos materiales son derivados cerámicos, plásticos, fibras naturales, concreto de desecho y actualmente llantas de desecho. Algunas de sus aplicaciones son en pisos arquitectónicos, pisos de estacionamiento, banquetas, entre otros más. Bajo esta misma dirección, me enfoco a sustituir porcentajes específicos de llantas de desecho en el diseño de un CH.



Gráfica 1. Porcentajes óptimos para la elaboración de un Concreto Hidráulico



Imagen 4. Jason Chowdhury, 2019.

1.1.4 Carreteras.

En construcción de carreteras, la pavimentación con concreto hidráulico es cada vez más empleada, por las grandes ventajas que representa sobre la utilización del asfalto. Ha ido desapareciendo aquella vieja idea de que las construcciones de carreteras con concreto son más caras que las de asfalto (Imagen 5 y 6). El tráfico pesado como lo son los camiones de transporte de carga pesada impacta severamente en la conservación óptima de las carreteras (Fig. 1, 2, 3), toda vez que se sabe que un camión de carga pesada equivale al paso de aproximadamente nueve mil quinientos automóviles tipo sedán, y dado la cantidad de estos tracto camiones que circulan en nuestro país, se observa un daño mayor en carreteras de asfalto que en una carretera de CH. Principalmente los gobiernos federales, estatales y municipales han ido probando y comprobando, que la construcción de carreteras con concreto hidráulico, ofrecen mejores condiciones de manejo y seguridad y alcanzan una mayor vida útil. El concreto hidráulico utilizado en carreteras en comparación con el asfalto, ofrece mejores propiedades mecánicas, siendo los costos a un corto y mediano plazo un beneficio excepcional (Grafica 2).



Imagen 5. Losas de rodamiento (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto IMCYC, 2012)



Imagen 6. Autopista México – Tuxpan
(IMCYC 2012)

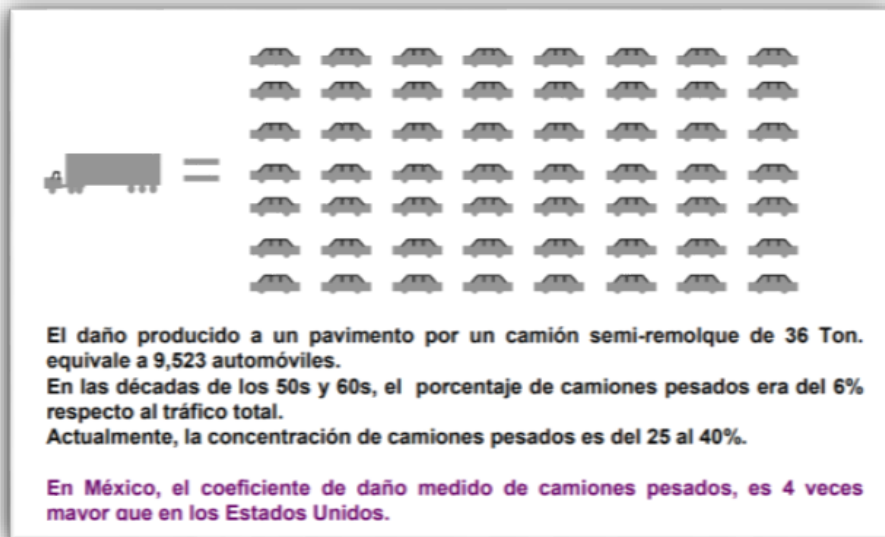


Figura 1. Importancia del tráfico pesado en el diseño de un Concreto Hidráulico
(IMCYC, 2009)

Capacidad de Carga



Concreto

Al incrementar el espesor del pavimento de concreto en 2.5 cm, incrementamos **al doble la capacidad de carga** de ese pavimento.

Un pavimento de 30,5 cm de espesor puede **soportar un 400% más** que un pavimento de 25,5 cm y **cuesta solamente un 20% más**.

Figura 2. Capacidad de carga del Concreto Hidráulico (IMCYC,

A) DURABILIDAD

1.- VIDA ÚTIL

Concreto Hidráulico: 25 AÑOS

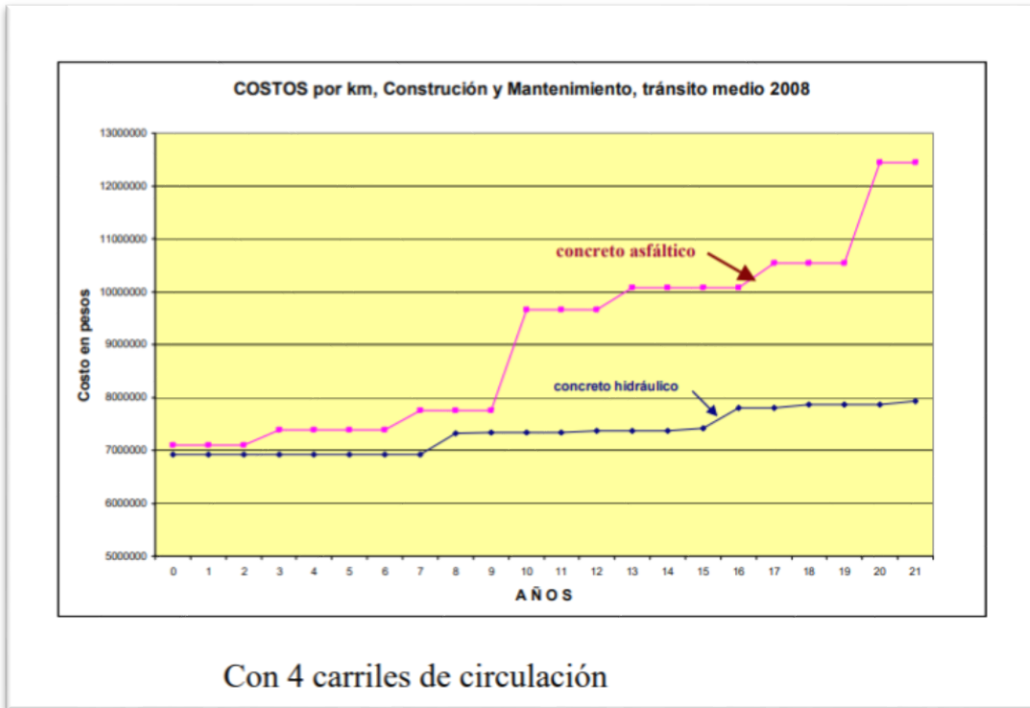
Concreto Asfáltico: 12,5 AÑOS

2.- RESISTENCIA

Concreto Hidráulico: Gana hasta un 10% adicional de resistencia después del primer mes

Concreto Asfáltico: Se reblancea por temperatura

Figura 3. Ventajas del Concreto Hidráulico (IMCYC,



Gráfica 2. Costos de asfalto y concreto (IMCYC, 20019)

1.1.5 Infraestructura urbana.

También en la infraestructura urbana, como el caso de la construcción de puentes, distribuidores viales, y en los últimos años, los grandes viaductos y autopistas elevadas, tienen en los prefabricados de concreto las piezas clave para construir con eficiencia y calidad, y en tiempos récord, alcanzando estándares de productividad de nivel mundial.

En el tema de vivienda (IMCyC 2012) el concreto ha jugado un papel estratégico en proyectos que requieren de procedimientos de construcción masiva, permitiendo alcanzar records históricos de construcción de vivienda en el país en los últimos años. Para ello se han desarrollado nuevas modalidades de construcción masiva como: vivienda industrializada, monolítica, prefabricada, entre otras.

En la actualidad, el uso del concreto en la construcción tanto en México como en el resto del mundo es más cada día, ya que en el pasado no era considerado como en el presente en el desarrollo de grandes proyectos como la pavimentación, tal como lo es en la actualidad; también cabe mencionar el gran crecimiento de su uso en el desarrollo de grandes proyectos como urbanización, arquitectura y obra civil (Imagen 7).



Imagen 7. Desarrollo urbano (IMCYC, Raquel Ochoa, 2014)

1.1.6 Principales Instituciones internacionales del Concreto Hidráulico.

Actualmente existen tanto institutos como asociaciones que se dedican a la investigación científica, mejora y publicación de Normas y reglamentos entre otros documentos para el diseño, mezcla, colocación y actividades de laboratorio para concreto hidráulico (Figura 4).



Figura 4. Principales instituciones internacionales

Instituciones como el PCA (Portland Cement Association) están ocupados por diseñar concretos amigables con el medio ambiente, contribuyendo a la vez con estudios que ayuden a minimizar la contaminación del ambiente.

1.2 Marco teórico

Se realizan investigaciones en todo el mundo para desarrollar concretos ecológicos, amigables con el medio ambiente, donde se incluyan materiales reciclados, en muchas otras partes del mundo, también se centran esfuerzos por demostrar la viabilidad de usar concreto en lugar de asfalto. Como se muestra a continuación (Figura 5), se muestran los beneficios de utilizar el concreto hidráulico en lugar del asfalto, principalmente en costos de elaboración, aplicación y mantenimiento del asfalto y del concreto. El concreto hidráulico ofrece mejores propiedades mecánicas en la aplicación en carreteras ya que este no

muestra deformaciones por cargas o temperaturas excesivas, reduciendo así el índice de accidentes automovilísticos; también ofrece mejores condiciones de manejo y frenado, y una mejor luminosidad natural.

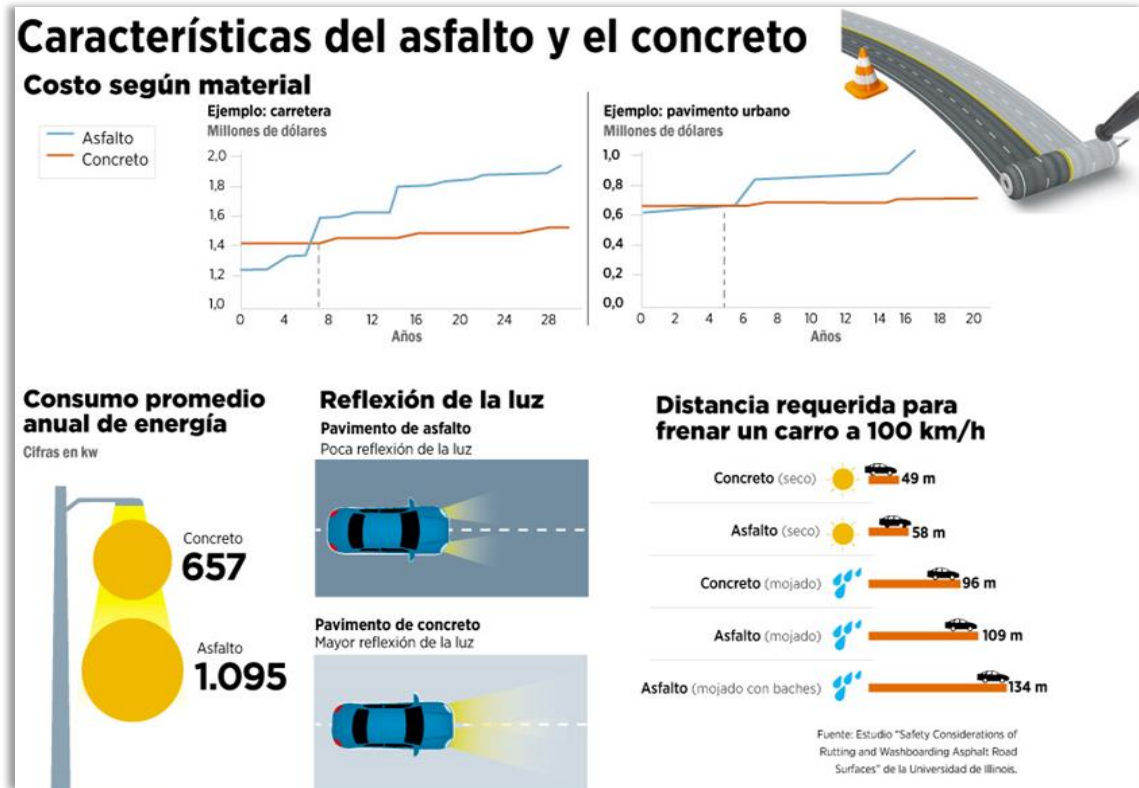


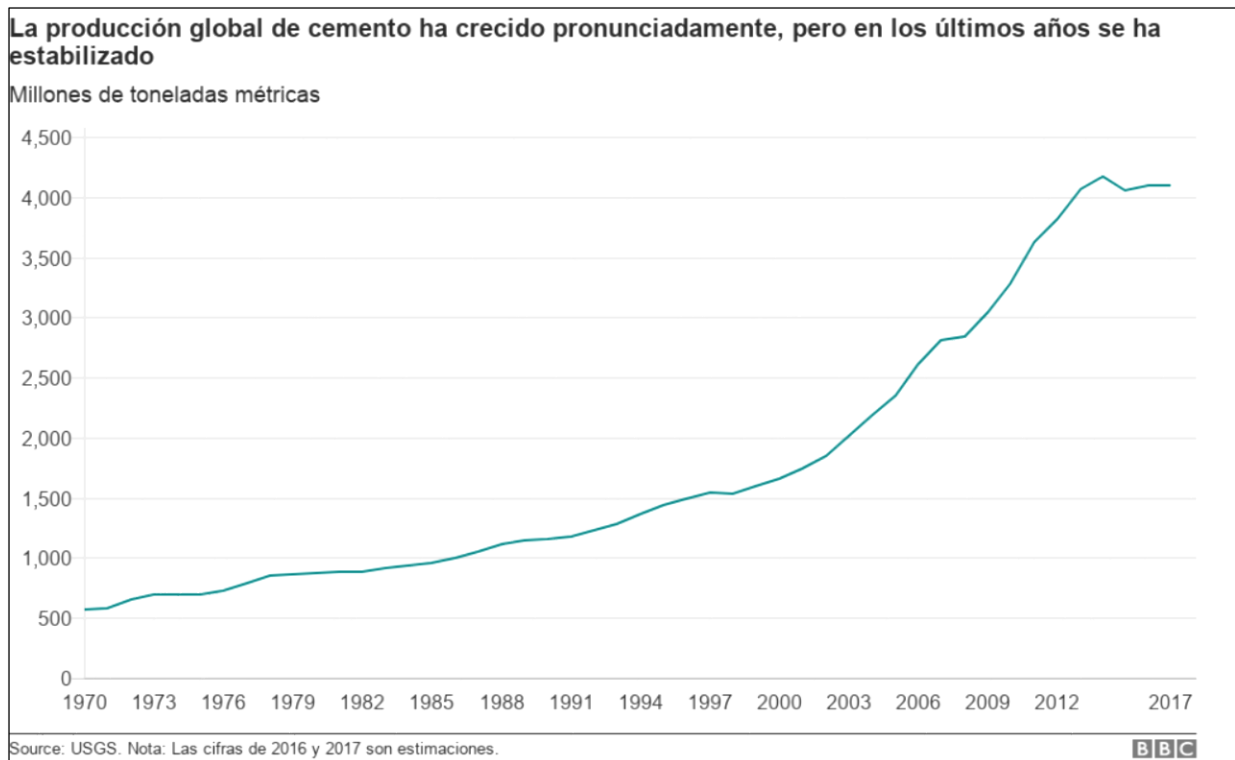
Figura 5. Analogía concreto-asfalto (Safety Considerations of Rutting and Washboarding Asphalt: Roas Surfaces, Illinois University S/f)

Los avances en materiales y técnicas mantienen al concreto como líder en el movimiento de construcción ecológica.

El mundo del diseño actual se enfrenta a innumerables opciones cuando se trata de diseño y construcción sostenibles. Los materiales y técnicas "verdes" ya no son una novedad: son prácticamente ubicuos, presentes en todas las etapas de diseño, construcción, operación y mantenimiento. Las grandes empresas están adoptando la construcción ecológica, los organismos gubernamentales están premiando los esfuerzos sostenibles y las personas de todo el mundo están tomando decisiones cotidianas sobre materiales y métodos que afectarán a las generaciones venideras.

El material de construcción más utilizado en la tierra, el concreto, tiene la vida útil más larga que cualquier material de construcción tradicional, utilizado para crear estructuras que aún permanecen en pie después de más de 2,000 años (Gráfica 3).

El concreto es el material fabricado por el hombre más utilizado de la historia. Solo el agua lo supera como el recurso más consumido en el planeta.



Gráfica 3. Producción global del cemento

Se busca generar líneas de investigación en el campo de la construcción, para desarrollar proyectos de toda clase, y compaginar con nuevas tecnologías del ramo de la construcción.

La intención de este proyecto es el realizar una mezcla de concreto hidráulico, de resistencia $f'c$ de 200 Kg/cm², y caucho de desecho como agregado grueso, este caucho deberá de presentarse en piezas amorfas, que cumplan con las características físicas en cuestión de tamaño y forma que presenta el agregado grueso. Las cantidades por utilizar de caucho de desecho se determinarán en función del diseño de la mezcla del concreto a utilizar.

Se busca lograr una mezcla con las características ya mencionadas, logrando incluir en la mezcla el caucho de desecho, modificando las propiedades mecánicas del concreto. Siendo la mitigación en lo posible de

contaminantes al medio ambiente causado por las llantas de desecho depositadas indiscriminadamente en lugares públicos, el resultado obtenido.

CAPITULO 2

2.1 Justificación

A través del presente trabajo de investigación se enfoca en encontrar el porcentaje óptimo de inclusión de caucho de desecho en una mezcla de Concreto Hidráulico. Al encontrar un porcentaje ideal de inclusión a un diseño de mezcla de Concreto y caucho de desecho, se minimizara en lo posible el impacto ambiental producido por el depósito de las llantas usadas en el medio ambiente; esta mezcla de concreto y llantas de desecho se proyecta utilizar en varios proyectos de gran envergadura, con el fin de comenzar a reducir las cantidades de llantas encontradas contaminando en lugares públicos, además de disminuir los porcentajes de uso del agregado grueso en la elaboración de concreto hidráulico.

Se define el uso de este diseño de concreto en la realización de carreteras o también llamadas losas de rodamiento, losas finales, patios de maniobra en el sector industrial, ya que son obras de volumen considerable, donde pueden ser incluidas cientos de llantas. Estas llantas quedaran al final encapsuladas dentro del concreto hidráulico realizado. También se pretende acercarse a una mezcla que cumpla las características que se necesitan para desarrollar proyectos de urbanismo en comunidades rurales, donde los desarrollos urbanos requieren requisitos y características específicas en hegemonía con el ambiente.

RAZON PRINCIPAL PARA EL USO DE AGREGADOS EN CONCRETO (IMCyC 2012).

- Economía; mayor volumen (75%) a bajo costo.
- Reduce la contracción; por el efecto de la hidratación tardía del cemento en el concreto.
- Resistencia mecánica; la suficiente para soportar cargas.
- Durabilidad; en algunas aplicaciones se requieren de calidad adecuada.
- Siendo inertes: su comportamiento es estable y se obtiene mayor densidad en el concreto.
- Clasificación; tamaño máximo adecuado y graduación combinada.

2.1.1 Maestría en Ingeniería ambiental y tecnologías sustentables.

Líneas de Generación y/o Aplicación del Conocimiento

1. Ingeniería y tecnologías sustentables para la evaluación, control, degradación y mitigación, de esta LGAC se pretende el desarrollo de proyectos de investigación y de innovación tecnológica, que permitan, a través de cualquiera de los procesos empleados en la ingeniería para eliminar o mitigar la presencia de contaminantes presentes en suelo, agua y aire y realizar su tratamiento con tecnologías ambientales sustentables.

Por lo que en esta LGAC se busca desarrollar, innovar y proponer tecnologías que involucren nuevos materiales y procesos de ingeniería en sistemas de producción limpios (“verdes”), así como la implementación de tecnologías sustentables en el tratamiento de sitios o ambientes contaminados, mejorando con ello las condiciones sociales, las del entorno y las económicas del estado y país.

A fin de ser congruente con la primera Línea de Generación y/o Aplicación del Conocimiento de la Maestría en Ingeniería ambiental y tecnologías sustentables, se busca desarrollar un concreto que permita la mezcla en proporciones correctas de residuos sólidos urbanos, en este caso las llantas usadas de desecho. Innovando con la aplicación de un proceso de Plasma que provoque la modificación de las propiedades mecánicas de este concreto compuesto con residuos de sólidos urbanos.

Al diseñar un concreto hidráulico mezclado con residuos sólidos urbanos, se pretende disminuir en lo posible la contaminación de ambientes contaminados (agua, suelo y aire), optimizar el uso de agregado grueso para minimizar el impacto ambiental generado de la extracción de piedra utilizada para la producción de agregado grueso (grava). Algunos de los usos con mayor volumen de aplicación son las losas de rodamiento, tales como carreteras, autopistas y pistas de aterrizajes en aeropuertos. Se utilizan miles de metros cúbicos para cubrir el volumen requerido para la realización de estas carreteras, por lo que se presume el uso exponencial de agregados, impactando directamente al medio ambiente, con lo que se va afectando directa y proporcionalmente al medio ambiente, hecho que impactara de igual forma en la flora y fauna de los sitios de extracción de agregados. De igual forma el concreto hidráulico es utilizado en grandes cantidades en el desarrollo de infraestructuras urbanas, en desarrollos urbanos de grandes dimensiones.

Como mencionamos al inicio de este documento, el caucho se encuentra en forma de desecho en proporciones fuera de control, tanto contablemente como de disposición final. Se pretende disminuir

cantidades significativas de caucho de desecho que se encuentran en tiraderos a cielo abierto y demás lugares públicos sin control alguno.

Al obtener una mezcla de CH y LID que conserve y mejore sus características mecánicas de diseño en su aplicación, se impactara directamente a la contaminación por tiraderos de residuos sólidos urbanos. En algunas partes del mundo se están utilizando en el CH la mezcla con LID, para fines como relleno de baches asfálticos (Imagen 8), aislantes acústicos, aislantes térmicos, impermeabilizantes (Imagen 9), artículos decorativos, macetas para jardinería (Imagen 10), pisos de canchas deportivas, entre otras.

También se diseñan en el mundo mezclas de concreto hidráulico con otros productos como gabazo de caña, nopal, unicel entre otros, más ninguno de ellos ha usado LID para diseñar concretos hidráulicos para lozas de rodamiento.



Imagen 8. Bacheo con concreto y llantas usadas.



Imagen 9. Impermeabilizantes con llantas recicladas.



Imagen 10. Macetas de llantas recicladas.

En varias partes del mundo día a día se encuentran mezclas de CH y diferentes residuos sólidos urbanos que hay en el medio ambiente desechados indiscriminadamente, tratando de integrarlos para minimizar el impacto de estos elementos al medio ambiente; a través de dependencias gubernamentales y principalmente de sociedades anónimas se desarrollan diferentes mezclas de CH, siempre tratando de englobar el tema de medio ambiente.

En artículos de investigación y artículos de difusión de orden internacional, se investigan características para agregados, la búsqueda bibliográfica se enfocó a encontrar artículos de investigación y en artículos

de difusión acerca de agregado grueso. En la Norma ASTM C 33 – 03, se analizan y proponen ciertas características físicas, químicas y mecánicas de los agregados gruesos, con el fin de mejorar la calidad de las mezclas, considerando desde el tipo de origen del agregado hasta la selección de método específico para calcular su densidad, mas es la responsabilidad de quien diseña la mezcla, el seleccionar el agregado adecuado.

En otros artículos de investigación, se realizan algunas actividades físico-químicas para separar el caucho de la base de alambres de acero que contiene la llanta, a través de Transferencia Directa de Calor con Zinc fundido, tal como lo describen F. Riedewald, et al (2016). Este proceso donde se diseñó un reactor, se separa el acero y el caucho a través de un proceso de pirolisis, el proceso es auxiliado por Zinc fundido. Estos nuevos procesos de reciclaje de LID, invitan a proponer y gestión

ar nuevos métodos de reciclar nuestros residuos como sociedad, en especial las LID, y demostrando que es posible el reciclaje con ayuda de estos procesos.

Ahmet Turre (2012) menciona el uso de LID en la construcción de obra civil, describe el uso de LID en las orillas de embarcaderos para amortiguar los golpes de las embarcaciones, también describe el proceso de usarlo en relleno de obras civiles, pero de igual forma recomienda usarlas como relleno en la construcción de carreteras (losas de rodamiento), tal como muestran sus ilustraciones del artículo. Además, aborda la problemática de las LID en su disposición final, los problemas ambientales que todo esto genera, y finalmente este artículo muestra nuevas y diferentes formas de reciclar LID, como es a través de procesos físico químico, procesos mecánicos, entre otros, dejando abierta la puerta de un mundo de reciclaje.

Existe un extenso número de trabajos de investigación que proponen nuevos usos de LID en CH, también proponen nuevos métodos de separación del caucho del acero que contienen las LID. A través de la investigación bibliográfica para documentar el presente documento se encontró, que los artículos publicados en México de investigación de la mezcla de CH con LID son muy pocos en relación con el número de artículos publicados en los últimos diez años en otros países, siendo los países como U.S.A., España, Turquía, Suiza, Alemania entre otros, quienes cuentan con una cantidad grande de artículos publicados en temas de CH y LID (Science Direct 2020).

Por lo anterior expuesto se realiza este trabajo de investigación, donde se busca la mezcla que permita realizar mezclas de CH y LID que cumplan y excedan los parámetros de diseño que se proponen.

2.2 Objetivo general

Modificar las propiedades mecánicas del concreto hidráulico mediante la sustitución parcial del agregado grueso (grava) por fragmentos amorfos de caucho de desecho.

2.3 Objetivos específicos.

2.3.1. Obtener un material cerámico constituido por una mezcla de concreto hidráulico y llantas de desecho con propiedades elásticas y mecánicas óptimas para su aplicación en el sector de la construcción.

2.3.2. Hacer uso de polímeros de desecho altamente contaminantes, en el diseño de nuevos materiales con propiedades óptimas, enfocadas a mejorar el medio ambiente.

2.3.3. Crear procesos científicos que permitan generar conocimiento en el área.

2.3.4. Usar tecnologías alternas que propicien la modificación de propiedades mecánicas en la mezcla de concreto a desarrollar, en este caso, el Plasma.

CAPÍTULO 3

3.1 Diseño experimental

Para la parte experimental, se desarrolla el siguiente proceso (Figura 6):

1. Elegir la resistencia a la compresión para un concreto hidráulico.

Se define utilizar una resistencia a la compresión de 200 kg f / cm^2 , por las características mecánicas que presenta, mismas que permitirán al concreto diseñado ser aplicado en cualquier tipo de losa residencial, losa de rodamiento o pisos residenciales.

2. Elegir el tamaño del caucho que sustituirá al agregado grueso.

Usar piezas de caucho de desecho del mismo tamaño del agregado grueso que se defina en el diseño de la mezcla, es decir, se debe de utilizar un tamaño no mayor al de la malla no. 4, la cual es de 20 mm en su paso máximo.

3. Definir los porcentajes de caucho incluido en cada mezcla de concreto hidráulico.

Se establece que se usaran porcentajes de caucho de desecho en 0%, 10%, 20%, 25% y 40 % en el diseño de la mezcla para el concreto requerido.

4. Diseñar una mezcla de concreto con porcentajes de caucho en sustitución parcial del agregado grueso.

Se realiza el diseño para la obtención de las proporciones necesarias para la elaboración de especímenes de concreto hidráulico con resistencia de 200 kg f / cm^2 , este diseño se realiza bajo el procedimiento establecido en el método ACI 211 que emitió el ACI (American Concrete Institute).

5. Definir los ensayos a realizar a los especímenes obtenidos.

- a) Someter a proceso de curado durante 28 días consecutivos a los especímenes obtenidos.
- b) Someter a proceso de plasma frío atmosférico a los especímenes con porcentajes de caucho de desecho en su composición, al menos uno de cada porcentaje diferente entre ellos.
- c) Realizar ensayo de resistencia a la compresión a todos los especímenes obtenidos, ya sea que hayan sido sometidos a proceso de plasma o no.
- d) Analizar en el microscopio los especímenes sometidos a ensayos de resistencia a la compresión.

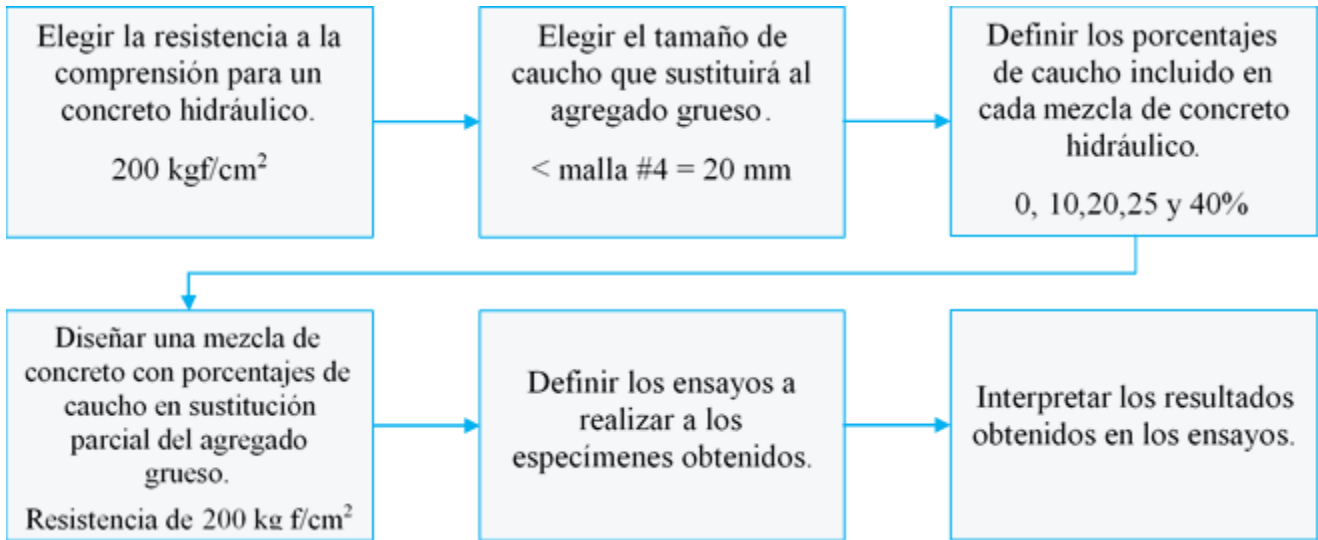


Figura 6. Diseño experimental.

3.2 Estrategia experimental.

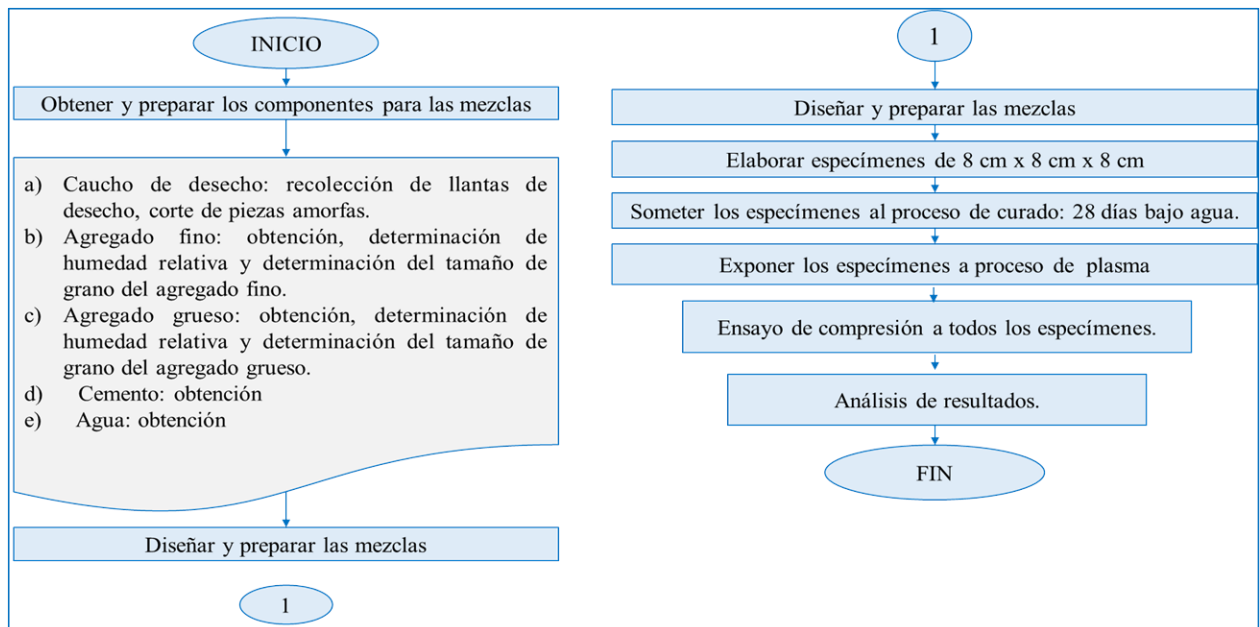


Figura 7. Estrategia experimental.

Material y métodos.

3.3 Material

Los materiales por utilizar en este proceso son los siguientes:

- Cemento Portland Ordinario CPO 30.
- Arena (agregado fino).
- Grava (agregado grueso).
- Agua potable.
- Caucho de desecho.
- Báscula.
- Moldes de madera (8x8x8 cm)
- Espátula.
- Varilla de 30 cm de longitud con punta roma.
- Procedimiento ACI 211 (Tecnología del Concreto Hidráulico; IMCYC A.C., 2012).
- Depósito para proceso de fraguado.
- Máquina para ensayo de compresión (INSTRON / Fac. de Química UNAM)
- Equipo de Plasma Diener APC 500 / ICF UNAM).

3.2 Método a realizar:

3.2.1. Elegir la resistencia a la compresión para un concreto hidráulico.

Se define una resistencia de 200 kg f / cm², resistencia óptima para losas.

3.2.2. Elegir el tamaño del caucho que sustituirá al agregado grueso y obtención de piezas amorfas de caucho de desecho (Imagen 11).



Imagen 11. Corte de llantas en figuras amorfas

3.3. Elección del tamaño máximo de agregado, en función de las prácticas recomendadas por el ACI:

- No exceder de una quinta parte de la menor dimensión entre caras de la cimbra.
- No exceder de una tercera parte del peralte de las losas
- No exceder de $\frac{3}{4}$ partes del espaciamiento libre entre varillas.

Por lo anterior expuesto se selecciona el mismo tamaño del agregado grueso (19 mm en su máxima longitud) que se utiliza en el diseño del concreto hidráulico.

3.4. Definir los porcentajes de caucho incluido en cada mezcla de concreto hidráulico.

Se establecen porcentajes de 0%, 10%, 20%, 25% y 40% de caucho de desecho en el diseño de la mezcla para especímenes de concreto a obtener.

3.5. Diseñar una mezcla de concreto con porcentajes de caucho en sustitución parcial del agregado grueso

Se realizó un diseño para Concreto Hidráulico sustituyendo parcialmente el agregado grueso por porcentajes de caucho. El diseño se realizó con el método ACI 211.

3.6. Realizar los especímenes de concreto con las proporciones estimadas (Imagen 12).



Imagen 12. Elaboración de especímenes de concreto.

3.7.- Definir los ensayos a realizar a los especímenes obtenidos.

- a) Someter a proceso de curado durante 28 días consecutivos a los especímenes obtenidos (Imagen 13).



Imagen 13. Proceso de curado.

- b) Someter a proceso de plasma a los especímenes con porcentajes de caucho de desecho en su composición (Imagen 14).



Imagen 14. Proceso de Plasma.

- c) Realizar ensayo de resistencia a la compresión a todos los especímenes obtenidos, ya sea que hayan sido sometidos a proceso de plasma o no (Imagen 15).



Imagen 15. Ensayo de resistencia a la compresión.

- d) Analizar especímenes ensayados en proceso de resistencia a la compresión bajo la óptica del microscopio (Imagen 16).

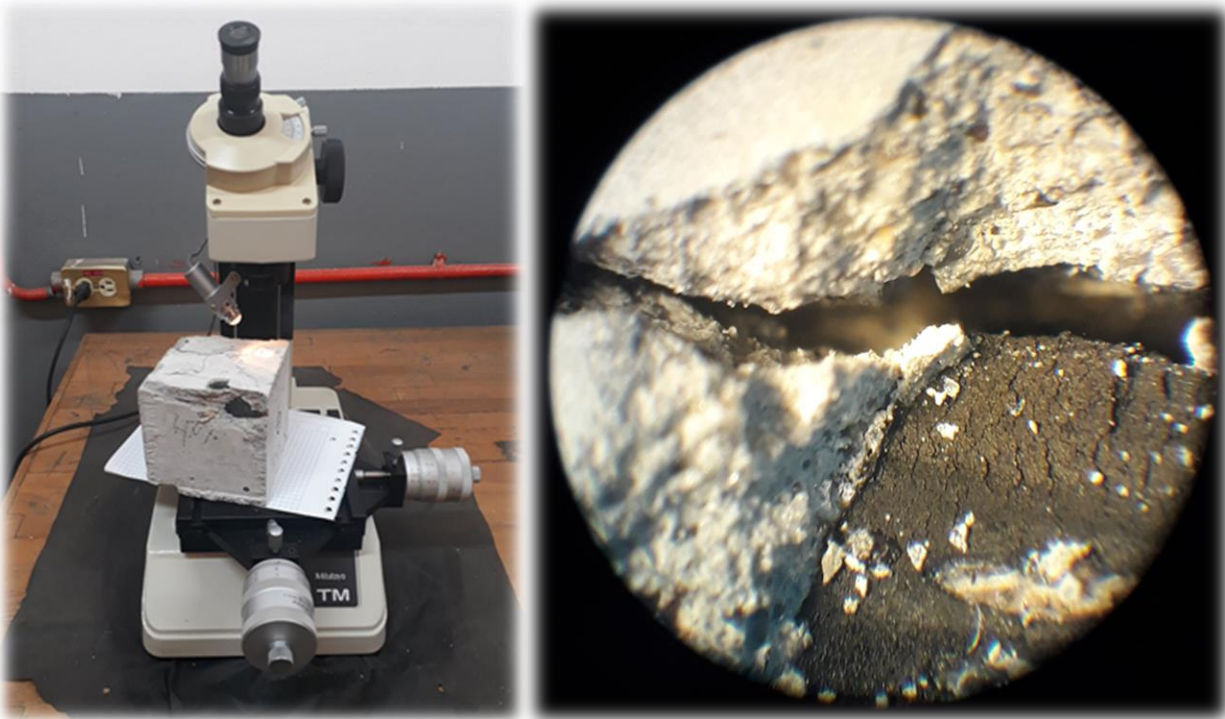


Imagen 16. Análisis de especímenes.

CAPÍTULO 4

Resultados y discusión.

De las pruebas experimentales destructivas realizadas se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1 Proceso de curado.

Al final del proceso de curado de los especímenes para ser fallados en pruebas de compresión se encontró polvo sedimentado en el recipiente en el cual transcurrió el proceso, este fenómeno puede observarse en la imagen 17, el cual fue ocasionado por la pérdida de partículas de caliza, debido al efecto que tuvo el agua sobre el área superficial de cada uno de los especímenes.

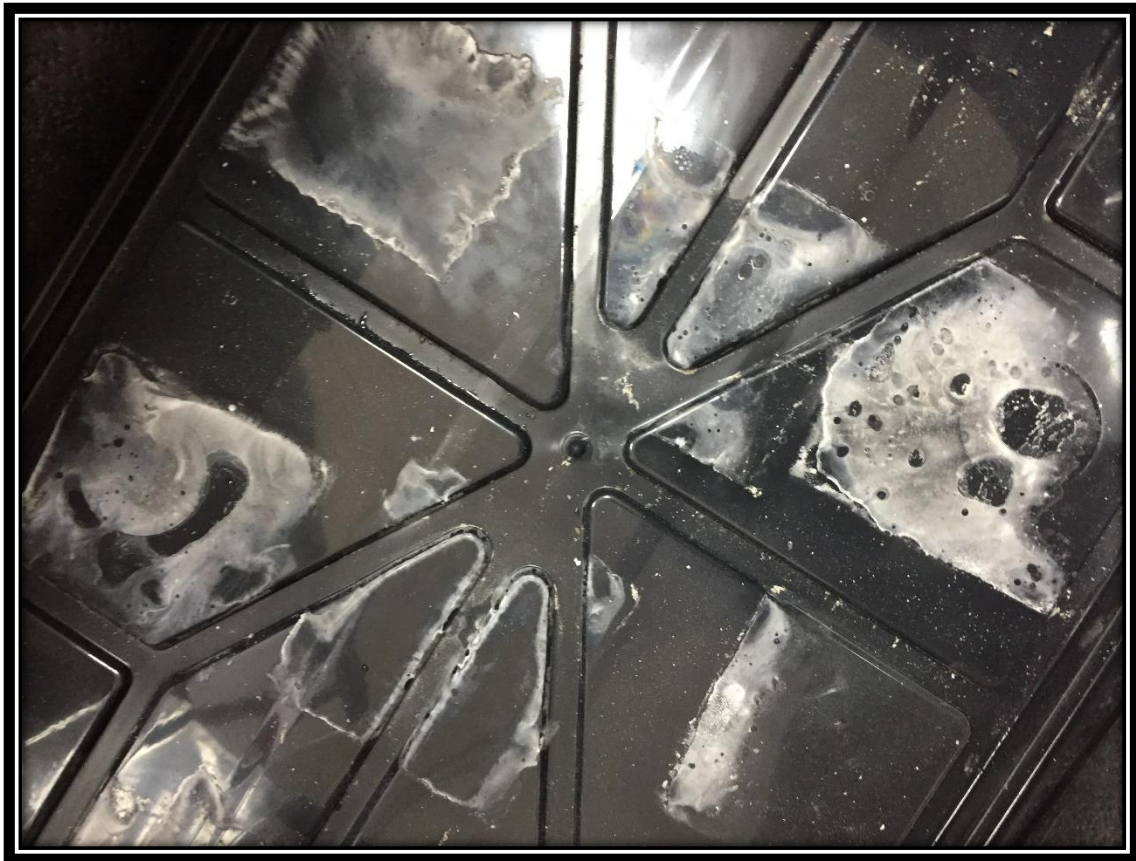


Imagen 17. Proceso de curado.

4.2 Proceso de Plasma.

En este proceso no se observó visualmente que las características físicas fueran alteradas; durante el proceso se acumuló una película de polvo muy fino después de aplicar directamente el plasma a cada espécimen. Cada espécimen permaneció sometido al proceso por lapsos de 8 minutos en cada uno de sus lados (Imagen 18). Al analizar los resultados en las gráficas de esfuerzo deformación, se observa que el proceso de plasma si modifico significativamente las propiedades mecánicas de la mezcla.

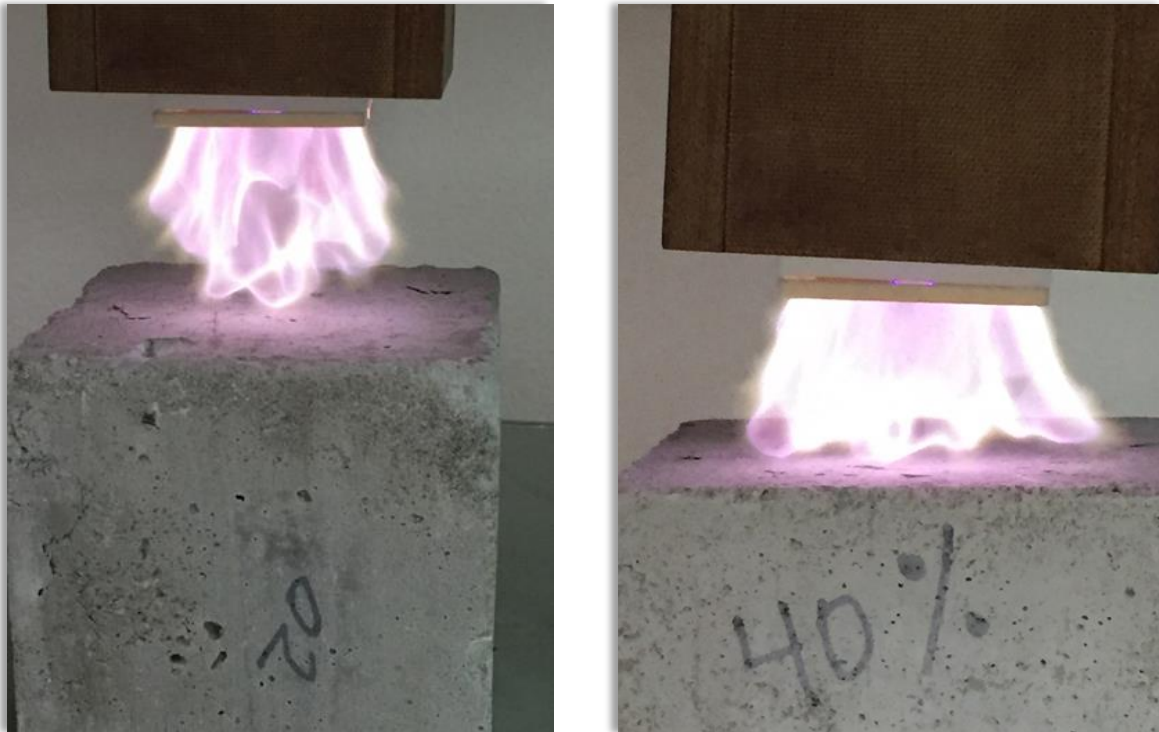


Imagen 18. Proceso de Plasma a especímenes de concreto.

4.3 Resistencia a la compresión.

Para el ensayo de resistencia a la compresión se realizaron 40 especímenes para ser fallados (Imagen 19); de los cuales se hicieron 8 para cada uno de los porcentajes de reemplazo de agregado grueso por caucho de llantas de desecho (10%,20%,25% y 40%) y el control (0 %); la mitad de estos fueron sometidos al proceso de plasma antes de ser ensayados y la otra mitad no fue sometida al proceso. Durante el proceso del ensayo de resistencia se observa que en los especímenes se forman agrietamientos en la periferia de estos, siendo de dimensiones más considerables en las aristas de cada espécimen.



Imagen 19. Ensayo de resistencia a la compresión.

4.4 Esfuerzo de ruptura y esfuerzo máximo.

De los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión (Imagen 20,21) se obtuvo el diagrama esfuerzo-deformación para cada uno de los porcentajes de caucho y el control, los cuales se concentraron en el siguiente gráfico 4 para los especímenes sometidos al proceso de plasma y en el siguiente gráfico 5 para los especímenes que no fueron sometidos al proceso de plasma.



Imagen 20. Esfuerzo de ruptura.

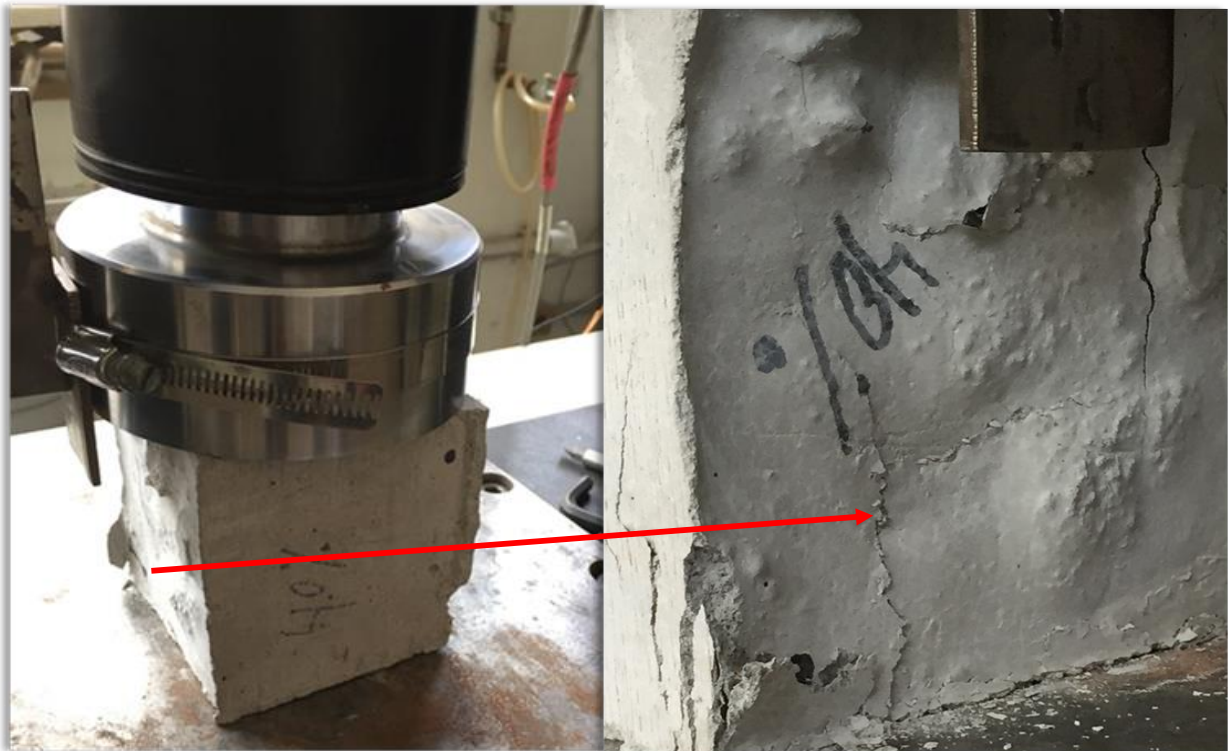
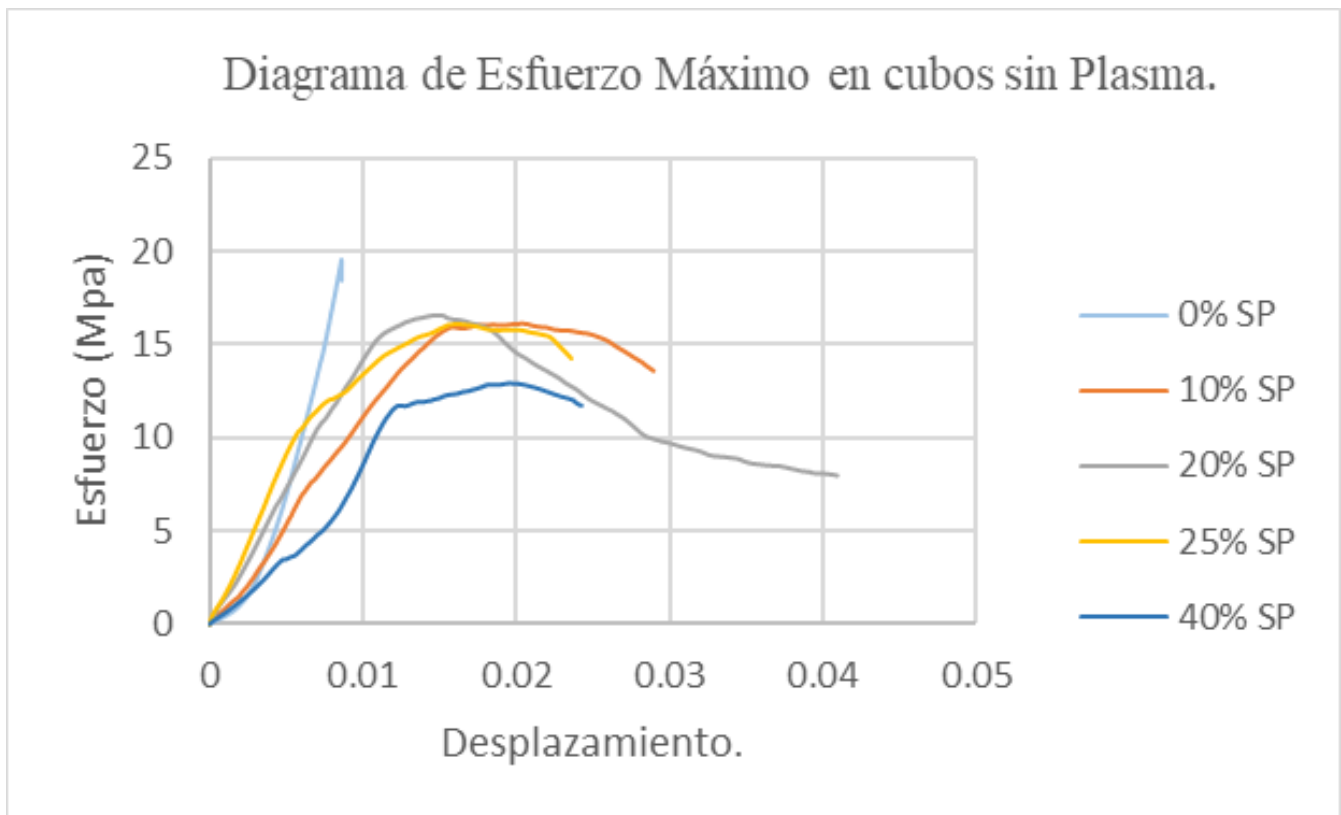
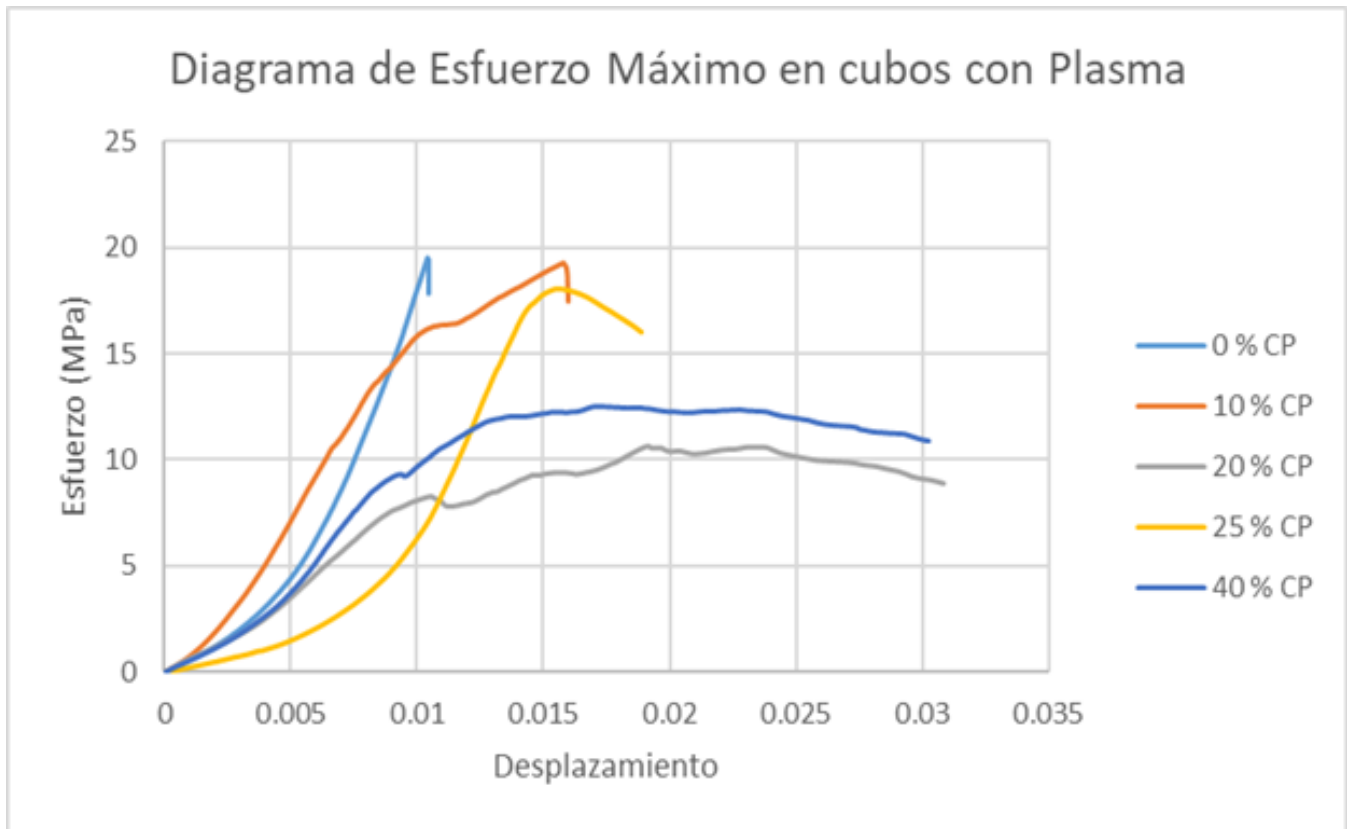


Imagen 21. Esfuerzo de ruptura.

Con base en el diagrama esfuerzo-deformación que se muestra en la Imagen anterior se deduce que cuando se hace una sustitución del 10% del agregado grueso por caucho de llantas de desecho y sometido a proceso de plasma las propiedades mecánicas se ven afectadas de manera que la falla del material ocurre antes que la falla del concreto simple, sin embargo, el material continúa soportando carga, es decir, no colapsa súbitamente, hasta llegar a su esfuerzo máximo el cual es mayor que el del concreto simple o muestra control. Por otra parte, cuando se hace una sustitución del 25% se nota una disminución considerable de las propiedades mecánicas del material, sin embargo, la disminución es aún más notoria cuando se hace un reemplazo del 20% y del 40% en las cuales se observa un comportamiento similar en las curvas, tendiendo a un comportamiento más flexible.



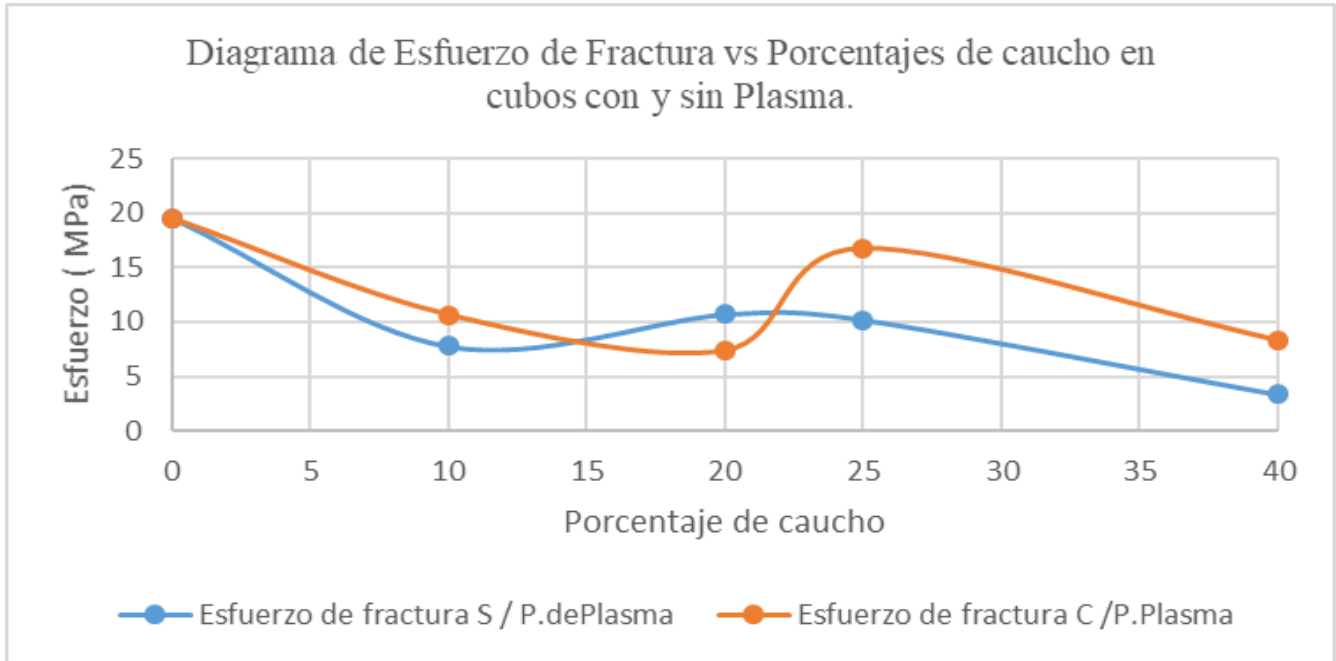
Gráfica 4. Diagrama esfuerzo vs deformación para elementos sin Plasma.



Gráfica 5. Diagrama esfuerzo vs deformación a elementos con Plasma.

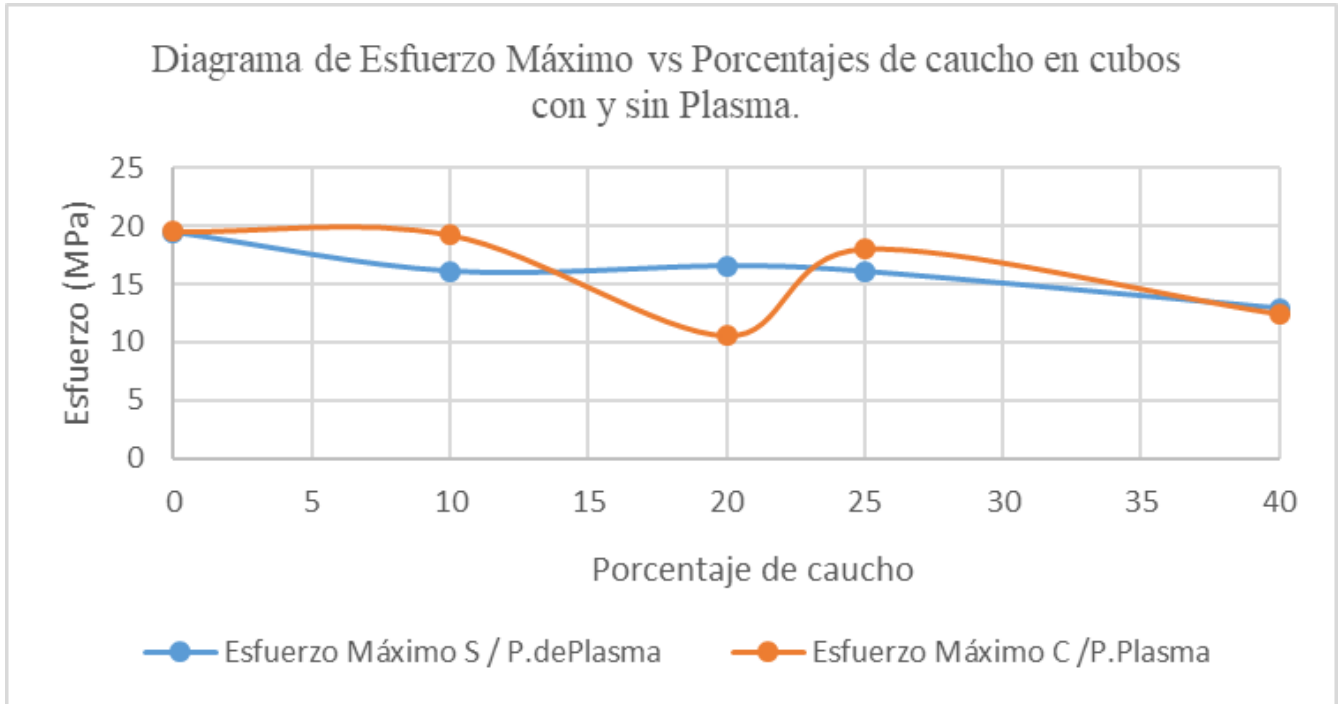
En la anterior gráfica 4 y 5 se puede observar que existe un comportamiento similar en cada uno de los elementos con sustitución de agregado grueso por caucho de llantas en desuso sin el proceso de plasma; los especímenes con caucho muestran mayor deformación al estar sometidos al esfuerzo de compresión comparados con la muestra control, aun sin haber sido sometidos al proceso de plasma.

El adicionar caucho a la matriz de concreto le da un comportamiento flexible y si es sometido a un proceso de plasma el esfuerzo de fractura es mayor a los esfuerzos de fractura de los especímenes que no están expuestos al proceso de plasma, a excepción del espécimen al 20% de sustitución de agregado grueso por caucho de llantas en desuso, los valores de los esfuerzos de fractura de los especímenes sometidos al ensayo de compresión se muestran de manera gráfica (Gráfica 6).



Gráfica 6. Esfuerzo de Fractura.

El adicionar caucho a la matriz de concreto le da un comportamiento flexible y si es sometido a un proceso de plasma, el esfuerzo máximo no presenta una tendencia como la que se puede apreciar con el esfuerzo de fractura, los valores del esfuerzo máximo de los especímenes sometidos al ensayo de compresión se muestran en el siguiente gráfico (Gráfica 7); por otra parte se puede decir que los elementos que presentan un mejor comportamiento en cuanto a sus propiedades mecánicas bajo esfuerzos de compresión son la muestra de control sometido al proceso de plasma y el espécimen que tiene un reemplazo del 10% del agregado grueso por caucho de llantas de desecho sometido al proceso de plasma.



Gráfica 7. Esfuerzo Máximo.

4.5 Análisis elemental en microscopio (Imagen 22 y 23)

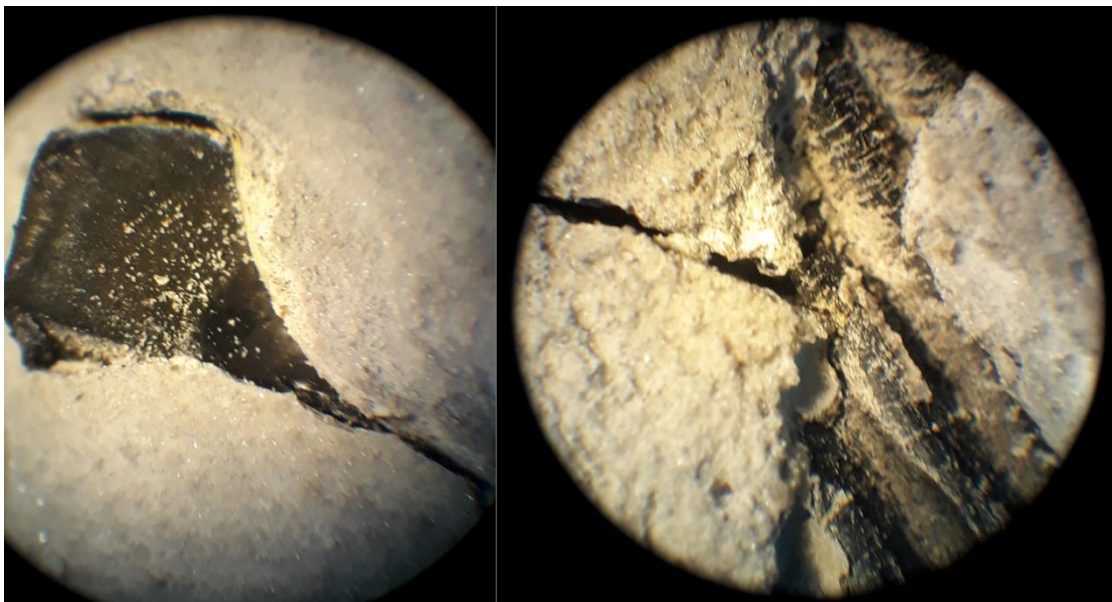


Imagen 22. Zona de fisura impactando en pieza de caucho.

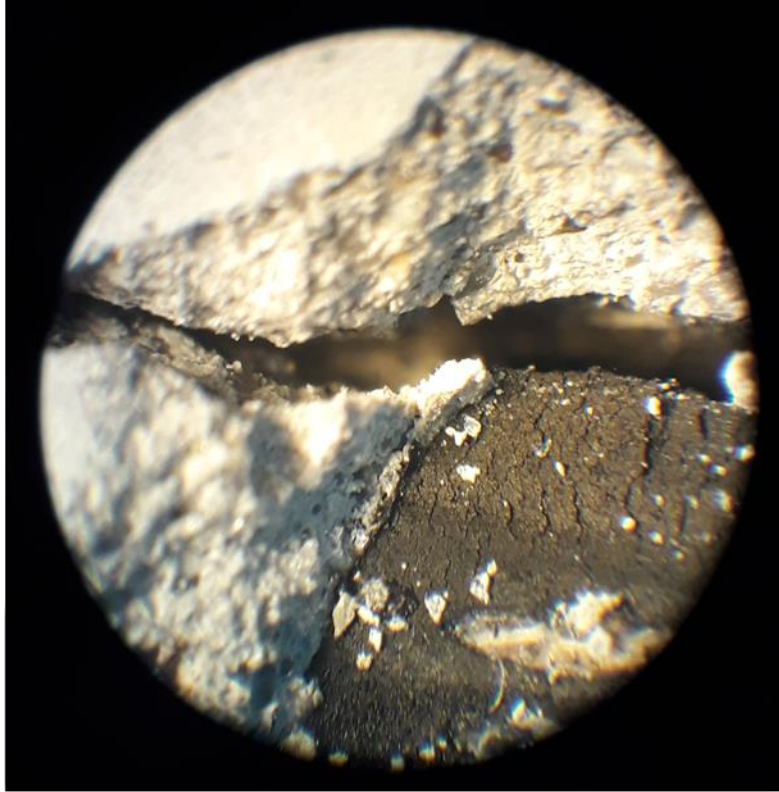


Imagen 23. Zona de fisura impactando en pieza de caucho.

A través de la óptica del microscopio, se observa que cuando la pieza de LID en el espécimen ensayado es impactada por la fisura generada por la compresión, la fisura tiende a rodear la pieza de caucho, y dependiendo del ángulo de impacto la fisura rodea la pieza o se detiene al topar con esta, debido a las propiedades mecánicas de las piezas de LID. Lo anterior mencionado lo podemos traducir en la modificación de las propiedades mecánicas del espécimen diseñado, esto resultado de la sustitución parcial del agregado grueso por un porcentaje de LID.

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial, por lo cual es importante tener especial cuidado con sus propiedades mecánicas, sin embargo, desde hace algunos años se ha investigado la posibilidad de sustituir el agregado grueso por caucho de llantas de desecho, al consultar los trabajos realizados respecto a este tema de investigación se sabe que las propiedades mecánicas del concreto con caucho como reemplazo del agregado grueso disminuyen en comparación a las del concreto simple.

Partiendo del objetivo general de este trabajo de investigación de modificar las propiedades mecánicas del concreto hidráulico mediante la sustitución del agregado grueso por caucho de desecho, con los resultados

obtenidos experimentalmente de los ensayos de compresión se observa que en efecto existe una modificación de las propiedades mecánicas del concreto con reemplazo del agregado grueso por caucho, de igual manera existe un cambio en las propiedades mecánicas al someterlos al proceso de plasma.

Destacando las características y propiedades que muestran los especímenes ensayados son perceptibles de ser utilizados en la realización de pisos firmes ya sea en un medio urbano o rural, ya que tienen la capacidad necesaria de carga para esta aplicación; también pueden ser utilizados en la realización de banquetas, guarniciones, pisos de estacionamiento y losas de ultimo nivel; estas últimas debido a que las cargas a las que están sometidas son menores, no se recomienda el utilizar este material para áreas de trabajo pesado o para edificaciones estructurales. La aplicación de este material puede ser tan basta como las especificaciones del proyecto lo requieran, siendo sujetas a sus propias capacidades de carga.

Al encontrar el diseño óptimo de un concreto con sustitución de agregado grueso por caucho de llantas de desecho, permite participar en proyectos en materia ambiental y obtener certificaciones de nivel mundial. Obteniendo a la vez apoyos fiscales gubernamentales y particulares.

En futuros muy cercanos se busca aplicar este material para dar solución a dos problemas ambientales; en primera instancia sacar del ambiente las llantas en desuso y por otra parte utilizar menos cantidad de agregados provenientes de la naturaleza.

CAPÍTULO 5

5.1 Conclusiones

- El hacer el reemplazo de agregado grueso por caucho de llantas en desuso disminuye las propiedades mecánicas del concreto, sin embargo, la falla que presenta el material no es catastrófica.
- Al someter el caucho de llantas en desuso a un proceso de plasma, las propiedades mecánicas del concreto con caucho se ven afectadas de manera que pierde un bajo porcentaje en su resistencia a la compresión, pero el material se vuelve más dúctil.
- Este diseño de mezcla de concreto hidráulico con sustitución parcial del agregado grueso, se recomienda usar en proyectos donde no se requiera una resistencia a la compresión mayor a 150 kg f/ cm².

A través de las lecturas a los diversos artículos encontrados para el reforzamiento de este trabajo, se busca la relación entre diferentes procesos de reciclaje de LID, y sobre todo con mezclas de CH y LID, lo que nos permite observar que el campo de investigación es basto y estrechamente relacionado con la línea de investigación del presente trabajo, resultado de esto se genera seguir buscando nuevas alternativas de reciclaje, al tiempo que también me genero una nueva y mejorada conciencia ambiental. De igual forma el encontrar diversos artículos, libros, revistas e institutos que estudian y proponen nuevos procesos de reciclaje de LID, me motivan a seguir en el proceso de recabar artículos que ayuden a la consolidación de mi trabajo de investigación.

Este proyecto de investigación muestra los esfuerzos de ruptura y máximos de una mezcla de concreto hidráulico de $f'c = 200 \text{ kg/ cm}^2$ incluyendo una dosificación parcial de LID con y sin tratamiento de Plasma.

A través de los diseños de mezclas y los resultados obtenidos de los ensayos que se realizaron durante este proyecto, se puede contemplar su uso en diversas aplicaciones, como en proyectos donde las cargas necesarias sean moderadas, para un uso residencial, arquitectónico o de urbanismo.

En la parte experimental se recomienda ampliar el rango de concentraciones de caucho y el número de especímenes a ensayar.

5.2 Perspectivas

¿Cuáles son las implicaciones para investigaciones futuras?

- Por lo anteriormente encontrado se propone utilizar el proceso de plasma, toda vez que se ha demostrado que el someter en material a un proceso de Plasma, modifica las propiedades del mismo.
- Durante el proceso de curado, se recomienda aplicar de cal hidratada disuelta en una proporción del 3 % de la totalidad del agua a utilizar en el proceso de curado, para ayudar a conservar al 100 % las propiedades de los especímenes.
- Se recomienda aumentar significativamente el número de réplicas de cada uno de los especímenes con diferentes cantidades de caucho de llantas de desecho para encontrar una media que permita hacer la generalización de los valores obtenidos.
- Se recomienda aumentar el volumen de dosificación para los elementos.
- Se recomienda buscar la colaboración con instituciones o empresas, que tengan los equipos y las instalaciones adecuadas para llevar a cabo la experimentación.

Referencias

A

Anónimo, (2006) “Materiales y formas de fabricación de las llantas” en *Erosñi Consumer* [En línea] Disponible en: <https://www.consumer.es/motor/materiales-y-formas-de-fabricacion-de-las-llantas.html> [Fecha de acceso:15/02/2018].

ASTM, (2012) ASTM C1609 / C1609M-12, Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading), ASTM International.

ASTM, (2011) ASTM C1140 / C1140M-11, Standard Practice for Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels, ASTM International.

ASTM, (2003) “ASTM C330-03, Especificación estándar para agregados ligeros para hormigón estructural” en *ASTM International* [En línea] Disponible en: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C330-03.htm> [Fecha de acceso: 26/04/2018].

Asocreto, (2010) Tecnología del concreto, materiales propiedades y diseño de mezclas, 3a ed., Colombia, Asociación Colombiana de Productores de Concreto.

B

Bridgestone, (2019) “Llantatón 2019 supera la meta con más de 74 toneladas de llantas recolectadas”, en *Bridgestone* [En línea] Disponible en: <https://www.bridgestone.com.mx/es/nosotros/noticias/llantaton-2019-supera-la-meta-con-mas-de-74-toneladas-de-llantas> [Fecha de acceso: 16/10/2019].

C

Cantillo, M., (2012) *Preparación de materiales porosos a partir de residuos de llantas por activación química y térmica. Comparación de sus propiedades fisicoquímicas y su capacidad de adsorción.* Tesis de maestría, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Bogotá.

Cardona, L. y Sánchez, L., (2011) *Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos.* Especialización en PML, Colombia, Universidad de Medellín.

Chinchano, E., (2020) *Estudio experimental de la resistencia mecánica a la compresión del concreto adicionado con residuos de llantas de caucho, Huanuco 2019.* Tesis de licenciatura, Perú, Universidad de Huanuco, Facultad de Ingeniería, Huanuco.

Córdova, G. y Romo, M., (2012) “Gestión pública para solucionar un problema ambiental: manejo de llantas de desecho en Ciudad Juárez” en *Revista Región y Sociedad*, Vol. 24 (53), pp. 119-151.

D

Del Villar, E., (2009) “Saneamiento de sitios contaminados con llantas de desecho y gestión de residuos de llantas de desecho, Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental”, SEMARNAT, *Conferencia de legisladores fronterizos*, Tampico, Tamps., marzo 6, 2009..

DICYT, (2014) “Bagazo de caña, posible componente de concreto hidráulico” en *Agencia Iberoamericana para la difusión de la Ciencia y la Tecnología*. [En línea] Disponible en: <https://www.dicyt.com/noticias/bagazo-de-cana-posible-componente-de-concreto-hidraulico> [Fecha de acceso: 14/06/2018].

E

Escandon, J., (2011) *Diagnóstico técnico y económico del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en edificaciones en la Ciudad de Bogotá*. Tesis de Pregrado. Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería.

Esquivel, R., (2017) “Cómo se hace la grava y la arena para la construcción” en *Revista Ferrepat* [En línea] Disponible en: <https://www.revista.ferrepat.com/construccion/como-se-hace-la-grava-y-arena-para-la-construccion/> [Fecha de acceso: 23/02/2018].

F

Fombuena, V., (2012) Investigación en los mecanismos de mejora de la adhesión superficial de polietileno mediante técnicas de alto rendimiento medioambiental basadas en plasma atmosférico. Tesis Doctoral. España, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería mecánica y de materiales.

G

Gil, D., Vilches, A. y Edwards, M., (2000) “Las concepciones de los profesores de ciencias brasileños sobre la situación del mundo en Investigaciones”, en *Ensin de Ciencias*, Vol. 5(3), pp. 213-236.

Grupogicsa, (2017) “El reciclado de neumáticos en apoyo al cuidado del medio”, en *Desarrollo Inmobiliario Ecológico* [En línea] Disponible en: <https://gicsaecologico.wordpress.com/2017/06/01/el-reciclado-de-neumaticos-en-apoyo-al-cuidado-del-medio-ambiente/> [Fecha de acceso: 5/03/2019].

Gúzman, V., (2009) *Manual de prácticas de concreto hidráulico*. Tesis de licenciatura, México, Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil región Xalapa.

I

IMCYC, (2018) “Tecnología básica del concreto hidráulico”, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. [curso].

IMCYC, (s.f.) “Posibilidades del concreto” en Revista Construcción y Tecnología” en *Concreto-Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.* [En línea] Disponible en: <http://www.imcyc.com/revistacyt/nov10/posibilidad.htm> [Fecha de acceso: 16/03/2018].

Inzunza, M., (2019) “Experiencia de pavimentación urbana en concreto en México”, CEMEX México, *Seminario Internacional de pavimentación urbana en concreto*, Sao Paulo, Brasil, Agosto 15, 2019.

K

Kalitko, U., (2012) Waste tire Pyrorlysis recycling with steaming: heat-mass balances & engineering solutions for by-products quality en Intechopen [En línea] Disponible en <https://www.intechopen.com/books/material-recycling-trends-and-perspectives/waste-tire-pyrolysis-recycling-with-steam-heat-mass-balances-and-engineering-solutions-for-by-product> [Fecha de acceso: 27/11/2018].

M

Mamani, F., (2015) *Producción de agregados reciclados de los residuos de la construcción y demolición para la producción de concretos hidráulicos en la Ciudad de Juliaca*. Tesis de maestría. Perú, Universidad Andina Nestor Cáceres Velásquez, Escuela de postgrado en Ingeniería Civil.

Marcelino, (2018) "Entrevista personal con el dueño de la talachería el libramiento", 28/06/2018, Libramiento México-Oaxaca s/n, Yecapixtla, Morelos.

Mariano (2012) “Tecnología de los plásticos” en *Blogspot.com* [En línea] Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/vulcanizacion.html> [Fecha de acceso: 19/11/2018].

Meza, A., (2017) “Calle convertida en basurero de llantas” en *Periódico Milenio* [En línea] Disponible en: <https://www.milenio.com/estados/calle-convertida-en-basurero-de-llantas> [Fecha de acceso [16/10/2018].

Morelos Habla, (2015) “Recicla tus llantas en el tercer llantatón Morelos 2015”, en *Periódico Morelos Habla* [En línea] Disponible en <https://www.moreloshabla.com/morelos/recicla-tus-llantas-en-el-tercer-llantaton-morelos-2015/> [Fecha de acceso: 13/10/2019].

ACI 211 (Tecnología del Concreto Hidráulico; IMCYC A.C., 2012).

Muciño, A. y Santa Ana, P., (2017) “Diseño de mezclas de concreto” en *Facultad de Arquitectura-UNAM y Laboratorio de materiales y sistema estructurales*.

N

Navarro, V., (2010) *Bacheo aplicación en frío y con agua, en Guadalajara, México* [YouTube], Navarroventas, abril 22, 2010.

NMX-C-191-ONNCCE-2015, (2015) “Industria de la construcción Concreto Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro”, declaratoria de vigencia publicada en el DOF en septiembre 17, 2015.

NMX-C-159-ONNCCE-2016, (2016) “Industria de la Construcción-Concreto-Elaboración y curado de especímenes de ensayo”, declaratoria de vigencia publicada en el DOF en julio 22, 2016.

NMX-C-161-ONNCCE-2013, (2014) “Industria de la construcción Concreto fresco Muestreo”, declaratoria de vigencia publicada en el DOF en julio 23, 2014.

NMX-C-162-ONNCCE-2014, (2014) “Industria de la construcción Concreto hidráulico-Determinación de la masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico”, declaratoria de Vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación en noviembre 7, 2014.

NMX-C-169-ONNCCE-2009, (2009) “Industria de la construcción Concreto Extracción de especímenes cilíndricos o prismáticos de concreto hidráulico endurecido”, declaratoria de vigencia publicada en el DOF en noviembre 20, 2009.

O

O'Relly, V., Bancroft, R. y Ruiz, L., (2010) “Las tecnologías del concreto en su ciclo de vida” en *Investigación y desarrollo-concreto y cemento*. Vol. 1(2), enero-junio, 2010.

P

Pérez, I., (2017) “Usos constructivos para unicec reciclado” en *Cienciamx Noticias* [En línea] Disponible en: <http://www.cienciamx.com/index.php/tecnologia/materiales/18142-usos-constructivos-unicec-reciclado> [Fecha de acceso: 29/03/2018].

Polanco, A., (s.f.) *Manual de prácticas de laboratorio de concreto*, México, Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería.

Pontaza, D., (2017) “Nopal, una opción para mejorar materiales de construcción” en *Revista Tec Review-Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey* [En línea] Disponible en: <https://tecreview.tec.mx/nopal-una-opcion-para-mejorar-materiales-de-construccion/> [Fecha de acceso: 03/03/2018].]

R

Riedewald, F.; Goode, K.; Sexton, A.; Sousa-Gallagher, M ; (2016) “Scrap tyre recycling process with molten zinc as direct heat transfer and solids separation fluid: A new reactor concept” en *Revista MethodsX- Elsevier*, Vol. 3, pp. 399-406.

S

SDS Morelos (s.f.) “Llantas” en *Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Morelos* [En línea] Disponible en <https://sustentable.morelos.gob.mx/rs/llantas> [Fecha de acceso: 13/04/2018].

SDS Morelos (2019) “Gran éxito el llantaton 2019” en *Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Morelos* [En línea] Disponible en: <https://www.morelos.gob.mx/?q=prensa/nota/gran-exito-el-llantaton-2019> [Fecha de acceso: 13/10/2019].

SEDEMA (2019) CENTROS DE ACOPIO AUTORIZADOS, Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México.

SEMARNAT (2016) “Plan de manejo de Neumáticos usados de desecho conforme a la NOM-161-SEMARNAT-2011” en *Gobierno de México* [En línea] Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/plan-de-manejo-rme-de-neumaticos> [Fecha de acceso: 28/06/2019].

SEMARNAT, (2012) “Guía para el establecimiento de un centro de acopio de llantas de desecho” en *SEMARNAT* [En línea] Disponible en: <http://www.sema.gob.mx/VENTANILLA/SGA/030%20GUIA%20CENTRO%20DE%20ACOPIO%20LANTAS.pdf> [Fecha de acceso: 12/07/2019].

SEMARNAT, (2010) “Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México” en *SEMARNAT*

T

Torres, H., (2014), *Valorización de propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto adicionado con residuos de llantas de caucho*. Tesis de maestría, Colombia, Escuela colombiana de Ingeniería Julio Garavito-Bogotá.

V

Villa, L., (2018) *Procedimientos constructivos de elementos de concreto*. Tesis de licenciatura. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, CDMX.