



# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LA CANTIDAD DE CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETOS CON AGREGADOS CALIZOS EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO.

Tesis que para obtener el Grado de:

**Maestra en Construcción**

Presenta:

**Arq. Jarely Julieta Moreno Venegas**

Director:

**DR. José Antonio Domínguez Lepe**





A mis padres.



## AGRADECIMIENTOS.

*“No hay razón para no probar algo nuevo solo porque nadie lo haya intentado antes”*

*Antoni Gaudí.*

Después de dos años de esfuerzos y aprendizaje agradezco:

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por los fondos otorgados para mi manutención durante mi periodo de becaria.
- Al Instituto Tecnológico de Chetumal, y sus autoridades por el apoyo en mi formación como maestra en construcción y confianza al desarrollar mi proyecto de tesis en sus instalaciones.

A mis directores y docentes, a todos ellos, gracias infinitas por los conocimientos otorgados en estos dos años, no hay profesión más noble que la docencia, ya que con ella se puede compartir las experiencias adquiridas y aún más en el rubro de la construcción:

Especialmente mi director de tesis el Dr. Antonio Domínguez Lepe, por el apoyo, los regaños, amistad y constante interés en mi formación. Gracias por encaminar mi proyecto y despejar las dudas sobre él.

Al Dr. Felipe Jiménez, quien me apoyo con la elección de tema de tesis y reafirmo mi decisión de elegir concretos como rama de investigación, gracias por apoyarme en cada momento y por estar al tanto de mi proyecto.

Al M.C. Alberto Yeladaqui, el cual comenzado la maestría despertó mi interés por los concretos, gracias por su apoyo e interés.

Mis más sinceros agradecimientos a las personas encargadas de mi formación, Dr. Julio cruz, Dra. Dana Trejo, Dr. Ricardo vega, Dr. Pedro Chargoy

A mi familia:

A mis padres, la Lic. Guadalupe Venegas y el Arq. Octavio Moreno quienes siempre serán mi mayor apoyo y ejemplo a seguir. Aun estando lejos diariamente me brindaban sus palabras de aliento y me motivaban a seguir adelante con mis proyectos.

A mis hermanos, Octavio y Belén Moreno, que siempre me brindaron las mejores palabras de apoyo y estuvieron ahí cada día impulsándome siempre a no claudicar.



Al Arq. Carlos Arteaga, que además de ser mi compañero de mano en estos últimos años, fue un gran apoyo en el desarrollo de la maestría, explicándome, tolerándome y ayudándome en la elaboración de mi proyecto.

Un agradecimiento especial al Ing. Gerardo Mendoza García, por su apoyo incondicional desde el inicio de la maestría hasta el final y al Ing. Eduardo Casar, quien me brindó su apoyo como práctica profesional, agradezco tu esfuerzo y apoyo en la elaboración de concretos.

A mis compañeros y amigos de maestría, que juntos nos acompañamos en un arduo camino, de risas, estrés, bromas y trabajo. Gracias por ser mi familia del caribe.

A todas y cada una de las personas que aquí no he nombrado y que en algún momento me alentaron de manera entusiasta atreverme a cursar este posgrado.



Aunque este trabajo hubiere servido para Examen de Grado y hubiera sido aprobado por el H Sínoo, solo el autor es responsable de las doctrinas emitidas en él.



## RESUMEN

La resistencia a la compresión axial de los concretos, se encuentra directamente relacionada con la proporción de cemento y agua en la mezcla, esta proporción es conocida como relación agua/cemento ( $a/c$ ). Los materiales que proporcionan las mezclas de concreto se han obtenido a base de la práctica, análisis, aplicación e interacción en obra. Además de la existencia de la metodología proporcionada por el American Concrete Institute (ACI), donde existen recomendaciones, las cuales abarcan de forma general las características de la zona donde se desarrollan los proyectos.

Los agregados calizos de la zona son considerados de baja calidad, debido a su porosidad y desgaste, causando en el concreto variaciones en su resistencia a compresión axial.

Esta investigación tuvo como objetivo reducir la cantidad de cemento en las mezclas sin dejar de alcanzar las resistencias de diseño y con ello, los costos de fabricación de los concretos. La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Chetumal Quintana Roo, donde se cuenta con un clima cálido subhúmedo, el cual suele afectar la elaboración de los concretos.

Se estudio 7 relaciones  $a/c$  0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65 y 0.7, con el proveedor de agregado más utilizado en la ciudad, a 3 edades diferentes; 3, 14 y 28 días, los especímenes fueron elaborados en familias de 8 cilindros de 150x300mm para pruebas mecánicas y 4 de 100x200mm para pruebas físicas de absorción, densidad y porosidad normadas por el ASTM.

Se concluyó que el concreto presenta un aumento de casi el 15% de su resistencia de diseño. Demostrando que respeta el incremento por diseño y elaboración en laboratorio, dentro de los límites de lo propuesto.

Palabras clave: Resistencia a la compresión, relación agua-cemento, ACI, agregado calizo, diseño de mezclas.



## ABSTRACT

the compressive strength of the concrete, is directly related to the proportion of cement and water in the mixture, this ratio is known as water / cement ratio ( $a / c$ ). The materials provided by the concrete mixtures have been obtained based on the practice, analysis, application and interaction on site.

in addition to the existence of the methodology provided by the American Concrete Institute (ACI), where there are recommendations, which cover the general characteristics of the area where the projects are developed.

The limestone aggregates of the zone are considered of low quality, due to their porosity and wear, causing variations in their compressive strength.

The objective of this research was to reduce the amount of cement in the mixes while still achieving of design resistance and, therefore, the manufacturing costs of the concretes. The investigation was carried out in the city of Chetumal Quintana Roo, where there is a subhumid warm climate, which usually affects the elaboration of the concretes.

It was studied 7 relations  $a / c$  0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65 and 0.7, with the most used provider of aggregate in the city, at 3 different ages; 3, 14 and 28 days, the specimens were elaborated in families of 8 cylinders of 150x300mm for mechanical tests and 4 of 100x200mm for physical tests of absorption, density and porosity regulated by the ASTM.

It was concluded that the concrete presents an increase of almost 15% of its design resistance. Demonstrating that it respects the increase by design and elaboration in the laboratory, within the limits of what is proposed.

Key words: Compression resistance, water-cement ratio, ACI, limestone aggregate, mix design.



## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	6
RESUMEN.....	V
ABSTRACT .....	VI
ÍNDICE .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES. -.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 1.- Planteamiento del Problema.....	4
1.1.- Antecedentes. ....	4
1.2.- Hipótesis de trabajo o premisas .....	6
1.3.- Preguntas de Investigación. ....	6
1.4.- Objetivos.....	7
1.5.- Justificación .....	7
1.6.- Metas .....	9
1.7.- Glosario de Términos. ....	10
Capítulo 2.- Estado del Arte. ....	18
Capítulo 3. Metodología.....	37
3.1.- Métodos de trabajo / Procedimiento experimental.....	39
3.2.- Diseño experimental.....	41
2.3.1 delimitación del área de estudio. -.....	42
2.3.2 Determinación del enfoque y tipo de investigación. - .....	42
2.3.3 Recolección de datos. -.....	42
3.3.- Variables. -.....	43
3.4.- Probetas a utilizar. –.....	43
3.5 Trabajo de Laboratorio, Normas.....	45
Etapa uno. - caracterización de los materiales.....	45
ASTM D75 Muestreo de Agregados Finos y Gruesos. ....	45



ASTM C702 Reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayos (cuarteo).	46
ASTM C33 Granulometría de los agregados. -	47
ASTM C-131 Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1½ pulg), por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles.	53
ASTM C-128 Densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino.	57
ASTM C-127 Peso específico y absorción de material grueso	63
ASTM C-29 Densidad aparente peso unitario y vacíos en agregados finos y gruesos	66
Resumen de Caracterización del material.	70
Etapa dos. - diseños de mezcla.	71
Etapa tres. - pruebas y elaboración de concreto fresco.	75
ASTM C 192 elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.	75
ASTM C 31 Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.	76
ASTM C143 Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico.	78
ASTM C138 Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.	79
ASTM C231 Método de Ensayo Normalizado de Contenido de Aire del Concreto Recién Mezclado Mediante el Método por Presión.	80
Etapa cuatro. - pruebas en concreto endurecido.	82
ASTM C39/C39 Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.	82
ASTM C469-02 Método de ensayo. Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión.	86
ASTM C 642 Absorción y densidad porosidad. -	88
Capítulo 4. Resultados y análisis	91
4.1.- Resultados de la caracterización de los agregados.	91
4.2.- Pruebas físicas de los agregados.	91
4.3.- método por peso ACI para el diseño de mezclas de concreto.	92
4.4.- Propiedades de las mezclas de concreto fresco.	93
4.5.- Propiedades de las mezclas de concreto endurecido.	95



4.6.- Análisis estadístico.....	109
4.7.- Discusión .....	113
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones. – .....	116
5.1 Conclusiones. -.....	116
5.2. Recomendaciones.....	119
Referencias. ....	121
Apéndice 1.- propiedades índices de los agregados. ....	127
Apéndice 2.- Dosificación de mezclas de concreto. ....	130
Apéndice 3.- porosidad densidad y absorción de los concretos. ....	131
Apéndice 4.- Resistencia a la compresión. ....	132
Apéndice 5.- Modulo de elasticidad. ....	136

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- esquema metodológico general .....	38
Figura 2.- etapas de la metodología.....	39
Figura 3.- Esquema Metodológico General.....	41
Figura 4.- grafica de porcentajes de aumento.....	42
Figura 5.- Diseño del Experimento.....	44
Figura 6.- muestreo de materiales. ....	45
Figura 7.- Cuarteo del material. ....	46
Figura 8.- Granulometría agregado Grueso. ....	48
Figura 9.- granulometría del agregado grueso muestra uno.....	49
Figura 10.- granulometría del agregado fino. ....	51
Figura 11.- granulometría del agregado fino muestra uno.....	52
Figura 12.- Densidad del agregado fino .....	58
Figura 13.- prueba superficialmente seca .....	59
Figura 14.- procedimiento gravimétrico.....	60
Figura 15.- peso específico del agregado grueso .....	63
Figura 16.- Peso Sumergido Y Peso Seco Agregado Grueso.....	64
Figura 17.- Peso Del Material Sumergido .....	64
Figura 18.- Calibración del recipiente.....	66
Figura 19.- Recipiente Calibrado .....	67



Figura 20- Grafica de dosificación A/C a/c 0.4 .....	71
Figura 21.- Grafica de dosificación A/C 0.45.....	72
Figura 22.- Grafica de Diseño De Mezcla A/C 0.5.....	72
Figura 23- Grafica de dosificación A/C 0.55.....	73
Figura 24- Grafica de dosificación A/C 0.6.....	73
Figura 25.- Grafica de dosificación A/C 0.65.....	74
Figura 26.- Grafica de dosificación A/C 0.7 .....	74
Figura 27.- Colado de cilindros .....	77
Figura 28.- revenimiento en mezclas de concreto 0.5, 0.55 y 0.45.....	78
Figura 29.- peso volumétrico de relación a/c 0.7.....	79
Figura 30.- prueba de aire relación a/c 0.6.....	81
Figura 31.- familias de cilindros listas para su medición.....	83
Figura 32.- cilindro en maquina compresora .....	83
Figura 33.- Esquema de los modelos de fractura típicos.....	84
Figura 34.- prueba de módulo de elasticidad de modulo elasticidad .....	87
Figura 35.- pesaje de probetas sumergidas y en estado seco. ....	89
Figura 36.- histograma de revenimientos 0.7, 0.65, 0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4. ....	93
Figura 37.- peso volumétrico de relaciones 0.7, 0.65, 0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4.....	94
Figura 38.- porcentaje de aire atrapado en concretos 0.7, 0.65, 0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4. ....	94
Figura 39.- % de porosidad en esta investigación en comparación con otros autores (con, aportela, chuc, solis - moreno, Jiménez).....	97
Figura 40.- histograma de resistencia a compresión axial, edad 3 días. ....	99
Figura 41.- resistencia a la compresión edad14 días. ....	101
Figura 42.- resistencia a compresión a los 28 días. ....	102
Figura 43.- ilustración compendio de resultados a resistencia a compresión 3, 14 y 28 días. ....	104
Figura 45.- Ec vs F'c en concretos con agregados calizos.....	106
Figura 46.- grafica esfuerzo deformación Poisson .....	108
Figura 47.- compilación de relaciones a/c en esta investigación vs otros autores. ....	114
Figura 48.- comportamiento en la resistencia a compresión, esta investigación vs aci211.1 .....	116



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Conversión litros por sacos.....	10
Tabla 2.- Datos en % de óxidos en el Clinker (IECA, 2006).- .....	31
Tabla 3.-Emisiones y energía en el ciclo de vida del concreto. (Elaborada por Häkkinen, T.; Vares, S.; 1998).....	32
Tabla 4.- Perfil medioambiental del concreto, elaborada por Gjorv, O.E.; 2003; Wilson, A.; 1993 .....	32
Tabla 5.- Esquema de objetivos y procedimientos de la investigación. ....	40
Tabla 6.- porcentaje de aumento (elaboración propia) .....	42
Tabla 7.- Interpolación de Relaciones Agua-Cemento y resistencia a la compresión esperada (ACI211.1). ....	44
Tabla 8.- muestra de granulometría promedio agregado grueso.....	49
Tabla 9.- muestra de granulometría agregado fino. ....	51
Tabla 10.- Graduación y Número De Esferas (ASTM C131) .....	54
Tabla 11.- tamaño de tamiz y graduaciones para muestra de ensayo. ....	54
Tabla 12.- promedios densidad relativa del agregado fino. ....	62
Tabla 13.- densidad relativa del agregado grueso. ....	65
Tabla 14.- promedio peso unitario agregado fino. ....	69
Tabla 15.- promedio peso unitario agregado grueso. ....	69
Tabla 16.- muestra de granulometría promedio agregado grueso.....	70
Tabla 17.- CARACTERIZACION DEL MATERIAL. ....	70
Tabla 18.- Resultados A Resistencia A Compresión, Según FIUADY, y el ACI211.1.....	71
Tabla 19.- Diseño de Mezcla A/C 0.4.....	71
Tabla 20.- Diseño de Mezcla A/C 0.45.....	72
Tabla 21.- Diseño De Mezcla A/C 0.5 .....	72
Tabla 22.- Diseño De Mezcla A/C 0.55 .....	73
Tabla 23.- Diseño De Mezcla A/C 0.6 .....	73
Tabla 24.- Diseño De Mezcla A/C 0.65 .....	74
Tabla 25.- Diseño De Mezcla A/C 0.7 .....	74
Tabla 26.- Tipología De Fracturas En Los Cilindros elaborados.....	85
Tabla 27.- Resultado de características del material utilizado para el diseño de mezclas. ....	91
Tabla 28.- Dosificación de concreto hidráulico en kg/m <sup>3</sup> .....	92
Tabla 29.- revenimientos obtenidos de familias 0.7, 0.65, 0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4. ....	93



Tabla 30.- Pruebas físicas de los concretos.....	96
Tabla 31.- resultado de resistencia a compresión axial a 3, 14 y 28 días.....	98
Tabla 32.- resistencia a compresión edad 3 días.....	99
Tabla 33.- resistencia a compresión, 14 días.....	100
Tabla 34.- resistencia a compresión a los 28 días. ....	102
Tabla 35.- Resistencia a compresión a los 3, 14 y 28 días respectivamente a cada relación a/c.....	103
Tabla 36.- análisis de normalidad de los datos .....	109
Tabla 37.- ANOVA simple para resistencia a compresión.....	111
Tabla 38.- ANOVA simple para módulo elástico. ....	111
Tabla 39.- prueba de rangos múltiples para a/c. ....	112
Tabla 40.- relaciones a/c y resistencia a compresión obtenidas.....	115

### ÍNDICE DE ECUACIONES. -

Ecuación 1. - porcentaje retenido acumulado en mallas. ....	50
Ecuación 2. - porcentaje retenido acumulado en mallas .....	52
Ecuación 3. - perdida de porcentaje de masa original de la muestra de ensayo. ....	55
Ecuación 4.- Densidad relativa, seca al horno, SSS, Relatividad Aparente y Absorción. (ASTM C128).....	61
Ecuación 5.- masa al aire seca en Horno, SSS, En agua y absorción .....	65
Ecuación 6. - factor de calibración para norma ASTM .....	67
Ecuación 7.- densidad aparente de los agregados. ....	68
Ecuación 8.- Porcentaje de Vacíos. ....	68
Ecuación 9.- formula de módulo de elasticidad.....	86
Ecuación 10.- calculo módulo de elasticidad entre 1440 y 2560kg/cm.....	87
Ecuación 11.- porosidad total, densidad total y absorción.....	88
Ecuación 12.- módulo de elasticidad para concretos de 1500 – 2500 kg/cm <sup>2</sup> .....	106



## INTRODUCCIÓN

Los principales componentes del concreto son cemento, agua y agregados pétreos, gruesos y finos, de los cuales resulta una reacción exotérmica creando así una mezcla utilizada para la construcción.

El concreto no es un bien genérico como las piedras naturales o la arena, sino un material de construcción que se diseña y se produce de conformidad con normas rigurosas, para los fines y aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado y con las características de economía, facilidad de colocación y consolidación, velocidad de fraguado y apariencia adecuada según su aplicación (Cangahuala, 2013).

Debido al estudio de cada propiedad del concreto y sus respectivas proporciones, podemos tener hoy en día, a base de los datos requeridos un buen concreto. Lo cual nos lleva a que la experiencia es el pilar del diseño de mezclas, ya que existiendo tantos factores que afectan la composición del concreto, como lo es su transportación, colocación, curado entre otros, el diseño de la mezcla es uno de los más importantes ya que este se adapta a las características esenciales de la obra.

El estudio de las proporciones de agua-cemento ( $A/C$ ) ha sido explorado a lo largo del tiempo, llegando así hasta la aplicación de criterios donde se dan valores aproximados para el tipo de concreto a utilizar, los más utilizados son los métodos de proporcionamiento del *ACI* (*ACI Manual of Concrete Practice*) donde a base de pruebas se consideran las dosificaciones adecuadas al momento de elaborar concreto para la construcción de diversas estructuras.

Los procedimientos consisten en una aplicación sistemática de ciertas metodologías de diseño las cuales han sido estudiadas para cubrir todas las situaciones normales en una obra. Lo cual se encuentra fuera de la realidad ya que cada ciudad, estado o país presenta características extremas.

La idea surgió al observar una variación a un espectro entre un 2% y hasta un 18% de incremento en investigaciones de la zona.



Se propuso como variable independiente a estudiar la relación agua/cemento con la idea objetiva de reducir las cantidades de cemento utilizadas en las mezclas alcanzando las resistencias de diseño. Como variable dependiente se enfocó en la resistencia a la compresión, controlando las variables de las características de los agregados, tipo y tiempo de mezclado, método de curado y el tipo de cemento.

La relación agua/cemento es el cociente entre las cantidades de agua y de cemento en el concreto fresco. Según las investigaciones analizadas al proporcionar la relación agua-cemento, la cantidad de agua se encuentra en función de las características del agregado, y de resistencia esperadas.

El método que se empleó para la obtención de mezclas, será el proporcionamiento de mezclas de concreto del ACI 211.1, utilizando especialmente el método por masa. Esta norma aplica una metodología que proporciona una primera aproximación de proporciones revisadas por lotes de prueba en el laboratorio y se ajusta, si es necesario, para producir las características deseadas del concreto.

El documento se divide en:

En un primer capítulo, se planteó los antecedentes del tema, los objetivos a alcanzar, también se desarrolla el marco conceptual donde se muestran los conceptos más utilizados en la investigación para tener un contexto más claro de la temática que se expone, así como las normas que apoyan en las pruebas para las mezclas de concreto y finalmente la descripción de los objetivos y las metas a alcanzar.

El segundo capítulo, se enfocó en el diseño de la investigación, donde se describirá la metodología a realizar para cumplir los objetivos.

Explicando desde la recolección de datos, el diseño de mezcla su aplicación y las pruebas en concreto para así llegar a una serie de resultados para conformar la reducción de cemento.

El tercer capítulo explico el trabajo de campo y las pruebas en concreto fresco, para medir su calidad y en concreto endurecido para medir su resistencia a compresión.



Por último, en el cuarto capítulo, se obtuvo el análisis de resultados y la captura de los mismos, de los cuales resultaran las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.



## **Capítulo 1.- Planteamiento del Problema.**

La industria del concreto, se considera una de las industrias más desarrolladas en el mundo. Es bien sabido que al elaborar un concreto se utilizan varios materiales obtenidos de procesos industriales lo cual resulta una elaboración muy costosa, el primordial es el cemento el cual ocupa un 80% del costo total de un m<sup>3</sup> de concreto.

Esta investigación explica como al aplicar el método del ACI 211.1 en masa arroja resultados con un 15% más de resistencia que la diseñada, al tener estos resultados se puede pensar en una reducción de la cantidad de cemento para realizar una mezcla más económica y con la resistencia a compresión de diseño para el elemento estructural planeado. Apoyando a la economía de los constructores de la zona, y disminuyendo en manera porcentual le huella de carbono.

### *1.1.- Antecedentes.*

En 1756 John Smeaton, encuentra las proporciones para el cemento y aparecen los concretos dosificados, 20 años después en 1876, el Ing. Mazas aplica el cálculo de elementos en el concreto, fundamentando la resistencia del material.

Para 1918, Duff Abrams expuso la ley que expresa: Un agregado dado, la resistencia depende solo de la relación A/C del concreto fresco, abriendo paso a C. Powers para presentar la influencia de la relación a/c y su resistencia.

Para la creación de las tablas del ACI, fueron primordiales los resultados de Feret, Fuller y Thompson, Abrams y Bolome, ya que en 1900 se utilizarían para dar inicio a los estudios de las tablas del ACI.

Teniendo como resultado para fechas actuales que, cuando la mezcla del concreto es la adecuada, cada partícula de agregado es completamente rodeada por pasta, y todos los espacios entre las partículas de agregado quedan completamente llenos. La pasta es el medio cementoso que une las partículas de agregado en una masa sólida llamada concreto (Beltrán Cuevas, 2013).



Anteriormente se han analizado múltiples pruebas en el concreto en las cuales someten mezclas testigo con la finalidad de comparar los resultados en resistencia a la compresión con las pruebas que contienen distintas adiciones con agregados calizos, en la mayoría se ha encontrado un aumento muy variable que va del 2% al 69%(Kú, 2015) (Nicolás, 2015) (Ji, Lin, & Lin, 2006).

La relación agua cemento y la cantidad de agua de mezclado fueron los principales factores que influyen en la porosidad de un concreto. La porosidad se considera uno de los factores más influyentes en la resistencia y durabilidad del concreto. Mientras más poroso sea el concreto menor resistencia mecánica y mayor vulnerabilidad a ambientes agresivos.(Solís & Eric I. Moreno, 2016)

Al tener el material calizo encontramos que, si no se posee una buena dosificación y conocimientos de la absorción del material, podemos obtener un concreto muy poroso. Sin embargo en la península se ha reportado que las condiciones climatológicas (clima cálido subhúmedo) y su alta humedad relativa, presentan un curado natural, al igual que al tener un agregado calizo se genera un curado interno por la porosidad de los agregados(R. G. Solís-Carcaño, Moreno, & Serrano-Zebadua, 2013). Lo cual ayuda para poder alcanzar la resistencia a compresión favorable a edades tempranas.

La variación de resistencia del concreto puede explicarse con el cambio de la relación  $a/c$ , sin embargo, existe evidencia en literatura que este no siempre es el caso, independientemente de la relación  $a/c$ , las características de las partículas del agregado tales como el tamaño, la forma, la textura y el tipo de mineral. Influyen en las características de la zona de transición y, por lo tanto, afectan la resistencia del concreto (Mehta y Monteiro 1998).

Particularmente en el Instituto Tecnológico de Chetumal se manejaron diversas pruebas control donde los resultados sobrepasan la resistencia a compresión de diseño.

En un estudio sobre el tiempo de mezclado se presentan que las resistencias a compresión suelen tener un crecimiento lento, pero siempre con tendencia a



incrementar. Las pruebas testigo realizadas por Álvarez fueron elaboradas para una resistencia de  $250\text{kg/cm}^2$  arrojaron un promedio entre los  $352\text{ kg/cm}^2$  a los 28 días (Álvarez, 2015).

Otro de los casos fue donde se compara una mezcla con agregado de ceniza de madera de pino en proporciones de 5%, 10%, 15% y una muestra testigo con resistencia de  $250\text{kg/cm}^2$ . Se encontró un aumento a la resistencia mucho mayor al alcanzar los 28 días de maduración teniendo un  $f'c= 392.6\text{ kg/cm}^2$ . Lo cual demuestra que la elaboración de la mezcla de concreto sigue arrojando valores elevados (Nicolás, 2015).

Un caso más fue donde se presenta los resultados en los cilindros elaborados de concreto simple sin ningún tipo de fibra de refuerzo probados a compresión axial a las edades de 3,7,14 y 28 días, obteniéndose resultados de  $299\text{kg/cm}^2$  a los 28 días para una relación a/c 0.7. Demostrando que al alcanzar la madures establecida la resistencia aumenta más de la resistencia de diseño. (Vázquez, 2013).

### *1.2.- Hipótesis de trabajo o premisas*

En el diseño de mezclas de concreto con el método del ACI 211.1 en masa, es posible reducir la cantidad de cemento hasta en un 15% y alcanzar la resistencia a la compresión de diseño, utilizando agregado calizo en clima cálido subhúmedo.

### *1.3.- Preguntas de Investigación.*

¿En qué porcentaje se podrá reducir la cantidad de cemento, sin afectar las resistencias a compresión de diseño?



#### 1.4.- *Objetivos*

##### OBJETIVO GENERAL. -

- Con respecto a las relaciones A/C proporcionadas por el método de diseño de mezclas del ACI, reducir la cantidad de cemento hasta un 15%, alcanzando las resistencias a la compresión esperadas para una zona cálido subhúmeda con agregados calizos.

##### OBJETIVOS ESPECÍFICOS. -

- Diseño del experimento, estableciendo las diferentes relaciones agua/cemento a utilizar en el diseño de mezclas.
- A Través del análisis de resultados, encontrar el porcentaje de cemento que se propondrá reducir sin afectar la resistencia a compresión de diseño.
- Analizar la correlación con del módulo de elasticidad en función de la resistencia a la compresión del concreto.

#### 1.5.- *Justificación*

La elaboración de concreto es de las primordiales actividades realizadas en la construcción considerándose como el segundo material con mayor fabricación por debajo del cemento (INEGI, 2013).

Como se muestra en investigaciones anteriores, dentro de la ciudad de Chetumal, al realizar pruebas en mezclas de concreto con agregado calizo, arrojaron resultados mayores a lo estandarizado. La realización del estudio posee gran importancia ya que, en el ámbito local, nacional e internacional, se busca que cada construcción posea materiales de calidad los cuales cumplan los estándares propuestos por la ASTM, incluyendo los ensayos adecuados para calificar el concreto en estado fresco y endurecido.



En este trabajo se determinó la diferencia de la resistencia a la compresión axial para los especímenes ensayados contra estudios previos, determinando el porcentaje de aumento o reducción conforme a lo establecido en el ACI 211.1.

En el estado de Quintana Roo, se utiliza el método establecido por el ACI 211.1 y no se cuenta con las recomendaciones necesarias o normas que expliquen cómo trabajar con un agregado calizo o tomando las características de la zona.

En el sureste de la península de Yucatán, el agregado que se maneja son piedras calizas las cuales poseen diferentes niveles de dureza, porosidad y compactación ya que su formación fue en el periodo cenozoico (Solís & Eric I. Moreno, 2006).

Esta caliza está compuesta, fundamentalmente, por carbonato de calcio (77%) y carbonato de magnesio (13%) (Pacheco y Alonzo, 2003) el producto pétreo vendido caracterizado como agregado normal es de una densidad promedio de 2.5 susceptibles a la abrasión y de porosidad variable.

Según estudios elaborados por Solís - Carcaño en el 2013, en el norte de la península de Yucatán han reportado que el concreto adquiere las mismas propiedades mecánicas a la compresión independientemente que se tomen acciones de curado. Lo cual se comprobará en base a los datos arrojados en esta investigación. (R. G. Solís-Carcaño et al., 2013)

El concreto puede ser muy cambiante si existen factores externos que lo puedan manipular, es decir si el concreto presenta una temperatura superior a los 40°C demandara más agua ya que esta se evaporara con rapidez provocando un bajo revenimiento, además de provocar una rápida hidratación reduciendo tiempos de fraguado y dejando una mezcla seca y porosa. Sin la humedad necesaria para su desarrollo en resistencias mecánicas. (Ortiz et al, 2009) haciendo difícil la manipulación de concretos con una relación a/c baja, ya que el agua de diseño corre el riesgo de evaporarse si no se cuenta con las condiciones climatológicas favorables para su elaboración.



El concreto se encuentra sometido a acciones provocadas por el medio ambiente las cuales provocan deterioro físico o químico y disminuyen su vida útil ya que, considerando al concreto como una piedra artificial, esta se encuentra sujeta a esfuerzos internos que equilibran las cargas y otras acciones accidentales durante su servicio. (Solís, Moreno, & Arjona, 2012)

Considerando que el concreto es un material compuesto, las resistencias mecánicas dependerán de la calidad de la pasta de cemento con una buena dosificación y las características físico - químicas de los agregados.

La calidad de la pasta, depende del volumen de productos hidratados que se generan a partir de las reacciones químicas de los compuestos del cemento con el agua; este volumen a su vez depende de la relación entre el agua y el cemento (A/C) que se utilice en la mezcla y del tiempo que el material se conserve en condición húmeda. (Solís et al., 2012)

Por último, al analizar todos los factores que intervienen en la elaboración y maduración del concreto, obtenemos que un concreto elaborado correctamente, con un buen diseño de mezclas, una caracterización correcta del material y un conocimiento previo de la zona a trabajar, puede aportar las resistencias mecánicas y físicas apropiadas para el proyecto a elaborar. La relación A/C influye en la resistencia, porosidad y durabilidad de un concreto y si esta no es estudiada y aplicada correctamente obtendremos un concreto poroso, con menor resistencia y mayor vulnerabilidad ante las agresiones del medio ambiente.

#### 1.6.- Metas

- Lograr una tabla comparativa con concretos de la zona los cuales indiquen si existe una diferencia en la resistencia a la compresión con respecto a las tablas del ACI 211.1
- Lograr una propuesta inicial de tabla con nuevas proporciones de agua-cemento, en el contexto con los materiales de la región, para el diseño de mezclas.



- Poder iniciar un cambio en las relaciones A/C, para que en un futuro se puedan incluir nuevas propuestas de relaciones A/C a las tablas del ACI, en una zona cálida-subhúmeda y agregados calizos.
- Emitir la recomendación para la reducción de la cantidad de cemento en el diseño de mezclas en la región.

### 1.7.- Glosario de Términos.

- **LEY ABRAMS:** Ley experimental según la cual la resistencia de una mezcla consistente como el concreto, viene determinada por la proporción de la cantidad de agua y de cemento que se añade a dicha mezcla, que resulta ser inversamente proporcional. Duff Abrams propuso la relación A/C donde toma en cuenta los diferentes agregados y las diferentes relaciones agua cemento

Tabla 1.- Conversión litros por sacos (IMCYC, 1985)

W/C por peso	Litros por Saco	Resistencia aproximada a los 28 días Kg/cm <sup>2</sup>
0.45	22.5	350
0.49	24.5	315
0.53	26.5	280
0.57	28.5	245
0.62	31	210
0.66	33	175
0.71	35.5	140

Para convertir la relación a/c por peso a litros por saco se utiliza la siguiente formula:

$$\frac{W}{C} \times \frac{Kg}{SACO} = Kg \text{ de agua} \div \frac{Kg}{\ell} = \ell/S(\text{Litros por Saco})$$

Y a la inversa:

$$\frac{W}{C} = (Kg \text{ de agua} \cdot \frac{1Kg}{\ell}) \div Kg/saco$$

(IMCYC, 1985)



- **ELEVADO FACTOR DE CEMENTO:** Mientras más elevado sea el factor de cemento, mayores serán la calidad y la resistencia del concreto. Generalmente esto es cierto, pero los factores de cemento que exceden lo requerido para obtener una resistencia dada son costosos y frecuentemente ocasionan problemas innecesarios particularmente en clima caliente.

La mayoría de las especificaciones requieren resultados con un 15% más alto que la resistencia requerida. Lo cual es deseable ya que desde el punto de vista de que las condiciones de campo nunca pueden ser tan ideales como una controlada en el laboratorio.

Sin embargo, un factor mayor puede causar defectos estructurales, como grietas de contracción en el concreto que son causadas por el cambio de volumen en la pasta de cemento y no en los agregados firmes.

Una pasta excesivamente rica puede generar más grietas de contracción y mayores cambios de volumen en fechas posteriores. Mientras más rica la mezcla mayor será el calor de hidratación. Las altas temperaturas del concreto pueden provocar rápidas pérdidas de revenimiento. Reducidos porcentajes de aire y una hidratación parcial lo cual afectara la calidad del concreto. (IMCYC, 1985)

- **ADICION DE CALIZA AL CEMENTO:** se genera nucleación donde los cristales de la adición son la semilla y la portlandita ( $CH$ ) y la tobermorita ( $C S H$ ) crecen a su alrededor produciendo aceleración de la hidratación del cemento. (Tobón & Kases, 2008)

#### MARCO CONCEPTUAL. -

- **Absorción:** incremento del peso de un material debido a la humedad que absorbe por los poros de la estructura. (IMCYC, 1985)
- **Agregado fino.** - Material conocido como arena, que proviene de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz 9.4 mm (3/8") (NMX-C-111-ONNCCE).



- **Agregado grueso.** - Material obtenido de manera natural o de la trituración de rocas, escoria de alto horno, escoria volcánica, concreto reciclado o una combinación de estos u otros, que es retenido por la criba 4,75 mm (malla N°4) y que pasa por la criba 90 mm (malla N° 3 ½”) (NMX-C-111-ONNCCE).
- **Roca caliza.** - La roca caliza es la materia prima utilizada para obtener los agregados para el concreto en el estado de Quintana Roo. Las calizas son rocas sedimentarias que contienen por lo menos 50% de minerales de calcita ( $CaCO_3$ ) y dolomita ( $Ca, Mg (CO_3)$ ) predominando la calcita. Cuando prevalece la dolomita se denomina dolomía. La caliza es aglomerante, neutralizante, escorificante y fundente (Coordinación General de Minería, 2013). En la península de Yucatán Las calizas terciarias que constituyen a la Plataforma de Yucatán, presentan en general permeabilidades medias y altas lo que conlleva a que en su mayoría sean consideradas de baja resistencia (Gonzales, 2009).
- **Agregado.** - material granular como la arena, grava, roca triturada, escoria de alto horno o concreto hidráulico triturado que se utiliza en un medio cementante hidráulico para producir mortero y concreto, se dividen en finos y en gruesos, se constituyen de partículas limpias, duras, resistentes y durables, que desarrollan buena adherencia con la pasta de cemento. Naturales, semitriturados o triturados (Neville, 1999).
- **Cambios volumétricos.** - aumento o disminución del volumen del concreto. Este se contrae al fraguar, se expande cuando esta mojado y se contrae cuando se seca, se expande al congelarse y se contrae al descongelarse, se expande cuando está caliente y se contrae cuando esta frio. (IMCYC, 1985).
- **Cemento Portland Compuesto (Cpc).** - producto industrializado que por hidratación forma un material altamente cementante. Se obtiene mediante la calcinación hasta fusión parcial de cantidades adecuadas y molidas de caliza y arcillas alumínicas para formar “Clinker”, que después es finamente pulverizado. Durante la pulverización final se le agrega yeso, puzolana, colorantes u aditivos en casos especiales. (GONZALES 2009).



- **Cemento.** - El cemento puede definirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto, sin embargo, esta definición comprende una gran variedad de materiales cementantes. Para efectos de construcción el término cemento se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arena, ladrillos etc. Estos cementos tienen la propiedad de fraguar y endurecer al contacto con el agua, en virtud de que presentan una reacción química, por lo tanto, se les denomina cementos hidráulicos. El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a  $1450^{\circ}$  c de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. De este proceso se obtiene el Clinker que es el principal ingrediente. Que al molerse con yeso y otros aditivos dan como resultado el cemento. (HERNANDEZ 2011).
- **Cohesión.** - La capacidad de una mezcla para mantenerse junta o adherirse a sí misma, también se desarrolla por la pasta de cemento portland. (HERNANDEZ 2011).
- **Concreto.** - material compuesto esencialmente de un medio aglomerante dentro del cual se hallan partículas o fragmentos de un relleno mineral relativamente inerte ahogadas. Es decir una pasta de cemento portland , el medio aglutinante y el relleno que forma una masa que se hace rígida y endurecen como avanzan las reacciones químicas entre el cemento y el agua en la pasta de cemento.(Muciño, 2003)
- **Cono de revenimiento.** - dispositivo para medir el revenimiento. Mientras más húmedo está el concreto más elevado es el revenimiento. (IMCYC, 1985)
- **Curado del concreto.** - Son procedimientos utilizados para promover la hidratación del cemento, el curado se detiene antes de la hidratación máxima posible, para que continúe la hidratación tiene que contenerse la humedad relativa dentro del concreto a un mínimo del 80% (Neville, 1999).
- **Densidad relativa.**- relación del peso de un material respecto al peso de un volumen igual de agua (IMCYC, 1985)



- **Desgaste del agregado grueso mediante la máquina de los Ángeles.** - El objetivo de la prueba de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles es determinar la resistencia a la trituración o abrasión de los materiales pétreos utilizados en las mezclas de concreto (ASTM C 131-01).
- **Dolomita:** roca que contiene cantidades iguales de carbonatos de calcio y de magnesio empleada como agregado grueso en el concreto. (IMCYC, 1985)
- **Durabilidad del concreto.** - Es la capacidad del concreto de soportar el proceso de deterioro al cual se puede esperar que vaya a estar expuesto, no significa por tiempo indefinido y se debe de tomar en cuenta junto con la resistencia para el diseño de la mezcla. (Neville, 1999).
- **Estabilidad a la Segregación.** - Las mezclas de concreto están compuestas por materiales heterogéneos: líquido (agua), polvo (cemento y arena), fragmentos de piedra y una pequeña fracción de aire, estos materiales tienen la natural tendencia a separarse después de ser mezclados, especialmente los granos gruesos. Esta tendencia se conoce como segregación, la cual debe ser controlada ya que de lo contrario puede afectar la resistencia mecánica, promover la aparición de grietas por retracción y quitarle defensas al concreto para lograr durabilidad (CABRERA, DIAZ 2010).
- **Fraguado del concreto.** - Por fraguado del concreto se entiende el instante en que la viscosidad aumenta bruscamente. (Hernández 2008).
- **Granulometría de los agregados.** - La granulometría está definida como la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra de agregado en fracciones de igual tamaño. La medida de la cuantía de cada una de estas fracciones es lo que se conoce como granulometría (Sánchez, 2001).
- **Humedad Relativa.** - Es la relación entre la cantidad de agua presente en la atmosfera y la cantidad necesaria para la saturación, referido todo a una misma temperatura. Se expresa en porcentaje. (Hernández 2008).



- **La porosidad ( $\emptyset$ ):** medida del espacio intersticial (espacio existente entre grano y grano), y se define como la relación entre el volumen poroso y el volumen total de la roca, entendiéndose por volumen poroso al volumen total menos el volumen de los granos o sólidos contenidos en dicha roca. De acuerdo a la interconexión del volumen poroso, la porosidad se puede clasificar como porosidad absoluta, efectiva y no efectiva.

$$\emptyset = \frac{\text{Volumen}_{\text{poroso}}}{\text{Volumen}_{\text{Total}}} = \frac{V_p}{V_t}$$

Porosidad efectiva: Se define como aquella fracción de la roca que además de no estar ocupada por material denso o matriz, está interconectada.

Porosidad Absoluta o Total: Se define como la fracción del volumen bruto de la roca que no está ocupada por material denso o matriz, ya que el espacio poroso total no tiene que estar necesariamente conectado.

Porosidad No Efectiva: Es la diferencia que existe entre las porosidad absoluta y efectiva. (“Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos”, s/f)

- **Nucleación:** es la etapa del proceso de solidificación en la que se forma unos pequeños núcleos estables sólidos dentro del líquido. (“SOLIDIFICACIÓN: NUCLEACIÓN Y CRECIMIENTO”, 2009)
- **Proporcionamiento:** diseño de una mezcla de concreto con los porcentajes de cemento, agua y agregados apropiados para lograr la resistencia y la trabajabilidad requerida. (IMCYC, 1985)
- **Relación agua/cemento:** número de litros de agua empleados por saco de cemento, en una mezcla de concreto, determina la resistencia del concreto endurecido. (IMCYC, 1985).
- **Resistencia a la Compresión.** - Es la característica mecánica más importante del concreto, pues sirve para juzgar su calidad y para determinarla se emplea



el promedio de los resultados de ensayos válidos, sobre un conjunto de probetas normalizadas, en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido. (Porrero, 2008).

- **Resistencia del cemento:** La resistencia mecánica del cemento endurecido es la propiedad del material que resulta más obvia en cuanto a los requisitos para usos estructurales, la resistencia de un mortero o concreto depende de la cohesión entre partículas (Neville, 1999).
- **Resistencia.** - Es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación. Es la capacidad de carga por unidad de área del concreto hidráulico, por lo general se determina por la resistencia final de un cilindro en compresión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo generalmente expresada en MPa 2 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad (Frederick, 1992).
- **Revenimiento:** medida de la consistencia del concreto recién mezclado. (IMCYC, 1985)
- **Sangrado.** - Característica de las mezclas de concreto húmedo, se define como un fenómeno cuya manifestación externa es la aparición de agua en la superficie después de que el concreto ha sido colocado y compactado, pero antes de que fragüe (es decir, cuando la sedimentación no podrá ya tener lugar). (Paulo & Kumar Mehta, 1998)
- **Segregación.** - Se define como la separación de los componentes del concreto fresco de manera que no queden uniformemente distribuidos. Hay dos clases de segregación. La primera, que es característica de las mezclas de concreto seco, consiste en la separación del mortero del cuerpo del concreto (por ejemplo, debido a la sobre vibración). (Hernández 2008).
- **Trabajabilidad.** - Se refiere al conjunto de características que permiten el manejo, colocación y compactación del concreto en estado fresco sin que se produzca segregación. Por otra parte, este concepto está estrechamente



vinculado con el asentamiento que presenta la mezcla al realizar el ensayo normalizado del Cono de Abrams. (CABRERA 2010).

- **Volumen absoluto:** volumen sin cavidades (IMCYC, 1985)



## **Capítulo 2.- Estado del Arte.**

### **INTRODUCCIÓN. -**

Al analizar diversas investigaciones relacionadas con el tema se encontraron autores que exponen las distintas ideas recabadas que afectan la resistencia a la compresión del concreto y la influencia de sus materiales.

Esta investigación se enfocó en encontrar una mezcla adecuada utilizando los materiales de la región, sin embargo, para poder obtener la información de los agentes alternos que afectan a un concreto en la zona cálido subhúmeda se analizó los componentes químicos de los agregados, el ambiente físico-natural, las relaciones de los materiales etc. para poder tener así un contexto completo para fundamentar la investigación.

### **DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO Y SU RESISTENCIA A COMPRESIÓN. -**

Al momento de justificar la dosificación de las mezclas de concreto encontramos que todos los autores basan sus referencias en tablas existentes y en experiencia. La resistencia viene determinada por la proporción de la cantidad de agua y de cemento.

“El concreto no es un bien genérico como las piedras naturales o la arena, sino un material de construcción que se diseña y se produce de conformidad con normas rigurosas, para los fines y aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado y con las características de economía, facilidad de colocación y consolidación, velocidad de fraguado y apariencia adecuada según su aplicación.”

Las propiedades del concreto endurecido se asocian a su resistencia y en muchos casos estos las cuantifica o las cualifica. Cuando se diseña una mezcla de concreto se debe de tener en cuenta que muchos factores ajenos pueden afectar a la resistencia.

La aplicación sistemática de ciertas tablas y proporciones ya establecidas satisfacen prácticamente todas las situaciones normales en las obras, lo cual está muy alejado



de la realidad, cada uno de los componentes, propiedades y características tienen que ser evaluadas así como aquellas que pueden aparecer cuando se combinan desde el momento del mezclado (Alvarez Cangahual, s/f).

Con cada investigación se presenta una nueva problemática en el diseño de mezclas, las cuales al bríndales un beneficio debilita otras propiedades. El diseño de la mezcla no se puede resolver totalmente analíticamente, se requiere , después de la determinación de los parámetros del trabajo (cantidades de materiales) , el cálculo de los pesos , ayudantes experimentales pruebas en concreto para asegurar que cumple con las especificaciones de diseño (Illinoiu, 2004).

Existen infinidad de métodos de dosificación de los materiales del concreto en manuales, por algoritmos, softwares entre otros.

Normalmente en la proporción de mezclas primero se raciona el agua y el cemento, obteniendo así una mayor cantidad de A/C y una menor cantidad de agregados pétreos. Gracias a esto las características que el concreto no resulta no ser económico ni duradero.

Los algoritmos para el proporcionamiento del concreto tradicional, están basados en previas experiencias aplicadas en tablas o en formulas empíricas, basadas en prueba y error lo cual resulta en pérdida económica, en mano de obra y tiempo.

Los softwares de diseño son propuestos para reducir los errores comunes en la dosificación de mezclas, algunos productos han sido programados esencialmente para el diseño de mezclas basados en los métodos del ACI method or the French Dreux's method (método ACI o el método del Dreux Francés) mientras otros programas están basados en el método de compressive packing model (CPM)

Las deficiencias que se han encontrado hasta ahora en el diseño de mezclas son:

- 1.- El proceso de diseño es de pasta a agregados, no a partir de agregados a pasta.
- 2.- No se presenta una proporción con menor contenido de pasta.



3.- las neuronas de salida presentan el contenido de los ingredientes del concreto lo que disminuye la precisión del diseño de mezcla de concreta proporción.

El diseño de la proporción de la mezcla del concreto está basado en cierta manera del agregado a la pasta, con un contenido menor de pasta basado en el modelo de Toufard y en redes neuronales artificiales.

Este algoritmo pretende reducir el número de prueba y error, el costo y el tiempo. Además de reducir la cantidad de agua cemento, brindar una mayor durabilidad y un beneficio tanto económico como ecológico.

Las predicciones de Resistencia y revenimiento del concreto están basadas en las redes neuronales artificiales del programa dado, calculando los modelos con espesor medio de la pasta equivalente a la relación agua cemento se pueden obtener a base de la deducción inversa de dos modelos de predicción (Ji et al. 2006).

Como ya se mencionó antes el uso de las redes neuronales artificiales apoya mucho en el hecho de la dosificación, en el artículo de Acuña se hace un enfoque en la resistencia a la compresión según la norma ASTM C39/C 39M. Menciona que la resistencia a compresión del concreto es uno de los parámetros más importantes en su control de calidad.

Lo cual lleva a estar proponiendo modelos matemáticos, para poder obtener resultados más fiables y de forma inmediata. Los modelos propuestos presentan coeficientes de correlación mayores a 0.9 y permiten reducir considerablemente el tiempo en obtener los resultados de la resistencia a compresión.

Por otro lado, se sabe que la resistencia a compresión del concreto evoluciona con el tiempo. Así se conoce que a los 7 se obtiene el 70-75% de la resistencia a 28 días y que a los 56 y 90 días se obtienen resistencias de un 10% a un 15% superiores a las obtenidas a los 28 días (Kosmatka et al., 2003).

Las redes neuronales artificiales son unas estructuras matemáticas que intentan imitar el funcionamiento de un cerebro biológico. Se componen de una serie de nodos o



neuronas, interconectados entre sí, estructurados en una serie de capas. Finalmente es la capa de salida la que muestra los resultados de la red.

Se obtuvo la modelización mediante redes neuronales artificiales del ensayo de resistencia a compresión a partir de los parámetros de fabricación con un coeficiente de correlación superior a 0.93.

Para este experimento se introdujo una nueva técnica de modelización para resolver los problemas de obtención de la resistencia a compresión del concreto tras un periodo de curado, reduciendo considerablemente el tiempo de obtención de los resultados.

Los resultados obtenidos reflejan una gran similitud entre la red tipo perceptrón y la red tipo Elman. Sin embargo, la mayor simplicidad de la red tipo perceptrón y su menor tiempo de desarrollo la hace más adecuada para su uso en este problema concreto (Acuña et al 2014).

El incremento en el contenido unitario de cemento y la disminución de la relación  $A/C$  del concreto, es una práctica usual debido a la creciente necesidad de aumentar el nivel resistente y la durabilidad de las estructuras de concreto.

Por tal motivo el diseño y las propiedades del concreto de alto desempeño han ido en aumento.

El aumento en la producción de concretos de alto desempeño y el uso de los cementos mezcla, requiere implementar diferentes técnicas de diseño de mezcla, como son:

- La optimización granulométrica de agregados mediante modelos de empaquetamiento
- La predicción de la resistencia óptima a partir de las curvas de isorrespuestas.
- El comportamiento del conjunto cemento mezcla- aditivo a través del ensayo del cono de Marsh para una relación agua/cemento establecida.



La adición del material calcáreo al Clinker completa la fracción fina de la curva granulométrica del cemento sin incrementar la demanda de agua, mejorando el empaquetamiento del cemento y bloqueado los poros capilares por obstrucción.

Las partículas de material calcáreo constituyen centros de nucleación de los cristales de hidróxido de calcio a tempranas edades, acelerando la hidratación de los granos de Clinker especialmente el  $C_3S$  como consecuencia de esta interacción física-química el material calcáreo aumenta su resistencia a temprana del cemento (Bonavetti et al., s/f).

Las diferencias en las resistencias alcanzadas de concretos en curados húmedos y en ambiente cálido subhúmedo se enfocan principalmente en la resistencia del concreto la cual depende de la porosidad de cada componente, y por consiguiente la característica de los agregados dependen de sus composiciones pétreas que la roca madre les da origen.

Por otra parte, la relación entre el agua y el cemento es la que, teóricamente, determina la porosidad de la matriz de cemento hidratado y de la zona de transición entre ésta y los agregados pétreos. Teniendo así que no se puede separar el comportamiento del concreto ya que esto actúa en complemento. Sin embargo, explican que no todo el cemento que entra en contacto con el agua reacciona, sino que lo que en verdad brinda la calidad del producto es la concentración de productos sólidos de hidratación del cemento (Moreno et al. 2011).

Por otro lado, el tiempo de curado húmedo suele afectar la resistencia y la durabilidad del concreto en un clima tropical ya que el curado ayuda a las reacciones químicas de hidratación de los componentes del cemento, principalmente los silicatos y aluminatos.

Una experimentación que fue llevada en la península de Yucatán, donde existe un clima cálido subhúmedo, utilizó una relación  $A/C$  de 0.50 que corresponde a un concreto de calidad estructural con resistencia a la compresión en un rango entre 30 y 40 MPa rango que se adjudica directamente a los agregados. Llevándonos a la premisa de que el factor que afecta principalmente es la calidad y propiedades es el agregado en reacción con la mezcla de cemento (Solís et al. 2013).



En lo que refiere a la fabricación del concreto, encontramos que el factor de proporción de la mezcla no ha sido investigado ni modelados adecuadamente.

La proporción de  $A/C$  no favorece la carbonatación o la trabajabilidad si no que los mantiene constantes. Los monogramas de diseño de mezclas pueden ser usados para determinar apropiadamente las proporciones acuerdo para la fabricación. Estas están basadas en la ley de Abrams la cual relaciona la resistencia de compresión con la relación agua cemento para un determinado nivel de hidratación del cemento.

Esta relación puede ser extendida para otras propiedades, como el módulo de elasticidad y la durabilidad.

Otra aplicación del monograma de diseño de mezclas es el desarrollo de estructuras de concreto con específicas propiedades.

Los resultados en este estudio confirman que una proporción mayor de agua/cemento causa un incremento en la penetración de la carbonatación en las estructuras de concreto con la misma trabajabilidad, lo cual nos regresa al punto donde lo primordial es reducir la cantidad de cemento (Helene & Castro-Borges, 2009).

Las proporciones de los métodos de diseño en la manufactura del concreto de vez en cuando se basan en la “teoría de concreto basado en un mínimo de pasta”, donde hace efecto las microfibras en la trabajabilidad y propiedades mecánicas del concreto con arena manufacturada. El estudio revela que los microfinos se pueden usar como un ingrediente del concreto con arena manufacturada y una cantidad moderada de estos puede mejorar la trabajabilidad del mismo.

La arena manufacturada es producida por la trituración de rocas deposiciones para producir un agregado fino que generalmente es más angular y tiene más áspera textura de la superficie de las partículas de arena de río. Similar a la manufactura de la arena de la ciudad de Chetumal (Ji et al. 2013).

El comportamiento del concreto, se enfoca mucho en el tipo de cemento con el cual se es fabricado, al igual que infiere a el lugar donde este expuesto. La explicación de este



fenómeno es que un aumento de la temperatura acelera la reacción química de hidratación del cemento y esta es beneficiosa para la resistencia a temprana edad del concreto, pero es perjudicial para la resistencia desde aproximadamente 7 días de edad en adelante.

Al hidratarse más rápido los productos formados resultan de peor estructura física, mayormente porosos, así que cierto porcentaje de poros quedarán huecos, donde la regla de la razón “gel-espacio” produciría una resistencia menor por ser una estructura porosa.

Al tener una rápida hidratación, a altas temperaturas, retarda la hidratación posterior y produce una distribución no uniforme de los productos de hidratación del cemento.

La resistencia del concreto es dependiente a la madurez del concreto, ya que se encuentra correlacionada con la temperatura y la edad (Videla et al. 2012).

En Venezuela se inició la caracterización química y física mecánica de cementos adicionados de files calizos en la cual fue realizada en las principales marcas comerciales de cementos adicionados en el país.

Al crear cementos adicionados se busca el poder reducir el impacto ambiental en la producción del cemento portland y al disminuir las emanaciones de CO<sup>2</sup> en la industria de la construcción.

La hidratación comienza sobre la superficie de los granos de cemento, su área superficial constituye el material de hidratación. De este modo, la velocidad de hidratación depende de la finura de las partículas del cemento; por lo tanto, para un desarrollo rápido de la resistencia se precisa un alto grado de finura. Teniendo así que con la combinación de filter calizo genera dicha resistencia a edades tempranas (Bolognini et al 2015).

También se ha implementado la adición con áridos calizos en concretos de alto desempeño donde se piensa que para lograr un concreto durable es suficiente con diseñar las mezclas con baja relación agua-cemento lo cual no es exactamente así, ya



que la mala aplicación de dosificación hace que se obtengan concretos mal proporcionados que suelen tener una baja relación a/c y sin embargo ser altamente porosos.

La dosificación es el arte de balancear los componentes de la mezcla de un concreto que de forma económica garanticen las exigencias mecánicas y de durabilidad.

El diseño de la mezcla de concreto se enfoca en cumplir los siguientes factores. -

- La forma de proporcionar los áridos componentes de la mezcla, que garantice el menor vacío que será ocupado por la pasta de cemento.
- La influencia que ejerce la cantidad de agua de la mezcla en la consistencia del concreto en estado fresco.
- La relación A/C la cual podrá ser mejorada sustancialmente con el uso de aditivos químicos.
- Grado de hidratación
- La influencia de la característica de la forma de los áridos que se empleen en la calidad final del concreto.

Lo que nos da pie a que una buena dosificación puede generar hasta concretos de alto desempeño, teniendo las proporciones y el método de diseño correctos (Díaz & García, s/f).

En otros tipos de cemento como lo es el de alta trabajabilidad el mercado va en incremento debido a sus ventajas cualitativas y a su bajo costo. Se presentan trabajos analizando concretos para resistencia media (28-35 MPa) con bajo contenido de cemento. El método propuesto determina primero el factor de agregado y después el de los de más materiales.

Todos los métodos existentes han sido aplicados en sus áreas satisfactoriamente, pero a menudo conducen a un alto volumen de pasta de cemento, si este se aplica para una resistencia media, y no resultan económicos ni duraderos.



El concreto se considera un material de dos fases: agregados y pasta. El proporcionamiento del concreto es diseñado para encontrar los requerimientos solicitados por cada cliente (Nan Su & Buquan Miao, 2001).

## **CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO**

Al hablar del desempeño del cemento portland con los agregados de pureza de diferentes grados se explica que las calizas de alta pureza tienen más efectos negativos que las que contienen niveles superiores al 20%, ya que estas modifican tiempos de fraguado, la expansión y la demanda de agua.

La práctica de adicionar caliza de alta pureza (> 90% de  $\text{CaCO}_3$ ) al cemento Portland se piensa que es activa y que produce modificaciones químicas que se traducen en cambios en las propiedades físicas y mecánicas del cemento. En lo que están de acuerdo varios autores es que las calizas de alta pureza son una muy buena adición para los cementos.

Así que, al tener un agregado basado en caliza, podemos obtener los mismos resultados sin necesidad de adicionar la como agente activo.

Durante el proceso de hidratación las adiciones de caliza reaccionan con el  $\text{C}_3\text{A}$  para formar carboaluminatos de calcio hidratados, favorecen el desarrollo de resistencia a edades tempranas.

Las principales impurezas mineralógicas en las calizas son el cuarzo (Q) y la domolita (Do), El cuarzo es el contaminante más abundante, Al determinar la relación  $A/C$  se realiza para mantener una fluidez apropiada en los morteros realizados con cementos adicionados, se encontró que ninguna de las adiciones produjo incremento en la demanda de agua, manteniéndose la relación  $A/C$  entre 0,480 y 0,485 y resumiendo que entre más impura la caliza mayor es la resistencia desarrollada.

El hecho de que el cuarzo presente en las calizas rebajadas sea cristalino permite descartar de entrada una reacción entre éste y la portlandita (HC) formada en el proceso de hidratación.



En resumen, si se adiciona caliza al cemento, se genera nucleación donde los cristales de la adición son la semilla y la portlandita ( $CH$ ) y la tobermorita ( $C S H$ ) crecen a su alrededor produciendo aceleración de la hidratación del cemento (Tobón & Kases, 2008).

En Cuba se realizó un estudio a base de la influencia del tipo de agregado empleando el método de fractura superficial para la estimación de la resistencia a compresión la producción de concretos en esta zona es de origen calizo con elevada porosidad y valores de absorción a veces superiores al 1%.

Explican el estado poroso-capilar del concreto como la porosidad efectiva, esto quiere decir que la porosidad se encuentra interconectada y conectada a su vez con el exterior, la cual tiene una influencia decisiva en el intercambio de humedad con el entorno y por lo tanto en la materialización de dichos mecanismos de transporte.

Resultando que la medida de la porosidad efectiva de los concretos es a su vez una medida del grado de durabilidad, lo cual se presta a la interpretación de que al absorber algunos componentes exteriores, la composición del agregado puede modificarse ligeramente (Howland & Martin, 2010).

En Venezuela se realizó una caracterización químico y físico-mecánica de cementos con adiciones de filter calizo. Esto surge debido a la demanda de cemento que ha existido en los últimos años lo cual lleva a buscar nuevas alternativas, creando así cementos adicionados con calizas.

Tomando en cuenta la composición química de estos concretos se creó una hipótesis sobre la composición química de dichos cementos, lo cual generará una menor reserva alcalina lo cual lo haría menos resistente a la acción de agentes ambientales. Con esta investigación podemos tener en cuenta las propiedades que brinda una adición de caliza lo cual se genera similar a la de un agregado calizo (Bolognini et al., 2015).

En Yucatán contamos con otro tipo de agregado y por este motivo su caracterización es motivo de estudio para analizar las propiedades y sus efectos en la pasta de



cemento iniciando por peso volumétrico, como los agentes que afectan su composición.

En el caso de prueba de peso volumétrico se puede apreciar que el 50% de los valores se encuentran entre el 1.90 y 2.40 g/cm<sup>3</sup> y en el caso de la resistencia uniáxial se puede apreciar que el 50% de los valores se encuentran entre 140 y 400 kg/cm<sup>2</sup> (Salomón & Graham, 2003).

En Othón P. blanco La investigación realizada habla desde el punto geológico sobre la península de Yucatán y sus agregados calizos, la cual se manifiesta como una unidad constituida por sedimentos calcáreos marinos del cenozoico. Se determinó que geológicamente Chetumal está compuesto por calizas y dolomías de alta permeabilidad, así como de yesos y anhidritas altamente solubles.

Se habla de la kársticidad la cual se debe principalmente a las reacciones químicas entre el agua y dióxido de carbono dando origen al ácido carbónico responsable de la disolución de los carbonatos.

En condiciones menos favorables, cuando las rocas carbonatadas se procesan para la fabricación de agregados pueden dar lugar a una variante de la reacción álcali-agregado conocida como álcali-carbonato, está a su vez, produce expansiones induciendo a la microfisuración de la pasta de concreto.

En la tesis se menciona que existen 9 bancos de agregados, sin embargo solo se tomaron 6 ya que 3 de ellos no cumplieron con las características necesarias, reduciendo el muestreo a 6 bancos de los cuales se presentó mayor calidad y resistencia a la compresión de los cuales solo se seleccionó el de mayor calidad y el de menor calidad eligiendo para esta investigación el banco, ejido Sacxan y Banco ejido de Santa Elena (Hernández 2013).

En la mixteca oaxaqueña se realizó un estudio analizando las cantidades de carbonatos y así clasificándolas en diferentes tipos de agregado por ejemplo los agregados calizos comerciales contienen cantidades variables de carbonatos de



magnesio cuando éste se halla en cantidad inferior a 5%, se dice que la caliza es magnesiada.

Lo cual nos indica que una caliza que contenga entre 30% y 45% de carbonato de magnesio se clasifica como dolomítica. La verdadera caliza dolomítica está compuesta por mineral dolomita, que es un carbonato doble de magnesio y calcio ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) y que contiene un 46% de carbonato de magnesio, estas cuales se llaman cal rica en calcio, cal magnesiada y cal dolomítica (Guerrero Hernández, 2001).

Las calizas desde hace años han sido incorporadas como adiciones al cemento, y aun que algunos autores lo manejan como filler para crear mayor volumen y disminuir los costos de producción.

También se piensa que es activa y produce modificaciones químicas que se traducen en cambios en las propiedades físicas y mecánicas.

En el artículo se maneja que la adición de calizas al cemento como activas ya que durante el proceso de hidratación estas reaccionan con el  $\text{C}_3\text{A}$  para formar carboaluminatos de calcio hidratados lo cual favorece la resistencia a edades tempranas.

La adición de caliza parecería estar favoreciendo la formación de portlandita ( $P$ ), muy probablemente como resultado de la disolución del carbonato de calcio en presencia de agua y a la probable aceleración del proceso de reacción de hidratación. Además, no se evidencia un aumento en la cantidad de tobermorita. Estas dos observaciones contradicen el comportamiento esperado de una puzolana, las cuales disminuyen el contenido de portlandita y aumentan el de tobermorita con el tiempo (Tobón & Gómez, 2008).

### **CONTENIDO E INFLUENCIA DEL AGUA EN EL CONCRETO. -**

En lo que se refiere a los aluminatos de calcio, nos encontramos con una investigación de Rivas, Turrillas y Pena, sobre la hidratación de los cementos de aluminatos de calcio, donde se utilizan arcillas blanquecinas y se obtienen clinker amarillento-blanquecinos.



“Los aluminatos de Calcio, presentes en los cementos refractarios de elevado contenido en alúmina son responsables del comportamiento durante la hidratación y deshidratación de estos materiales. La hidratación es un proceso exotérmico y al mismo tiempo altamente dependiente de condiciones experimentales como: agitación, temperatura, relación agua/sólidos ( $A/S$ ), presencia de álcalis, tiempo, reactividad del cemento (tamaño de partícula) y humedad relativa del ambiente.”

En investigaciones anteriores se ha mencionado que el incremento en el contenido unitario de cemento y la disminución de la relación agua/cemento del concretos, es una práctica usual debido a la creciente necesidad de aumentar el nivel resistente y la durabilidad de las estructuras de concreto (Rivas et al 2003).

Al hablar del curado, tenemos que existen varias resistencias basándose en diferentes tipos de curado y al ambiente donde se realizan. El concreto se considera un material de múltiples fases, y su resistencia depende de la porosidad de cada componente. La porosidad de los agregados pétreos depende de las características físico-químicas de la roca madre, según su localización y el estrato de donde es recolectada.

Al hablar de la relación  $A/C$  se dice que esta determina la porosidad de la matriz del cemento hidratado y de la zona de transición entre esta y los agregados pétreos.

Lo que realmente determina la calidad de la pasta de cemento es la concentración de productos sólidos de hidratación del cemento. Por lo cual mantener el concreto en un estado de hidratación por mayor tiempo favorece al concreto y es una técnica que se considera como una práctica recomendada (Moreno et al., 2011).

## **INFLUENCIA EN EL TIEMPO DE MEZCLADO**

No todo el cemento reacciona con el agua en una mezcla de concreto, al analizar esto, se tiene que lo que realmente determina la calidad de la pasta de cemento es la concentración de productos sólidos de hidratación del cemento. Por lo cual se considera que el mantener un concreto en estado de hidratación por mayor tiempo beneficia al concreto.



Se observó una variabilidad pequeña en la resistencia del concreto cuando es curado al ambiente y se encontraron diferencias en curados en invierno y primavera (Jang-Ho, et al 2012).

## MANCHA ECOLOGICA

La fabricación del cemento es un tema que ha sido estudiado frecuentemente ya que la industria de la construcción es un mundo, muy productivo el cual genera millones de trabajos, bienestar en hábitats, en el desarrollo de ciudades entre otros beneficios, la fabricación del cemento es una actividad industrial de procesamiento de minerales que se divide en tres etapas básicas:

- Obtención y preparación de materias primas
- Molienda y cocción de materias primas
- Molienda de cemento

Principales componentes del Clinker observados en la tabla 2; se compone de los siguientes óxidos (datos en %) Instituto del cemento y sus aplicaciones (IECA, 2006).

Tabla 2.- Datos en % de óxidos en el Clinker (IECA, 2006). -

	Porcentaje %
Oxido de calcio "cal" (CaO)	60-69
Oxido de Silicio "sílice"	18-24
Oxido de aluminio "alúmina" (AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4-8
Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1-8

Los porcentajes de energía y emisiones más relevantes (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y metales pesados) que se introduce cada etapa del ciclo de vida del concreto son presentados en la tabla 3. Los datos porcentuales referentes al cemento contemplan la obtención de materias primas, su transporte y la producción del cemento.



Tabla 3.-Emisiones y energía en el ciclo de vida del concreto. (Elaborada por Häkkinen, T.; Vares, S.; 1998)

	Fuel fósil y electricidad	Emisiones de CO2	Emisiones de NO3	Emisiones de metales pesados
Cemento	69%	83%	71%	88%
Áridos	3%	1%	1%	1%
Transporte de materias primas	5%	3%	8%	1%
Producción de concreto	16%	8%	5%	10%
Transporte del producto	7%	5%	15%	1%
TOTAL	100%	100	100	100

“Los datos sobre la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> por volumen de concretos varían de unas fuentes a otras. El rango se encuentra entre 1 y 1.25 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de cemento.

Tabla 4.- Perfil medioambiental del concreto, elaborada por Gjørv, O.E.; 2003; Wilson, A.; 1993

<b>ENERGIA</b>		
Fuel fósil	0.93	MJ/Kg <sup>2</sup> producto
Electricidad	0.20	MJ/Kg <sup>2</sup> producto
<b>MATERIAS PRIMAS</b>		
Caliza	170	g/Kg <sup>2</sup> producto
Otros productos minerales	850	g/Kg <sup>2</sup> producto
Agua	80	g/Kg <sup>2</sup> producto
<b>EMISIONES</b>		
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	120	g/Kg <sup>2</sup> producto
Óxido de nitrógeno (NO <sub>3</sub> =	0.55	g/Kg <sup>2</sup> producto
Oxido de Sulfúrico (SO <sub>2</sub> )	0.14	g/Kg <sup>2</sup> producto
Metano (CH <sub>4</sub> )	0.13	g/Kg <sup>2</sup> producto
Componentes orgánicos volátiles (COV)	0.18	g/Kg <sup>2</sup> producto



Polvo	0.023	g/Kg <sup>2</sup> producto
Metales pesados (Cr, As, Hg, Cd, Tl, Pb)	20	ug/Kg <sup>2</sup> producto

Los datos mostrados anteriormente en la tabla 4 han ido cambiando con el paso de los años, ya que el cemento ha sufrido modificaciones y una reducción de la cantidad de cemento sin embargo se toman en cuenta como una media para conocer la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente (Medina L, 2006).

### CONCLUSIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.

Después de una revisión al estado del arte consultado obtenemos las siguientes conclusiones:

### **DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO Y SU RESISTENCIA A COMPRESIÓN.**

1. El concreto no es un bien genérico como los agregados, sino un material que se diseña y se produce a base de normas rigurosas, para un proyecto determinado.
2. La aplicación sistemática de ciertas tablas y dosificaciones ya establecidas se enfocan a situaciones normales en obra sin tomar las diferencias tanto en climas agregados o condiciones extremas de las mismas.
3. Principalmente las proporciones del concreto se basan en la relación A/C y una menor cantidad de agregados.
4. Las previas experiencias están basadas en tablas y formulas empíricas, enfocadas a base de prueba y error lo cual resulta una pérdida de tiempo y una pérdida económica.
5. Las deficiencias encontradas en el diseño de mezclas son:
  - El proceso de diseño es de pasta a agregados no a partir de agregados a pasta.
  - No se presenta una proporción con menor contenido de pasta



6. La resistencia a la compresión del concreto evoluciona con el tiempo. Conociendo que a los 7 días se obtiene el 70-75% de la resistencia a los 28, 56 y 90 días se obtienen resistencias de un 10% a un 15% superior.
7. Las partículas de material calcáreo constituyen centros de nucleación de los cristales de hidróxido de calcio a tempranas edades, acelerando la hidratación de los granos de Clinker.
8. Como consecuencia de la interacción de la nucleación el material calcáreo aumenta su resistencia a temprana edad del cemento.
9. Las resistencias alcanzadas en curados en clima cálido subhúmedo se enfocan en el concreto, el cual depende de la porosidad de cada componente.
10. La relación a/c es la que teóricamente determina la porosidad de la matriz del cemento hidratado y la zona de transición entre los agregados y este.
11. El tiempo de curado suele afectar la resistencia y la durabilidad en climas cálido tropical ya que en curado ayuda a las reacciones químicas de hidratación.
12. El tipo de cemento con el cual se es fabricado influye en su comportamiento.
13. Al hidratarse más rápido los productos formados resultan de peor estructura física.
14. La combinación de filter calizo genera dicha resistencia a edades tempranas.
15. La mala aplicación de dosificación hace que se obtengan concretos mal proporcionados que suelen tener una baja relación a/c y ser altamente porosos.
16. El diseño de la mezcla de concreto se enfoca en cumplir los siguientes factores.-
  - La forma de proporcionar los áridos componentes de la mezcla, que garantice el menor vacío que será ocupado por la pasta de cemento.
  - La influencia que ejerce la cantidad de agua de la mezcla en la consistencia del concreto en estado fresco.
  - La relación A/C la cual podrá ser mejorada sustancialmente con el uso de aditivos químicos.
  - Grado de hidratación



## **CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO**

17. En lo que están de acuerdo varios autores es que las calizas de alta pureza son una muy buena adición para los cementos.
18. Al tener un agregado basado en caliza, podemos obtener los mismos resultados sin necesidad de adicionar la como agente activo.
19. Durante el proceso de hidratación las adiciones de caliza reaccionan con el  $C_3A$  para formar carboaluminatos de calcio hidratados, favorecen el desarrollo de resistencia a edades tempranas.
20. Resultando que la medida de la porosidad efectiva de los concretos es a su vez una medida del grado de durabilidad, la composición del agregado puede modificarse ligeramente.
21. Chetumal está compuesto por calizas y dolomías de alta permeabilidad, así como de yesos y anhídritas altamente solubles.

## **CONTENIDO E INFLUENCIA DEL AGUA EN EL CONCRETO. -**

22. El concreto se considera un material de múltiples fases, y su resistencia depende de la porosidad de cada componente.

## **INFLUENCIA EN EL TIEMPO DE MEZCLADO**

23. No todo el cemento reacciona con el agua en una mezcla de concreto, lo que realmente determina la calidad de la pasta de cemento es la concentración de productos sólidos de hidratación del cemento.

Considerando los puntos antes mencionados se puede definir que como el concreto no es un producto genérico si no un producto el cual se enfoca en las características de los materiales, lo que hace que sus propiedades se cuantifiquen o se cualifiquen.

Para tener un régimen de dosificación se aplican ciertas tablas, sin embargo, estas se aplican en un estándar, sin considerar el tipo de obra o las afectaciones de su contexto. Por eso al realizar nuevas dosificaciones algunas propiedades del concreto se benefician o se perjudican.



Hasta el día de hoy la mayoría de las dosificaciones de concretos se enfocan en las relaciones A/C y en una menor cantidad de agregados.

La dosificación del concreto se enfoca en cumplir ciertos puntos, por ejemplo. -

- La forma de proporcionar los áridos componentes de la mezcla, que garantice el menor vacío que será ocupado por la pasta de cemento.
- La influencia que ejerce la cantidad de agua de la mezcla en la consistencia del concreto en estado fresco.
- La relación A/C la cual podrá ser mejorada sustancialmente con el uso de aditivos químicos.
- Grado de hidratación

Al hablar de la resistencia a la compresión tenemos que el concreto evoluciona a los 7 días un porcentaje entre el 70 y el 75% de su resistencia. Al agregar material calcáreo ya sea como agregado o filler se crean centros de nucleación donde comienza una cristalización de los hidróxidos de calcio ayudando a su aumento de resistencia a edad temprana. Algo que también influye es el tipo de agregado poroso que se maneja en la mayoría de las zonas tropicales.

En los agregados al utilizar caliza podemos obtener resultados que nos favorecen en la resistencia del concreto ya que durante el proceso de hidratación las adiciones de caliza reaccionan con el  $C_3A$  para formar carboaluminatos de calcio hidratados, favorecen el desarrollo de resistencia a edades tempranas.



### Capítulo 3. Metodología.

En busca de encontrar una proporción de agua-cemento adecuada que brinde la resistencia a compresión que arrojan las tablas de proporcionamiento del ACI, se realizó esta investigación, en el cual se elaboraron probetas con 7 diferentes relaciones agua/cemento, comparando sus resultados a compresión con una relación a/c menor, para poder reducir la cantidad de pasta cementante sin afectar la resistencia de compresión diseñada.

El enfoque principal se encuentra en la dosificación del concreto, en cual se encarga de la selección y cuantificación de los materiales que lo constituyen. Para esta investigación se utilizó el Método ACI 211.11 en el proporcionamiento de mezclas, por peso.

En el cual se indica que cuando la resistencia alcanzada es mayor que la especificada, como sucedió en algunos casos en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, el margen de sobre diseño dependerá de la uniformidad del concreto, el cual corresponde a la dosificación correcta de la mezcla, la cual se caracteriza por el coeficiente de variación o de desviación estándar y los resultados de las pruebas de laboratorio y las tablas ya publicadas.

Esta experimentación se basó en analizar los resultados de resistencia a la compresión axial y presentar propuestas de un coeficiente para dosificar la relación A/C.

Los agregados utilizados para el estudio se obtendrán del Banco, Ejido Juan Sarabia, propiedad de la compañía AGBLO (KM 21) el cual se consideró con un nivel de confianza del 99.7% con un promedio de resistencia a la compresión de 80.21 kg/cm<sup>2</sup>, considerándolo como el banco de agregados con mayor calidad en Chetumal, Quintana Roo, además de ser el más solicitado por los constructores (Rejón, 2015) (Hernández, 2013).



Se realizó una recolección de datos, de relaciones A/C y sus resultados de resistencia a compresión a nivel local, nacional e internacional de la cual se obtuvo un promedio para la elección de los concretos a elaborar.

Para la creación de los cilindros los procesos necesarios serán definidos a continuación:

- I. Caracterización de los agregados
- II. Diseño de las mezclas
- III. Preparación de las mezclas
- IV. Caracterización del concreto fresco
- V. pruebas en concreto fresco
- VI. Caracterización del concreto endurecido
- VII. Pruebas en concreto endurecido
- VIII. Resultados existentes.

(Cabrerá Díaz 2010)

La metodología planteada se desarrolló desde un concepto experimental y cuantitativo. Los estudios realizados fueron tanto de campo como de laboratorio.

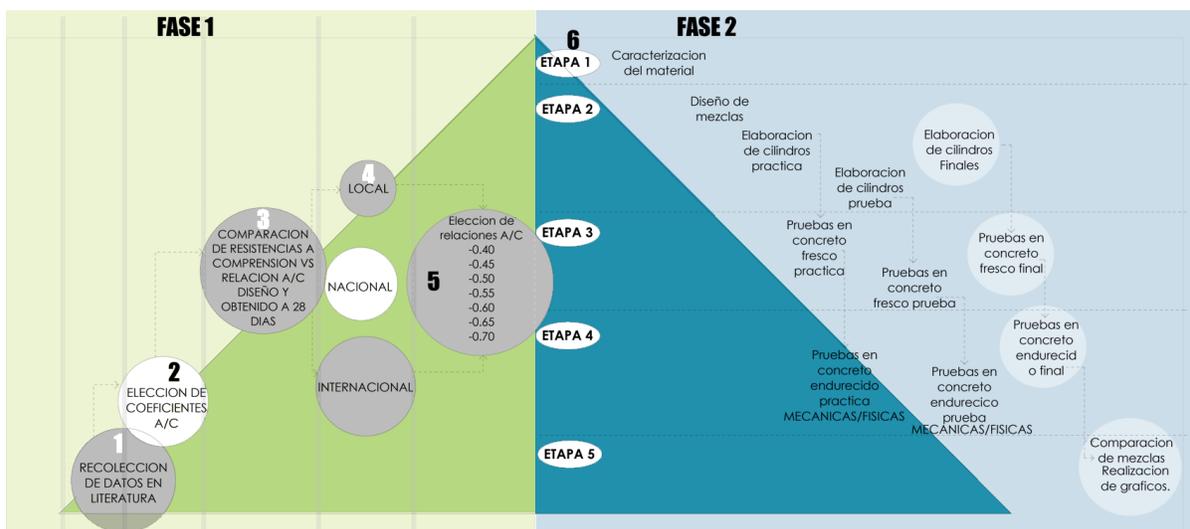


Figura 1.- esquema metodológico general



Como se muestra en la figura 1, en la fase uno se realizó la recolección de datos en literatura y la elección de coeficientes de agua/cemento, junto con su comparación de resistencias a compresión contra resistencia de diseño a nivel nacional, internacional y local, las cuales fueron elegidas desde la relación agua cemento 0.4 hasta la 0.7 con variaciones de 0.05.

En la segunda fase se realizaron las etapas de laboratorio las cuales consistieron en la caracterización del material, diseño de mezclas, pruebas en concreto fresco y endurecido para después realizar la comparación de mezclas según los resultados presentados por el ACI 211.1. En la figura 2 se describe puntualmente las etapas de la metodología.

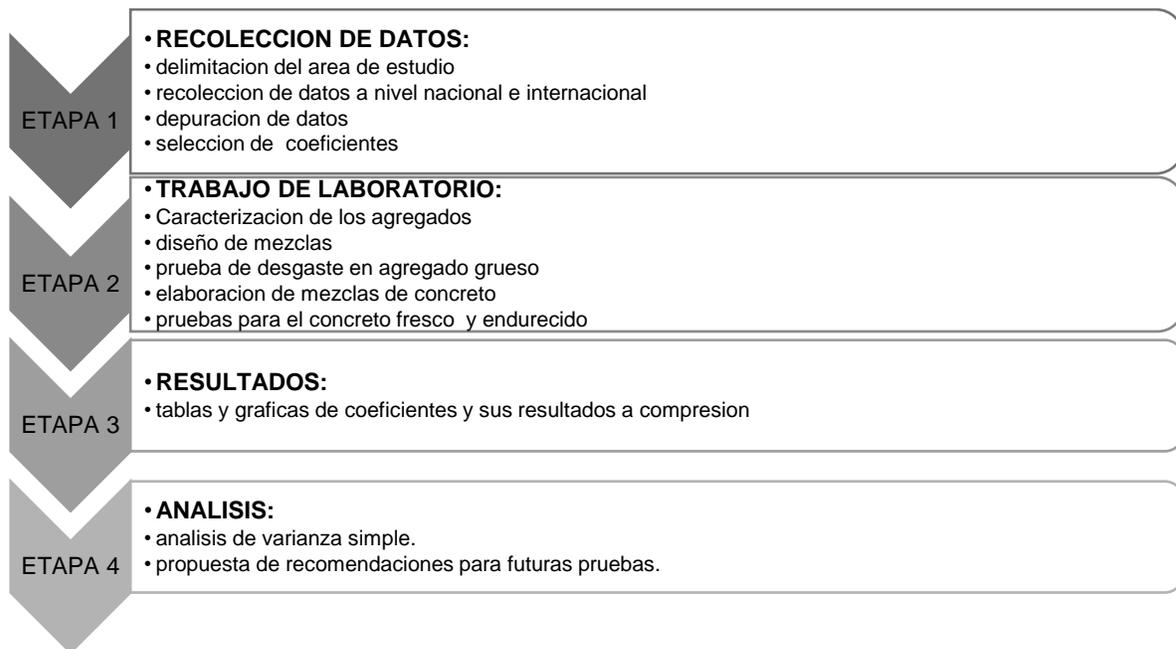


Figura 2.- etapas de la metodología.

### 3.1.- Métodos de trabajo / Procedimiento experimental

En la tabla 5 se muestra la forma Jerarquizada la interrelación entre los objetivos planteados y el procedimiento experimental para obtenerlo.



Tabla 5.- Esquema de objetivos y procedimientos de la investigación.

<b>HIPÓTESIS DE TRABAJO</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>ACTIVIDADES RELEVANTES</b>
<p>En el diseño de mezclas de concreto con el método del ACI 211.1 en masa, es posible reducir la cantidad de cemento hasta en un 15% y alcanzar la resistencia a la compresión de diseño, utilizando agregado calizo en clima cálido subhúmedo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudiar las resistencias a compresión obtenidas de un concreto con un agregado calizo en un clima cálido subhúmedo</li> </ul>	<p>Recolección de datos a nivel local, nacional e internacional.</p>
<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Con respecto a las relaciones A/C proporcionadas por el método de diseño de mezclas del ACI, reducir la cantidad de cemento hasta un 15%, alcanzando las resistencias a la compresión esperadas para una zona cálido subhúmeda con agregados calizos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño del experimento, estableciendo las diferentes relaciones agua/cemento a utilizar en el diseño de mezclas.</li> <li>- A Través del análisis de resultados, encontrar el porcentaje de cemento que se propondrá reducir sin afectar la resistencia a compresión de diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtención de agregados</li> <li>- Caracterización de agregados</li> <li>- Pruebas físicas a los agregados</li> <li>- Diseño de mezclas</li> <li>- Pruebas en concreto fresco.</li> <li>- Pruebas en concreto endurecido.</li> </ul>
<p><b>PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>¿En qué porcentaje se podrá reducir la cantidad de cemento, sin afectar las resistencias a compresión de diseño?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analizar la correlación con del módulo de elasticidad en función de la resistencia a la compresión del concreto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pruebas de porosidad, absorción y densidad</li> </ul>



### 3.2.- Diseño experimental

En la figura 3 se puede observar el esquema metodológico general, se presentó el diseño experimental en el cual se exponen las etapas a realizadas en la experimentación.



Figura 3.- Esquema Metodológico General.

En la tabla 6, se muestra el estudio de los especímenes de concreto probados a compresión analizados a nivel local nacional, internacional y local. Los cuales brindaron las relaciones A/C en base al porcentaje de aumento en la compresión del concreto. De igual manera se puede apreciar de forma gráfica en la figura 4.



Tabla 6.- porcentaje de aumento  
(elaboración propia)

% aumento en compresión	Número de Pruebas Testigo
0-15	7
15-25	6
25-35	4
35-45	2
45-55	1
55-65	1
65-70	1

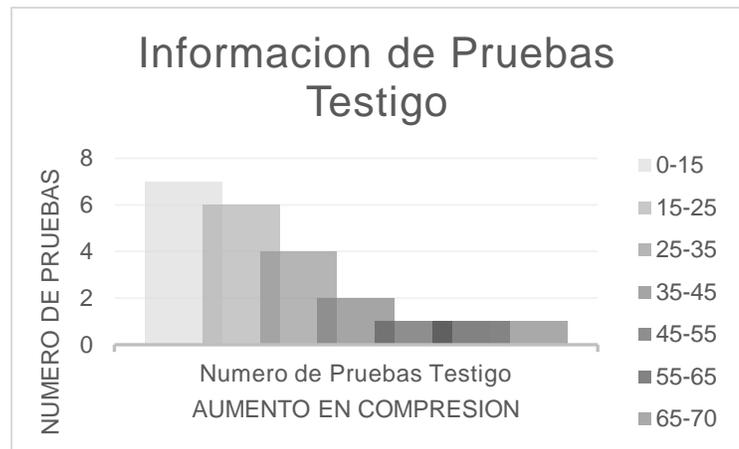


Figura 4.- grafica de porcentajes de aumento.

### 2.3.1 delimitación del área de estudio. -

Concreto con diferentes relaciones de A/C con agregados calizos en Chetumal, Quintana Roo. Abarcando relaciones de A/C del 0.4 al 0.7 con intervalos de 0.5 a nivel local, nacional e internacional para obtener una media en el porcentaje de cemento que se puede disminuir.

### 2.3.2 Determinación del enfoque y tipo de investigación. -

Esta investigación se considera experimental ya que se realizaron diferentes pruebas de laboratorio donde se determinó las propiedades mecánicas y físicas del material. El nivel de medición es cuantitativo.

### 2.3.3 Recolección de datos. -

Se recabo información a través de artículos científicos, tesis, entre otros. Donde se demostraba que el concreto alcanzaba una resistencia a la compresión mayor que la diseñada.



### Depuración de datos.

Tomando en cuenta la gran cantidad de información sobre los diseños de mezcla existentes se fueron descartando los concretos con adiciones, dejando solo para el análisis las pruebas testigo.

En el caso de los resultados obtenidos se utilizó el criterio de CHAUVENET y la desviación estándar para descartar si un dato experimental o de un conjunto de datos era atípico.

### 3.3.- Variables. -

Las variables a utilizar son:

#### **VARIABLE DEPENDIENTE:**

- Resistencia a compresión axial.

#### **VARIABLE INDEPENDIENTE:**

- Relación a/c.

#### **VARIABLES A CONTROLAR:**

- Características de los agregados
- Tipo y tiempo de mezclado
- Temperatura ambiente
- Método de curado
- Tipo de cemento

### 3.4.- Probetas a utilizar. –

Se utilizaron 7 relaciones agua/cemento mostradas en la tabla 7 resultado de la interpolación de las tablas del ACI 211.1, basándonos en una proporción de 15 % de reducción en cemento, datos obtenidos de la revisión de literatura a nivel nacional e internacional.



Como se observa en la figura 5 se aprecia el número de probetas como la relación correspondiente según sus pruebas mecánicas o físicas.

Teniendo en las pruebas mecánicas se tienen probetas a los 3, 14 y 28 días. Las cuales se utilizaron para observar el comportamiento del aumento o decremento de su resistencia a compresión. Así mismo se tiene el desglose de las tres probetas para pruebas físicas, utilizando cada una por familia para absorción, densidad y porosidad.

Tabla 7.- Interpolación de Relaciones Agua-Cemento y resistencia a la compresión esperada (ACI211.1).

Relación a/c	Resistencia a compresión (ACI 211.1)
a/c 0.4	420
a/c 0.45	380
a/c 0.5	330
a/c 0.55	300
a/c 0.6	260
a/c 0.65	230
a/c 0.7	200

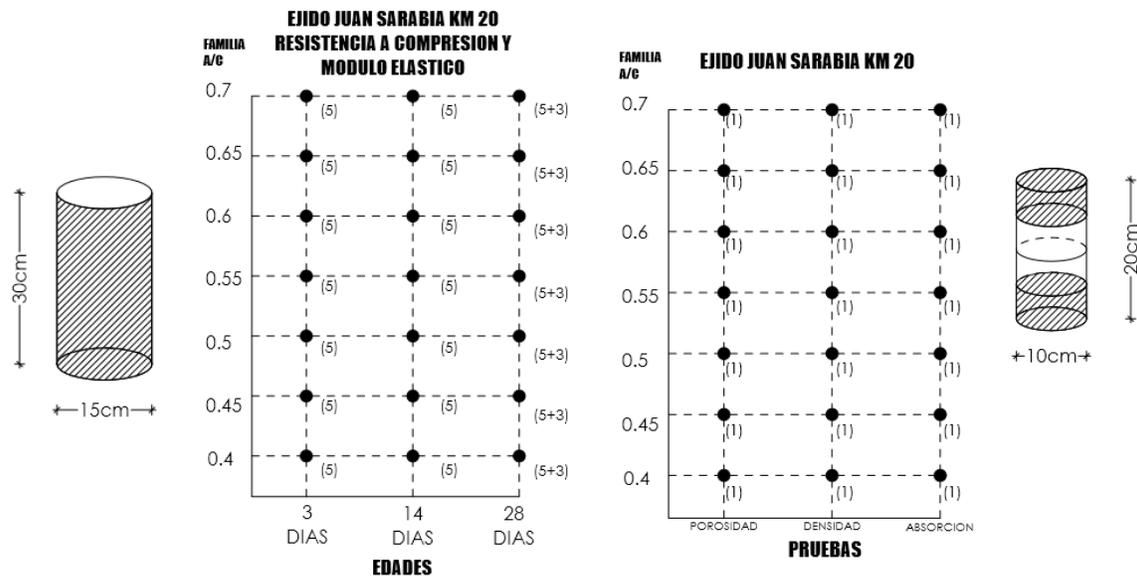


Figura 5.- Diseño del Experimento



### 3.5 Trabajo de Laboratorio, Normas.

#### Etapa uno. - caracterización de los materiales.

#### ASTM D75 Muestreo de Agregados Finos y Gruesos.

Basado en la norma ASTM D75 se tomó la muestra de agregado en el banco de materiales mencionado anteriormente Juan Sarabia (km21), la muestra de prueba fue elegida con método aleatorio de acuerdo con la norma ASTM D3665. Una vez elegida la sección de donde se tomaría el material se seleccionó una muestra de 20kg a la cual se le realizaron pruebas preliminares para verificar que el material elegido es un material de calidad para la construcción. Después de realizar las pruebas granulométricas se hizo la compra del material necesario para realizar la experimentación.(ASTM D 75-97, 1997)



*Volteado del material en forma cónica.*



*Cuarteo del agregado fino.*

*Figura 6.- muestreo de materiales.*

El transporte y resguardo de ambos agregados fue en sacos para evitar la contaminación del material. En la figura 6 puede apreciarse el cuarteo del material pétreo.



*ASTM C702 Reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayos (cuarteo).*

Para la reducción de muestras, se utilizó la norma ASTM C702. Se utilizó el Método B (Cuarteo), de la norma ASTM D75 donde se colocó la muestra en una superficie limpia y plana, se mezcló el material volteando la muestra un promedio de tres veces, formando una muestra cónica, donde se apilo la muestra hasta lograr darle un espesor y un diámetro adecuado. Se dividió la muestra en 4 partes (Figura 7), con una pala se redujo a 2 cuartos diagonales opuestos. Se mezcló y se volvió a cuartear el material hasta obtener 40kg de la muestra para la caracterización del material. (ASTM C 702 - 98, 1998)



*Material extendido para el cuarteo.*



*Cuarteo de agregado grueso.*

*Figura 7.- Cuarteo del material.*



### *ASTM C33 Granulometría de los agregados. -*

Una vez realizado el muestreo se llevó a cabo el análisis granulométrico por la norma ASTM C33 en esta especificación se utilizó la definición de requisitos de los límites de granulometría y calidad de agregados. Se cuarteará el material y se tomará una muestra de 15kg para la repetición de las pruebas de granulometría del agregado grueso y 1.5 kg para el agregado fino. El material se sometió a secado en el horno  $24h \pm 4$  para la prueba. (ASTM C33 -08, 2008)

### **Granulometría de la grava. -**

Material y equipo:

- Horno
- Cribas para agregado grueso: 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4 y No. 8
- Balanza
- Cucharón
- Charolas
- Máquina vibradora

Procedimiento:

Una vez eliminada la humedad de la muestra para la prueba por medio del horno con una masa constante de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas  $\pm 4$  horas, se separó una de las muestras de 3kg (para evitar la saturación del agitador) y se cribó el material sobre las mallas 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4 y No. 8 referente a la norma ASTM C-136, en orden descendente durante 10 min para así conocer el tamaño máximo del agregado. Se graficó el peso del material retenido en cada malla anotando el material que pasa y el que se retiene. (Figura 8)



*Muestra de 3 kg secada en horno*



*Cribas en orden descendente*



*Muestra de material que se retiene según las  
mallas muestra 1*



*Muestra de material que se retiene según las  
mallas muestra 2*

*Figura 8.- Granulometría agregado Grueso.*



## **PROMEDIO DE GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO**

Los datos de la tabla 8 presenta los promedios elegidos para la caracterización del material y el diseño de muestras.

Tabla 8.- muestra de granulometría promedio agregado grueso.

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO ASTM C33

TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	¾	19 to 9.5 mm (3/4 in to 3/8 in)				
TAMAÑO DE LA MUESTRA	3000	g				
MALLA	RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITE MAXIMO	LIMITE MINIMO
1	0	0.00	0.00	100.00	100	100
¾	411.8	13.73	13.73	86.27	100	90
½	1594.4	53.15	66.87	33.13	55	20
⅜	685.4	22.85	89.72	10.28	15	0
¼	256.6	8.55	98.27	1.73	5	0
#4	6.8	0.23	98.50	1.50	0	0
#8	2.6	0.09	98.59	1.41		
FONDO	29.4	0.98	99.56	0.43		

FIGURA 9, de los porcentajes que pasaron la norma ASTM C33, donde se observa que cumple con los límites granulométricos para una grava de 19mm.

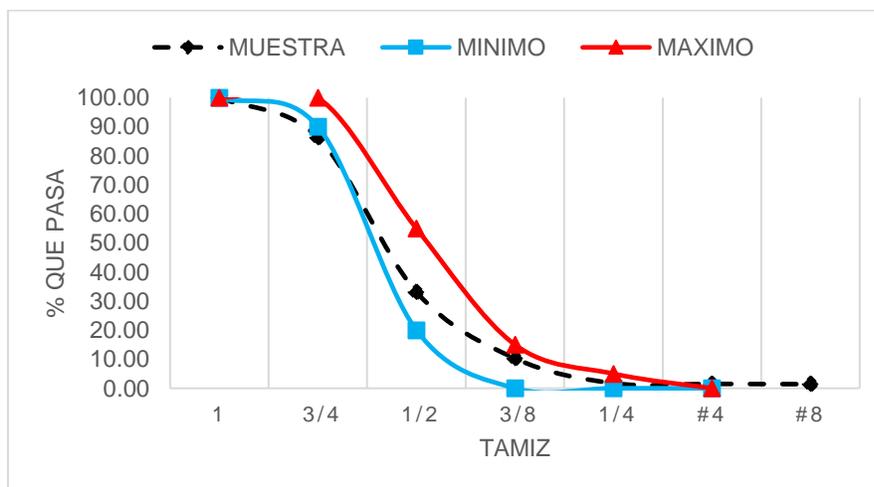


Figura 9.- granulometría del agregado grueso muestra uno.



### **Granulometría de la arena. -**

Material y equipo:

- Horno
- Mallas para agregado fino: 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100 y No. 200.
- Cucharon
- Charolas
- Maquina vibradora
- Balanza

Procedimiento:

Después de realizar el cuarteo de la muestra se lavó el material de acuerdo a la norma ASTM C117, para determinar el exceso de finos que pasan por la malla #200. Se colocó la muestra en el horno con una masa constante de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante  $24\text{ horas} \pm 4\text{ horas}$  para así eliminar el exceso de humedad.

Se eligió muestras de 500g y se cribó el material sobre las mallas de acuerdo a la norma ASTM C-136: 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100 y No. 200., en orden descendente durante 10 min para así conocer el tamaño máximo del agregado y su módulo de finura. Se graficó el peso del material retenido en cada malla anotando el material que pasa y el que se retiene. (Figura 10)

Formulas:

*Ecuación 1. - porcentaje retenido acumulado en mallas.*

$$Mf = \frac{\sum \% \text{ RETENIDO ACUMULADO}}{100}$$

*Mf = módulo de finura.*

*$\sum\%$  = porcentaje retenido en las mallas.*



Granulometría de agregado fino



Cuarteo del agregado fino



Agregado fino dentro del agitador



Lavado del material



Agregado fino dentro del mallas

Figura 10.- granulometría del agregado fino.

## **PROMEDIO GRANULOMETRIA AGREGADO FINO**

La tabla 9 presenta la granulometría del agregado fino, presentando el porcentaje que pasa.

Tabla 9.- muestra de granulometría agregado fino.

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO ASTM C33						
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO						
TAMAÑO DE LA MUESTRA		500	g			
MALLA	RETENID O (g)	% RETENID O	% ACUMULAD O	% QUE PASA	LIMITE MAXIMO	LIMITE MINIMO
3/8	0	0.00	0.00	100.00	100	100
#4	2.667	0.53	0.53	99.47	100	95
#8	69.000	13.80	14.33	85.67	100	80



#16	115.000	23.00	37.33	62.67	85	50
#30	84.667	16.93	54.27	45.73	60	25
#50	74.000	14.80	69.07	30.93	30	5
#100	57.667	11.53	80.60	19.40	10	0
#200	35.333	7.07	87.67	12.33	5	0
FOND O	23.667	4.73	92.40	7.60		
	462.00	92.40		443.87		

<b>MF</b>	2.561
-----------	-------

FIGURA 11, porcentajes que pasaron la norma ASTM C33, donde se observa que se cumple con los límites granulométricos para una grava de 19mm.

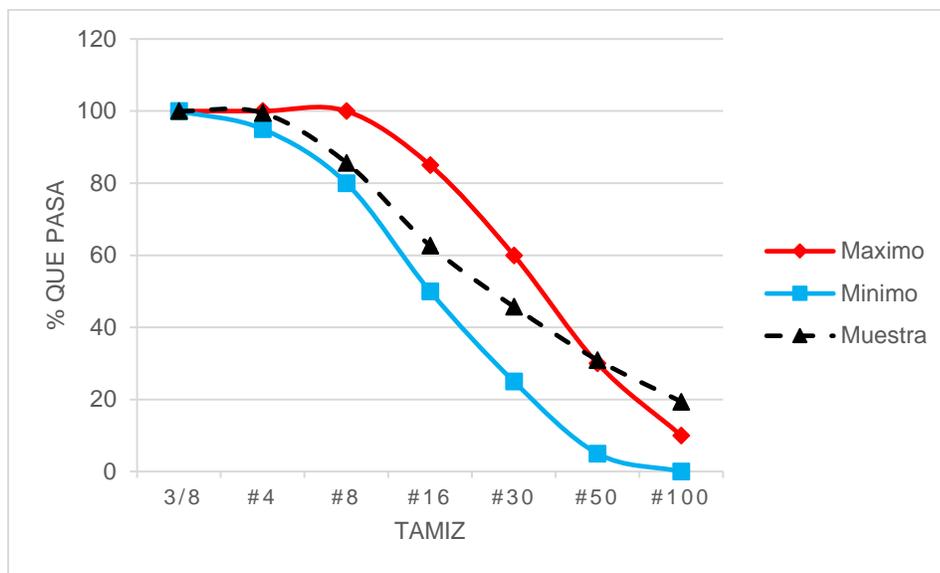


Figura 11.- granulometría del agregado fino muestra uno.

Formulas:

Ecuación 2. - porcentaje retenido acumulado en mallas

$$Mf = \frac{\sum \% \text{ RETENIDO ACUMULADO}}{100}$$

$Mf$  = módulo de finura.



*ASTM C-131 Método de ensayo. Determinación de la resistencia al desgaste, del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1½ pulg), por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles.*

Para la prueba se utilizó el método de ensayo que cubre el procedimiento para el ensayo de desgaste de los agregados gruesos de tamaño hasta de 37.5 mm (1½ pulg), usando la máquina de los Ángeles.

El ensayo consiste en una medida de desgaste de los agregados minerales de graduaciones estándar, resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y trituración en un tambor rotatorio de acero. Al cual se le colocaran esferas de acero dependiendo de la graduación de la muestra (B).

Después del número prescrito de revoluciones, el contenido es removido y el agregado se tamiza para medir el desgaste como pérdida de porcentaje. (ASTM C131-06, 2006, p. 131)

Equipo y material. -

- Máquina de los Ángeles
- Esferas de acero
- Tamices
- Balanza
- Cuchara metálica
- Horno

Procedimiento:

### **CARGA DE ESFERAS DE ACERO**

La carga de las esferas de acero tendrá un diámetro de 46.8mm y con una masa de 390g y 445g cada una.

La muestra de ensayo utilizo la graduación como se indica en la tabla 10.



Tabla 10.- Graduación y Número De Esferas (ASTM C131)

Graduación	Numero de esferas	Masa de la carga, g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

### **OBTENCION DE MUESTRAS**

La muestra se obtuvo de acuerdo a la práctica ASTM D75 y se redujo la muestra de ensayo según la norma ASTM C702.

### **PREPARACION DE LA MUESTRA DE ENSAYO**

La muestra se lavó y se secó al horno a una masa constante de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Para poder separarla en fracciones de tamaño dependiendo su graduación. (tabla 11)

Tabla 11.- tamaño de tamiz y graduaciones para muestra de ensayo.

Tamaño del tamiz, mm (pulg) (abertura cuadrada)		Masa de los tamaños indicados g			
		Graduaciones			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37.5	25	1250±25	-	-	-
25.0	19	1250±25	-	-	-
19	12.5	1250±10	2500±10	-	-
12.5	9.5	1250±10	2500±10	-	-
9.5	6.3			2500±10	-
6.3	4.75			2500±10	5000±10
4.75	2.36	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

### **PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

Se colocó la muestra de masa con graduación B, 2.5kg de agregado grueso tamizado por el tamiz  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  2.5kg por el tamiz  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{8}$ .



Una vez colocadas las muestras se le colocaron 11 esferas, se giró el tambor a una velocidad de 30 a 33 rpm, hasta alcanzar 500 revoluciones, después se retiró el material y se tamizó el material más grueso que el tamiz #12.

Se tamizó la porción fina en un tamiz #12, como lo establece la norma ASTM C136. Se lavó el material por el tamiz #12 y se secó al horno una temperatura entre 110°C ± 5°C hasta obtener una masa constante y se pesó con una aproximación de un gramo.

**CALCULOS. -**

Se calculó la pérdida como un porcentaje de masa original de la muestra de ensayo.

*Ecuación 3. - pérdida de porcentaje de masa original de la muestra de ensayo.*

$$D = \left( \frac{w_i - w_f}{w_i} \right) 100$$

En donde:

*D= el desgaste del material pétreo, en porciento.*

*W<sub>i</sub>= es el peso inicial de la muestra de prueba, en gramos.*

*W<sub>f</sub>= es el peso final de la muestra de prueba retenida en la malla N°12, en gramos.*

N° DE ESFERAS PARA EL ENSAYO	11	VELOCIDAD	33 rpm	TOTAL, DE REVOLUCIONES	500 rev
MUESTRA 1			MUESTRA 2		
	MALLA	GRAMOS		MALLA	GRAMOS
	1/2	2500		1/2	2500
	3/8	2500		3/8	2500
		5000			5000
Retenido en la malla #12	3280		Retenido en la malla #12	3300	
Diferencia	1720		Diferencia	1700	
% Desgaste	34.4%		% Desgaste	34%	
$\bar{X} = 34.2\%$					



Se obtuvo un desgaste promedio de 34.2% lo cual indica que al ser un agregado poroso el nivel de desgaste es muy alto.

Los agregados influyen directamente en las características del concreto endurecido, por su resistencia, tamaño de partículas entre otras características, la mayor porosidad de los agregados propicia una mejor adherencia, sin embargo, siempre tendrá un mayor desgaste. (Yam, Carcaño56, & Moreno, 2003)



### *ASTM C-128 Densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino*

Para la prueba de densidad se aplicó la norma ASTM C128, en este método se determina la densidad media, la densidad relativa y la absorción del agregado fino. (ASTM C 128 - 03, 2003, p. 128)

Equipo y material. -

- Picnómetro
- Molde de cono 40+-3mm
- Pinzón metálico 90 +-3mm
- Cuchara metálica
- Balanza
- Agregado fino
- Dispositivo de calor
- Horno

Procedimiento. -

#### ***MEDIDA DE ESTADO SSD (SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO)***

Primero se pesó 1.100kg de agregado basado en la norma ASTM 702 para la reducción de la cantidad apropiada, la muestra se secó al horno por 24h  $\pm$ 4h a 110  $\pm$ 5 °C para eliminar la humedad del ambiente absorbida por el agregado fino, se sumergió en agua durante 24h  $\pm$ 4h para saturarlo completamente, después del tiempo transcurrido se decantó el agua evitando la pérdida de finos, y sobre una plancha metálica se esparció la arena, esta plancha se colocó sobre un dispositivo de calor y se mezcló hasta obtener una homogeneidad de secado. Para poder determinar si la humedad superficial aún se encontraba en las partículas del agregado fino. (Figura 12)



*Selección de 500g del agregado*



*Decantar el agua evitando la pérdida de finos.*

*Figura 12.- Densidad del agregado fino*

### **PRUEBA SUPERFICIALMENTE (HÚMEDAD DEL AGREGADO)**

Se realizó el primer intento para detectar la humedad superficial, se continuó las pruebas a intervalos hasta alcanzar la condición de superficialmente seco. Se colocó el Molde de cono 40+-3mm sobre una superficie no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo, se llenó el cono en tres capas y se apisono con el Pinzón metálico 90 +-3mm en intervalos de 10, 10 y 5.

Al momento de retirar el exceso se levantó le molde verticalmente, y si aún existía humedad el agregado seguiría con la forma del molde, cuando se presentó el desplome de la parte superior del cono, se alcanzó la condición de superficialmente seco. Se separaron 500g para la prueba gravimétrica y el resto para su secado en el horno en una masa constante por 24h  $\pm$ 4h a 110  $\pm$ 5 °C. (Figura 13)



*Llenado del cono en tres capas*



*Prueba de humedad en cono.*



*Desplome del agregado fino*

*Figura 13.- prueba superficialmente seca*

### **PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO**

Como se puede observar en la figura 14, se eligió realizar el procedimiento gravimétrico, con picnómetro. Se llenó con agua parcialmente el picnómetro y se agregaron los 500g del agregado fino saturado superficialmente seco, se llenó hasta la marca hasta el 90% de su capacidad, se colocó una tapa y comienza la agitación para mezclar el agregado con el agua del picnómetro durante 10 a 15 minutos y se tomó su temperatura ajustándola  $23^{\circ} \pm 2^{\circ}$ .

Se tomó medida de la masa total del picnómetro con el agregado.

Se decantó el agua del picnómetro y se colocó en el horno por masa constante por  $24h \pm 4h$  a  $110 \pm 5^{\circ}C$ . Pasando el tiempo de secado se toma el peso del material para proceder a los cálculos correspondientes.





*Agregado dentro del picnómetro*



*Ajustar la temperatura con el picnómetro con agregado*



*Peso del picnómetro con el agregado*



*Llenado del picnómetro con agua*



*Peso del picnómetro con agua*



*Ajuste de temperatura*



*Picnómetro con agregado*

*Mezcla del agregado con el agua*

*Peso total de la masa.*



*Picnómetro decantado*



*Desecho del agua sobrante*



*Peso del material seco en horno*

*Figura 14.- procedimiento gravimétrico*



Cálculos. -

- A) Masa de la muestra de ensayo seca al horno.
- B) Masa del picnómetro con agua hasta la marca de calibración.
- C) Masa del picnómetro con muestra de ensayo y agua hasta la marca de calibración.
- S) Masa de la muestra de ensayo, saturada de superficie seca.
- H) Contenido de agua %
- Mh) Muestra húmeda
- Ms) Muestra seca

Formulas. -

### DENSIDAD RELATIVA

Ecuación 4.- Densidad relativa, seca al horno, SSS, Relatividad Aparente y Absorción. (ASTM C128)

<b><u>DENSIDAD RELATIVA (SECA AL HORNO)</u></b> $S=A/(B+S-C) =$	<b><u>DENSIDAD RELATIVA SSS</u></b> $SSS= S/(B+S-C)$
<b><u>DENSIDAD RELATIVA APARENTE</u></b> $DRA= A/(B+A-C) =$	<b><u>ABSORCION</u></b> $Absorción \% = 100((S-A) /A)$



## **PROMEDIO ASTM C128**

Para la prueba de densidad relativa se realizaron varias repeticiones del experimento, para tener un valor estadístico y una aproximación más exacta y global de la muestra del agregado fino. Se realizó 5 veces y se promedió para obtener la caracterización para el diseño de mezclas, sin embargo el diseño y colado de las pruebas se realizó aproximadamente 3 semanas después y debido al clima tan cambiante la caracterización tuvo una severa variación, afectando los resultados del revenimiento y el contenido de agua de las mezclas.

Por tal motivo se repitió la prueba 2 ocasiones más, las cuales se muestran a continuación junto con su promedio en la tabla 12.

*Tabla 12.- promedios densidad relativa del agregado fino.*

<u>DENSIDAD RELATIVA</u>	<u>M1</u>	<u>M2</u>	<u>PROMEDIO</u>
DENSIDAD RELATIVA (SECA AL HORNO) (S)	2.568	2.604	<b>2.5820</b>
DENSIDAD RELATIVA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)	2.631	2.673	<b>2.6455</b>
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (DRA)	2.741	2.798	<b>2.7570</b>
<u>ABSORCION</u>	2.459	2.66	<b>2.4590</b>



### *ASTM C-127 Peso específico y absorción de material grueso*

Para la medición del peso específico y la absorción del material se utilizó la norma ASTM C 127.(ASTM C127 01, 2001)

#### Equipo y material

- Agregado grueso
- Tamiz
- Horno
- Tanque con agua
- Cesto de alambre
- Manta
- Balanza

#### Procedimiento. -

Se realizó el muestreo de acuerdo a la norma D75, se redujo la muestra hasta la cantidad en kilogramos necesitada para su elaboración (3kg por prueba), esta selección se tamizo en seco por la malla #4 en la cual se desecharon todas las partículas menores de 4.75 mm. Se lavó el material para retirar los finos (figura 15).



*Cuarteo según la norma ASTM C702*



*Material cribado por la malla #4*

*Figura 15.- peso específico del agregado grueso*

Se colocó en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ$  C hasta obtener una masa constante, se dejó enfriar a temperatura normal por 1 hora para su manipulación, se



tomó su peso y después se sumergió en agua por un periodo de  $24 \pm 4$  h. Pasado el tiempo de la mezcla sumergida en agua, se decantó el excedente y se secó superficialmente con un paño, hasta dejar opacas las partículas evitando la evaporación del agua, se determina la masa superficialmente seca (figura 16).



*Material seco en horno.*



*Material sumergido en agua 24 horas.*

*Figura 16.- Peso Sumergido Y Peso Seco Agregado Grueso.*

Se colocó el material en una cesta de acero y se sumergió en agua para pesar su peso suspendido, para el cual se apoyó con una báscula. Después de tomar el peso suspendido se colocó la muestra en el horno en un promedio de  $24 \pm 4$  h para el secado total de las partículas y así obtener su masa en condición seca (figura 17).



*Peso del material sumergido.*



*Peso del material sumergido.*

*Figura 17.- Peso Del Material Sumergido*



## CALCULOS

- A) MASA AL AIRE DE LA MUESTRA SECA EN HORNO.
- B) MASA AL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA.
- C) MASA APARENTE DE LA MUESTRA EN AGUA.
- AB) ABSORCION.

*Ecuación 5.- masa al aire seca en Horno, SSS, En agua y absorción.*

### PROMEDIO DE ASTM C127.-

Para la prueba de peso específico y absorción del material se realizaron 5 ensayos por motivos estadísticos, estos se decidieron desechar ya que la caracterización del material cambio debido al clima que transcurrió durante las 3 semanas donde no se trabajó con el material.

Al realizar el diseño de mezclas y las pruebas en concreto fresco se vieron afectados y se decidió cuartear el material, para homogeneizarlo, y se realizaron 2 pruebas más, las cuales se muestran a continuación junto con su promedio en la tabla 13.

*Tabla 13.- densidad relativa del agregado grueso.*

<u>DENSIDAD RELATIVA</u>	<u>M1</u>	<u>M2</u>	<u>PROMEDIO</u>
DENSIDAD RELATIVA (SECA AL HORNO) (S)	2.3122	2.3076	<b>2.3099</b>
DENSIDAD RELATIVA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA (SSS)	2.4165	2.4133	<b>2.4149</b>
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (DRA)	2.5815	2.5802	<b>2.5809</b>
<u>ABSORCION</u>	4.51	4.58	<b>4.5450</b>



### *ASTM C-29 Densidad aparente peso unitario y vacíos en agregados finos y gruesos*

Obtención de densidad aparente peso unitario y vacío en agregado fino y grueso. De acuerdo a la norma ASTM C-29. (ASTM C 29/C29 M, 2003)

#### Equipo y material

- Agregado grueso y fino
- Termómetro
- Horno
- Balanza
- Varilla apisonadora
- Cristal

#### Procedimiento. -

Se tomó la muestra específica de acuerdo a la norma ASTM D75 y se hizo el muestreo con la ASTM 702. Se secó la muestra de 18kg en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ$  C. Para tener un volumen suficiente en las pruebas de estadística.

#### **CALIBRACION DEL RECIPIENTE.**



*Se llena el recipiente con agua para su calibración*



*Se eliminan burbujas de aire*



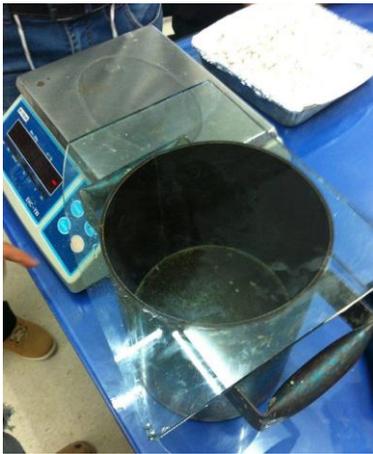
*Utilización del gotero para evitar vacíos.*

*Figura 18.- Calibración del recipiente*



Primero se tomó el recipiente junto con la placa de vidrio como se muestra en la figura 18 y se pesaron para después llenarlo con agua a temperatura ambiente, se interpolo el factor ya que en la tabla no se tenía tal cual, Se cubrió el recipiente con la placa de vidrio y con un gotero se llenó hasta eliminar las burbujas de aire. Se tomó el peso del recipiente (Figura 19).

La densidad interpolada fue de 996.25, con estos datos se continuo a realizar el cálculo del factor para el recipiente.



*Recipiente calibrado*



*Peso del recipiente calibrado*



*Ajuste de temperatura.*

*Figura 19.- Recipiente Calibrado*

*Ecuación 6. - factor de calibración para norma ASTM*

$$\text{FACTOR} = \frac{996.25}{4.843} = 205.76$$

### **PROCEDIMIENTO DE VARILLADO.**

Al tener estos factores se prosiguió por llenar el recipiente con el agregado compactado el cual se realizó el procedimiento de varillado, se llenó un tercio del recipiente y se varillo la primera capa sin tocar el fondo dando 25 golpes con la varilla distribuyéndolos sobre la superficie, repitiendo el mismo procedimiento 2 veces más hasta dejar al ras, se nivelo con la varilla evitando vacíos en la superficie, y se procedió a tomar su peso compactado.



Al tomar el peso suelto el llenado fue realizado en forma de espiral y sin comprimir por capas, se enraso de igual manera que el compactado y se tomó su peso suelto.

El procedimiento fue el mismo para ambos agregados.

## **CALCULOS**

*Ecuación 7.- densidad aparente de los agregados.*

### DENSIDAD

*M) DENSIDAD APARENTE DE LOS AGREGADOS*

$$M = (G-T) / V \text{ o } M = (G-T) F$$

*G) MASA DE LOS AGREGADOS MAS EL RECIPIENTE*

*T) MASA DE RECIPIENTE KG (LB)*

*V) VOLUMEN DEL RECIPIENTE M<sup>3</sup>*

*F) FACTOR PARA RECIPIENTE M<sup>3</sup>*

$$MSSD = (M (1+A/100))$$

### CONTENIDO DE VACIOS

CALCULA EL CONTENIDO DE VACIOS EN LOS AGREGADOS USANDO LA DENSIDAD APARENTE DETERMINADA MEDIANTE VARILLADO

*Ecuación 8.- Porcentaje de Vacíos.*

$$\% \text{ DE VACIOS} = 100((S \times W) - M) / (S \times W)$$

*M= DENSIDAD APARENTE DE LOS AG. KG/M<sup>3</sup>*

*S= DENSIDAD RELATIVA (BASE SECA) LA CUAL SE DETERMINA POR EL METODO C 127*

*W= DENSIDAD DEL AGUA = 996.25 KG M<sup>3</sup>*



En la tabla 14 y 15, se muestran los resultados presentados después de los ensayos de laboratorio de la prueba ASTM C-29 en los cuales se realizó un promedio para abarcar una muestra más completa del peso unitario de los agregados.

Tabla 14.- promedio peso unitario agregado fino.

<u>NORMA</u>		<b>AGREGADO FINO</b>		
<u>MUESTRA</u>		M1	M2	promedio
ASTM	SUELTO	1583.3	1589.9	1,586.6
C29	COMPACTO	1770.8	1776.1	1,773.4

En el agregado fino se obtuvo un promedio del material suelto de = 1,586.6  
Y en el material compactado se obtuvo un promedio de= 1,773.4

Tabla 15.- promedio peso unitario agregado grueso.

<u>NORMA</u>		<b>AGREGADO GRUESO</b>				
<u>MUESTRA</u>		M1	M2	M3	M4	promedio
ASTM	SUELTO	1237.23	1236.41	1244.23	1258.02	1,243.9725
C29	COMPACTO	1338.47	1368.1	1380.44	1349.17	1,359.0450

En el agregado grueso se obtuvo un promedio del material suelto de = 1.243.97  
Y en el material compactado se obtuvo un promedio de= 1359.04



### Resumen de Caracterización del material

A continuación, en la tabla 16 se muestran las pruebas y su promedio, se muestra el resumen de caracterización del material (figura 17), para poder proceder con el diseño de muestras.

Tabla 16.- muestra de granulometría promedio agregado grueso.

<b><u>NORMA</u></b>		<b>AGREGADO FINO</b>			<b>AGREGADO GRUESO</b>				
<b><u>MUESTRA</u></b>		M1	M2	promedio	M1	M2	M3	M4	promedio
<b>ASTM</b>	SUELTO	1583.3	1589.9	1,586.60	1237.23	1236.4	1244.2	1258.0	1,243.97
<b>C29</b>	COMPACTO	1770.8	1776.1	1,773.40	1338.47	1368.1	1380.4	1349.1	1,359.05
<b>ASTM</b>	MF	2.56	2.54	2.561					
<b>C 33</b>									
<b>ASTM</b>	S	2.568	2.604	2.5820	2.3122	2.3076			2.3099
<b>C128,</b>	SSS	2.631	2.673	2.6455	2.4165	2.4133			2.4149
<b>127</b>	DRA	2.741	2.798	2.76	2.5815	2.5802			2.5809
	ABSORCION	2.459	2.66	2.46	4.51	4.58			4.5450

Tabla 17.- Caracterización del material.

		<b>AGREGADO FINO</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>
<b>ASTM C29</b>	SUELTO	1,586.60	1,243.97
	COMPACTO	1,773.40	1,359.05
<b>ASTM C</b>	MF	2.56	
<b>33</b>			
<b>ASTM</b>	S	2.582	2.3099
<b>C128, 127</b>	SSS	2.645	2.4149
	DRA	2.76	2.5809
	ABSORCION	2.46	4.5450



Etapa dos. - diseños de mezcla.

Se realizó un diseño de mezcla para cada relación agua/cemento a elaborar, en el cual se dosifico la cantidad de agregados, cemento y agua para obtener ciertas resistencias a la compresión proporcionadas por en ACI.211.1 (tabla 18).

Tabla 18.- Resultados A Resistencia A Compresión, Según FIUADY, y el ACI211.1

F'c ACI.211.1	concreto sin aire	F'c FIUADY
430	0.4	420
380	0.45	380
334.44	0.5	330
295.55	0.55	300
260.9	0.6	260
229.09	0.65	230
225	0.7	200

Se realizó por el método ACI 211.1 tanto por peso y por volumen, en las siguientes tablas (tabla 19-25) se puede observar las dosificaciones según la relación A/C .

**DOSIFICACION, RELACION A/C 0.4**

Tabla 19.- Diseño de Mezcla A/C 0.4

<b>RESUMEN:</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Peso (kg)</b>
Agua (mezclado neto)	264
Cemento	497.51
Agregado grueso	875
Arena	767
<b>Total =</b>	<b>2404</b>

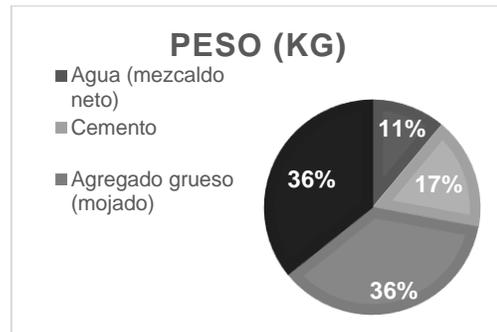


Figura 20- Grafica de dosificación A/C a/c 0.4



### DOSIFICACION, RELACION A/C 0.45

Tabla 20.- Diseño de Mezcla A/C 0.45

**RESUMEN:**

Componentes	Peso (kg)
Agua (mezclado neto)	265
Cemento	455.56
Agregado grueso (mojado)	875
Arena (mojado)	809
<b>Total =</b>	<b>2405</b>

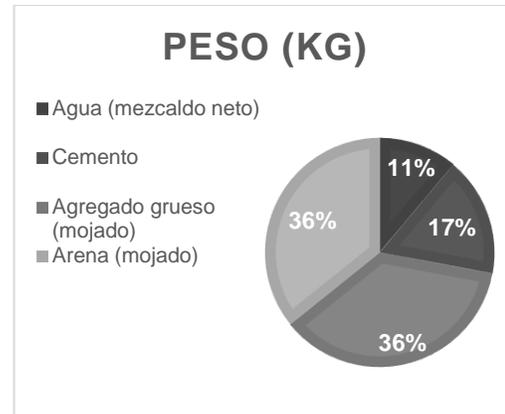


Figura 21.- Grafica de dosificación A/C 0.45

### DOSIFICACION, RELACION A/C 0.5

Tabla 21.- Diseño De Mezcla A/C 0.5

**RESUMEN:**

Componentes	Peso (kg)
Agua (mezclado neto)	266
Cemento	406.02
Agregado grueso (mojado)	875
Arena (mojado)	859
<b>Total =</b>	<b>2406</b>

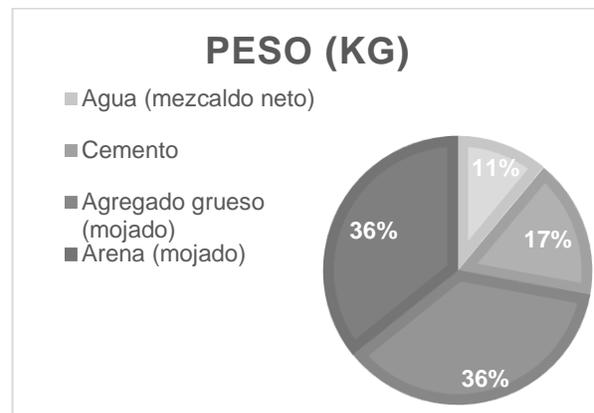


Figura 22.- Grafica de Diseño De Mezcla A/C 0.5



### DOSIFICACION, RELACION A/C 0.55

Tabla 22.- Diseño De Mezcla A/C 0.55

**RESUMEN:**

Componentes	Peso (kg)
Agua (mezclado neto)	267
Cemento	377.86
Agregado grueso	875
Arena	887
<b>Total =</b>	<b>2407</b>

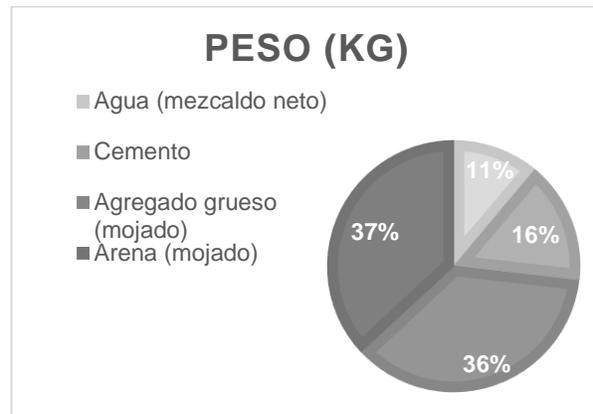


Figura 23- Grafica de dosificación A/C 0.55

### DOSIFICACION, RELACION A/C 0.60

Tabla 23.- Diseño De Mezcla A/C 0.6

**RESUMEN:**

Componentes	Peso (kg)
Agua (mezclado neto)	268
Cemento	342.27
Agregado grueso	875
Arena	923
<b>Total =</b>	<b>2408</b>

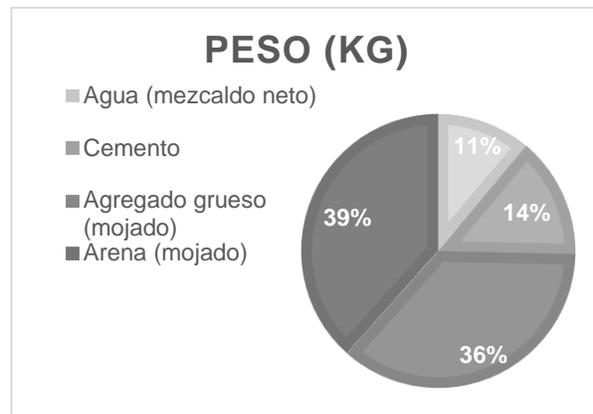


Figura 24- Grafica de dosificación A/C 0.6



### DOSIFICACION, RELACION A/C 0.65

Tabla 24.- Diseño De Mezcla A/C 0.65

**RESUMEN:**

Componentes	Peso (kg)
Agua (mezclado neto)	268
Cemento	317.11
Agregado grueso (mojado)	875
Arena (mojado)	948
<b>Total =</b>	<b>2408</b>

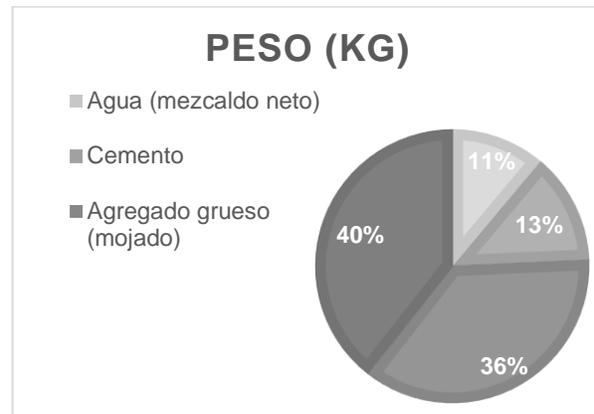


Figura 25.- Grafica de dosificación A/C 0.65

### DOSIFICACION, RELACION A/C 0.7

Tabla 25.- Diseño De Mezcla A/C 0.7

**RESUMEN:**

Componentes	Peso (kg)
Agua (mezclado neto)	269
Cemento	293.32
Agregado grueso (mojado)	875
Arena (mojado)	972
<b>Total =</b>	<b>2409</b>

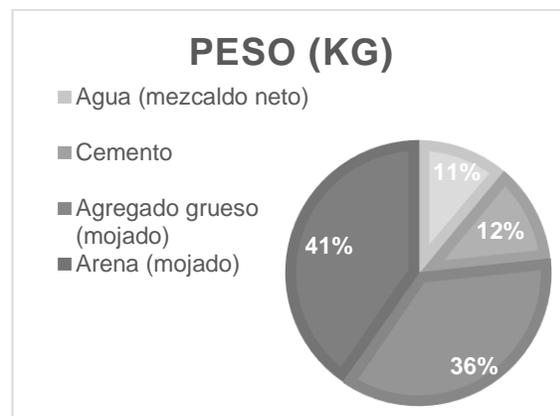


Figura 26.- Grafica de dosificación A/C 0.7



### Etapa tres. - pruebas y elaboración de concreto fresco.

*ASTM C 192 elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.*

Para la elaboración de especímenes de concreto, para concreto consolidado por varillado se utilizó la prueba ASTM C192. (ASTM C 192 - C 192M - 06, 2006)

#### **PREPARACION DE MATERIALES**

Como la TEMPERATURA fue una de las variables a controlar, se mantuvo entre los 25° a 30°, prefiriendo hacer los colados en horarios aceptables donde la humedad no afectara la elaboración del concreto.

El CEMENTO se compró según el calendario de colados, manteniéndolo en un lugar seco. Evitando que absorbiera la humedad del ambiente.

En los AGREGADOS se cuantifico y se homogeneizo para tener una humedad constante y evitar la segregación.

#### **MEZCLA DEL CONCRETO**

El concreto se mezcló en una revolvedora, antes de iniciar la rotación de los materiales, se humedeció la revolvedora para evitar la segregación o la absorción del agua de la dosificación. Se agregó el agregado grueso y el 40% del agua de mezclado, según el diseño de mezcla de acuerdo a la relación A/C, se enciende la revolvedora y se agrega el agregado fino siguiéndole el cemento y por último 40% del agua. Dejándolo 3 min en revolvedora, para después dejarlo reposar 3 min con un paño húmedo sobre la boca de la revolvedora para que este no perdiera humedad.

Se mezcló por última vez 2 minutos y si se es necesario agregar el 20% del agua restante.

#### **MUESTRAS DEL CONCRETO MEZCLADO**

Se tomó parte de la mezcla para realizar las pruebas de peso volumétrico ASTM C 138, para el revenimiento ASTM C 143/C 143 y contenido de aire ASTM C231.



*ASTM C 31 Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.*

Después de la elaboración del concreto y sus pruebas correspondientes ASTM C143 Y ASTM C138, se procedió al llenado de cilindros para las pruebas mecánicas y físicas.(ASTM C 31/C 31M - 03, 2003)

Equipo y material. -

- Moldes según la especificación la especificación C 470/C 470M
- Varillas compactadoras
- Mazo de hule
- Cucharón
- Flexómetro
- Herramienta menor
- Balanza

Procedimiento. -

La elección del lugar del moldeo fue cercana a su lugar de almacenamiento tal como lo indica la norma. La colocación de la mezcla en los moldes fue usando un cucharón sobre los moldes, se realizaron 3 capas y cada una se varillo 25 veces, en la capa final se agregó concreto hasta enrasar el molde. Cada capa se golpeó con el mazo de hule alrededor de 15 veces para evitar vacíos en las muestras.

El acabado final fue enrasando la superficie del concreto con la varilla compactadora y para darle el alisado final con el cucharón (figura 27).

El curado inicial para evitar la evaporación del agua fue el sellar los especímenes con una placa metálica o un plástico no absorbente una vez colados. El desmolde de los especímenes fue de  $24 \pm 8$  h después de esto se someterá a curado en un tanque de agua de almacenamiento



*Figura 27.- Colado de cilindros*



*ASTM C143 Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico.*

Para la prueba de revenimiento se basó en la norma ASTM C 143. (ASTM C143-C143-08, 2008)

Equipo y material. -

- Molde en cono truncado.
- Varilla apisonadora
- Flexómetro
- Cucharon

Procedimiento. -

Se humedeció los materiales para evitar que estos absorbieran la humedad de la mezcla. Mientras se llenó el molde manteniéndolo sobre una placa de metal presionado firmemente durante su llenado. Fue llenado en 3 capas el molde, varillando 25 veces para su compactación, la primera capa de 70 mm, la segunda capa de 160 mm, al llenar el molde se terminó enrasando con la varilla apisonadora por rodamiento.

Se retiró cuidadosamente el molde en dirección vertical, en  $5 \pm 2$  segundos, de inmediato medir el revenimiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado (figura 28).



*Revenimiento relación 0.5*



*Revenimiento relación 0.55*



*Revenimiento relación 0.45*

*Figura 28.- revenimiento en mezclas de concreto 0.5, 0.55 y 0.45*



*ASTM C138 Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto.*

Con esta norma se cubre la determinación de la densidad aparente del concreto recién mezclado. (ASTM C 183- C138M -09, 2009)

Equipo y material. -

- Balanza
- Varilla apisonadora
- Recipiente cilíndrico
- Mazo de hule
- Cucharon

Procedimiento. -

Se colocó el concreto en el recipiente cilíndrico con el cucharón una vez después de mezclarlo, distribuyéndolo en una manera uniforme y envolvente en 1/3 de la capacidad total del recipiente, se varillo cada capa 25 veces, se darán golpes con el mazo de hule para cerrar los vacíos dejados por la varilla apisonadora. Se repitió este procedimiento en los 3 niveles y en la última capa se enraso hasta obtener un acabado liso. Se procedió al pesaje de la muestra. (figura 29)



*Peso volumétrico relación a/c 0.7*



*Peso volumétrico relación a/c 0.7*

*Figura 29.- peso volumétrico de relación a/c 0.7*



### *ASTM C231 Método de Ensayo Normalizado de Contenido de Aire del Concreto Recién Mezclado Mediante el Método por Presión.*

La lectura del contenido de aire de las mezclas de concreto, se realizaron en base a la norma ASTM C231, en la cual se utiliza el concreto recién mezclado y una olla de presión. Esta medición se enfoca en el aire contenido en la mezcla, detectando el aire que se encuentra dentro de las partículas del agregado poroso.

Se diseñó para un concreto sin aire, así que se tomó el 2%, sin embargo esto vario debido a la porosidad del agregado grueso. (ASTM C 231 - 09, 2009)

Equipo y material.

- Medidor de aire tipo B, Air Meter tipo A-AB-1200 Marca NDT JAMES INSTRUMENT, con capacidad de presión de hasta 20 PSI
- Mazo de hule
- Varilla apisonadora, con punta redondeada
- Barra arrasadora
- Pera de succión
- Cuchara

Procedimiento. -

#### **VARILLADO Y EMPAREJADO.**

Se utilizó el método B, el cual se encuentra enfocado en igualar un volumen conocido de aire con una presión también conocida, en un recipiente medidor de aire cerrado.

Se humedeció el recipiente medidor de aire con una esponja y agua, con el cucharón se llenó el recipiente hasta 1/3 de su capacidad y se varillo 25 veces, para eliminar el aire se dieron golpes con un mazo de hule a los lados del recipiente. Repitiendo lo mismo en cada capa. Se continuó quitando el exceso de concreto con una barra arrasador hasta nivelar la parte superficie del recipiente



Se cerró el recipiente medidor de aire fijando sus laterales (figura 30), se cerró la válvula liberadora de aire, Se llenó de agua ajustando un flujo constante con la pera de succión por las válvulas de purga hasta que derramo por ambos lados y posteriormente se golpeó.



*Prueba de aire relación a/c 0.6*



*Prueba de aire relación a/c 0.6*

*Figura 30.- prueba de aire relación a/c 0.6*

Se ejerció presión con la bomba para alcanzar una calibración del 3% de aire en el manómetro y se golpe ligeramente hasta que la manecilla alcance el valor estimado.

Se procedió a cerrar válvulas, se dio un golpe final y se liberó presión con la válvula de aire donde se marcó el porcentaje de contenido de aire.



### Etapa cuatro. - pruebas en concreto endurecido

#### *ASTM C39/C39 Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen.

Las probetas cilíndricas se sometieron a ensayo de acuerdo a la norma ASTM C39/C39, "determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto". El diámetro de los cilindros utilizado fue con un promedio de 15cmX30cm.

El cabeceo de los cilindros fue conforme a la norma ASTM C1231 con tapas de almohadillas de neopreno. Se eligió este método por ser más seguro evitando así la emisión de gases producidos por el azufre, las almohadillas están diseñadas para resistir resistencias del concreto entre 1.500 7.000 psi (10 a 50 Mpa) y para resistencias mayores de hasta 12.000 psi. (ASTM C 39/C 39M - 05, 2005)

Equipo y material.

- Máquina de ensayo, ELVEC prensa eléctrica para ensaye a compresión E660, 150 TONELADAS
- Indicador de carga
- Especímenes de concreto a 3 14 y 28 días
- Almohadillas de neopreno
- Cabeceadores sistema de neopreno para cilindros de 15x30cm



Procedimiento:

### **MEDICIÓN DE CILINDROS**

Se tomó la medida del diámetro de los cilindros con el calibre de vernier, y con una cinta métrica se tomó la altura de los 5 cilindros, así como el peso de cada probeta en estado saturado superficialmente seco. Verificando así las medidas reglamentadas (Figura 31).



*Familia cilindros a 3 días 0.7*



*Familia cilindros a 3 días 0.65*

*Figura 31.- familias de cilindros listas para su medición.*

### **COLOCACIÓN DEL ESPÉCIMEN.**

Se colocaron los cilindros en la prensa sobre la plantilla de la máquina de ensayo, alineando cuidadosamente el eje del espécimen de ensayo con el centro de empuje del bloque de asiento esférico. Se colocaron los cabeceadores con las almohadillas de neopreno alineándolo igualmente con la máquina de ensayo (figura 32).



*Cilindro en compresora*



*Cilindro en compresora*

*Figura 32.- cilindro en maquina compresora*



### VELOCIDAD DE CARGA.

Una vez colocados y alineados los cilindros, la carga se aplicó a una velocidad de movimiento correspondiente al esfuerzo sobre el espécimen de 0.25. Se aplicó la carga a compresión hasta que el indicador de la carga muestre un decrecimiento progresivo y el espécimen muestre un patrón de fractura. Se registró la carga máxima soportada durante el ensayo y se anotó el tipo de fractura (Figura 33).

Los resultados de la resistencia del concreto se obtuvieron automáticamente por medio de la máquina, la cual proporciona el cálculo. Se sometieron a prueba 5 cilindros de la misma edad y se reportó la resistencia promedio

<p><i>TIPO A.- Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, fisuras a través de los cabezales de menos 1 in.</i></p>	<p><i>TIPO B.- Conos bien formados en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales, como no bien definido en el otro extremo.</i></p>	<p><i>TIPO C.- Conos bien formados en un extremo, fisuras diagonales a través de los cabezales, como no bien definido.</i></p>
<p><i>TIPO D.- Fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos.</i></p>	<p><i>TIPO E.- Fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos, como no bien formados.</i></p>	

Figura 33.- Esquema de los modelos de fractura típicos.



En la siguiente tabla se muestran las tipologías de fractura en los 5 cilindros por familia elaborados en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

Tabla 26.- Tipología De Fracturas En Los Cilindros elaborados.

Relación a/c 0.7	Relación a/c 0.65	Relación a/c 0.6	Relación a/c 0.55	Relación a/c 0.5	Relación a/c 0.45	Relación a/c 0.4
A	B	D	A	E	E	A
B	D	D	A	E	D	C
B	B	D	D	B	A	B
D	A	C	E	E	B	E
D	C	E	B	E	A	E



*ASTM C469-02 Método de ensayo. Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión.*

Con esta prueba se registró la determinación del módulo de elasticidad cuerda o Módulo de Young, y la relación de Poisson en cilindros de concreto bajo esfuerzos de compresión longitudinal. Con este método se obtuvo la relación entre el esfuerzo y su deformación unitaria y una relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal en el concreto. Se aplicaron rangos de esfuerzo de trabajos acostumbrados (0 .40% de la resistencia ultima) son usados para el dimensionamiento de elementos reforzados y no reforzados.(ASTM C469-02, 2002)

Formula:

*Ecuación 9.- formula de módulo de elasticidad.*

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.005\%}$$

Donde  $\sigma_2$  es el esfuerzo correspondiente al 40% de la carga ultima,  $\sigma_1$  es el esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal de 0.005% y  $\varepsilon_2$  corresponde a la deformación longitudinal producida por el esfuerzo  $\sigma_2$ .

Equipo y material

- Máquina de ensayo, ELVEC prensa eléctrica para ensaye a compresión E660, 150 TONELADAS
- Compresómetro
- Extensómetro
- Indicador de carga
- Especímenes de concreto a 3 14 y 28 días
- Almohadillas de neopreno
- Cabeceadores sistema de neopreno para cilindros de 15x30cm



## Procedimiento

Se mantuvo la temperatura y la humedad del ambiente lo más constante posible. Se utilizaron las muestras de ensayo con edad de 28 días preparadas con el método de ensayo C39/C39m.

El equipo de medición de deformación se instaló en el espécimen. Se colocó en la máquina de ensayo cuidadosamente alineando el eje con el centro de la rótula del cabezal. Se bajó la prensa de la máquina de ensayo y se llevó lentamente asentarse sobre el espécimen hasta que obtuvo un apoyo uniforme. Se hizo una primera carga con el 15% de su resistencia a compresión máxima utilizada para el ajuste de los deformómetros, se registra el resultado. Se aplicó la segunda carga a 15% registrando sus resultados a cada 1000 y por último registrar una carga del 40% sin interrupción.



*Prueba de módulo elasticidad 0.7*



*Prueba de módulo elasticidad 0.7*

*Figura 34.- prueba de módulo de elasticidad de modulo elasticidad*

Se permite calcular el módulo de elasticidad,  $E_c$ , para el concreto por medio de a o b

*Ecuación 10.- calculo módulo de elasticidad entre 1440 y 2560kg/cm*

a) Para valores de  $w_c$  entre 1440 y 2560 KG/M3

$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \text{ MPA}$$

$$E_c = w_c^{1.5} 0.14 \sqrt{f'_c} \text{ MPA}$$

b) Para concretos de peso normal

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ MPA}$$



### ASTM C 642 Absorción y densidad porosidad. -

Con este método de ensayo se cubrió las determinaciones de la densidad, el porcentaje de absorción de agua y el porcentaje de vacíos en el concreto endurecido. La porosidad indicará la calidad del concreto y será así un índice indirecto de su permeabilidad. Los ensayos fueron realizados en probetas de 10x20cm. (ASTM C 642 - 97, 1997, p. 64)

Formulas:

*Ecuación 11.- porosidad total, densidad total y absorción.*

- Porosidad total:  $\frac{C-A}{C-D} X100$
- Densidad total:  $\frac{A}{B-D} X100$
- Absorción:  $\frac{B-A}{A} X100$

Dónde:

*A: peso seco al horno.*

*B: peso saturado.*

*C: peso saturado, después de hervir.*

*D: peso sumergido.*

Equipo y material

- Balanza
- Recipiente para la inmersión del espécimen
- Especimen de ensayo

Procedimiento:

En base a la norma ASTM C 642, se realizó un cambio en el orden de las pruebas. (figura 35)

Masa saturada después de inmersión en agua:

Después de su secado, enfriado y de obtener su determinación de la masa los especímenes se sumergieron en agua a una temperatura de 21°C por un periodo de



28 días, para obtener una masa totalmente saturada. Se tomó el peso de la masa saturada superficialmente seca.

#### Masa saturada después de ebullición en agua

El espécimen después de la inmersión en agua se colocó en un recipiente metálico y se hirvió el agua por un periodo de 5hrs. Se dejó enfriar al aire por pérdida natural de calor por no menos de 14hrs, hasta que su temperatura final fuera de 20°C, se remueve su humedad superficial y se determina el peso de la masa.

#### Masa sumergida aparente

Después de su inmersión en agua y ebullición los especímenes se suspendieron dentro del agua y se tomó su masa sumergida aparente.

#### Masa seca al horno:

Se determinó la masa de las probetas, se secaron al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  por no menos de 24h. Se tomó la medida durante cada 24 horas por 5 días, para comprobar que no existiría una diferencia de valores de masa del 0.5% del valor menor de masa comparado. Se removieron los especímenes del horno y se secaron en aire libre.



*Pesaje de probetas sumergidas después de hervir*



*Probeta sumergida*



*Pesaje de probeta después de secado.*

*Figura 35.- pesaje de probetas sumergidas y en estado seco.*



## Capítulo 4. Resultados y análisis

Una vez concluido el procedimiento experimental, se procede a presentar los resultados los cuales concluyeron el cumplimiento de los objetivos particulares de esta investigación. Los cuales son presentados en este capítulo, los resultados fueron obtenidos en las investigaciones realizadas en el laboratorio de construcción del instituto tecnológico de Chetumal con base en las normas ASTM, en donde se establecen las especificaciones y recomendaciones a cumplir en agregados, concreto fresco y concreto endurecido.

### 4.1.- Resultados de la caracterización de los agregados.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos a los que se sometieron los agregados elegidos para la elaboración de concreto conforme a las normas ASTM. Compilación de resultados en el APENDICE 1.

### 4.2.- Pruebas físicas de los agregados.

Después de la obtención de los agregados, se llevaron a cabo las pruebas físicas programadas para conocer la calidad del agregado tanto fino como grueso y con estos datos elaborar los diseños de mezcla para las 7 familias de concreto. La granulometría obtenida fue la adecuada de acuerdo a la norma ASTM C33 para agregados gruesos y ASTM C29 para agregados finos (tabla 27).

Tabla 27.- Resultado de características del material utilizado para el diseño de mezclas.

MATERIAL	CARACTERÍSTICA
<b>GRAVA</b>	Tamaño nominal: 3/4" (19mm) Peso unitario varillado: 1.243.97 kg/cm <sup>3</sup> Peso específico = 2414.9 kg/cm <sup>3</sup> % de Absorción = 4.54
<b>ARENA</b>	Peso específico = 2645.5 kg/cm <sup>3</sup> Módulo de finura = 2.56 % absorción = 2.46



<b>AGUA</b>	Libre de sólidos en suspensión.
<b>CEMENTO</b>	CPC clase 30R

#### 4.3.- método por peso ACI para el diseño de mezclas de concreto.

En la tabla 28 se presenta los resultados obtenidos para la dosificación de acuerdo al diseño de mezclas de concreto el cual se elaboró mediante el método por peso establecido en el manual ACI211.1. El cual se puede encontrar en el APENDICE 2.

La nomenclatura a utilizar para diferenciar cada familia fue basada en CEMENTO PORTLAN COMPUESTO seguido de la relación agua/cemento. (CPC-A/C)

Tabla 28.- Dosificación de concreto hidráulico en kg/m<sup>3</sup>

<b>MATERIALES</b>	<b>PESO EN kg/m<sup>3</sup></b>			
<b>MEZCLA</b>	<b>AGUA</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>GRAVA</b>	<b>ARENA</b>
<b>CPC0.4</b>	264	497.51	875	767
<b>CPC0.45</b>	265	455.56	875	809
<b>CPC0.5</b>	266	406.02	875	859
<b>CPC0.55</b>	267	377.86	875	887
<b>CPC0.6</b>	268	342.27	875	923
<b>CPC0.65</b>	268	317.11	875	948
<b>CPC0.7</b>	269	293.32	875	972

Se manejaron 7 familias con relaciones de agua cemento diferentes 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7 incrementando la relación con 0.05%.



#### 4.4.- Propiedades de las mezclas de concreto fresco

##### 4.4.1 Revenimiento. -

Las pruebas de consistencia de cada familia fueron elaboradas al momento de los colados con el equipo de revenimiento. Se diseñó para obtener un revenimiento de  $7 \pm 2.5$  cm mostrando a continuación los resultados obtenidos por familia de concretos en la tabla 29.

Tabla 29.- revenimientos obtenidos de familias 0.7, 0.65, 0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4.

A/C	REVENIMIENTO
0.7	10.5
0.65	9
0.6	8
0.55	8
0.5	8
0.45	8
0.4	8



Figura 36.- histograma de revenimientos 0.7, 0.65, 0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4.

Como se muestra en las gráficas el revenimiento se mantuvo en la mayoría de las familias de 8cm obteniendo así una buena trabajabilidad para el momento del colado.

##### 4.4.2 Peso volumétrico. -

El peso volumétrico de los concretos se encuentra por encima de los 2200kg/m<sup>3</sup>, en los cuales se muestran de forma ascendente el aumento en relaciones de agua/cemento bajas (a/c 0.4).

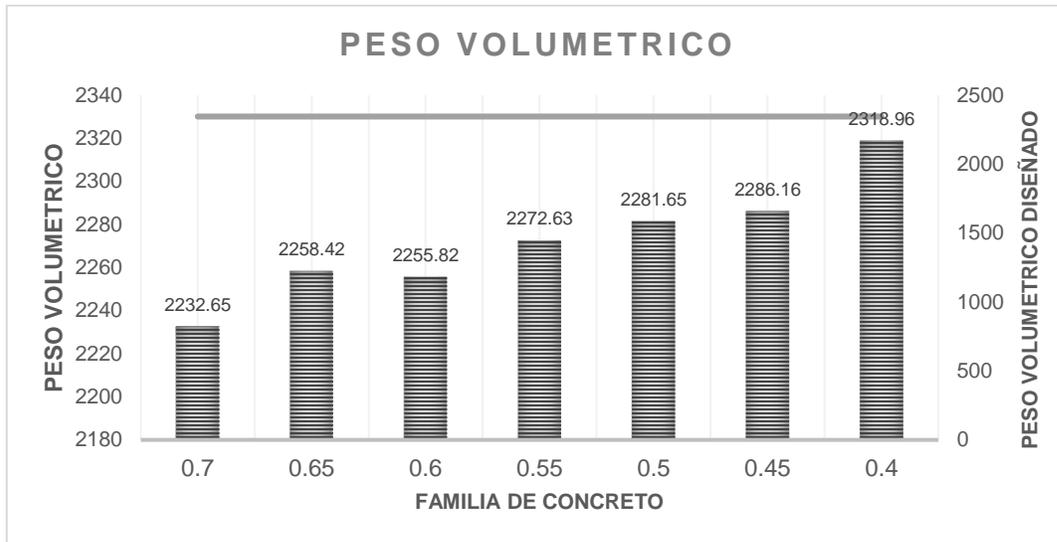


Figura 37.- peso volumétrico de relaciones 0.7, 0.65, 0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4.

#### 4.4.2 Porcentaje de aire atrapado. -

El contenido de aire se puede encontrar más elevado en el concreto con relaciones altas de a/c (0.7, 0.65, 0.6, 0.55), mostrando así que entre más trabajable la relación el contenido de aire es mayor.

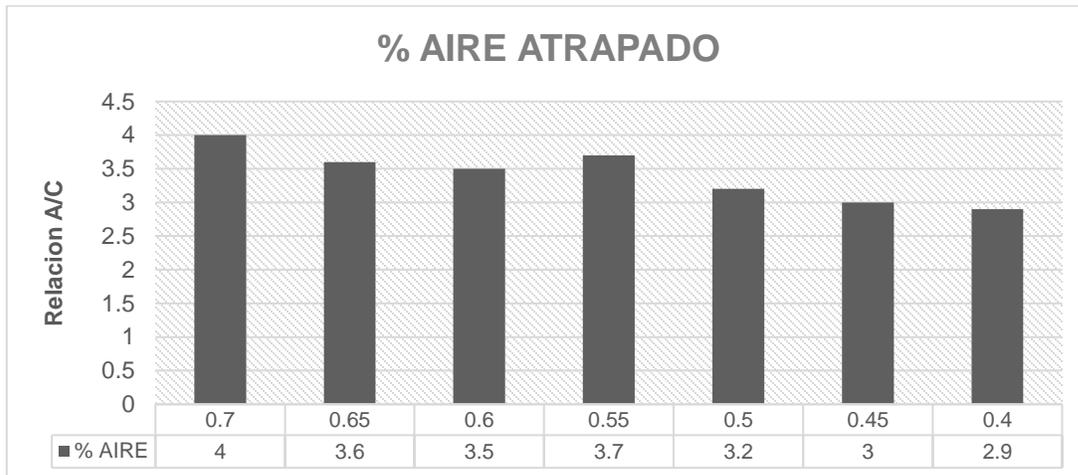


Figura 38.- porcentaje de aire atrapado en concretos 0.7, 0.65, 0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4.



#### *4.4.3 Desgaste de agregado.*

El ensayo de la prueba de los ángeles fue usado para tener un indicador de la calidad de la fuente de agregado elegida que en este caso fue del ejido Juan Sarabia km 21.

Al tener un agregado calizo el porcentaje de desgaste o degradación siempre tendiera a ser elevado, según estudios realizados en el 2008 por Solís y Moreno, un agregado grueso calizo de buena calidad tiene que ser menor al 28% ni mayor al 35% de desgaste, prueba realizada por la máquina de los ángeles, así que al tener un promedio del 34.2% nos encontramos dentro de lo establecido para un agregado grueso aceptable dentro de la península de Yucatán. (R. Solís-Carcaño & Moreno, 2008)

El agregado grueso no debe presentar más de 50% de desgaste, si no se considerara de muy baja dureza y no apto para concretos de 250kg/cm<sup>2</sup>.

#### *4.5.- Propiedades de las mezclas de concreto endurecido.*

Después de la elaboración de las muestras, las familias de concreto fueron sometidas a un proceso de curado por inmersión durante 3 edades propuestas de 3, 14 y 28 días. Se realizaron pruebas mecánicas como la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad y pruebas físicas como absorción, porosidad y densidad.

##### *4.5.1.- Resultados de absorción, densidad y porosidad.*

Una vez elaboradas las probetas de 10x20cm, se sometieron a un proceso de curado por inmersión, durante un lapso de 28 días, para después efectuar las pruebas físicas de porosidad, densidad, y absorción.

Cuyos resultados se encuentran en el APENDICE 3, donde se reporta detalladamente lo obtenido en las probetas según la edad del concreto y su resistencia a la compresión.



Tabla 30.- Pruebas físicas de los concretos.

mezcla	peso saturado g	peso seco la horno	peso hervido g	peso sumergido g	porosidad %	densidad aparente	absorción %
<b>CPC0.4</b>	3.61	3.33	3.60	2.05	18.05	2.12	8.59
<b>CPC0.45</b>	3.70	3.40	3.69	2.12	18.34	2.15	8.82
<b>CPC0.5</b>	3.62	3.31	3.61	2.04	18.90	2.09	9.17
<b>CPC0.55</b>	3.64	3.33	3.63	2.05	18.98	2.09	9.47
<b>CPC0.6</b>	3.60	3.28	3.59	2.03	19.46	2.08	9.70
<b>CPC0.65</b>	3.61	3.27	3.58	2.01	19.59	2.05	10.16
<b>CPC0.7</b>	3.57	3.23	3.56	1.99	21.26	2.04	10.52

Los concretos con agregados calizos triturados presentan características físicas variables. En las cuales influye la porosidad del agregado y la porosidad de la pasta. En el caso de la pasta se considera que su porosidad, es la suma del volumen de los huecos capilares y los huecos del gel, representando el espacio no llenado por los componentes solidos de la pasta de cemento hidratado. Dependiendo principalmente de la relación agua cemento y el grado de hidratación alcanzado por el cemento. En general la porosidad de la pasta suele ser mayor a la porosidad del agregado.

En comparación con otras investigaciones enfocadas en estudiar propiedades del concreto endurecido, con agregados calizos, encontramos la siguiente porosidad en el concreto en diferentes relaciones a/c donde se muestran los valores de la porosidad reportadas para concretos preparados con agregados calizos de la Península de Yucatán.(SOLÍS & ERIC I. MORENO, 2006)

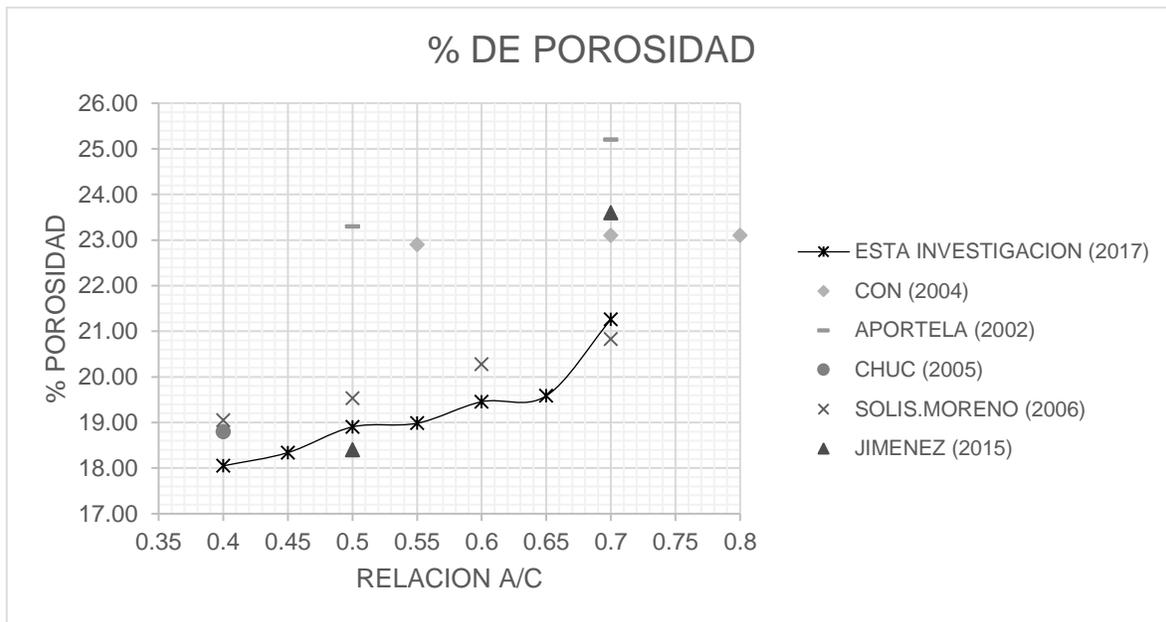


Figura 39.- % de porosidad en esta investigación en comparación con otros autores (con, aportela, chuc, solis - moreno, Jiménez)

En lo que se refiere a la absorción, se considera un elemento importante en la consistencia del concreto ya que las partículas absorben el agua directamente en la revolvedora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla. Al manejarse diferentes relaciones agua cemento, la trabajabilidad de cada relación fue de acuerdo a sus propiedades, tomando en cuenta que el agregado calizo presenta una absorción de entre el 8.5 al 10.5% según la relación a/c elaborada.

Si se presenta un tamaño de agregado mayor, es necesario cubrir toda el área con pasta y esto presentara menor fluidez, una buena consistencia se obtiene de la combinación de índices bajos de absorción (Yam et al., 2003). Lo cual no se permite en la zona debido al tipo de agregado existente lo cual genera mezclas poco trabajables.



#### **4.5.2.- Resultados de resistencia de compresión.**

Las pruebas de compresión fueron elaboradas en cinco cilindros, de los cuales se realizó el criterio de CHAUVENET junto con un análisis de varianza para definir los valores a elegir. La prueba se realizó como lo especifica la norma ASTM C39-C39.

El resultado se obtuvo dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área de la sección transversal del cilindro.

Tabla 31.- resultado de resistencia a compresión axial a 3, 14 y 28 días

Relación a/c	3 días		14 días		28 días	
	kg/cm2	Mpa	kg/cm2	Mpa	kg/cm2	Mpa
0.4	305.00	29.91	384.90	37.75	408.80	40.09
0.45	309.20	30.32	345.50	33.88	383.40	37.60
0.5	284.00	27.85	329.90	32.35	368.80	36.17
0.55	245.10	24.04	304.00	29.81	310.90	30.49
0.6	173.90	17.05	257.70	25.27	300.50	29.47
0.65	140.00	13.73	194.50	19.07	272.80	26.75
0.7	120.00	11.77	177.10	17.37	198.60	19.48

En la tabla anterior se muestra los valores obtenidos en esta investigación en kg/cm2 y Mpa. de las diferentes familias y especímenes ensayados a las edades de 3, 14 y 28 días. Los resultados de cada familia se reportan en el APENDICE 4.

#### **4.5.3.- incrementos obtenidos en la resistencia a compresión por edad.**

##### **Prueba de compresión edad 3 días.**

En la tabla 4.6 se muestran los resultados de resistencia a la compresión obtenidos a los 3 días de las 5 probetas analizadas y su promedio.



A los 3 días se esperaba una resistencia a la compresión axial del 40% referente a la resistencia a sus 28 días, obteniendo la resistencia de casi el 60% de la resistencia final.

Tabla 32.- resistencia a compresión edad 3 días.

3 días	relación	RESISTENCIA A COMPRESION	
	EDAD	OBTENIDO	DISEÑO
0.7	3	120.00	80
0.65	3	140.00	92
0.6	3	173.90	104
0.55	3	245.10	120
0.5	3	284.00	132
0.45	3	309.20	152
0.4	3	305.00	168

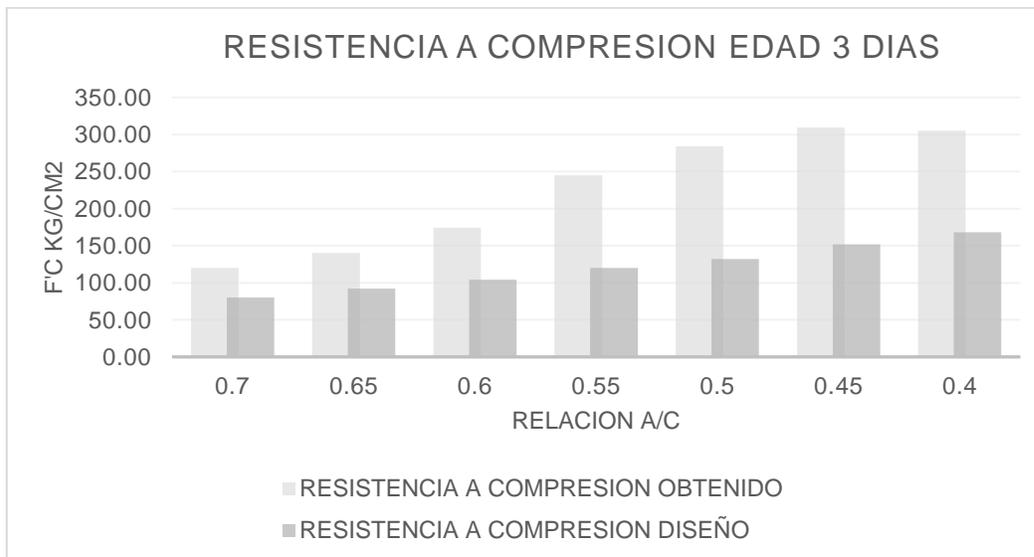


Figura 40.- histograma de resistencia a compresión axial, edad 3 días.

Las resistencias a compresión mostradas en las tablas anteriores, muestran como el concreto obtuvo una resistencia mayor a la esperada a una temprana edad. Mostrando que en las relaciones de agua/cemento altas 0.7, 0.65 y 0.6, el incremento a la



compresión axial fue mínimo, y en las relaciones a/c bajas, 0.4, 0.45, 0.5 y 0.55, fue aproximadamente el doble de lo esperado.

### **Prueba de compresión edad 14 días.**

Para los 14 días, el aumento de resistencia a compresión axial, en la mayoría de los concretos sigue en aumento, alcanzando y superando el 90% de resistencia final esperado. Sin embargo, en las relaciones 0.7 y 0.65 el resultado que se presento fue menor al 90% de la resistencia esperada.

*Tabla 33.- resistencia a compresión, 14 días*

14 días	relación	RESISTENCIA A COMPRESION	
	EDAD	OBTENIDO	DISEÑO
0.7	14	177.10	180
0.65	14	194.50	207
0.6	14	257.70	234
0.55	14	304.00	270
0.5	14	329.90	297
0.45	14	345.50	342
0.4	14	384.90	378

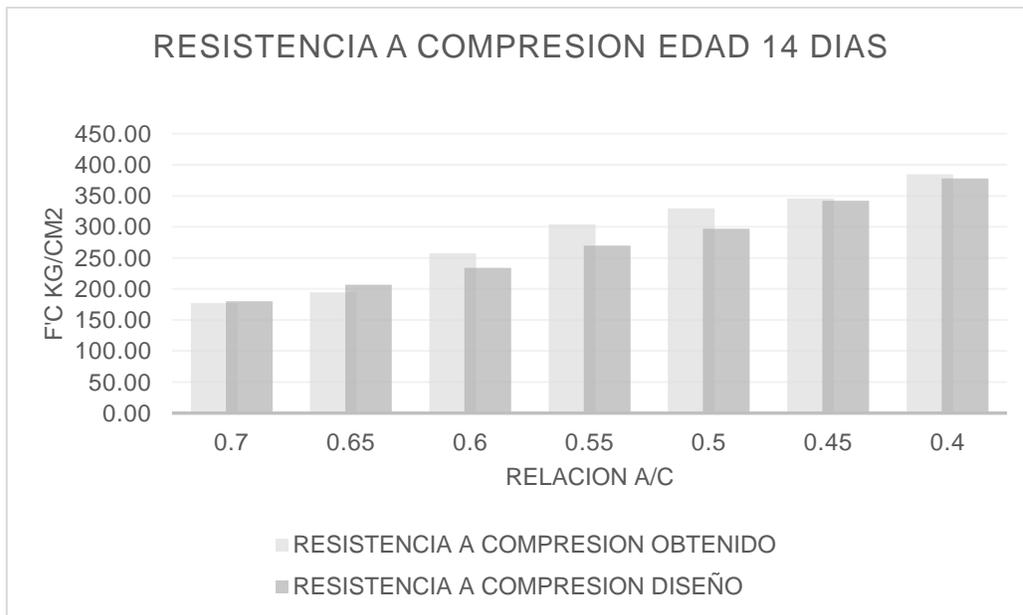


Figura 41.- resistencia a la compresión edad 14 días.

Como se puede observar al alcanzar la edad de 14 días, el concreto, en la mayoría de las relaciones a/c estudiadas cumplió con la resistencia a compresión esperada mostrando una normalidad en el comportamiento del concreto al alcanzar una edad avanzada.

### **Prueba de compresión edad 28 días.**

Los resultados obtenidos de la resistencia a compresión a los 28 días alcanzaron su resistencia final del 99.9%, en el caso de las relaciones a/c 0.4 y 0.7 quedaron bajo la resistencia de compresión axial esperada con un 5% menos y un 1% menos respectivamente, en cambio las resistencias de las relaciones a/c 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65 sobrepasaron la resistencia de diseño por 1%, 10%, 6%, 15% y 19% respectivamente.



Tabla 34.- resistencia a compresión a los 28 días.

28 días	relación	RESISTENCIA A COMPRESION	
	EDAD	OBTENIDO	DISEÑO
<b>0.7</b>	28	198.600	199.8
<b>0.65</b>	28	272.8	229.77
<b>0.6</b>	28	300.5	259.74
<b>0.55</b>	28	310.9	299.7
<b>0.5</b>	28	368.8	329.67
<b>0.45</b>	28	383.4	379.62
<b>0.4</b>	28	408.8	419.58

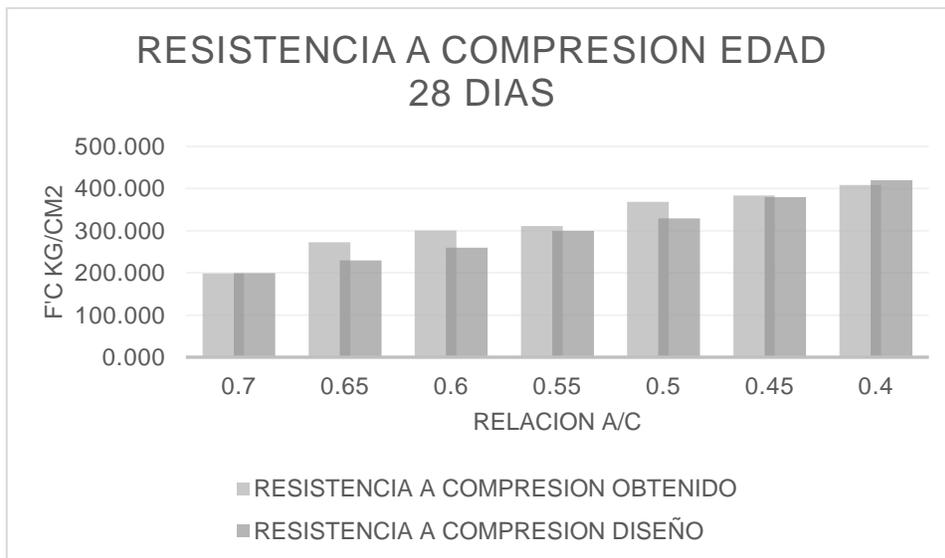


Figura 42.- resistencia a compresión a los 28 días.

Al tener el concreto con la madurez esperada, se puede decir que, aunque el agregado que se encuentra en el sureste de México no es de alta calidad, las resistencias a compresión axial de diseño, sobrepasan por porcentaje de casi el 20% de resistencia a la compresión.



Tabla 35.- Resistencia a compresión a los 3, 14 y 28 días respectivamente a cada relación a/c.

relación	RESISTENCIA A COMPRESION		
	EDAD	OBTENIDO	DISEÑO
<b>0.7</b>	3	120.000	80
	14	177.100	180
	28	198.600	199.8
<b>0.65</b>	3	140	92
	14	194.5	207
	28	272.8	229.77
<b>0.6</b>	3	173.9	104
	14	257.7	234
	28	300.5	259.74
<b>0.55</b>	3	245.1	120
	14	304	270
	28	310.9	299.7
<b>0.5</b>	3	284	132
	14	329.9	297
	28	368.8	329.67
<b>0.45</b>	3	309.2	152
	14	345.5	342
	28	383.4	379.62
<b>0.4</b>	3	305	168
	14	384.9	378
	28	408.8	419.58



Figura 43.- ilustración compendio de resultados a resistencia a compresión 3, 14 y 28 días.

En la figura 4.8 se muestra la compilación de resultados de las resistencias a compresión axial a diferentes edades, como se puede apreciar el aumento es ascendente hacia las relaciones a/c más bajas, alcanzando en su mayoría la resistencia a compresión esperadas.

#### **4.5. 4.- Resultados módulo de elasticidad.**

Las curvas de esfuerzo - deformación unitaria, mostradas a continuación representan los resultados obtenidos en las pruebas de compresión en cilindros de resistencias variables a los 28 días. (APENDICE 5)

Como se puede observar en la curva del diagrama esfuerzo-deformación, el concreto, tal como otros materiales estructurales no presente comportamiento perfectamente elástico al momento de deformarse.

En este trabajo se utilizó el módulo cuerdo el cual se encuentra especificado en la norma ASTM C469-10, el cual consistió en una línea que se traza desde dos puntos



de la curva esfuerzo-deformación dentro del rango elástico. (Guerrero Vargas & Navas, Carro, 2012)

Como se maneja un material poroso el módulo de elasticidad es bajo a comparación con materiales no porosos con alta densidad.

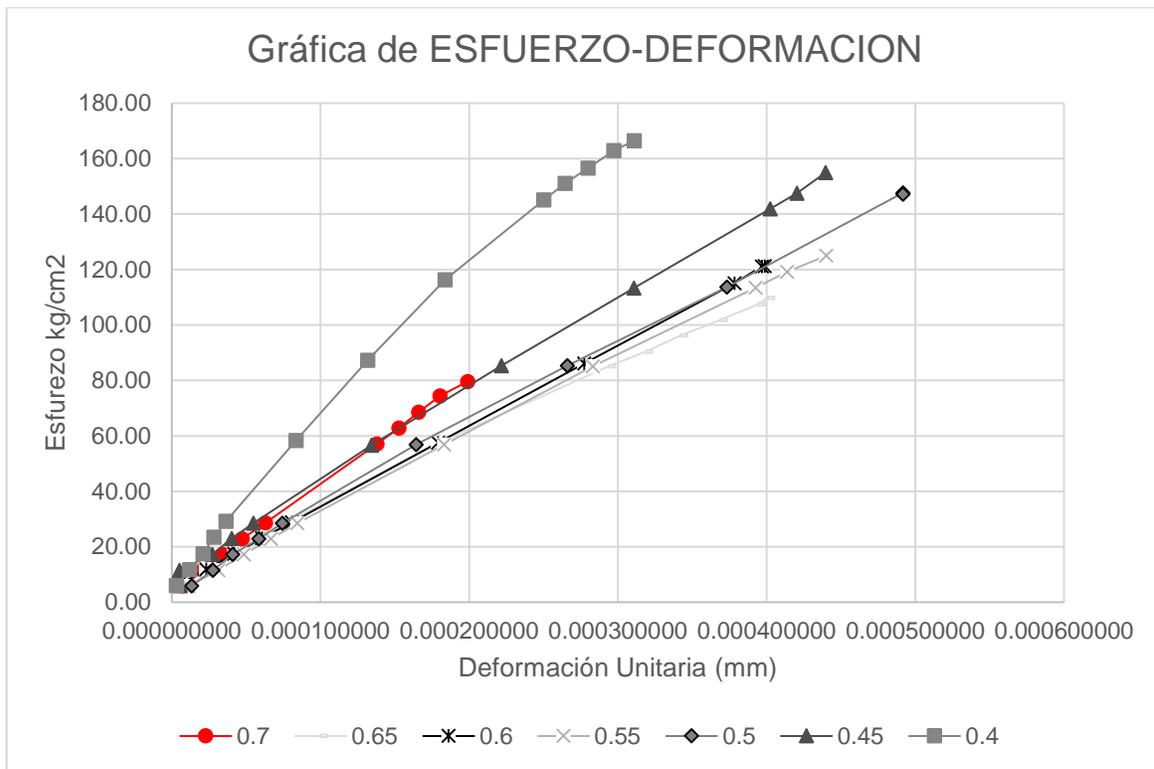


figura 44.- esfuerzo deformación, módulo de Young, diversas relaciones agua/cemento.

Como se aprecia en la gráfica las relaciones 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.65 presentan un orden ascendente en base a su relación y su esfuerzo al 40% de su resistencia a compresión.



#### 4.5.5.- Módulo de elasticidad en base a la resistencia a compresión.

Como el concreto no tiene módulo de elasticidad bien definido. Su valor varía con la diferente resistencia del concreto, con la edad de este, el tipo de carga, las características y proporciones del cemento y los agregados.

En base a diferentes reglamentos internacionales se han recomendado ecuaciones para modelar el comportamiento del módulo de elasticidad en función de la resistencia a la compresión del concreto. Basándose en las ecuaciones proporcionadas por el ACI 318 (para valores de  $W_c$  entre 1440 y 2480 kg/m<sup>3</sup>). La sección 8.5.1 del código ACI establece que la siguiente expresión puede usarse para calcular el módulo de elasticidad de concretos que pesen entre 1500 y 2500 kg/cm<sup>2</sup> :

*Ecuación 12.- módulo de elasticidad para concretos de 1500 – 2500 kg/cm<sup>2</sup>*

$$E_c = 0.043W_c^{1.5}\sqrt{f'_c}$$

En esta expresión,  $E_c$  es el módulo de elasticidad en kg/cm<sup>2</sup>,  $w_c$  es el peso del concreto en kg/m<sup>3</sup> y  $f'_c$  es su resistencia a la compresión especificada a los 28 días en kg/cm<sup>2</sup>.

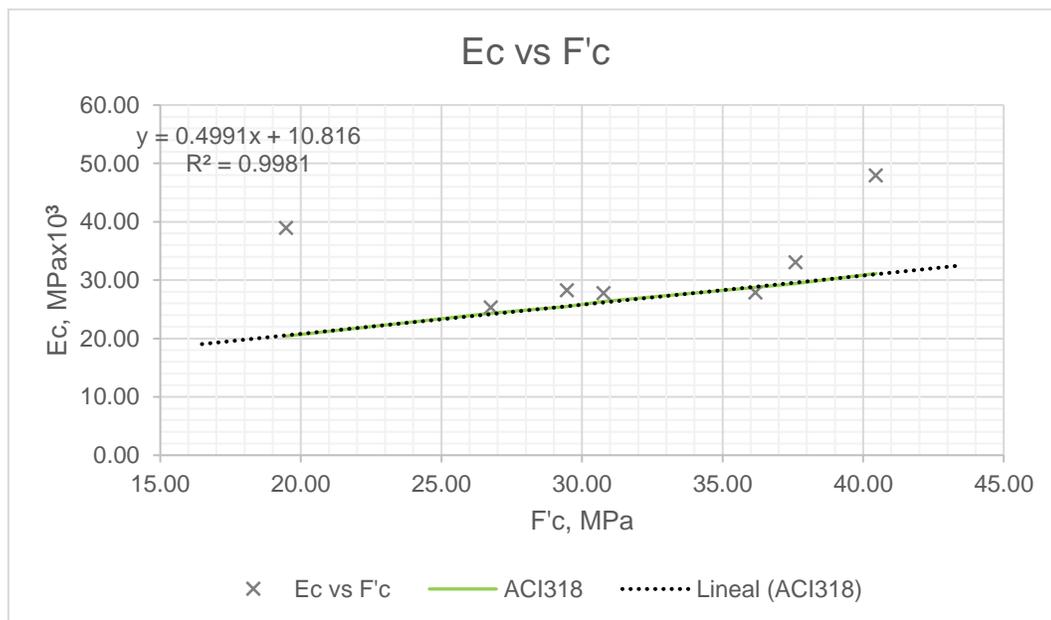


Figura 45.-  $E_c$  vs  $F'_c$  en concretos con agregados calizos



En la gráfica anterior se observa los valores predichos por la norma del ACI 318 con concretos con valores de  $w_c$  entre 1440 y 2480 para las relaciones a/c 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7.

Los valores que se muestran cercanos a la recta formada por los valores del ACI 318 son las relaciones intermedias, las cuales en el caso de su resistencia a compresión resulto similar (con variaciones mayores por un 6-19%) a la de diseño. Y las relaciones que se alejan de la recta 0.4 y 0.7 son las relaciones en las cuales su resistencia a la compresión disminuyo.

## POISSON

Al someter los cilindros a cargas de compresión, el cilindro tiende a expandirse lateralmente. La proporción de esta expansión lateral respecto al acortamiento longitudinal se denomina Modulo de Poisson.

Se espera un valor aproximado a 0.21 para valores de concretos de bajo grado y 0.11 para concretos de alta resistencia, dejando un valor promedio de 0.16.

La relación agua /cemento no influye en este caso, tampoco la cantidad de curado, tamaño del agregado entre otros, el módulo de poisson es sumamente considerado en el análisis y diseño de presas de arco, de túneles y algunas otras estructuras estáticamente indeterminadas.

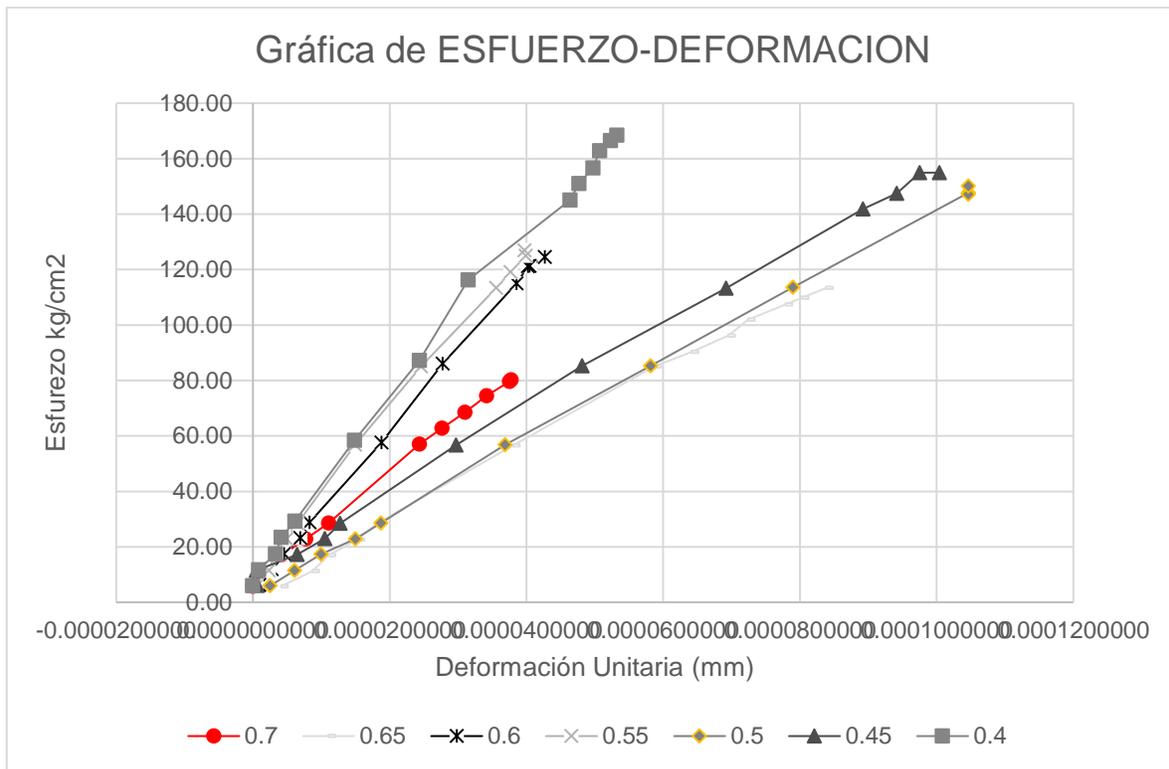


Figura 46.- grafica esfuerzo deformación Poisson

Como se puede apreciar en la figura 46 el comportamiento del módulo de Poisson es irregular ya que no se presenta influencia alguna con la resistencia a compresión, al módulo de Young o a la relación a/c. Mostrando una deformación transversal mayor en las relaciones 0.4, 0.45 y 05, seguidos por la 0.65, quedando las relaciones a/c 0.55, 0.6 como un intermedio y la relación 0.7 con una deformación menor.



#### 4.6.- Análisis estadístico

Se utilizó el programa Statgraphics Plus ® v5.1. Donde se analizaron estadísticamente los resultados de esta investigación, se determinó la variabilidad, la desviación estándar las medidas de tendencia central entre otras para comprobar la normalidad de los datos.

Tabla 36.- análisis de normalidad de los datos

PARAMETRO	Resistencia a la compresión	Módulo de elasticidad
Frecuencia	7	7
Media	31.4344	32743.1
Mediana	30.48	28278.4
Desviación Típica	7.12	8095.04
Mínimo	19.47	25302
Máximo	40.08	47932.9
Coefficiente de Asimetría Típica	0.579051	1.42908
Coefficiente de Curtosis Tipificada	-0.13603	0.568024
Varianza	50.83	6.55E+07
Rango	20.6135	22630.9

El análisis de varianza se comprobó la importancia de los factores de las 7 relaciones a/c. Como se muestra en los coeficientes de asimetría y curtosis se ubicaron dentro del rango esperado para los datos de distribución normal ya que ambos respetan el límite de  $\pm 2$ .

Los 7 valores de f'c tienen una media de 31.4344 y una desviación típica de 7.12958. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media real o desviación típica de la población de la que proceden los datos el 95.0% de las veces. En términos prácticos, podemos afirmar con un 95.0% de confianza que la media real de f'c se encuentra entre 24.8406 y 38.0282, mientras que la desviación típica real está entre 4.59425 y 15.6998. En el



caso del módulo elástico se obtuvo una media de 32743 y en el módulo elástico 25256.5 y 40229.8, mientras que la desviación típica real está entre 5216.39 y 17825.8.

Ambos intervalos asumen que la población de la que procede la muestra puede ser representada por una distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto, pero no muy sensible a la violación de este supuesto, el intervalo de confianza para la desviación típica es bastante sensible. Si los datos no proceden de una distribución normal, el intervalo para la desviación típica puede ser incorrecto. En este caso, el p-valor para el test Shapiro Wilks no es inferior a 0.05, indicando una salida no significativa de la normalidad para un 5% de nivel de significación.

El coeficiente de auto correlación, que es igual a 0.475752 en resistencia a compresión y 0.0926668 en módulo elástico, medidas de correlación entre valores adyacentes en la muestra de datos. Dado que el 95.0% intervalo de confianza para la auto correlación contiene el 0, la correlación no es estadísticamente significativa al 5.0% de nivel de significación.

El  $E_c$  se encuentra entre 25256.5 y 40229.8, mientras que la desviación típica real está entre 5216.39 y 17825.8.

Al realizarse el análisis de varianza se utilizó el método simple. La resistencia a compresión y el módulo de elasticidad se consideraron como variables dependientes y las relaciones a/c como variable independiente.

En esta investigación se analizaron las medias por relación agua cemento, en el caso de resistencia a compresión como en módulo elástico, teniendo un total de 5 casos completos por variable. Ambos con el 95% de confianza según el estudio.



Tabla 37.- ANOVA simple para resistencia a compresión.

fuelle	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	coeficiente -F	Significancia
a/c	304.98	6	50.8309	0	0
residuos	0	0	-	-	-
<b>TOTAL (corregido)</b>	304.985	6	-	-	-
<b>Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.</b>					

En la tabla 4.11 se presenta el análisis de varianza para la resistencia a compresión.

Tabla 38.- ANOVA simple para módulo elástico.

fuelle	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	coeficiente -F	Significancia
a/c	3.93E+08	6	6.55E+07	0	0
Residuos	0	0	-	-	-
<b>TOTAL (corregido)</b>	3.93E+08	6	-	-	-
<b>Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.</b>					

En la tabla 4.12 se presenta el análisis de varianza simple para modulo elástico. El análisis de varianza comprobó que el valor de significancia se encuentra inferior a los 0.05 en manera individual lo que indica un efecto estadísticamente significativo en las variables dependientes resistencia a la compresión, módulo de elasticidad.

Se aplicó el método LSD (Montgomery 2011) a fin de determinar grupos homogéneos para relaciones a/c, mediante prueba de rangos múltiples. Que se muestran a continuación en la tabla 4.13.



Tabla 39.- prueba de rangos múltiples para a/c.

A/C	RESISTENCIA A COMPRESION					MODULO DE ELASTICIDAD					
	MEDIA	GRUPOS HOMOGENEOS				MEDIA	GRUPOS HOMOGENEOS				
<b>0.4</b>	40.0894363	X					47932.86	X			
<b>0.45</b>	37.5985565		X				33058.11		X		
<b>0.5</b>	36.1667909		X				27881.14			X	
<b>0.55</b>	30.4887616			X			27779.66			X	
<b>0.6</b>	29.4688738			X			28278.44			X	
<b>0.65</b>	26.7524418				X		25301.95				X
<b>0.7</b>	19.4759346					X	38969.82				X

En la resistencia a la compresión se observa que la primera relación a/c 0.4, 0.65 y 0.7 son diferentes al resto, sin embargo, en las relaciones a/c intermedias como 0.45 y 0.5 se presenta una similitud al igual que las relaciones 0.55 y 0.6.

En modulo elasticidad, la similitud se encuentra entre los concretos 0.55, 0.6 y 0.65 dejando a las relaciones 0.4, 0.45, 0.65 y 0.7 estadísticamente diferentes. Pudiendo inferir un comportamiento mecánico - elástico consistente a partir de las relaciones a/c 0.55 y 0.6



#### 4.7.- *Discusión*

Como se ha discutido a lo largo de la tesis el agregado calizo es considerado de mala calidad, por su alta porosidad y alta absorción.

Se ha encontrado que la interacción química de las partículas de roca con la pasta de cemento puede coincidir a un incremento en la fuerza de la adherencia entre estas y los productos hidratados de cemento. (Solís et al., 2012)

Al no obtener incrementos más allá del 19% en la resistencia del concreto, pudiera significar que la roca caliza, altamente porosa, haya llegado a su límite de resistencia de material compuesto. La hidratación del cemento cumplió los 28 días normados, lo cual indica que dejó una relación gel/espacio en buenas condiciones.

El agregado de menor tamaño puede arrojar una resistencia mayor ya que su nivel de desgaste es mucho menor, el rango de TMA recomendado para obtener buenos resultados es de 9.5mm a 15.9mm (ACI 363R, 2010) dejando el agregado de 19.5 mm fuera de este rango.

A continuación, se presenta la figura 47 donde se muestra el comportamiento del concreto en esta investigación cotejado con los resultados de diferentes autores. Se analizaron las 7 relaciones a/c estudiadas, demostrando que esta investigación presenta resultados dentro de la mediana.

Como se puede observar los resultados en esta investigación (línea punteada) se encuentran cercanos a la investigación de Nan Su en el 2003 la cual utilizó diversas relaciones agua/cemento para una resistencia a compresión media con bajo contenido de cemento.

Entre otros autores como lo es Moreno 2016, Romel 2011, Jiménez 2015, Solís 2012, Helene 2009 que realizaron concretos dentro de la península de Quintana Roo presentan resultados cercanos a los de esta investigación, a excepción de Solís en el 2012 donde con su relación de 0.45 se aleja de los resultados obtenidos teniendo



resultado a la compresión más bajos, de 355.5, a comparación de 384 obtenidos en esta investigación. Y 380 indicados por el ACI211.1

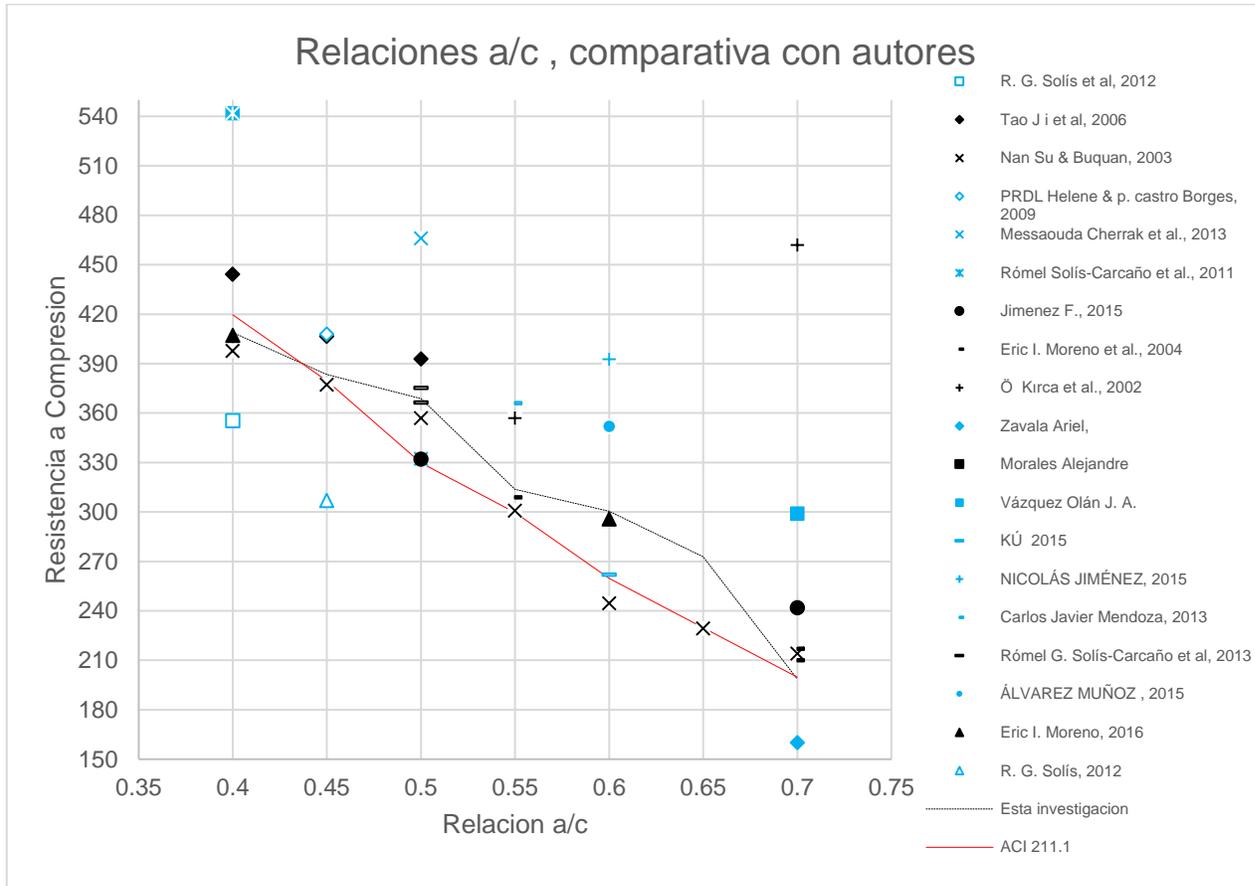


Figura 47.- compilación de relaciones a/c en esta investigación vs otros autores.

Con respecto al ACI 211.1 esta investigación obtuvo mayores resultados a la compresión axial superando por un 20% en las relaciones intermedias (0.55, 0.5, 0.65, 0.6).

En el caso de la relación a/c 0.45 alcanzó la resistencia a compresión diseñada, y en el caso de las resistencias a/c 0.4 y 0.7 su resistencia se redujo aproximadamente 5%. Lo cual se explica al ser relaciones de difícil manipulación, la relación 0.4 presenta una consistencia seca y muy poco trabajable, aunando que el clima acelera la evaporación



del agua de diseño. En el caso de la relación a/c 0.7 se presenta una consistencia muy fluida, por la cantidad de pasta cementante en comparación con los agregados.

En la tabla 40 se puede observar el porcentaje de resistencia a la compresión extra obtenido en esta investigación, como se aprecia, la relación 0.4 presenta un menor resultado a compresión del esperado ya que la mezcla resulto difícil de trabajar.

En el caso de la relación 0.7, se presentó como una relación a/c complicada debido a su fluidez, sin embargo, esta se encuentra dentro del rango permisible de resistencia a compresión bajando solo un 1% en lo esperado.

Tabla 40.- relaciones a/c y resistencia a compresión obtenidas.

	<b>Esta investigación</b>	<b>ACI</b>	<b>% EXTRA EN RESISTENCIA</b>
<b>0.4</b>	409	430	-5%
<b>0.41</b>	404	420	-4%
<b>0.45</b>	384	380	1%
<b>0.48</b>	375	350	7%
<b>0.5</b>	369	335	10%
<b>0.55</b>	310.9	293	6%
<b>0.57</b>	309	280	10%
<b>0.6</b>	301	261	15%
<b>0.65</b>	273	229	19%
<b>0.68</b>	229	210	9%
<b>0.7</b>	199	200	-1%
<b>0.82</b>	139	140	-1%

En la figura 48 se puede observar el comportamiento de los resultados de esta investigación a comparación de los del ACI 211.1. Donde la relación 0.4 no alcanza la resistencia esperada al igual que la relación 0.7, y en el caso de la relación 0.65 podría ser utilizada en vez a la 0.6 y la 0.6 en vez de la 0.55, debido a que alcanzan las resistencias de la relación a/c siguiente. Teniendo así 3 relaciones que podrían sustituir una de relación a /c más alta generando así un ahorro económico y una disminución



en la huella de carbono, al hablar de una construcción de grandes dimensiones, asimismo de ser una de las resistencias más buscadas en los constructores.

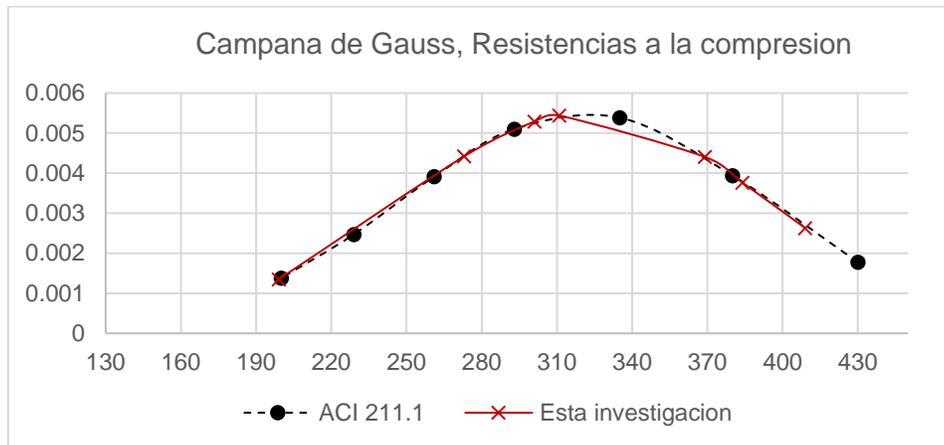


Figura 48.- comportamiento en la resistencia a compresión, esta investigación vs aci211.1

En el caso técnico, el agregado calizo, al ser un agregado deficiente proporcionaría, resultados negativos en la resistencia a compresión, sin embargo con esta investigación se mostró, que la hacer una buena caracterización, optando por el banco de agregados con mayor popularidad, del municipio Othón P. Blanco y realizando un buen diseño de mezclas los resultados en las diversas relaciones a/c, resulta hasta un 5 al 20% de aumento en la resistencia a compresión.

En un punto de vista sustentable, las emisiones de carbono emitidas por la elaboración de Clinker se podrían reducir al utilizar las cantidades diseñadas y no crear tanto desperdicio al momento de utilizar el cemento en la dosificación de la mezcla.

En lo económico, Solís et al en el 2008 explica que la ganancia obtenida en la resistencia a compresión axial no es necesariamente por la utilización de altos contenidos de cemento ya que estos no brindan necesariamente una alta resistencia a la compresión, todo está en el material, el diseño y la elaboración de la mezcla.



## Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones. –

### 5.1 Conclusiones. -

Las conclusiones presentadas en este trabajo pueden ser asumidas con base en las hipótesis y preguntas de investigación.

El concreto siempre será una de las temáticas favoritas en los constructores, ya que al hablar de un material heterogéneo las variables que presenta son inmensas, como el clima, el tipo de agregado, la mano de obra entre muchas otras.

Muchos han concluido, después de extensos estudios teóricos y experimentales, que hay una gran dificultad para concebir, dosificar y fabricar el hormigón especificado para un proyecto, ya que se debe adaptar los recursos de la zona.

En la hipótesis de este tema se planteó si se podrá reducir la cantidad de cemento hasta un 15% sin afectar la resistencia a la compresión. Las preguntas de investigación asociadas con la hipótesis fueron en que porcentaje se podrá reducir o aumentar la resistencia a compresión, en un concreto con agregado calizo en una zona cálida subhúmeda.

Se determinó que la hipótesis propuesta en esta investigación se cumple parcialmente ya que los concretos elaborados con relación a/c a 0.5 resultaron con un aumento en su compresión del 10%, la relación 0.55 aumento un 6%, la relación 0.6 un 15% y la relación 0.65 un 19%. Al interpolar las relaciones dadas por el ACI211.1 la relación 0.48 aumenta un 7%, la relación 0.57 un 10%, 0.68 con un 9%. Al obtener estos resultados podemos obtener que las relaciones intermedias al ser más trabajables obtienen una resistencia a la compresión esperada o superada por casi el 15%. Y las relaciones menos trabajables que son las 0.4 y 0.7 las cuales muestran una resistencia a la compresión menor a la esperada, reduciendo su resistencia a compresión axial por un 5%.



La relación a/c al ser observada en distintas dosificaciones, se considera que influye en la consistencia, ya que con mayor cantidad de agua mayor fluidez, trabajabilidad y plasticidad en la mezcla.

Al modificar las relaciones a/c dadas por el diseño, se genera un cambio en su dosificación modificando las propiedades del cemento, variando así su reacción de hidratación.

Al tomar humedad 0 en esta investigación, se pudo manipular la cantidad de agua en el diseño de mezcla colocando desde el 85% hasta el 100% del agua de diseño, sin embargo, al respetar un revenimiento dado de 8cm, se sacrificó la trabajabilidad de la mezcla por la obtención del revenimiento. Lo cual fue notorio en las relaciones de 0.5, 0.45 y sobre todo en la relación a/c 0.4. El contenido de aire se mantuvo en orden decreciente, en base a las relaciones a/c con mayor fluidez obteniendo como mayor cantidad de aire un 4% en la relación a/c 0.7 y como más baja de 2.9% en la relación a/c 0.4.

El desgaste del agregado, demostró la alta porosidad del material de la ciudad de Chetumal. Arrojando un 34.2% de desgaste en agregado grueso. Sin embargo, demostró que la calidad del agregado no afectó en los resultados a resistencia a compresión de la mayoría de las relaciones a/c ya que estas resultaron con una resistencia a la compresión de casi un 15% de aumento.

Los agregados calizos proporcionan una buena adherencia con la pasta de cemento y las resistencias obtenidas podrían aumentar si se utilizan la piedra caliza con un bajo coeficiente de desgaste, ya que al tener un agregado resistente y una buena adherencia se justifica que la resistencia a compresión arroje valores tan elevados.

En las resistencias a compresión como se mostró anteriormente, los resultados en su mayoría fueron favorecedores ya que el concreto alcanzó la resistencia a carga axial de manera que se superó en 5 relaciones a/c. y en 2 de ellas, las menos trabajables 0.4 y 0.7 presento una resistencia a la compresión con casi un 5% menor a la esperada. El aumento en las resistencias a compresión, intermedias, 0.45, 0.5, 0.55,



0.6 y 0.65, demuestran que, al tener una buena trabajabilidad y buen diseño de mezclas, el concreto puede alcanzar un porcentaje extra (+- 20%) de lo diseñado.

Una de las observaciones que podría explicar el por qué se han alcanzado resistencias superiores a lo esperado en investigaciones anteriores, es que al pensar que el agregado calizo es de baja calidad, se provocó una práctica de sobredosificación al utilizar el paso 9, esperando alcanzar que el concreto cumpla las cargas axiales diseñadas.

En esta investigación se demostró que al preparar concretos con agregado calizo en una zona cálido subhúmeda, cumple con los estándares solicitados por las normas ASTM y el diseño de ACI 211.1.

Con esta línea de trabajo se ha contribuido al fortalecimiento de una línea de investigación sobre los concretos con agregados calizos con diferentes resistencias a compresión, en una zona cálido subhúmeda. Esperando que los resultados puedan contribuir al establecimiento de una dosificación especial para la península de Yucatán.



## 5.2. Recomendaciones

El principal estudio de este trabajo fue la comparación de las resistencias mecánicas a compresiones axiales obtenidas para concretos con características dadas en el sureste de México, agregados calizos y un clima cálido subhúmedo.

Enfocando en los resultados de las pruebas mecánicas y la composición física del concreto.

Algunas recomendaciones que se sugieren si se sigue la línea de investigación de concretos con agregados calizos a diferentes relaciones a/c son;

- Hacer la comparativa del uso de agregados lavados y agregados normales, para analizar sus características mecánicas y físicas.
- Implementación de diferentes tipos de curado para comprobar el nivel de hidratación y como este afecta la resistencia compresión axial.
- Análisis del curado acelerado y los beneficios que este conlleva en diferentes relaciones a/c con agregado calizo.

Se limitó a ensayos básicos en la elaboración de concretos como lo fue las pruebas en los agregados, como granulometría, absorción, peso varillado entre otras, en el concreto fresco el revenimiento, peso volumétrico y contenido de aire y por último en concreto endurecido que fueron pruebas mecánicas como la resistencia a compresión, módulo de elasticidad y en pruebas físicas que fueron la porosidad, la densidad y la absorción. Se recomienda el poder seguir la línea de la investigación en el área química, para poder observar el comportamiento de las partículas cementantes con el agregado calizo.



## Referencias.

1. Acuña, L., Torre, A. V., Moromi, I., & García, F. (2014). Uso de las Redes Neuronales Artificiales en el Modelado del Ensayo de Resistencia a Compresión de Concreto de Construcción según la Norma ASTM C39/C 39M. *Información Tecnológica*, 25(4), 03–12.
2. Alvarez Cangahual, J. A. (s/f). *diseño de mezclas alvarez*.
3. Álvarez, J. I. (2015). *Influencia del tiempo de mezclado en el comportamiento de la consistencia y resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregado calizo en clima cálido subhúmedo*. Chetumal, Quintana Roo, Mexico.
4. ASTM C 29/C29 M. (2003). Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate. American Concrete Institute.
5. ASTM C 31/C 31M - 03. (2003). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. American Concrete Institute.
6. ASTM C33 -08. (2008). Standard Specification for Concrete Aggregates. American Concrete Institute.
7. ASTM C 39/C 39M - 05. (2005). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens<sup>1</sup>. American Concrete Institute.
8. ASTM C127 01. (2001). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. American Concrete Institute.
9. ASTM C 128 - 03. (2003). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. American Concrete Institute.
10. ASTM C131-06. (2006). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. American Concrete Institute.



11. ASTM C143-C143-08. (2008). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. American Concrete Institute.
12. ASTM C 183- C138M -09. (2009). Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete. American Concrete Institute.
13. ASTM C 192 - C 192M - 06. (2006). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. American Concrete Institute.
14. ASTM C 231 - 09. (2009). Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method. American Concrete Institute.
15. ASTM C469-02. (2002). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. American Concrete Institute.
16. ASTM C 642 - 97. (1997). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. American Concrete Institute.
17. ASTM C 702 - 98. (1998). Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size. American Concrete Institute.
18. ASTM D 75-97. (1997). Standard Practice for Sampling Aggregates. American Concrete Institute.
19. Beltrán Cuevas, A. A. (2013). Concreto modificado a base de desperdicios industriales. Recuperado a partir de <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/33776>
20. Bolognini, H., Martínez, N., & de Rincón, O. T. (2015). Chemical and physical-mechanical characterizations of cement with the addition of limestone filler in Venezuela. *Revista ALCONPAT*, 5(3), 180–192.
21. Bonavetti, V. L., Cabrera, O., Donza, H., Menéndez, G., Trezza, M., & Irassar, E. F. (s/f). Diseño y Propiedades de Hormigones de Alto Desempeño Elaborados con Cemento Mezcla. *Revista de la Construcción.*, 3(2).



22. Díaz, V. A., & García, E. J. P. (s/f). Experiencias en el uso de hormigones de alto desempeño con áridos calizos, en estructuras sometidas a fuerte aerosol marino.
23. Fundamentos de Ingeniería de Yacimientos. (s/f). Recuperado a partir de <http://yacimientos-esia-ticomán.blogspot.mx/p/conceptos-basicos.html>
24. Guerrero Hernández, C. J. (2001). Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña, 5(14), 3–14.
25. Guerrero Vargas, C., & Navas, Carro, A. (2012). Módulo de elasticidad en concretos de alto desempeño, 22(2), 75–92.
26. Helene, P. R. D. L., & Castro-Borges, P. (2009). A novel method to predict concrete carbonation. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 1(1), 25–35.
27. Hernández, D. (2013, junio). *Caracterización de la roca caliza, producto de la explotación en los bancos de material pétreo en el municipio de Othón P. Blanco*. Instituto Tecnológico de Chetumal., Chetumal.
28. Howland, J. J., & Martin, A. R. (2010). Influencia del tipo de agregado empleando el método de fractura superficial para la estimación de la resistencia a compresión del concreto, IV(1), 7.
29. Ilinoiu, G. (2004). Concrete mix design optimized approach, 49.
30. IMCYC. (1985). *Problemas en el concreto: causas y soluciones*.
31. INEGI. (2013). *Estadísticas a propósito de la Industria del Cemento*.
32. Jang-Ho, J. K., Hung Duc, Byung Yun, Jung Wook, & Tong Seok. (2012). Development of satisfaction curves to evaluate concrete mix design performance using a Bayesian probabilistic method, 578.



33. Ji, T., Chen, C.-Y., Zhuang, Y.-Z., & Chen, J.-F. (2013). A mix proportion design method of manufactured sand concrete based on minimum paste theory. *Construction and Building Materials*, 44, 422–426.
34. Ji, T., Lin, T., & Lin, X. (2006). A concrete mix proportion design algorithm based on artificial neural networks. *Cement and Concrete Research*, 36(7), 1399–1408.
35. Kú, V. M. (2015). *Evaluación microestructural y su influencia en la resistencia a compresión de un concreto modificado con sustitución parcial del agregado fino por vidrio reciclado triturado*. Chetumal, Quintana Roo, Mexico.
36. Medina L. (2006). Proceso de fabricación del hormigón.
37. Moreno, É. I., Vázquez-Rojas, C., & Solís-Carcaño, R. (2011). Diferencias en la resistencia de concretos sujetos a curados húmedos y al ambiente en clima cálido subhúmedo. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 3(1), 25–35.
38. Muciño, R. (2003). *Concretos para técnicos de la construcción*.
39. Nan Su, & Buquan Miao. (2001). A new method for the mix design of medium strength flowing concrete with low cement content. *Elsevier*, 215–222.
40. Nicolás, M. I. (2015). *Influencia de la ceniza de madera de pino en las propiedades físicas y resistencia a la compresión de un concreto*. Chetumal, Quintana Roo, Mexico.
41. Rejón, D. (2015). *Estudio de la microestructura y la interfaz de los agregados y el cemento en la fabricación local de concreto*. Chetumal, Quintana Roo, Mexico.
42. Rivas Mercury, J. M., De Aza, A. H., Turrillas, X., & Pena, P. (2003). Hidratación de los cementos de aluminatos de calcio. Parte II: Efecto de las adiciones de sílice y alumina. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 42(6), 361–368.  
<https://doi.org/10.3989/cyv.2003.v42.i6.623>



43. Salomón, I. L. A. A., & Graham, I. L. E. (2003). Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán. *Ingeniería*, 7(1), 27–36.
44. SOLIDIFICACIÓN: NUCLEACIÓN Y CRECIMIENTO. (2009). Recuperado a partir de <http://tecnologiasselectividad.blogspot.mx/2009/09/solidificacion-nucleacion-y-crecimiento.html>
45. Solís-Carcaño, R. G., Moreno, E. I., & Serrano-Zebadua, C. (2013). Influencia del tiempo de curado húmedo en la resistencia y durabilidad del concreto en clima tropical. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 4(2), 15–25.
46. Solís-Carcaño, R., & Moreno, E. I. (2008). Evaluation of concrete made with crushed limestone aggregate based on ultrasonic pulse velocity. *Construction and Building Materials*, 22(6), 1225–1231. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.014>
47. SOLÍS, C. R., & ERIC I. MORENO. (2006). Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 21(3). Recuperado a partir de <http://revistadelaacademiadeingenieria.com/index.php/ingenieria/article/viewFile/497/497>
48. Solís, R. G., Moreno, E., & Arjona, E. (2012). Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c. *Revista ALCONPAT*, 2(1), 21–28.
49. Tobón, J., & Kases, R. (2008). Desempeño del cemento Pórtland adicionado con calizas de diferentes grados de pureza. *Dyna*, 75(156), 177–184.
50. Vázquez, J. A. (2013). *Evaluación de un concreto hidráulico reforzado con fibras de Polietilentereftalato (PET) de botellas de postconsumo*. Chetumal, Quintana Roo, Mexico.
51. Videla, C., Covarrubias, J. P., & Pascual, J. M. (2012). Comportamiento de Hormigones Fabricados con Distintas Clases de Cemento ante Climas Extremos. *Revista Ingeniería de Construcción*, (14), 32–46.



52. Yam, J. L. C., Carcaño56, R. S., & Moreno, E. I. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. Recuperado a partir de <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen7/influencia.pdf>



# Apéndice

## Apéndice 1.- propiedades índices de los agregados.

### AGREGADO GRUESO: GRAVA

1.1.- Tabla de muestras y promedio de peso volumétrico seco y suelto (PVSS) de la grava, según la norma ASTM C29.

ASTM C29			
	COMPACTADO	SUELTO	% D EVACIOS.
<b>1</b>	1338.5	1237.2	37.36
<b>2</b>	1368.1	1236.4	39.28
<b>3</b>	1380.4	1244.2	38.43
<b>4</b>	1349.2	1258	40
$\bar{X}$	1359.05	1243.95	38.7675

1.2.- Tabla de muestreo en gravedad específica (G.E.) y absorción de la grava según la norma ASTM C127.

ASTM C127				
MUESTRA	P. SECO	SSS	D. RELATIVA APARENTE	ABSORCION
<b>1</b>	2.3122	2.4165	2.5815	4.51
<b>2</b>	2.3076	2.4133	2.5802	4.58
$\bar{X}$	2.3099	2.4149	2.58085	4.545

1.3.- Tabla de Desgaste de la grava (máquina de los ángeles) ASTM C131.

ASTM C131			
	peso, kg	peso desgastado kg	% desgaste
<b>1</b>	5	3.28	34
<b>2</b>	5	3.3	34.4



$\bar{X}$	% desgaste	34.2
-----------	------------	------

1.4.-Tabla de Granulometría del agregado grueso, ASTM C33.

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO ASTM C33						
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO		¾		19 to 9.5 mm	(3/4 in to 3/8 in)	
TAMAÑO DE LA MUESTRA		3000	G			
MALLA	RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITE MAXIMO	LIMITE MINIMO
<b>1</b>	0	0.00	0.00	100.00	100	100
<b>3/4</b>	411.8	13.73	13.73	86.27	100	90
<b>1/2</b>	1594.4	53.15	66.87	33.13	55	20
<b>3/8</b>	685.4	22.85	89.72	10.28	15	0
<b>1/4</b>	256.6	8.55	98.27	1.73	5	0
<b>#4</b>	6.8	0.23	98.50	1.50	0	0
<b>#8</b>	2.6	0.09	98.59	1.41		
<b>FONDO</b>	29.4	0.98	99.56666667	0.433333333		

**AGREGADO FINO: ARENA**

Tabla 1.5.- Tabla de peso volumétrico seco y suelto de la arena lavada. ASTM C29

ASTM C29			
	COMPACTADO	SUELTO	% D EVACIOS.
<b>1</b>	1770.8	1583.3	32.92
<b>2</b>	1776.1	1589.9	32.72
$\bar{X}$	1773.45	1586.6	32.82

Tabla 1.6.- muestreo de pesos para gravedad específica (GE) de la arena. ASTM C127

ASTM C127				
MUESTRA	P. SECO	SSS	D. RELATIVA APARENTE	ABSORCION



<b>1</b>	2.574	2.632	2.732	2.240
<b>3</b>	2.568	2.632	2.742	2.450
<b>2</b>	2.604	2.674	2.799	2.669
$\bar{X}$	2.582	2.646	2.757	2.453

Tabla 1.7.- Granulometría de la arena, ASTM C33.

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO ASTM C33						
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO						
TAMAÑO DE LA MUESTRA		500	g			
MALLA	RETENIDO (g)	% RETENIDO	% ACUMULADO	% QUE PASA	LIMITE MAXIMO	LIMITE MINIMO
<b>3/8</b>	0	0.00	0.00	100.00	100	100
<b>#4</b>	2.667	0.53	0.53	99.47	100	95
<b>#8</b>	69.000	13.80	14.33	85.67	100	80
<b>#16</b>	115.000	23.00	37.33	62.67	85	50
<b>#30</b>	84.667	16.93	54.27	45.73	60	25
<b>#50</b>	74.000	14.80	69.07	30.93	30	5
<b>#100</b>	57.667	11.53	80.60	19.40	10	0
<b>#200</b>	35.333	7.07	87.67	12.33	5	0
<b>FONDO</b>	23.667	4.73	92.40	7.60		
	462.00	92.40		443.87		
					MF	2.561



## Apéndice 2.- Dosificación de mezclas de concreto.

Para la dosificación de las mezclas de concreto fue con el método del ACI211.1 para las relaciones agua/cemento 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65 y 0.7.

Tabla 2.1.- Con un revenimiento de 7.5 y con aire atrapado del 2%, se utilizó un TMA  $\frac{3}{4}$ ".

MATERIALES	PESO EN kg/m <sup>3</sup>			
	MEZCLA	AGUA	CEMENTO	GRAVA
CPC0.4	264	497.51	875	767
CPC0.45	265	455.56	875	809
CPC0.5	266	406.02	875	859
CPC0.55	267	377.86	875	887
CPC0.6	268	342.27	875	923
CPC0.65	268	317.11	875	948
CPC0.7	269	293.32	875	972

Tabla 2.2.- Resumen de mezclas de concreto, % de aire, peso volumétrico, agua utilizada, agua de diseño arena, grava, cemento.

A/c	Revenimiento	% aire	P.V. diseñado	Peso volumétrico	% de agua utilizado	Agua	Cemento	Grava	Arena
0.7	10.5	4	2345	2232.65	93.06	34.97	38.13	113.75	126.49
0.65	9	3.6	2345	2258.42	93.5	34.84	41.22	113.75	123.24
0.6	8	3.5	2345	2255.82	93	34.84	44.5	113.75	119.99
0.55	8	3.7	2345	2272.63	88.2	34.71	49.12	113.75	115.31
0.5	8	3.2	2345	2281.65	88	34.58	52.78	133.75	111.67
0.45	8	3	2345	2286.16	90	33.28	59.22	133.75	105.17
0.4	8	2.9	2345	2318.96	93	34.32	64.68	133.75	99.71



### Apéndice 3.- porosidad densidad y absorción de los concretos.

Tabla 3.1.- Tabla de pesos presentados en seco, sss, sumergido, densidad aparente y absorción.

mezcla	numero de espécimen	peso saturado g	peso seco la horno	peso hervido g	peso sumergido g	porosidad %	densidad aparente	absorción % DI
CPC0.4	1	3.610	3.300	3.600	2.100	20.000	2.185	9.394
	2	3.610	3.315	3.600	2.080	18.750	2.167	8.899
	3	3.600	3.342	3.599	2.000	16.073	2.089	7.720
	4	3.630	3.350	3.615	2.000	17.377	2.055	8.358
	PROMEDIO	3.613	3.327	3.604	2.045	18.050	2.124	8.593
CPC0.45	1	3.700	3.390	3.685	2.110	18.730	2.132	9.145
	2	3.720	3.415	3.705	2.135	18.471	2.155	8.931
	3	3.690	3.400	3.680	2.120	17.949	2.166	8.529
	4	3.690	3.395	3.680	2.115	18.211	2.156	8.689
	PROMEDIO	3.700	3.400	3.688	2.120	18.340	2.152	8.824
CPC0.5	1	3.615	3.305	3.600	2.030	18.790	2.085	9.380
	2	3.625	3.320	3.620	2.045	19.048	2.101	9.187
	3	3.620	3.315	3.620	2.040	19.304	2.098	9.201
	4	3.610	3.315	3.605	2.035	18.471	2.089	8.899
	PROMEDIO	3.618	3.314	3.611	2.038	18.903	2.093	9.167
CPC0.55	1	3.650	3.330	3.635	2.056	19.316	2.089	9.610
	2	3.610	3.320	3.595	2.030	17.572	2.101	8.735
	3	3.650	3.325	3.635	2.055	19.620	2.085	9.774
	4	3.660	3.335	3.640	2.070	19.427	2.097	9.745
	PROMEDIO	3.643	3.328	3.626	2.053	18.984	2.093	9.466
CPC0.6	1	3.597	3.285	3.585	2.025	19.231	2.090	9.498
	2	3.613	3.290	3.595	2.025	19.427	2.072	9.818
	3	3.596	3.275	3.580	2.025	19.614	2.085	9.802
	4	3.598	3.280	3.585	2.025	19.551	2.085	9.695
	PROMEDIO	3.601	3.283	3.586	2.025	19.456	2.083	9.703
CPC0.65	1	3.603	3.265	3.577	2.007	19.873	2.046	10.352
	2	3.602	3.265	3.576	2.008	19.834	2.048	10.322
	3	3.612	3.280	3.588	2.016	19.593	2.055	10.122
	4	3.608	3.285	3.583	2.018	19.042	2.066	9.833
	PROMEDIO	3.606	3.274	3.581	2.012	19.585	2.054	10.157
CPC0.7	1	3.560	3.221	3.557	1.995	21.538	2.058	10.525
	2	3.575	3.238	3.565	1.992	20.895	2.045	10.408
	3	3.587	3.245	3.582	1.995	21.383	2.038	10.539
	4	3.559	3.218	3.549	1.980	21.218	2.038	10.597
	PROMEDIO	3.570	3.231	3.563	1.991	21.259	2.045	10.517



### Apéndice 4.- Resistencia a la compresión.

Tabla 4.1.- Resistencia a compresión a los 3 días

\*Las celdas coloreadas, son las muestras eliminadas por el criterio de Chauvenet.

Mezcla	Numero De Espécimen	Diámetro	Área	Carga De Ruptura	Resistencia A Compresión
0.4	1	14.9	174.366654	58300	334.38
	2	15	176.715	56020	321.31
	3	14.9	174.366654	52350	300.22
	4	15	176.715	46020	260.42
	5	15	176.715	54580	308.86
	Promedio	14.96	175.775662	53454	305.038
0.45	1	15	176.715	52850	299.09
	2	15	176.715	56220	318.14
	3	15	176.715	53980	305.42
	4	14.9	174.366654	47830	260.7
	5	15.1	179.079054	55910	314.28
	Promedio	15.025	177.306014	54740	309.2325
0.5	1	15	176.715	48460	274.27
	2	15	176.715	51700	292.55
	3	15	176.715	53640	303.52
	4	15	176.715	47690	269.91
	5	14.85	173.198372	48470	279.83
	Promedio	14.97	176.011674	49992	284.016
0.55	1	15	176.715	43760	247.62
	2	15.1	179.079054	48800	272.51
	3	14.8	172.034016	42350	246.15
	4	14.85	173.198372	41430	239.19
	5	15	176.715	43730	247.34
	Promedio	14.9125	174.665597	42817.5	245.075
0.6	1	15	176.715	43760	247.62
	2	15.1	179.079054	48800	272.51
	3	14.8	172.034016	42350	246.15
	4	14.85	173.198372	41430	239.19
	5	15	176.715	43730	247.34
	Promedio	14.9125	174.665597	42817.5	245.075



0.65	1	15	176.715	33280	188.36
	2	14.9	174.366654	37205	210.78
	3	15	176.715	28060	158.76
	4	15.1	179.079054	32810	183.22
	5	15	176.715	22690	128.38
	Promedio	15	176.718142	30809	173.9
0.7	1	15	176.715	21450	121.35
	2	15	176.715	17500	99.06
	3	14.8	172.034016	21250	123.53
	4	15	176.715	21800	121
	5	15	176.715	20180	114.18
	Promedio	14.96	175.778803	20436	115.824

Tabla 4.2.- Resistencia a compresión 14 días

*\*Las celdas coloreadas, son las muestras eliminadas por el criterio de chauvenet.*

Mezcla	Numero De Espécimen	Diámetro	Área	Carga De Ruptura	Resistencia A Compresión
0.4	1	14.99	176.479459	68080	385.768178
	2	14.95	175.538864	67210	382.879072
	3	14.99	176.479459	67140	380.441767
	4	<b>15.07</b>	<b>178.368188</b>	<b>62550</b>	<b>350.679944</b>
	5	14.82	172.499287	67340	390.379338
	<b>promedio</b>	14.9375	175.249267	67442.5	384.867089
0.45	1	15	176.715	61180	346.2
	2	14.9	174.366654	60200	345.21
	3	14.98	176.244074	55960	347.74
	4	<b>15</b>	<b>176.715</b>	<b>54880</b>	<b>310.55</b>
	5	14.95	175.538864	60200	342.89
	<b>promedio</b>	14.9575	175.716148	59385	345.51
0.5	1	14.930	175.069508	54560	311
	2	14.937	175.233711	63160	360.4
	3	15.000	176.715	62140	351.61
	4	14.950	175.538864	51890	295.57
	5	14.925	174.952268	57870	330.8
	<b>promedio</b>	14.9484	175.50187	57924	329.876
0.55	1	15	176.715	52010	294.31
	2	15	176.715	54230	306.89



	3	15.1	179.079054	53620	303.45
	4	15	176.715	52390	296.49
	5	15	176.715	56340	318.78
	<b>promedio</b>	15.02	177.187811	53718	303.984
0.6	1	15	176.715	52010	294.31
	2	15	176.715	54230	306.89
	3	15.1	179.079054	53620	303.45
	4	15	176.715	52390	296.49
	5	15	176.715	56340	318.78
	<b>promedio</b>	15.02	177.187811	53718	303.984
0.65	1	15	176.715	44470	251.7
	2	15	176.715	48650	275.26
	3	15	176.715	46450	262.88
	4	15.05	177.895064	42940	241.37
	5	15	176.715	45450	257.19
	<b>promedio</b>	15.01	176.951013	45592	257.68
0.7	1	14.95	175.538864	32828	186.95
	2	15	176.715	30630	173.38
	3	15.05	177.895064	30050	168.95
	4	<b>15.1</b>	<b>179.079054</b>	<b>26450</b>	<b>147.72</b>
	5	14.9	174.366654	31240	179.14
	<b>promedio</b>	14.975	176.128895	31187	177.105

Tabla 4.3.- Resistencia a compresión 28 días.

Mezcla	Numero De Especimen	Diámetro	Área	Carga De Ruptura	Resistencia A Compresión
0.4	1	14.92	174.835067	72130	412.561222
	2	15.03	177.422567	73280	413.026216
	3	14.98	176.244074	70620	400.69526
	4	14.87	173.665213	68400	393.862183
	5	14.95	175.538864	74430	424.009661
	<b>promedio</b>	14.95	175.541157	71772	408.830908
0.45	1	14.92	174.835067	63750	364.630222
	2	14.98	176.244074	70510	400.071124
	3	15.02	177.186554	67260	379.600798
	4	14.98	176.244074	62870	356.722048
	5	15	176.715	73540	416.151272



	promedio	14.98	176.244954	67586	383.435093
0.5	1	14.96	175.773777	65780	374.25
	2	15.01	176.950699	63760	362.79
	3	15.00	176.715	66850	378.26
	4	14.96	175.773777	64680	367.49
	5	15.00	176.715	63860	361.38
	promedio	14.986	176.38565	64986	368.834
0.55	1	14.9205	174.846785	50960	291.43
	2	14.92	174.835067	54850	313.71
	3	14.975	176.126441	57690	327.56
	4	15.025	177.304541	61420	346.41
	5	14.975	176.126441	51050	289.88
	promedio	14.9631	175.847855	55194	313.798
0.6	1	15	176.715	43760	247.62
	2	15.1	179.079054	48800	272.51
	3	14.8	172.034016	42350	246.15
	4	14.85	173.198372	41430	239.19
	5	15	176.715	43730	247.34
	promedio	14.95	175.548288	44014	250.562
0.65	1	15	176.715	51240	289.95
	2	15.05	177.895064	53550	300.99
	3	15.1	179.079054	55770	311.39
	4	14.95	175.538864	54355	309.62
	5	14.85	173.198372	50340	290.65
	promedio	14.99	176.485271	53051	300.52
0.7	1	15	176.715	34730	196.51
	2	14.95	175.538864	33800	192.57
	3	14.95	175.538864	37620	212.61
	4	15	176.715	37254	210.54
	5	14.96	175.773777	31810	180.97
	promedio	14.972	176.056301	35042.8	198.64



## Apéndice 5.- Modulo de elasticidad.

Tabla 5.1.-Tabla de resultados para módulo de Young, deformación longitudinal.

MEZCLA	NUMERO DE ESPECIMEN	CARGA kg	ESFUERZO kg/cm2	DEFORMACION mm	MODULO DE ELASTICIDAD Kg/cm2
CPC 0.4	MECPC-04-1	28968.2112	164.635907	0.0462812	480873.5459
	MECPC-04-2	28852.0675	165.012663	0.0525184	435662.8113
	MECPC-04-3	28466.6066	164.696333	0.04211056	549806.5215
	X				488780.9596
cpc0.45	MECPC-045-1	26815.16	160.093742	0.0818029	278035.2475
	MECPC-045-2	27013.22	153.582846	0.0615	346499.807
	MECPC-045-3	27103.49	153.354271	0.05440917	386765.3808
	X				337100.1451
CPC 0.5	MECPC-0.5-1	25794.05	147.624847	0.07757437	270583.8275
	MECPC-0.5-2	25984.57	148.47288	0.0743594	292199.4054
	MECPC-0.5-3	26071.4	147.469089	0.0725	290145.5843
	X				284309.6057
CPC 0.55	MECPC-055-1	22033.4977	125.499274	0.05676189	330390.504
	MECPC-055-2	22107.25	125.648369	0.0561	305065.8292
	MECPC-055-3	22181.1254	125.060125	0.085	214368.0016
	X				283274.7783
CPC 0.6	MECPC-06-1	21101.1757	120.714009	0.05921597	276622.1353
	MECPC-06-2	21242.5567	120.25012	0.06847519	255417.0933
	MECPC-06-3	20960.2667	120.378521	0.05295945	333043.4949
	X				288360.9079
CPC 0.65	MECPC-065-1	19363.76	109.738013	0.05488341	289947.4289
	MECPC-065-2	19183.81	109.914006	0.0625	252956.05
	MECPC-065-3	19266.53	109.894463	0.06351565	231123.6561
	X				258009.045
CPC 0.7	MECPC-07-1	13761.6498	79.9661098	0.03763188	310129.2596
	MECPC-07-2	14078.5348	80.1415213	0.02639275	441599.8596
	MECPC-07-3	13947.6159	79.9822884	0.026	440419.912
	X				397383.0104



Tabla 5.2.- Tabla de resultados para módulo de Poisson, deformación transversal.

MEZCLA	NUMERO DE ESPECIMEN	CARGA kg	DEFORMACION LONGITUDINAL AL S2	DEFORMACION mm	MODULO DE POISSON Kg/cm2
CPC 0.4	1	28968.2112	0.000308541	5.32812E-05	0.20608399
	2	28852.0675	0.000350123	5.61247E-05	0.18700601
	3	28466.6066	0.000280737	4.84807E-05	0.21011252
				<b>MEDIANA</b>	0.20106751
				<b>PROMEDIO RES</b>	0.20040406
CPC 0.45	1	26815.16	0.000545353	0.000103903	0.20975639
	2	27013.2233	0.00041	0.0001	0.27777778
	3	27103.493	0.000362728	9.7533E-05	0.30914559
				<b>MEDIANA</b>	0.26555992
				<b>PROMEDIO RES</b>	0.25036981
CPC 0.5	1	26000	0.000517162	0.00011059	0.23672603
	2	20000	0.000495729	0.00010636	0.23862086
	3	5000	0.000483333	0.000106667	0.24615385
				<b>MEDIANA</b>	0.24050025
				<b>PROMEDIO RES</b>	0.23698113
CPC 0.55	1	22033.4977	0.113702277	3.73413E-05	0.114
	2	22107.25	0.000374	3.83333E-05	0.11831276
	3	22181.1254	0.000566667	0.000044	0.08516129
				<b>MEDIANA</b>	0.06782468
				<b>PROMEDIO RES</b>	0.10234993
CPC 0.6	1	21101.1757	0.000353063	3.98279E-05	0.11551904
	2	21242.5567	0.000456501	4.633E-05	0.11397265
	3	20960.2667	0.000394773	3.64865E-05	0.12039233
				<b>MEDIANA</b>	0.11662801
				<b>PROMEDIO RES</b>	0.11598555
CPC 0.65	1	19363.757	0.000365889	7.97813E-05	0.25256088
	2	19183.8094	0.000416667	0.00009	0.24545455
	3	19286.5337	0.000423438	7.1713E-05	0.19203467
				<b>MEDIANA</b>	0.2300167
				<b>PROMEDIO RES</b>	0.2288935
CPC 0.7	1	13761.6498	0.000250879	0.00004	0.19912468
	2	14078.5348	0.000175952	0.00004	0.31758215
	3	13947.6159	0.000173333	3.75351E-05	0.27010909
				<b>MEDIANA</b>	0.26227197
				<b>PROMEDIO RES</b>	0.28795859



DEPENDENCIA: DIRECCIÓN  
SECCIÓN: División de Estudios de Posgrado  
OFICIO No. W-016/2018

Chetumal, Q. Roo, 17 de enero de 2018.

ASUNTO: Autorización de impresión.

**C. JARELY JULIETA MORENO VENEGAS**

De acuerdo a las Disposiciones para la Operación de Estudios de Posgrado de el Tecnológico Nacional de México, dependiente de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que el comité tutorial le hizo con respecto a su tesis titulada:

**“PROPUESTA PARA LA REDUCCIÓN DE LA CANTIDAD DE CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETOS CON AGREGADOS CALIZOS EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO”**

La División a mi cargo le concede la autorización para que proceda a la impresión de la misma.

**ATENTAMENTE**

*“Cultura Ciencia y Tecnología para la superación de México”*

**DRA. ALICIA CARRILLO BASTOS**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

(R)  
  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE CHETUMAL  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.c.p. Departamento de Servicios Escolares.  
C.c.p. Minutario.  
ACB/gaby

