

1.- ANTECEDENTES.-

Los hormigones estructurales con áridos livianos han sido utilizados en gran cantidad de aplicaciones desde la segunda mitad del siglo XX, transformándose en una alternativa muy conveniente respecto a los hormigones convencionales, debido principalmente a las ventajas derivadas de la obtención de estructuras con un menor peso propio. Un material de construcción de menor densidad como es la arcilla expandida trae consigo un gran número de ventajas, si se compara con los hormigones tradicionales. Entre ellas cabe destacar:

- Disminución del tamaño de las fundaciones
- Edificaciones de mayor altura
- Mejor aislamiento térmico
- Potencial de reciclaje
- Mayor resistencia al fuego
- Menor deformabilidad térmica

Según CIRSOC 201 el rango posible de obtener con hormigones livianos, se extiende de 800 a 2000 Kg./m³, variando sus resistencias aproximadamente en proporción a sus densidades. Los de valores inferiores a 1200 Kg./m³ sólo son admitidos para su utilización como hormigones simples (sin armar).

Estos hormigones se obtienen principalmente con el reemplazo de manera parcial (fracción gruesa) o total del árido de densidad normal por áridos livianos.

Los hormigones elaborados con agregados livianos como ser la arcilla expandida han sido adoptados debido a que portan una estructuración alveolar, teniendo como ventajas su baja densidad y buena resistencia mecánica.

La capacidad de absorción del agua y el grado de aislamiento térmico no vienen fijados por el porcentaje de burbujas sino por la naturaleza de estas y por su cantidad tamaño y distribución.

La arcilla expandida es un material aislante de origen cerámico, producido industrialmente.

Se fabrica a partir de arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto. Tras un primer proceso de desbaste, esta arcilla pura se almacena en depósitos cerrados para su homogeneización y secado. Una vez seca, la arcilla se muele hasta obtener un polvo impalpable denominado crudo.

Aglomerado con agua en los platos granuladores, el crudo forma por efecto de la rotación unas esferas de barro de tamaño controlado. Estas pequeñas esferas, con una granulometría de 0 a 4 mm., son el germen de la arcilla expandida.

La expansión de la arcilla se produce en hornos rotativos gracias a un choque térmico a 1.200 °C. A esta temperatura, la arcilla comienza a fundir al tiempo que se produce la combustión de la materia orgánica en el interior de la arcilla. Los gases de combustión expanden la bola de barro hasta alcanzar 5 veces su tamaño original.

Las propiedades del hormigón con áridos livianos dependen en gran medida de la cantidad y propiedades del árido particular que se esté utilizando, así como también de los otros componentes del hormigón (dosis de cemento, agua, granulometría). Gran parte de su desarrollo se ha concentrado en la arcilla expandida y Pizarra expandidas, áridos con los que se han logrado las mejores propiedades mecánicas.

Se hace importante contar, por lo tanto, con una tecnología adecuada para el diseño y fabricación de hormigones livianos. Para tal efecto es de gran importancia desarrollar, entre otras cosas, métodos de dosificación basados en metodologías existentes, como ser el del ACI 211.1.74 adecuados para hormigones a base de áridos livianos disponibles, ya que según el Centro de Investigaciones de Tecnología del hormigón (Buenos Aires), dice que todas las experiencias de un hormigón convencional son aplicables a un hormigón liviano.

Un método de dosificación tiene por objeto ser una guía para determinar las proporciones de los materiales componentes del hormigón, de manera que sus propiedades cumplan con ciertos requisitos.

La trabajabilidad depende principalmente de la dosis de agua y granulometría de los áridos, y la resistencia de la razón agua/cemento.

En los hormigones livianos aparece una tercera variable que interesa controlar, una nueva propiedad objetivo, la densidad del hormigón. Esta propiedad a su vez influye en otras propiedades como: resistencia, módulo de elasticidad, conductividad térmica, etc.

Los hormigones livianos elaborados con arcilla expandida, se caracterizan por tener una magnífica resistencia al fuego.

Se debe mencionar que las propiedades del hormigón con áridos livianos dependen en gran medida de la cantidad y propiedades del árido particular que se esté utilizando.

2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.-

Debido a la falta de incentivo para nuevas técnicas de construcción, nuestro país está atrasado tecnológicamente, la falta de apoyo financiero es uno de los factores limitantes más importantes que impiden el desarrollo tecnológico, al menos en el campo de la construcción, limitando el campo de nuevos conocimientos y adaptación de los mismos a las condiciones locales.

En estos tiempos se hace necesaria la utilización de nuevos conocimientos, para optimizar de alguna manera los diseños que hoy en día están en función de la economía nacional, esto sumado al incremento de los precios de los materiales para la construcción.

3.- JUSTIFICACIÓN.-

El criterio que se tomo en cuenta para el cambio del agregado grueso por la arcilla expandida es con el fin de obtener hormigones con menores pesos específicos y de resistencias que puedan ser empleadas en algunos elementos estructurales logrando de esta manera un aligeramiento en dichas estructuras , que es de gran importancia donde se requieran estas estructuras.

Según la ACI 211 y ACI 311 Los hormigones elaborados con agregados livianos tales como la arcilla expandida, no son hormigones de importancia secundaria, sino que sirven como elementos estructurales para ser aplicados en algunas obras civiles, en donde se requiera alivianar el peso muerto de la estructura.

En nuestro país lamentablemente carecemos de nuevos equipos sofisticados y nuevas técnicas para poder obtener mejores resultados en el campo de la investigación en los ensayos que se quiera realizar.

Con la finalidad de optimizar costos y obtener elementos constructivos de baja densidad, con esta investigación lo que se quiere alcanzar es el uso de este hormigón con arcilla expandida en algunos elementos estructurales.

Hoy en día, existe la tendencia a construir edificios cada vez más esbeltos, y con ello surge la necesidad de aligerar el peso.

En la actualidad la conservación del medio ambiente ha cobrado una gran importancia, más aún si se considera la escasez de recursos pétreos y el gran impacto ambiental que tiene la explotación de éstos. Muchos áridos livianos artificiales son fabricados con desechos de otras industrias, por lo que su utilización no requiere de explotación de recursos naturales.

4.- HIPÓTESIS.-

Debido a la baja de densidad que presenta este material, es comúnmente utilizado en estructuras que resistan cargas de considerable magnitud. Puede ocurrir que durante el proceso de mezclado la arcilla expandida utilizada como agregado grueso empiece a flotar, para esto se tomara en cuenta las técnicas de mezclado para evitar este inconveniente.

Debido a las características físicas y mecánicas que presenta este tipo de hormigones elaborados con arcillas expandidas, son convenientes como componentes de elementos estructurales.

Aunque no existe un proceso determinado para la dosificación de este tipo de hormigón, se hace referencia a metodologías establecidas y se relaciona tratando de buscar proporciones que sean coherentes, dando resistencias que sean aplicables a elementos estructurales.

La adición de la arcilla expandida en un hormigón convencional sustituyendo al agregado grueso, hace que las características físico-mecánicas del mismo, reduzcan.

5.- OBJETIVOS.-

5.1.- OBJETIVOS GENERALES.-

Elaborar en laboratorio hormigones con arcilla expandida en base al código ACI 211.1.74, de tal manera que permita conocer sus características principales como ser la densidad, la resistencia y su comportamiento para ser aplicados en algunas obras civiles.

Considerar para este trabajo las variables objetivo densidad y resistencia con materiales de nuestro medio como ser la arena y cemento.

5.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-

Se pretende alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la resistencia característica de un hormigón elaborado con arcilla expandida.
- Determinar la densidad del hormigón elaborado con arcilla expandida en estado seco al aire.
- Realizar una planilla de costos del hormigón con arcilla expandida por m³
- Recomendar el uso de este tipo de hormigón para el aligeramiento de elementos estructurales tales como vigas, columnas, vigas, entresijos, etc.
- Hacer del proyecto a ejecutar un aporte de información: Recopilación de conceptos fundamentales, hipótesis, criterios básicos.

6.- ALCANCE

6.1.- INFORMACIÓN DISPONIBLE Y EXISTENTE.-

Se procederá a la obtención de toda la información disponible y existente, viendo las variables que se puedan generar con esta investigación como ser la relación agua-cemento, Tamaño del agregado grueso (Bolitas de Arcilla expandida). Las cantidades de cemento, etc.

Tomando en cuenta los convenios existentes entre la empresa de cementos SOBOCE y la facultad de tecnología de la U.A.J.M.S., se tiene como alternativa el uso del laboratorio de SOBOCE, el cual desde hace un año tiene equipos nuevos y certificados y según la Norma BIPM/ISO GUM para la calibración y mayor exactitud en cuanto a mediciones y pesaje, el laboratorio esta a disposición del público y empresas privadas desde hace un año.

Existe información bibliográfica en libros en cuanto a conceptos y definiciones generales, pero el trabajo se basa más en la información seleccionada y obtenida de Internet, Información que se obtuvo mayormente de páginas argentinas, país donde se

desarrollo el hormigón con Arcilla Expandida y donde se encuentran las fabricas de la Arcilla Expandida.

6.2. RESULTADOS PROPUESTOS.-

- Análisis de ensayos en laboratorio.
- Resistencia característica del hormigón con arcilla expandida.
- Densidad del hormigón con arcilla expandida seca en el aire.
- Costo referencial del nuevo material.
- Comparación y análisis de resultados del hormigón elaborado con Arcilla expandida.
- Ejemplos de uso del hormigón elaborado con arcilla expandida.

1.1.- FUNDAMENTO TEÓRICO.-

Una estructura construida con hormigones elaborados a base de arcilla expandida requiere de fundaciones de menor dimensión debido al aligeramiento que presenta este tipo de hormigón. Esto trae consigo un ahorro importante de insumos y tiempo, debido al menor trabajo en el movimiento de tierras y volumen de hormigón colocado. Por otra parte, se posibilita la construcción en suelos de escasa capacidad portante manteniendo un tamaño de fundaciones adecuado.

Uno de los principales objetivos de los materiales de construcción es entregar la mayor capacidad resistente al menor peso posible. Los hormigones livianos elaborados con arcilla expandida para uso estructural, presentan una razón resistencia/peso muy superior al hormigón tradicional, lo que permite la construcción de edificaciones de hormigón de mayor altura. Como consecuencia de lo anterior, estos hormigones posibilitan la fabricación de vigas y losas de mayor luz, ya que la pérdida de capacidad portante que podría experimentar por el uso de áridos más livianos, es proporcionalmente menor a la disminución de densidad.

Cabe destacar que un material de menor peso abre grandes posibilidades con respecto al desarrollo de prefabricación, pues se reducen de manera considerable los costos de transporte y montaje, principales costos asociados a esta tecnología. Los hormigones livianos elaborados con arcilla expandida poseen una conductividad térmica y acústica considerablemente menor que los hormigones convencionales.

1.1.1.- EL HORMIGÓN ELABORADO CON ARCILLA EXPANDIDA

Las propiedades del hormigón elaborado con arcilla expandida dependen en gran medida de la cantidad y propiedades del árido, así como también de los otros componentes del hormigón (dosis de cemento, agua, granulometría).

En los hormigones livianos gran parte de su desarrollo se ha concentrado en la arcilla expandida, con este áridos se han logrado las mejores propiedades mecánicas.

Como consecuencia de lo anterior, la tecnología de los hormigones elaborados con arcilla expandida, no ha llegado a los mismos niveles de conocimiento y desarrollo

que la tecnología del hormigón tradicional. Se hace importante contar, por lo tanto, con una tecnología adecuada para el diseño y fabricación de hormigones de este tipo. Para tal efecto es de gran importancia desarrollar, entre otras cosas, métodos de dosificación experimental adecuados, basados en el código ACI 211.1.74, para este tipo de hormigón. En particular en este proyecto se propuso analizar el uso de arcilla expandida la cual se importa desde la Republica de la Argentina.

1.1.1.1.- MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN.

1.1.1.1.1.- CEMENTO PORTLAND.

El cemento Pórtland es un conglomerante hidráulico que se presenta en forma de polvo muy fino que convenientemente amasado con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como al agua hasta llegar a sus resistencia finales en función al tipo de cemento empleado, y del diseño del hormigón y su aplicación final en la obra civil.

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada de óxidos metálicos para la producción de clínker.

Las materias primas principales son los materiales calizos (ricos en carbonato cálcico) y los materiales arcillosos (cuyo componente principal son los silicatos de aluminio hidratados). Para conseguir esta mezcla pueden utilizarse tanto minerales de origen natural como productos industriales, raramente se encuentra un material con las características necesarias es por eso que se mezcla para obtener una relación de óxidos adecuada.

1.1.1.1.2.- AGREGADOS.

1.1.1.1.2.1.- BOLITAS DE ARCILLA EXPANDIDA

Es un material aislante de origen cerámico, producido industrialmente.

Se fabrica a partir de arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto. Tras un primer proceso de desbaste, esta arcilla pura se almacena en depósitos cerrados para su homogeneización y secado. Una vez seca, la arcilla se muele hasta obtener un polvo impalpable denominado crudo.

Aglomerado con agua en los platos granuladores, el crudo forma por efecto de la rotación unas esferas de barro de tamaño controlado. Estas pequeñas esferas, con una granulometría de 0 a 4 mm., son el germen de la arcilla expandida.

La expansión de la arcilla se produce en hornos rotativos gracias a un choque térmico a 1.200 °C. A esta temperatura, la arcilla comienza a fundir al tiempo que se produce la combustión de la materia orgánica en el interior de la arcilla. Los gases de combustión expanden la bola de barro hasta alcanzar 5 veces su tamaño original.

1.1.1.1.2.2.- AGREGADO FINO

El material extraído es ampliamente utilizado en la región como agregado fino limpio, porque es un material que entra dentro de las especificaciones granulométricas de la ASTM C-33. La empresa Narváez es la encargada de la extracción y lavado del material extraído en todo el largo del río Guadalquivir.

1.1.1.1.3.- AGUA

Para la dosificación se utilizara agua potable que distribuye la empresa COSAALT.

1.1.1.2- CLASIFICACIÓN DEL HORMIGÓN ELABORADO CON ARCILLA EXPANDIDA

1.1.1.2.1.- POR SU CONSISTENCIA.

Al seleccionar la consistencia adecuada deberá usarse el asentamiento más reducido posible compatible con la adecuada colocación del hormigón en obra.

1.1.1.2.2.- POR SU RESISTENCIA.

La resistencia será determinada por el proyectista considerando las circunstancias que en cada caso tenga lugar, el hormigón con Arcilla Expandida, se clasifica en función de su resistencia característica de rotura a compresión correspondiente a la edad de 28 días, determinada mediante ensayos de probetas cilíndricas de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura. Cuando se utilice cemento de alta resistencia inicial, la resistencia característica se determinará mediante ensayos realizados a la edad de 7 días.

1.1.1.3.- PROPIEDADES DEL HORMIGÓN LIVIANO ELABORADO CON ARCILLA EXPANDIDA.

Los hormigones elaborados con Arcilla Expandida se diferencian de los hormigones convencionales por las propiedades que presentan, las cuales son:

- Peso específico aparente muy bajo
- Excelente aislamiento térmico
- Excelente resistencia al fuego
- Buena resistencia mecánica

2.1.- EQUIPOS

2.1.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS

Los equipos empleados para el presente trabajo fueron:

Para la granulometría:

- tamices de la serie Estándar Americana 3/8"; N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100; N°200. ASTM E-11.2004 Distribuida por la Empresa PINZUAR LTDA.

Para el pesaje de la muestra:

- Balanza Digital marca OHAUS modelo SCOUT Pro SP4001, cuya capacidad máxima es de 4000 g., capacidad mínima de 5 g. con un error máximo permisible de 0.1 g.
- Balanza Digital marca PINZUAR modelo T3806, cuya capacidad máxima es de 20 Kg., capacidad mínima de 0.02 Kg., con un error máximo permisible de 0.001 Kg.
- Balanza Digital marca PINZUAR modelo T3806, cuya capacidad máxima es de 100 Kg., capacidad mínima de 0.05 Kg., con un error máximo permisible de 0.01 Kg.

Para las pruebas de compresión de probetas:

- Maquina de ensayo universal, con un alcance máximo de 1000 KN, marca PINZUAR LTDA. CLASE 1, con un error relativo máximo hallado en Exactitud de -0.53%.

2.2.- CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

2.2.1.- CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO EL PUENTE.

INFORME DE CONTROL DE CALIDAD CEMENTO EL PUENTE			Cemento Pórtland IP - 40	Norma Boliviana IP - 40
ESPECIFICACIONES QUÍMICAS	PPF	%	4.05	< 7
	SIO ₂	%	29.71	
	AL ₂ O ₃	%	4.95	
	FE ₂ O ₃	%	2.99	
	CaO	%	52.72	
	MG	%	2.46	< 6
	SO ₃	%	1.88	< 4
	R.I.	%	10.16	
	Cal Libre	%	1.22	

ESPECIFICACIONES FÍSICAS	BLAINE		Cm ² /g.	5247	> 2800
	TIEMPO DE FRAGUADO	INICIAL	Min	2:21	> 45
		FINAL	Hrs.	4:22	< 10:00
	EXPANSIÓN LEE CHATELIER		mm.	0	< 8
	RELACIÓN a/c		ml/g.	0.581	
	FLUIDEZ		%	108	
	RESIDUOS EN MALLAS	200 M	% Ret	0.65	
		325 M	% Ret	5.1	
	PESO ESPECÍFICO		g/l.	3	
	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	3 DÍAS	MPa	22.8	> 17
7 DÍAS		MPa	30.6	> 25	
28 DÍAS		MPa	40.9	> 40	

El presente informe fue proporcionado por la Empresa de Cementos **SOBOCE**.

2.2.2.- DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.

2.2.2.1.- UBICACIÓN DE LAS CANTERAS.

2.2.2.1.1.- CANTERA NARVAEZ.- La cantera de arena utilizada para el presente trabajo de investigación es de canto rodado de la empresa Narváez, la cual esta localizada a 2 Km. Al Sud de la ciudad de Tarija, a 200 metros del Colegio La Salle.

2.2.2.2.- CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO.

2.2.2.2.1.- TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO FINO.

El tamaño máximo del agregado fino, corresponde al material que pasa el tamiz Nro. 4 (4.75 mm.)

2.2.2.2.2.- PORCENTAJE DE FINOS.

El procedimiento a seguir fue el lavado de la muestra y mediante ensayos se determinó un porcentaje de finos que cumple con la norma, el cual es igual a:

2.31 %

Según la Norma el Porcentaje de finos no debe exceder al 5 %.

2.2.2.2.3.- GRANULOMETRIA Y MODULO DE FINURA

El modulo de fineza del agregado fino se calcula una vez realizado el análisis granulométrico, como la suma de los porcentajes acumulados retenidos sobre cada uno de los siguientes tamices de la serie Standard Americana: 3/8; N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100. Dividido por 100

El modulo de fineza es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados, cuando este índice es bajo quiere decir que el agregado es fino, cuando es alto es señal de lo contrario. El modulo de fineza no distingue las granulometrías, pero en caso de agregados que estén dentro de los porcentajes especificados en las normas granulométricas sirve para controlar la uniformidad de los mismos.

Las arenas suelen caracterizarse con un módulo de finura, que es un número que da una idea de la granulometría del material. A mayor módulo de finura, más gruesa es la arena.

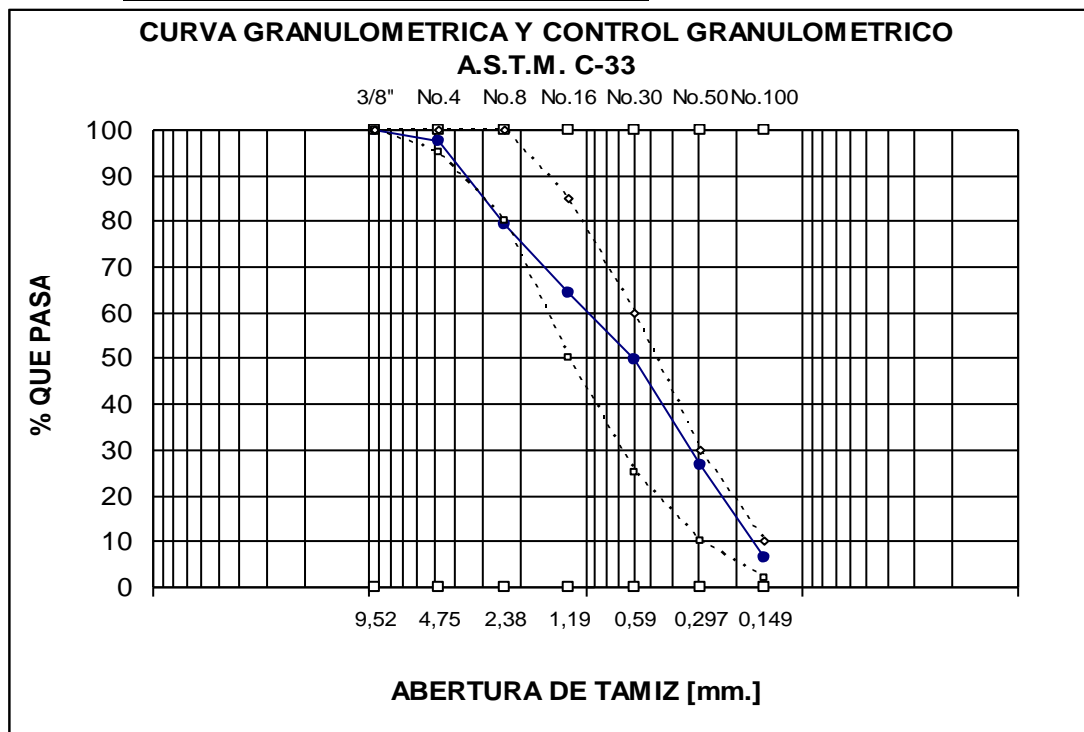
Los requisitos estipulados en las especificaciones de la Norma ASTM C33 permiten una relativa amplitud de variación en la granulometría del agregado fino dentro de los límites especificados.



ENSAYO: Granulometría Del Agregado Fino **FECHA:** Abril 2008
REALIZADO POR: Manuel Fernández A. **PROYECTO:** Tesis de Grado
LUGAR: Laboratorio de SOBOCE **CANTERA:** Narváez

Peso Total (gr.) = 1356.90						
Tamices	Abertura	Peso	Peso Ret. acumulado		% que pasa	% Que Pasa s/g
	(mm.)	Ret. (gr.)	(gr.)	(%)	del total	Espec. ASTM
3/8"	9.52	0.00	0.00	0.00	100.00	100
N° 4	4.75	32.10	32.10	2.37	97.63	95 - 100
N° 8	2.38	249.80	281.90	20.78	79.22	80 - 100
N° 16	1.19	199.20	481.10	35.46	64.54	50 - 85
N° 30	0.59	202.40	683.50	50.37	49.63	25 - 60
N° 50	0.297	311.50	995.00	73.33	26.67	10 - 30
N° 100	0.149	272.80	1267.80	93.43	6.57	2 - 10
Base		86.70	1354.50	99.82		
SUMAS		1354.50				
PERDIDAS		2.40				

Modulo de Finura MF = 2.8



2.2.2.2.4.- PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.

El peso específico de los agregados será expresado como peso específico a granel, peso específico en condición saturada y superficie seca y Peso específico aparente. El peso específico en condición saturada y superficie seca y la absorción son determinados después de 24 horas de haber sumergido en agua los agregados.

La Norma ASTM C128 (Agregado fino), define al peso específico de los agregados, de la siguiente manera.

El peso específico de un agregado se define como la relación del peso del agregado en el aire, al peso del volumen de agua desplazado por el mismo que es igual al volumen de las partículas.

Se realizaron las pruebas, obteniéndose los siguientes resultados:

	Ensayo 1	Ensayo 2	Media
Peso Específico a Granel (gr/ml.)	2.58	2.55	2.56
Peso Específico en condición Saturada y superficie seca (gr/ml.)	2.64	2.61	2.63
Peso Específico Aparente (gr/ml.)	2.75	2.72	2.73
% de Absorción	2.40	2.44	2.42

2.2.2.2.5.- PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

El peso unitario es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en Kg/m^3 y se utiliza para materiales granulares como las arenas, gravas y piedras trituradas. Hay dos valores para esta relación, dependiendo del sistema que se emplee para acomodar el material; la denominación que se le dará en cada uno de ellos será: Peso Unitario Suelto y Peso Unitario Compactado. La utilidad de uno y de otro dependerá de las condiciones de manejo a la que se sujeten los materiales en el trabajo.

El peso unitario suelto, se usara para la conversión del peso a volumen es decir para conocer el consumo de agregados por metro cúbico de hormigón.

El peso unitario compactado, se usara para el conocimiento de volúmenes de materiales apilados y que están sujetos a acomodamiento o asentamiento provocados por el transito sobre ellos o por la acción del tiempo.

Mediante ensayos se obtuvo la siguiente tabla:

<i>NOMENCLATURA</i>	ENSAYO Nro 1	ENSAYO Nro 2	MEDIA	DESV. ST.	MEDIA+DESV	MEDIA-DESV
Peso U.A. Fino Suelto	1.69	1.69	1.69	0.000478	1.69	1.69
Peso U.A. Fino Compactado	1.81	1.80	1.80	0.001671	1.81	1.80

2.2.2.3.- CARACTERÍSTICAS DE LA ARCILLA EXPANDIDA

Este producto es un material liviano, de formas redondeadas, superficie rugosa y porosa, de color marrón claro es producido industrialmente.

La granulometría de la arcilla expandida es clasificada de acuerdo al uso o aplicación en diferentes tipos de estructuras a continuación presentaremos la siguiente clasificación:

Granulometría de 0 – 3(mm)

- Bloques
- Pequeños Premoldeados
- Agregado fino para mortero
- Concretos asfálticos

Granulometría de 3 – 10(mm)

- Hormigón estructural
- Pretensazos y Postensados
- Concretos asfálticos
- Entrepisos

- Hormigones refractarios

Granulometría de 10 – 20(mm)

- Drenajes
- Hormigones refractarios

Granulometría de 20 – 40(mm)

- Drenajes
- Rellenos livianos y aislantes
- Parquizaciones

Estas granulometrías para sus diferentes usos son recomendadas por el fabricante, la granulometría que se utiliza en el presente trabajo es de 3 – 10 (mm) que es para uso estructural.

Las propiedades de la arcilla expandida son las siguientes:

- Alta resistencia mecánica gracias a su estructura interna de la arcilla expandida
- Térmicamente aislante
- Resistente al fuego debido a su estabilidad y baja conductividad térmica la arcilla expandida protege a las armaduras del fuego, evitando el estallido del hormigón.
- Es químicamente inerte por su materia prima y proceso de fabricación en hornos rotativos a 1200°C , no contiene sustancias químicamente activas, orgánicas o inorgánicas.
- Aislante acústico la estructura celular de la arcilla expandida hacen que se amortigüen las vibraciones propagadas por el ambiente y por vía sólida (impacto), degradando su energía.

- El peso específico aparente (para material suelto y seco) puede variar entre, aproximadamente, 650 y 1900 Kg/m³
- Superficie rugosa.
- No es corrosivo ni se pudre.
- Soporta la exposición al sol sin fundirse ni deteriorarse.
- No envejece.
- No produce gases.

Cumple los requerimientos de resistencia de la categoría 40, es decir, asegura la obtención de mas de 40 MPa (408 Kg/cm²) en las condiciones descritas en la norma IRAM 50.000 fuente www.monografia.com/trabajos12/hores.shtml.

Los datos anteriormente presentados en cuanto a las propiedades fueron proporcionados por el fabricante, no se realizo ensayos a cerca de las propiedades descritas por no contarse con los respectivos equipos de ensayos.

2.2.2.3.1.- TAMAÑO MÁXIMO DE LAS BOLITAS DE ARCILLA EXPANDIDA

La proporción de grano grueso y el tamaño de dicho grano deberían elegirse siempre, en el caso de hormigón normal, tan grandes como lo permita una correcta elaboración de la mezcla.

La relación citada anteriormente entre la composición granulométrica y la cantidad de agua necesaria, o la resistencia, es válida también, en principio, para el hormigón liviano estructural.

Pero aquí deben tenerse en cuenta además otros puntos de vista. Al aumentar el diámetro de los granos en algunos áridos livianos, disminuyen el módulo de elasticidad, la resistencia de los granos y su densidad.

En tales casos, atendiendo a la resistencia del hormigón, resulta conveniente un menor diámetro de los granos mayores y una mayor proporción de granos finos. Evidentemente entonces al mismo tiempo aumenta la densidad del hormigón.

Son posibles aumentos mayores de la resistencia si se aumenta notablemente la proporción de granos de hasta unos 8 mm de diámetro, o se utilizan exclusivamente granos de este tipo.

El tamaño máximo de las bolitas de arcilla expandida que se utilizo es de 10 mm, que es recomendado por el fabricante de la arcilla expandida para uso estructural.

2.2.2.3.2.- GRANULOMETRÍA Y MODULO DE FINURA

Para la Granulometría de la arcilla expandida se utilizaron los siguientes tamices de la serie Standard Americana: 3/8; N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100. los cuales son los que se utilizan para el agregado fino, Por lo que podemos decir que la arcilla expandida no obedece como indica las “especificaciones para agregados para hormigón” (ASTM C33), según le ACI 211, de la grafica se puede observar que presenta una granulometría uniforme lo cual requerirá una mayor proporción de cemento y agregado fino (arena).



ENSAYO: Granulometría De la Arcilla Expan. **FECHA:** Abril 2008
REALIZADO POR: Manuel Fernández A. **PROYECTO :** Tesis de grado
LUGAR: Laboratorio de SOBOCE

Peso Total (gr.)			2209.20			
Tamices	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. acumulado	%	% que pasa del total	% Que Pasa s/g Espec. ASTM
			(gr)			
3/8"	9.52	392.40	392.40	17.76	82.24	100
Nº 4	4.75	1093.50	1485.90	67.26	32.74	95 - 100
Nº 8	2.38	673.60	2159.50	97.75	2.25	80 - 100
Nº 16	1.19	40.50	2200.00	99.58	0.42	50 - 85
Nº 30	0.59	4.40	2204.40	99.78	0.22	25 - 60
Nº 50	0.297		2204.40	99.78		10 - 30
Nº 100	0.149		2204.40	99.78		2 - 10
Base			2204.40	99.78		
SUMAS		2204.40				
PERDIDAS		4.80				

Modulo de Finura MF =5.8



2.2.2.3.3.- PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Mediante ensayos hechos en laboratorio se obtuvo la siguiente tabla:

	Ensayo 2	Ensayo 2	Media
Peso Específico a Granel (gr/ml.)	1.36	1.34	1.35
Peso Específico en condición Saturada y superficie seca (gr/ml.)	1.60	1.64	1.62
Peso Específico Aparente (gr/ml.)	1.79	1.93	1.86
% de Absorción	17.84	23.10	20.47

2.2.2.3.4.- PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

Mediante ensayos en laboratorio se obtuvo la siguiente tabla:

NOMENCLATURA	ENSAYO Nro 1	ENSAYO Nro 2	MEDIA	DESV.ST.	MEDIA+DESV	MEDIA- DESV
Peso de la Arcilla exp. Suelto (gr/cm ³)	0.80	0.79	0.80	0.00089552	0.80	0.79
Peso de la Arcilla exp. Compactado (gr/cm ³)	0.84	0.85	0.84	0.00059701	0.85	0.84

2.2.2.4.- CARACTERÍSTICAS DEL AGUA.

Las características del agua se muestran en la siguiente tabla

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL AGUA		Valores según Norma Boliviana
Aspecto	Limpia	
Olor	Sin olor	
Color	5 u.c.	
Ph.	7.3	5
Conductividad	290 Mmhos/cm. (T=18°C)	
Dureza total	110.98 mgr CaCo3/L	
Calcio	42mgr CaCo3/L	
Magnesio	68.98 mgr CaCo3/L	
Cloruros	7.62 mgr/L	6 gr/L
Sulfatos	70 mgr/L	1 gr/L
Bicarbonatos	106.13 mgr/L	
Alcalinidad	112 mgr CaCo3/L	
Turbiedad	Mayor 5 Unt	
Sólidos Totales	218 mgr/L	
Sólidos solubles	129 mgr/L	
Índice de Langelier	-0.6	

Cuadro 1

Los ensayos se efectuaron con agua potable de la red, el análisis físico químico fue realizado por el laboratorio bromato-tecnológico de la U.A.J.M.S. de donde se obtuvo dicha información.

3.1.- TÉCNICAS DE ANÁLISIS.

3.1.1.- CRITERIOS DE CAMBIO DEL AGREGADO GRESO POR LAS BOLITAS DE ARCILLA EXPANDIDA

La estructura interna de la arcilla expandida le brinda una buena resistencia mecánica, lo que hace que pueda ser utilizada como agregado para producir hormigones livianos.

Este producto es un material liviano, de formas redondeadas y porosas, el hormigón hecho con este tipo de agregado es de menor peso que el que se elabora con piedra partida o canto rodado, para hormigones de aproximadamente la misma resistencia.

Cuando se requiera obtener hormigones estructurales con menores densidades (menor peso propio) que los hormigones convencionales puede utilizarse la arcilla expandida.

Hormigones de este tipo con dosificaciones cuidadosas y con buena compactación alcanza valores importantes de resistencia, estos valores permiten que se lo emplee como hormigón estructural.

3.1.2.- DOSIFICACIÓN BASADA EN EL CÓDIGO ACI 211.1.74

Según la CIATH (CENTRO DE INVESTIGACIONES AVANZADAS EN TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN CÓRDOBA, ARGENTINA). Básicamente son válidas para el hormigón liviano estructural las mismas reglas y experiencias que para el hormigón normal. Para el primero, además de la resistencia se exige que presente una menor densidad.

Las proporciones empleadas para la dosificación, corresponden a ensayos realizados experimentalmente basados en el Código ACI 211.1.74.

Se partirá de una resistencia característica brindada por la Empresa ARCILLEX S.A.I.C., para los hormigones elaborados con Arcilla Expandida igual a:

$$F_{ck}=270 \text{ Kg/cm}^2$$

Se determina la variabilidad de la resistencia del hormigón, en base al nivel de control de calidad del proceso de mezclado en obra, para lo que se puede utilizar la siguiente tabla que proporciona la Norma ACI 211:

TIPO DE CONTROL	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Muy bueno	0.07 fm
Bueno	0.14 fm
Regular	0.21 fm
Deficiente	0.28 fm

Cuadro 2

Un control de calidad muy bueno se obtiene solamente en laboratorios especializados que dosifican sus mezclas en peso, tienen control de la humedad antes del mezclado, utilizan agregados seleccionados y controlan la trabajabilidad del hormigón fresco.

Un control de calidad bueno se consigue en obras que emplean hormigón premezclado en fábricas especializadas y controlan el asentamiento del cono de Abrams; o en obras que mecanizan la producción de mezclas en peso, realizan corrección de dosificaciones por la humedad, emplean agregados de calidad y verifican la trabajabilidad de la mezcla.

Un control de calidad regular se obtiene con dosificaciones volumétricas y control frecuente de la cantidad de agua mediante el asentamiento del cono de Abrams.

Un nivel de control inferior al regular se cataloga como control de calidad deficiente.

Adoptamos una desviación estándar $\dagger = 0.07 \text{ fm}$, por haber tener un tipo de control muy bueno, ya que la empresa de cementos SOBOCE tiene un laboratorio especializado en hormigones.

Luego utilizamos la siguiente ecuación proporcionada por el ACI:

$$f_{ck} = f_m - 1.65 * \dagger \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Reemplazando el valor de la desviación en la ecuación 3.1, se obtiene:

$$f_m = \frac{f_{ck}}{0.8845} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Reemplazando el valor de la resistencia característica en la ecuación 3.2, obtenemos el valor de la resistencia media (f_m), el cual siempre será superior a su resistencia característica (f_{ck}):

$$f_m = 305.26 \text{ Kg./cm}^2$$

A esta resistencia media es a la que se pretende llegar con el presente trabajo de investigación, pero cabe mencionar que la Empresa ARCILLEX, solo utiliza Arcilla Expandida tanto en la fracción gruesa como en la fracción fina, en el presente trabajo se adicionara agregado fino (arena) extraído de la cantera Narváez.

3.1.2.1.- DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGONES CON ARCILLA EXPANDIDA.

3.1.2.1.1.- CANTIDAD DE AGUA.- Se determina la cantidad de agua que se requiere por m^3 de hormigón, y el porcentaje de volumen de aire atrapado, en función del tamaño máximo del agregado (10 mm.) y del asentamiento en el cono de Abrams (50 mm.), mediante tabla (Ver anexos) (tabla 1).

Adoptando un asentamiento= 50 mm. y un tamaño máximo de agregado= 10 mm.

Cantidad de agua por metro cúbico de hormigón = 205 Kg.

Porcentaje de volumen de aire atrapado = 3% (Ver anexos) (se toma de tabla 1)

3.1.2.1.2.- RELACIÓN AGUA – CEMENTO.

La relación agua-cemento requerido es determinado teniendo en consideración no solamente la resistencia, sino también factores como la durabilidad y propiedades de acabado del concreto.

Diferentes agregados y cementos, producen generalmente diferentes resistencias para una misma relación agua-cemento, es muy útil tener y desarrollar las interrelaciones entre la resistencia y la relación agua-cemento para los materiales a ser usados en la preparación de la mezcla

La menor relación a/c para obtener una hidratación completa del cemento se considera igual a 0,3.

La determinación de la razón agua / cemento se efectúa en base a tablas que proporciona el ACI, por ser este un trabajo de investigación se adopto tres valores experimentales:

Peso de agua / peso de cemento = 0.45

Peso de agua / peso de cemento = 0.50

Peso de agua / peso de cemento = 0.55

Con el fin de obtener mejores resistencias a los 28 días, sin perder la esencia en lo que se refiere a la densidad.

3.1.2.1.3.- CONTENIDO DE CEMENTO.

El contenido de cemento se obtiene de la relación agua – cemento:

Peso de cemento para $R_{a/c=0.45}$ = 455.56 Kg.

Peso de cemento para $R_{a/c=0.50}$ = 410.00 Kg.

Peso de cemento para $R_{a/c=0.55}$ = 372.73 Kg.

3.1.2.1.4.- CANTIDAD DE AGREGADO FINO.

Las cantidades encontradas para el agregado fino para las tres relaciones son las siguientes:

Peso del agregado fino para $R_{a/c}=0.45= 985.28$ Kg.

Peso del agregado fino para $R_{a/c}=0.50= 1025.21$ Kg.

Peso del agregado fino para $R_{a/c}=0.55 = 1057.89$ Kg.

3.1.2.1.5- VOLUMEN APARENTE DEL AGREGADO GRUESO (ARCILLA EXPANDIDA).

Se calcula el volumen aparente aproximado de la arcilla expandida, de la misma forma que para el agregado grueso mediante tabla que proporciona el ACI, en función del módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo de la arcilla expandida.

Volumen aparente del agregado grueso (Arcilla exp.) = 0.46 m^3 (Ver anexos) (se toma de tabla 2)

3.1.2.1.6.- CANTIDAD DE ARCILLA EXPANDIDA

El peso de la arcilla expandida se obtiene multiplicando su volumen aparente por su peso específico aparente:

Peso de la Arcilla Expandida. = 386.40 Kg.

3.1.2.1.7.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS PARA LA DOSIFICACIÓN EN CONDICIÓN SECA.

MATERIALES PARA UN METRO CÚBICO					
a/c	Revenimiento (mm.)	Agua (Kg.)	Cemento (Kg.)	A. Fino (Kg.)	Arcilla Expandida (Kg.)
0.45	50	205	455.56	985.28	386.40
0.50	50	205	410.00	1025.21	386.40
0.55	50	205	372.73	1057.89	386.40

Cuadro 3

3.1.3.- CONTROL DE ASENTAMIENTO.

Para el control de asentamiento se elaboro mezclas de prueba, mediante la prueba en cono de Abrams, se obtuvo los siguientes resultados:

a/c	Revenimiento de calculo (cm.)	Revenimiento observado (cm.)
0.45	5	5
0.50	5	5.5
0.55	5	6

Cuadro 4

3.1.4.- ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON ARCILLA EXPANDIDA.

Para la elaboración de las probetas se definió un número total de 30 probetas con fines prácticos y económicos, separando 10 probetas para una relación agua – cemento determinada.

Luego de hacer un análisis por humedad y una corrección por pérdidas tomando un porcentaje del 5% se obtuvo la siguiente tabla para la dosificación.

N° de probetas	Volumen m3	A/C	Rev. cm.	Agua Kg.	Cemento Kg.	A. Fino Kg.	Arcilla Expandida (Kg.)
10	0.0530	0.45	5	6.87	25.35	60.92	25.70
10	0.0530	0.50	5.5	4.69	22.82	64.77	26.30
10	0.0530	0.55	6	4.49	20.74	66.83	26.30

Cuadro 5

3.1.5.- CURADO DE PROBETAS.

Entendemos por condiciones de curado a las condiciones de humedad y temperatura en que es mantenido el hormigón a través del tiempo.

Remarcamos entonces que la edad para permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento), y la temperatura y humedad a las que estuvieron sometidas tienen una definitiva influencia en la resistencia del hormigón.

Si el hormigón se seca muy rápidamente se produce rajaduras superficiales y además se le impide alcanzar la resistencia especificada. Los agentes más perjudiciales son el sol y el viento, debe evitarse que estos lleguen al hormigón fresco.

En el presente trabajo se hizo el curado en agua para una mejor hidratación del cemento a una temperatura casi constante de 23 °C, durante las edades de 3, 7, 28 días.

3.2.- RESULTADOS.

3.2.1 DENSIDAD DEL HORMIGÓN RESULTANTE.

Probeta	Edad	Peso	Peso Promedio	Densidad del H°	Relación
N°	días	(Kg.)	(Kg.)	(Kg./m3)	A/C
A1	3	10.45	10.41	1963.52	0.45
A2	3	10.41			
A3	3	10.36			
B1	7	10.49	10.44	1969.81	
B2	7	10.43			
B3	7	10.40			
C1	28	10.62	10.55	1990.09	
C2	28	10.52			
C3	28	10.51			
C4	28	10.54			

Cuadro 6

Probeta	Edad	Peso	Peso Promedio	Densidad del H°	Relación
N°	días	(Kg.)	(Kg.)	(Kg./m3)	A/C
D1	3	10.32	10.28	1940.25	0.50
D2	3	10.29			
D3	3	10.24			
E1	7	10.31	10.30	1942.77	
E2	7	10.31			
E3	7	10.27			
F1	28	10.36	10.34	1951.89	
F2	28	10.32			
F3	28	10.30			
F4	28	10.40			

Cuadro 7

Probeta	Edad	Peso	Peso Promedio	Densidad del H°	Relación
N°	días	(Kg.)	(Kg.)	(Kg./m3)	A/C
G1	3	10.22	10.13	1910.69	0.55
G2	3	9.89			
G3	3	10.27			
H1	7	10.18	10.18	1920.75	
H2	7	10.15			
H3	7	10.21			
I1	28	10.29	10.30	1943.87	
I2	28	10.28			
I3	28	10.27			
I4	28	10.37			

Cuadro 8

3.2.2.- RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA UNA RELACIÓN A/C=0.45

Probeta N°	Fecha de preparación	Fecha de rotura	Edad días	Carga de Rotura (KN.)	Carga de Rotura (Kg.)	Tensión de Rotura (Kg./cm2)	Tensión prom.		Relación A/C
							(Kg./cm2)	(Mpa)	
A1	05/06/08	08/06/08	3	408.50	41667.00	235.79	226.83	22.25	0.45
A2	05/06/08	08/06/08	3	392.35	40019.70	226.46			
A3	05/06/08	08/06/08	3	378.10	38566.20	218.24			
B1	05/06/08	12/06/08	7	556.70	56783.40	321.33	317.31	31.13	
B2	05/06/08	12/06/08	7	551.00	56202.00	318.04			
B3	05/06/08	12/06/08	7	541.50	55233.00	312.55			
C1	05/06/08	03/07/08	28	743.85	75872.70	429.35	423.65	41.56	
C2	05/06/08	03/07/08	28	732.45	74709.90	422.77			
C3	05/06/08	03/07/08	28	723.90	73837.80	417.84			
C4	05/06/08	03/07/08	28	735.71	75042.42	424.65			

Cuadro 9

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA UNA RELACIÓN A/C=0.50

Probeta N°	Fecha de preparación	Fecha de rotura	Edad días	Carga de Rotura (KN.)	Carga de Rotura (Kg.)	Tensión de Rotura (Kg./cm2)	Tensión prom.		Relación A/C
							(Kg./cm2)	(Mpa)	
D1	09/06/08	12/06/08	3	368.87	37624.74	212.91	211.73	20.77	0.50
D2	09/06/08	12/06/08	3	364.89	37218.78	210.61			
D3	09/06/08	12/06/08	3	366.70	37403.40	211.66			
E1	09/06/08	16/06/08	7	539.60	55039.20	311.46	306.52	30.07	
E2	09/06/08	16/06/08	7	537.70	54845.40	310.36			
E3	09/06/08	16/06/08	7	515.85	52616.70	297.75			
F1	09/06/08	07/07/08	28	713.45	72771.90	411.80	411.69	40.39	
F2	09/06/08	07/07/08	28	712.50	72675.00	411.26			
F3	09/06/08	07/07/08	28	712.55	72680.10	411.28			
F4	09/06/08	07/07/08	28	714.51	72880.02	412.42			

Cuadro 10

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA UNA RELACIÓN A/C=0.55

Probeta N°	Fecha de preparación	Fecha de rotura	Edad días	Carga de Rotura (KN.)	Carga de Rotura (Kg.)	Tensión de Rotura (Kg./cm ²)	Tensión prom.		Relación A/C
							(Kg./cm ²)	(Mpa)	
G1	09/06/08	12/06/08	3	303.05	30911.10	174.92	169.35	16.61	0.55
G2	09/06/08	12/06/08	3	282.15	28779.30	162.86			
G3	09/06/08	12/06/08	3	294.98	30087.45	170.26			
H1	09/06/08	16/06/08	7	513.95	52422.90	296.65	286.53	28.11	
H2	09/06/08	16/06/08	7	485.45	49515.90	280.20			
H3	09/06/08	16/06/08	7	489.85	49964.70	282.74			
I1	09/06/08	07/07/08	28	701.10	71512.20	404.68	398.56	39.10	
I2	09/06/08	07/07/08	28	689.12	70290.24	397.76			
I3	09/06/08	07/07/08	28	686.85	70058.70	396.45			
I4	09/06/08	07/07/08	28	684.95	69864.90	395.35			

Cuadro 11

3.2.3.- GRÁFICAS DE LA RELACIÓN AGUA – CEMENTO VS RESISTENCIA

Siendo la resistencia especificada de rotura “R”, función de la relación agua-cemento “x”, se ha considerado a estos valores como coordenadas y se los ha representado sobre el eje de abscisas de un sistema de coordenadas ortogonales, se han representado los valores de “x” (factor controlable) y sobre el eje de ordenadas, los correspondientes valores de “R”. Para una misma edad de ensayo, en correspondencia con cada valor de x se tiene un valor de R (media aritmética de las probetas ensayadas, cuadro de resistencias). La relación que vincula a “R” con “x”, se halla por medio de una ecuación. El problema consiste en encontrar una ecuación, de un tipo determinado, que representara, en la mejor forma posible, los resultados de las experiencias. Varios son los tipos de ecuaciones propuestos por distintos investigadores, en este caso se eligió una de las más conocidas propuestas por el investigador Duff A. Abrams:

$$R = \frac{A}{B^x} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Donde:

R=resistencia de rotura a la compresión.

Ay B= constantes cuyos valores dependen de los materiales y de las condiciones de ensayo.

x= relación agua-cemento.

Una vez elegido el tipo de ecuación se calcula el valor de cada una de sus constantes. Para calcularlas se ha utilizado el método de los mínimos cuadrados.

El ajuste de las curvas, una para cada edad, y los valores medios de las resistencias se muestran a continuación.

Ajuste de curva (3 días)

R(3)	X=a/c	Y=Log R
226,83	0,45	2,36
211,73	0,50	2,33
169,35	0,55	2,23

Salida de Regresión

Constante	2,938
R cuadrado	0,915
Nº de Observaciones	3
Coefficiente X	1,2691

A = 866,96

B = 18,58

Ajuste de curva (7 días)

R(7)	X=a/c	Y=Log R
317,31	0,45	2,50
306,52	0,50	2,49
286,53	0,55	2,46

Salida de Regresión

Constante	2,703
R cuadrado	0,967
Nº de Observaciones	3
Coefficiente X	0,4432

A = 504,98

B = 2,77

Ajuste de curva (28 días)

R(28)	X=a/c	Y=Log R
423,65	0,45	2,63
411,69	0,50	2,61
398,56	0,55	2,60

Salida de Regresión

Constante	2,747
R cuadrado	0,999
Nº de Observaciones	3
Coefficiente X	0,265

A = 557,94

B = 1,84

Luego de Obtenidos los valores de las constantes A y B, reemplazamos estos valores en la ecuación 3.3.

$$A = \text{Antilog}(2.938) = 866.96$$

$$A = \text{Antilog}(2.703) = 504.98$$

$$B = \text{Antilog}(1.269) = 18.58$$

$$B = \text{Antilog}(0.443) = 2.77$$

$$R = \frac{866.96}{18.58^x}$$

$$R = \frac{504.98}{2.77^x}$$

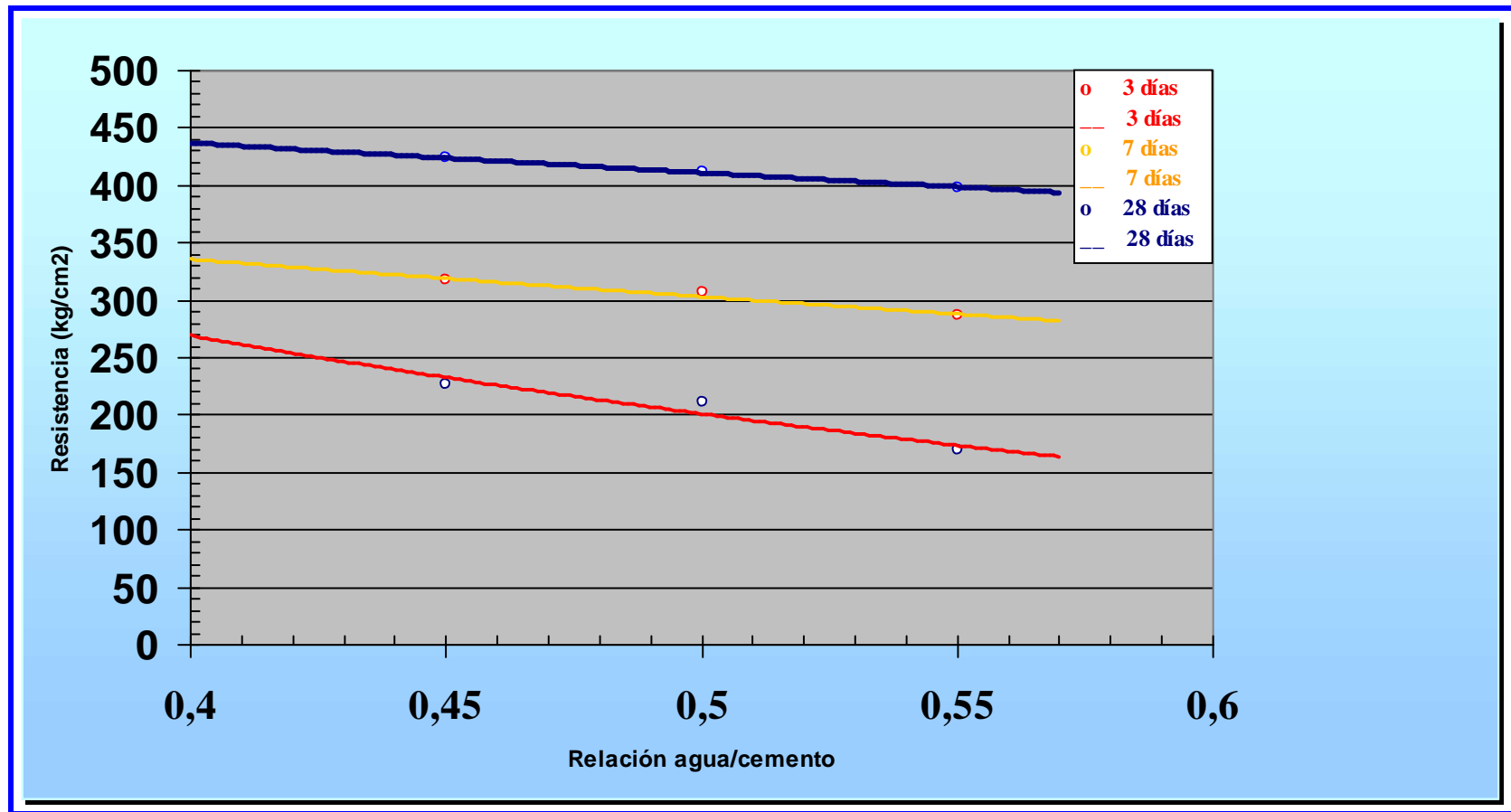
$$A = \text{Antilog}(2.747) = 557.94$$

$$B = \text{Antilog}(0.265) = 1.84$$

$$R = \frac{557.94}{1.84^x}$$

Con las ecuaciones de las curvas ajustadas, se puede representar en forma gráfica la relación entre la resistencia y la relación agua/cemento, para las edades de 3, 7 y 28 días.

CURVA RELACIÓN AGUA/CEMENTO VS. RESISTENCIA



3.3.-DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN.

Adoptamos una desviación estándar $\dagger = 0.07 \text{ fm}$, por haber tenido un tipo de **control muy bueno**, ya que se realizo en un laboratorio especializado, como ser el de la Empresa de Cementos SOBOCE.

Luego se emplea la siguiente ecuación:

$$fck = 0.8845 * fm \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

Relación agua/cemento	Resistencia media a los 28 días fm (Kg./cm²)	Resistencia característica fck (Kg./cm²)
0.45	423.65	374.72
0.50	411.69	364.14
0.55	395.56	349.87

Cuadro 12

3.3.1.- DETERMINACIÓN EMPÍRICA DEL MODULO DE ELASTICIDAD.-

El modulo de elasticidad (E), se calcula en base a la curva obtenida en un ensayo carga – deformación. El ensayo que se realiza sobre probetas cilíndricas normales (15 cm. x 30 cm.) que se colocan en la prensa, adicionándoles un dispositivo medidor de acortamientos. Al cargar la probeta; esta se acorta y puede irse anotado pares de valores correspondientes a cargas unitarias de compresión y acortamientos unitarios.

La representación grafica obtenida e los puntos correspondientes a los pares de valores, es una curva desde el origen. El criterio habitual es adoptar como valor para (E), la pendiente de la secante Al origen, que pasa por el punto de la curva que corresponde al 40% de la carga de rotura.

Si bien el modulo de elasticidad del hormigón depende de varios factores, el que influye de forma mas directa es la resistencia a la rotura por compresión.

En este trabajo no se determino el modulo de elasticidad en base a ensayos experimentales debido a que no se contaba con el instrumento para medir los acortamiento (extensómetro)

Cuando no se dispone de valores provenientes de ensayos directo, puede adoptarse distintas expresiones empíricas para calcular el Módulo de Elasticidad en función de la resistencia característica a la compresión.

El reglamento ACI ha propuesto la siguiente expresión para estimar el modulo de elasticidad:

$$E = W_{h^{\circ}}^{1.5} * 4000 * \sqrt{fck} \quad (\text{Kg./cm}^2) \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

Donde E es el modulo de elasticidad en Kg./cm², W_{h°} es el peso volumétrico del hormigón en Ton/m³ y fck la resistencia característica del hormigón en Kg./cm².

A continuación se muestra una tabla de valores del modulo de elasticidad del hormigón elaborado con Arcilla Expandido en función de su Peso Volumétrico y su Resistencia Característica haciendo uso de la ecuación :

Relación a/c	Peso Volumétrico (Kg./m3)	Peso Volumétrico (Ton/m3)	Resistencia Característica (Kg./cm2)	Modulo de elasticidad (Kg./cm2)
0.45	1990.09	1.99	374.72	217381.46
0.50	1951.89	1.95	364.14	208150.37
0.55	1943.87	1.94	349.87	202774.89

Cuadro 13

3.4.- APLICACIONES DEL HORMIGÓN ELABORADO CON ARCILLA EXPANDIDA

El hormigón elaborado con arcilla expandida se clasifica en función de su resistencia característica a la rotura a compresión correspondiente a la edad de 28 días, determinada mediante ensayos de probetas cilíndricas de 15cm de diámetro y 30cm de altura. Cuando se emplee cementos de alta resistencia inicial, la resistencia característica se determinara mediante ensayos realizados a la edad de 7 días

CLASES DE RESISTENCIAS Y APLICACIONES

Hormigón grupo	Resistencia Característica a la edad de 28 días según lo establecido en el artículo 6,6,2,1 por el CIRSOC 201		Resistencia media mínima de cada serie de 3 ensayos consecutivos según lo establecido en el artículo 6,6,3,11,2 a) del CIRSOC 201		Cumple con las condiciones establecidas en los artículos del CIRSOC 201	Aplicaciones
	MN/m ³	Kgf/cm ²	MN/m ³	Kgf/cm ²		
HL - I	HL - 4	4	7	70	6,6,3	Hormigón simple únicamente
	HL - 8	8	12	120		
	HL - 13	13	17,5	175		
	HL - 17	17	21,5	215		
HL - II	HL - 21	21	26	260	6,6,4	Hormigón simple y Hormigón armado
	HL - 30	30	35	350		

Cuadro 14

El anterior cuadro fue extraído de la siguiente Página de Internet www.monografia.com/trabajos12/hores.shtml

En el presente trabajo en función de los datos obtenidos en laboratorio de resistencia a la compresión y densidad, también por recomendaciones que hace la empresa que fabricante del producto (Arcillex S.A). se recomienda su uso de este hormigón con arcilla expandida para los siguientes elementos estructurales, con las sollicitaciones de resistencia que se requiera.

Como ejemplos de aplicación se puede utilizar en:

- Entrepisos
- Columnas
- Vigas
- Zapatas
- Muros

3.4.1.- AISLAMIENTO TÉRMICO.-

El aislamiento térmico puede considerarse como el coeficiente de resistencia a la transmisión de calor. La conductividad es la característica por la cual el calor pasa a través de un material sólido o fluye de un material a otro cuando se encuentra, en contacto íntimo con él. El aire es un mal conductor del calor, de suerte para los hormigones elaborados con Arcilla Expandida, los cuales son porosos por naturaleza, convirtiéndolos en buenos aislantes térmicos.

Esta propiedad hace que este tipo de hormigón sea utilizado en entrepisos aislantes.

3.4.2.- HORMIGONES ELABORADOS CON ARCILLA EXPANDIDA PARA USO ESTRUCTURAL.-

Los hormigones livianos estructurales se definen en el documento ACI 213R (1987) como aquellos con una densidad en estado seco al aire menor a 1.850 Kg./m³ y una resistencia a compresión cilíndrica superior a 17,2 MPa. Se obtienen principalmente con el reemplazo de manera parcial (fracción gruesa) o total del árido de densidad normal por áridos livianos.

Según CIRCO 201 el hormigón se considera liviano cuando su densidad es igual o menor a 2000 Kg./m³.

Los hormigones estructurales elaborados con arcilla expandida, han sido utilizados en gran cantidad de aplicaciones desde la segunda mitad del siglo XX, transformándose

en una alternativa muy conveniente respecto a los hormigones convencionales, debido principalmente a las ventajas derivadas de la obtención de estructuras con un menor peso propio. Un material de construcción de menor densidad trae consigo un gran número de ventajas, si se compara con los hormigones tradicionales

3.5.- DETERMINACIÓN DE COSTOS.

PLANILLA DE COSTOS POR M3 DE HORMIGÓN PARA UNA RELACIÓN A/C=0,45					
N°	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	Cemento	Kg.	455.560	0.91	414.56
2	Arena	M ³	0.375	70	26.25
3	Arcilla Expandida	M ³	0.239	605.25	144.65
				TOTAL=	585.46

Cuadro 15

PLANILLA DE COSTOS POR M3 DE HORMIGÓN PARA UNA RELACIÓN A/C=0,50					
Nº	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	Cemento	Kg.	410.000	0.91	373.10
2	Arena	M ³	0.390	70	27.30
3	Arcilla Expandida	M ³	0.239	605.25	144.65
				TOTAL=	545.05

Cuadro 16

PLANILLA DE COSTOS POR M3 DE HORMIGÓN PARA UNA RELACIÓN A/C=0,55					
N°	Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Total (Bs.)
1	Cemento	Kg.	372.730	0.91	339.18
2	Arena	M ³	0.402	70	28.14
3	Arcilla Expandida	M ³	0.239	605.25	144.65
				TOTAL=	511.98

Cuadro 17

4.1. CONCLUSIONES

- Luego de haber pasado por las experiencias obtenidas en laboratorio, y después de haber hecho una investigación en libros de hormigón e Internet, se puede concluir diciendo que se logro cumplir los objetivos propuestos de manera satisfactoria.
- La resistencia mecánica del hormigón está principalmente condicionada por las propiedades mecánicas de los agregados. A medida que aumenta la resistencia, aumenta la densidad del hormigón.
- Gracias a las propiedades físicas que brinda la arcilla expandida, se obtiene un hormigón de muy buena trabajabilidad, lo cual hace que este hormigón pueda ser utilizado en distintas formas.
- Los beneficios de utilizar hormigones elaborados con arcilla expandida todavía no se hacen presentes en nuestro país debido a la falta de conocimiento por parte de empresas privadas y del gobierno. Con el uso de este hormigón en proyectos de ingeniería se alcanzarían más y mayores beneficios en el orden económico y de aligeramiento en un 20%. De cualquier forma, los proyectos ya realizados en otros países, han demostrado las ventajas en su utilización.
- En el presente trabajo se optó por usar cemento EL PUENTE IP-40, ya que este cemento tiene la ventaja de darle a la mezcla una mejor resistencia a compresión.
- Luego de las roturas de las probetas, se pudo observar que la masa del hormigón resultante, presentaba un esqueleto granular homogéneo satisfactorio.

- Se pudo observar que la relación que existe entre resistencia y densidad tiene una relación directamente proporcional. A medida que la densidad aumenta, la resistencia también aumenta.
- Luego de terminado el proceso de dosificación y curado se pudo constatar un aligeramiento en este tipo de hormigón alrededor de un 20% respecto del hormigón convencional.
- Como consecuencia del aligeramiento obtenido en este tipo de hormigones se puede decir que las cargas muertas de una estructura se reducen, por consiguiente las dimensiones de las fundaciones también se reducen, y un factor importante como ser en el costo de transporte y mano de obra.
- Según tabla de resistencias obtenidas y densidades se puede decir que los hormigones dosificados con las relaciones agua / cemento igual a 0.45, 0.50 y 0.55 se pueden aplicar en algunos elementos estructurales.
- Se obtuvo una tabla de resistencias óptimas acorde a los valores escogidos para la relación agua / cemento.
- En la granulometría de la arcilla expandida se observa una distribución uniforme de los granos, esto concluye a decir que se requerirá una mayor cantidad de cemento, o sería importante trabajar con un agregado fino de un modulo de finura de 2.8 a 3 con el fin de mejorar la resistencia del hormigón resultante.
- No se aplica en un 100% la metodología de la ACI 211 para el confecionamiento de hormigones elaborados con arcilla expandida como se observó en la granulometría, pero por las experiencias obtenidas se puede decir que se adapta de manera aceptable.
- Aunque no exista una metodología definida para este tipo de hormigones, se puede decir que, según las experiencias obtenidas en laboratorio, las mismas reglas y normas usadas para hormigones normales, son aplicables de manera satisfactoria para este tipo de hormigones.

- Sería necesario en nuestro país, el fomento hacia la investigación y desarrollo de metodologías de dosificación de hormigones livianos, que considere como variable de entrada, las propiedades particulares del árido liviano utilizado.
- El curado de las probetas en agua es de gran importancia, para una mejor hidratación del cemento y por consiguiente en una mejor resistencia del hormigón resultante, las temperaturas del agua a las cuales se realizó el curado fueron de 23°C a 24°C.
- La absorción de la arcilla expandida es de 20.47%, este alto porcentaje de absorción de la arcilla ayuda de manera considerable en el proceso de hidratación del cemento, el agua retenida por la superficie porosa del árido facilita la reacción química del fragüe proveyendo agua desde la masa propia del hormigón.
- Las resistencias obtenidas con las relaciones agua – cemento utilizadas están en un rango de los 39.10 MPa a 41.56 MPa a los 28 días.
- En el presente trabajo se optó por trabajar con la norma ACI 211.1.74, por recomendaciones que da la CIATH (Centro de Investigaciones Avanzadas en la Tecnología del Hormigón Córdoba Argentina), existen otros métodos de dosificación para hormigones livianos aunque no son del todo exactos.
- La dosificación en este trabajo se efectuó empleando el método racional, por cálculo de los volúmenes absolutos de los componentes.
- Los asentamientos más adecuados recomendados para estos hormigones están comprendidos entre 4 y 7 cm.
- La elección de la relación agua – cemento debe hacerse en base al estudio de los resultados de resistencias a la comprensión alcanzadas para probetas confeccionadas con mezclas de distintas relaciones agua – cemento.
- Para la realización de estos hormigones se optó por las relaciones a/c iguales o mayores a 0.45, la elección de estos valores se hizo tomando en cuenta aspectos económicos.

- Debe tenerse en cuenta que como consecuencia de la baja resistencia individual de las partículas, por encima de los 423.65 Kg./cm² de carga unitaria a la comprensión, la rotura se produce por falla de la arcilla expandida, independientemente de la resistencia propia del mortero.
- Queda abierto que de trabajar con otra metodología de dosificación, se tendría que hacer las respectivas investigaciones para el caso, También cuando se utilice agregado fino de otra cantera, porque el modulo de finura varia de una cantera a otra, así como también para el diseño de vigas prismáticas para los ensayos a flexión.
- No se pudo abordar el estudio a la flexión por motivos económicos, lo que se pretende, es iniciar e impulsar la motivación hacia todas las investigaciones que se puedan elaborar y que puedan ser temas de tesis, tomando como base el presente trabajo el cual es un aporte mas a la ingeniería de la construcción.
- La procedencia de la arcilla expandida fue de (José León Suárez – San Martín – Buenos Aires – Argentina).
- Existen en los países vecinos Argentina y Chile Varias fábricas que podrían proporcionar el material, pero será el ingeniero quien deberá recomendar el material en función al costo y características físico – mecánicas.
- Se utilizo solo dos series para cada ensayo por razones de tiempo, ya que el laboratorio se encontraba ocupado, y se tuvo que seguir un cronograma de trabajo.

4.2.- RECOMENDACIONES.

Para obtener una correcta y homogénea mezcla se dan las siguientes recomendaciones:

Utilizar agua potable sin impurezas, ni sólidos en suspensión.

- Elaborar mezclas de prueba con el fin de obtener un hormigón de calidad, con las relaciones agua/cemento adoptadas en función de las correcciones por humedad.
- Mantener las relaciones agua/cemento en función de trabajabilidad y resistencia y sobre todo sin atentar a la economía, una mezcla muy fluida dará un hormigón trabajable pero la resistencia disminuirá, estos y otros parámetros se deben corregir con las antes mencionadas mezclas de prueba.
- El tipo de cemento utilizado influye en la resistencia, pero se debe encontrar la cuantía más o menos exacta para la obtención de un buen hormigón, existe un punto en el que, sin importar la cantidad de cemento añadido a la mezcla, el hormigón tendrá la misma resistencia, entonces se ve por conveniente utilizar solo cantidad óptima de cemento, esto con fines económicos y técnicos.
- La rotura se realizará a la edad de tres días, por ser este el tiempo que dictamine si el hormigón es aceptable y pueda ser utilizado con fines estructurales.
- Por sus características de resistencia, de las mezclas obtenidas en las dosificaciones ensayadas en laboratorio y por recomendaciones que da el fabricante de la arcilla expandida estos hormigones pueden ser aplicables a todo tipo de estructuras.
- Hacer controles de humedad en el momento de mezclado para un buen cálculo de las proporciones de los materiales a ser empleados.
- Se recomienda mojar la arcilla expandida antes de su utilización para mantener óptimas las condiciones de trabajabilidad del hormigón durante el transporte y llenado del encofrado.

- El orden de mezclado para obtener un buen hormigón es el siguiente:
 - Introducir primero el agua
 - Luego la arcilla
 - A continuación la arena
 - Por último el cemento.

- Se recuerda cumplir con los tiempos mínimos de mezclado según norma.

- En el momento de vaciado a los moldes, se recomienda realizar una buena compactación, por medio de tres capas cada una con 25 golpes hechas con la varilla, con el fin de evitar que la probeta se haga porosa y se obtenga un esqueleto granular defectuoso.

- Es aconsejable utilizar vibrador con cualquier tipo de hormigón especialmente en el caso de estructuras con gran cantidad de armaduras. Cuando el hormigón deja de asentarse indica que el encofrado está correctamente lleno.