

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD EN EL USO DE CONCRETO
CELULAR PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA
CIUDAD DE TACNA**

TESIS

Presentada por:

Bach. CARMEN PATIÑO MENDOZA

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO CIVIL

TACNA—PERÚ

2009

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

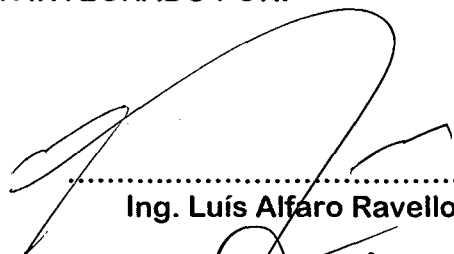
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD EN EL USO DE CONCRETO CELULAR PARA
VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA CIUDAD DE TACNA.**

**TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 27 DE ABRIL DEL 2009, JURADO
CALIFICADOR INTEGRADO POR:**

PRESIDENTE

:


.....
Ing. Luis Alfaro Ravello


SECRETARIO

:


.....
Ing. Omar Duenas Rospigliosi

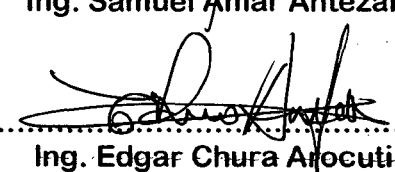
VOCAL

:


.....
Ing. Samuel Amar Antezana

ASESOR

:


.....
Ing. Edgar Chura Arocutipá

CONTENIDO

	<u>Págs.</u>
PRESENTACIÓN	01
INTRODUCCIÓN	05
CAPÍTULO I. - ASPECTOS GENERALES	10
1.0. Planteamiento del problema	10
1.1. Descripción del problema	10
1.2. Justificación de la investigación	21
1.3. Objetivos de la investigación	22
1.3.1. Objetivo general	22
1.3.2. Objetivos específicos	23
1.4. Hipótesis	24
1.4.1. Hipótesis general	24
1.4.2. Hipótesis específicas	25
1.5. Operacionalización de variables	27
1.5.1. Variable independiente	27
1.5.2. Variable dependiente	28
CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO	30
2.1. Antecedentes del concreto celular	30

2.2	Aplicaciones del concreto celular en viviendas a nivel local e internacional	45
2.2.1	En Colombia - Bogotá	45
2.2.1.1	Descripción de la vivienda	45
2.2.1.2	Panel fotográfico	50
2.2.1.3	Conclusión	57
2.2.2	En Perú - Tacna - C.P.M. Boca del Rio	58
2.2.2.1	Descripción de la vivienda	58
2.2.2.2	Panel fotográfico	61
2.2.2.3	Conclusión	67
2.3	Concretos celulares - Definición	68
2.4	Materiales componentes y preparación	78
2.5	Materiales empleados	80
2.5.1	Para producir concreto celular con espuma	80
2.5.2	Para producir concreto celular con otros agentes	87
2.6	Métodos de preparación	89
2.7	Características y propiedades funcionales	92
2.7.1	Resistencia a la compresión - ASTM C330 (ASTM C495)	93
2.7.2	Módulo de elasticidad - ACI 523.3R-93	94

2.7.3	Coeficiente de expansión térmica	97
2.7.4	Conductividad térmica- ASTM C 177	97
2.7.5	Aislamiento acústico	102
2.7.6	Resistencia al fuego	103
2.7.7	Permeabilidad	108
2.7.8	Reducción de peso (carga muerta)	108
2.7.9	Velocidad de construcción	110
2.7.10	Durabilidad	119
2.7.11	Prueba contra sonido	122
	2.7.11.1. ENSAYO: (121) Prueba contra sonido.	
	Entidad: Concretos Celulares	
	Ltda - SENA	125
	2.7.11.2. Determinación de la clasificación	
	de transmisión de sonido	130
2.7.12.	Tipos de climas en los que se puede usar	
	el concreto celular	138
2.8	Aplicaciones en la ingeniería civil	141
2.9	Costo de producción	146
	CAPÍTULO III.- MARCO METODOLÓGICO	149
3.1	Tipo de investigación	149

3.2	Ensayos experimentales	154
3.2.1	Generalidades del diseño	156
3.2.1.a.	De los materiales	157
3.2.1.a.1.	Características de los Agregados utilizados en la planta productora de unidades de concreto celular	161
3.2.1. b.	Del procedimiento	168
3.2.2	Análisis del diseño de mezcla para concretos celulares	173
3.2.2.1	Materiales utilizados	173
3.2.2.2	Diseño de mezcla	176
3.2.3	Localización de planta de bloques de concreto celular	191
3.2.4	Estudio de agregados a utilizar	200
3.2.4.1	Criterios para determinar la composición de agregados de la mezcla	205
3.2.5	Dosificación de la muestra	208

3.2.5.1	Criterios para determinar la medida de dosificación	208
3.2.5.2	Descripción de dosificación de mezcla en planta	210
3.2.5.2.a	¿Qué es el agente espumante de alta densidad?	212
3.2.5.2.b	Certificado de calidad	215
3.2.6.	Proceso de producción	230
3.2.6.1.	Descripción del proceso de producción	230
3.2.6.1.a.	Proceso de producción - Producto no armado	230
3.2.6.1.b.	Proceso de producción - Producto armado	231
3.2.6.2.	Resumen de producción para productos de fábrica	232
3.2.6.3.	Mantenimiento preventivo cada 30 días	238
3.2.7	Ensayos de laboratorio	245

3.2.7.1	Metodología empleada en los ensayos	245
3.2.7.2	Ensayos realizados	246
3.2.7.2.1	Ensayo de compresión--ASTM C42 y C873	246
3.2.7.2.2	Ensayo de módulo de elasticidad estático	249
3.2.7.2.3	Ensayo de tracción por compresión diametral	252
3.2.7.2.4	Ensayo de flexión	255
3.3.	Métodos y técnicas del estudio de investigación	257
3.3.1	Variables de estudio y operacionalización de variables	257
3.3.2	Métodos y técnicas de recolección de información	259
CAPÍTULO IV.- RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO		265
4.1	Resultados de los ensayos	265
4.1.1	Como unidad de concreto celular	265
4.1.1.1	Pesos unitarios y contenidos de aire	266
4.1.1.2	Resultados del ensayo de compresión	269
4.1.1.3	Resultados del ensayo de módulo de	

elasticidad y módulo de Poisson	277
4.1.1.4 Resultados del ensayo de tracción por compresión diametral	283
4.1.1.5 Resultados del ensayo de flexión	287
4.1.1.6. Resumen de resultados obtenidos en laboratorio	292
4.1.1.6.1 Conclusión	294
4.1.2. Como sistema muro de concreto celular	296
4.1.2.1. Introducción	297
4.1.2.2. Materiales	299
4.1.2.3. Características del pórtico de concreto armado	301
4.1.2.4. Construcción del tabique con placa P-1	302
4.1.2.5. Ensayo de carga lateral coplanar al tabique	303
4.1.2.5.1. Ensayo del pórtico de concreto armado sin el tabique P-1	304

4.1.2.5.2.	Ensayo de carga lateral cíclica del conjunto pórtico - tabique P-1	305
4.1.2.5.3.	Rigidez lateral del conjunto pórtico- tabique P-1	306
4.1.2.6.	Ensayo sísmico ortogonal al plano del tabique	308
4.1.2.6.1.	Técnica de ensayo	309
4.1.2.6.2.	Comportamiento sísmico del tabique	311
4.1.2.6.3.	Período natural de Vibrar	312
4.1.2.6.4.	Resultados máximos	313
4.1.2.6.5.	Ensayo estático adicional	315
4.1.2.6.6.	Comparación con las cargas del reglamento sísmico	318
4.1.2.6.7.	Resistencia a la primera	

fisura de tracción por	
flexión	319
4.1.2.7. Conclusiones	320
4.1.2.7.1. Ventajas del tabique	
P-1	321
4.1.2.7.2. Integración del tabique	
P-1 a la Estructura	322
4.1.2.7.3. Propiedades estructurales	
del tabique P-1	323
4.1.2.7.4. Comportamiento del tabique	
P-1 ante acciones sísmicas	
transversales	325
4.1.2.8. Comentarios	326

CAPÍTULO V.- ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS

UNIFAMILIARES EN ESTUDIO	328
5.1. Modelo estructural de una vivienda unifamiliar de	
concreto convencional y de concreto celular	328
5.1.1 Descripción de las viviendas	328
5.2 Estructuración	332
5.3 Dimensionamiento	334

5.4	Metrado de cargas	335
5.5	Análisis estructural	336
5.5.1	Diseño a la rotura para una vivienda con concreto convencional de albañilería confinada	341
1.	Características del edificio	341
A.	Características geométricas	341
B.	Características de los materiales	343
C.	Cargas unitarias	343
D.	Dimensiones de planta	343
2.	Estructuración y predimensionamiento	343
A.	Revisión por compresión de muros del primer piso	344
B.	Revisión de la densidad mínima de muros reforzados en cada dirección	345
3.	Metrado de cargas	346
4.	Análisis estructural ante el sismo moderado	351
5.A	Diseño de los muros del primer piso	

en X ante sismo severo	360
5.B Diseño de los muros del primer piso	
en Y ante sismo severo	362
5.C Diseño de los muros del segundo piso	
en X ante sismo severo	364
5.D Diseño de los muros del segundo piso	
en Y ante sismo severo	366
5.5.2 Diseño a la rotura para una vivienda con concreto celular de albañilería confinada	368
1. Características del edificio	368
A. Características geométricas	368
B. Características de los materiales	370
C. Cargas unitarias	370
D. Dimensiones de planta	370
2. Estructuración y predimensionamiento	370
A. Revisión por compresión de muros del primer piso	371
B. Revisión de la densidad mínima de muros reforzados en cada	

dirección	372
3. Análisis estructural ante el sismo moderado	379
4.A Diseño de los muros del primer piso en X ante sismo severo	383
4.B Diseño de los muros del primer piso en Y ante sismo severo	385
4.C Diseño de los muros del segundo piso en X ante sismo severo	387
4.D Diseño de los muros del segundo piso en Y ante sismo severo	389
5.5.3. Análisis sísmico en pórticos de concreto armado	391
5.5.3.1 Resultado análisis sísmico en la vivienda unifamiliar de concreto convencional	395
5.5.3.2 Resultado análisis sísmico en la vivienda unifamiliar de concreto celular	400
5.6 Diseño estructural de la vivienda unifamiliar	

de concreto convencional	405
5.6.1 Diseño de la losa	406
5.6.2 Diseño de las vigas	413
5.6.3 Diseño de las columnas	419
5.6.4 Diseño de la cimentación	420
5.6.5 Relación de planos	421
5.7 Diseño estructural de la vivienda unifamiliar con concreto celular	421
5.7.1 Diseño de la losa	421
5.7.2 Diseño de las vigas de concreto celular	424
5.7.3 Diseño de las columnas de concreto celular	431
5.7.4 Diseño de la cimentación	432
5.7.5 Relación de planos	432
CAPÍTULO VI.- ANÁLISIS COMPARATIVO	433
6.1 Comparación entre la vivienda unifamiliar de concreto convencional y concreto celular	433
6.1.1 Cortantes debido a la fuerza sísmica	434
6.1.2 Deformaciones	436
6.1.2.1 Deformaciones sísmicas	436

6.1.2.2	Deformaciones de losas y vigas	441
6.2	Diferencias en metrados	441
6.2.1	Losa	441
6.2.2	Vigas	442
6.2.3	Columnas	443
6.2.4	Cimentación	445
6.3	Diferencias de costos y presupuestos	447
6.4	Costo y beneficio	454
CAPÍTULO VII.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	459
7.1	Conclusiones	459
7.1.1.	Conclusiones del modelo estructural con concreto celular	463
7.2	Recomendaciones.	466
BIBLIOGRAFÍA		469
ANEXOS		472
• ANEXO 1	= PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.	
• ANEXO 2	= PLANOS - DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA DE VIVIENDA EN ESTUDIO	

- ANEXO 3 = PLANOS DE VIVIENDA CON CONCRETO CELULAR

- ANEXO 4 = PLANOS DE VIVIENDA CONSTRUIDA CON UNIDADES DE CONCRETO CELULAR - C.P.M. BOCA DEL RIO.

- ANEXO 5 = CONSTANCIAS DE ESTUDIOS REALIZADOS.

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer a mis Padres; Rosa Ofelia y Martin, así también a mi hermana Verónica, quienes de la manera más comprensiva me han dado parte de su tiempo para concluir con esta meta.

Así mismo mi eterno agradecimiento a mi Alma Mater, a mis profesores, Asesor de Tesis; Ing. Edgar Chura Arocutipa, a mis jurados, Docentes Ing. Luis Alfaro Ravello, Ing. Omar Dueñas Rospigliosi, Ing. Samuel Amar Antezana, Ing. Luis Cornejo Navarrete.

Y a mis amigos y amigas que con su estímulo contribuyeron a formar y plasmar las ideas aquí expresadas; a las instituciones, empresas que me brindaron facilidades para la recopilación de informaciones estadísticas, técnicas y de laboratorio.

PRESENTACIÓN

El objetivo de la presente tesis es determinar si es viable o no el uso del concreto celular en elementos estructurales de viviendas unifamiliares en la ciudad de Tacna hasta 02 niveles de altura, sabiendo que el concreto celular es un material liviano que reduce las cargas muertas sobre la estructura, reduce las fuerzas sísmicas producidas por movimientos telúricos, otorga mayor resistencia al fuego, proporciona aislamiento térmico y absorción acústica. También el menor peso favorece el transporte y el acarreo de los elementos y bloques prefabricados.

En el primer capítulo se describe los aspectos generales para la elaboración de la presente tesis desde el planteamiento del problema, descripción del problema, justificación de la investigación, los objetivos de la investigación, las hipótesis y la operacionalización de variables que son el punto de partida para la continuación de la investigación.

En el segundo capítulo con la definición de concreto celular, explicando los materiales que lo componen y los métodos de preparación, luego las características y propiedades principales como su resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, la resistencia al fuego, su aislamiento térmico, y otras propiedades. Este segundo capítulo es principalmente descriptivo haciendo uso de la información bibliográfica recopilada.

El tercer capítulo surgió de la necesidad de comparar las propiedades y características del concreto celular obtenidas de fuentes bibliográficas con las propiedades del concreto celular producido en nuestro medio con agregados propios de nuestro país. Por lo que se realizaron ensayos experimentales de compresión, módulo de elasticidad, módulo de Poisson, tracción por compresión diametral y flexión en la Empresa CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda. Este capítulo explica en forma general los ensayos realizados y los resultados son presentados en el cuarto capítulo donde se muestra que

los resultados obtenidos guardan relación con la información bibliográfica.

El quinto capítulo de la tesis consiste en analizar y diseñar una misma estructura de concreto, primeramente empleando concreto convencional y luego concreto celular para que, finalmente, en el sexto capítulo hagamos una comparación entre ambos diseños determinando si la estructura de concreto celular es más económica que la de concreto convencional o no.

En el Perú, el concreto celular, es un tema bastante nuevo por lo que la información bibliográfica consultada se remite básicamente a libros de autores especializados, artículos de instituciones internacionales e investigaciones de extranjeros particulares.

Agradezco al Ing. Civil: Javier M. Sanabria S. actualmente: Gerente Técnico de la empresa: Concretos Celulares Ltda., al Arquitecto Edgardo Vargas Cancino

Gerente de la empresa Corporación Vacanci y Representante de la empresa Concretos Celulares del Sur Ltda. En la ciudad de Tacna, a los técnicos que me apoyaron y a los demás trabajadores de la empresa CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda. Que apoyaron esta investigación de manera desinteresada sin buscar algún beneficio personal.

Agradezco también la asesoría del Ingeniero Civil Edgard Chura Arocutipa docente de la Universidad Nacional "Jorge Basadre Grohmann", especialista en Análisis y Diseño Estructural quien me apoyo, brindó su absoluta colaboración y me orientó en el tiempo que duró esta investigación.

Así también a mis Padres por su dedicación y orientación en mi formación personal, a los docentes que me enseñaron durante los cinco años de estudio cuyas enseñanzas nos servirán para ser buenos profesionales y líderes en la Carrera Profesional de Ingeniería Civil.

Esperamos que la tesis sea de interés general y muestre que a lo que se refiere al concreto no todo está ya investigado.

INTRODUCCIÓN

Las cargas sobre una estructura determinan las dimensiones de las secciones de los elementos estructurales, y la cantidad de acero de refuerzo en la estructura, por lo que podemos suponer que a mayores cargas mayor será el costo de la estructura por lo tanto lo que se desea es disminuir las cargas, y la interrogante es como reducimos estas cargas.

En general, en toda edificación tenemos los siguientes tipos de cargas:

- a) Cargas muertas: que están presentes de manera continúa y cuyo efecto permanece prácticamente irreversible en el tiempo. Las cargas muertas incluyen el peso propio de los elementos de una estructura, llámense vigas, columnas, losas, acabados sobre pisos y techos y tabiquería.
- b) Cargas vivas o sobre cargas: que vienen a ser las cargas de uso u ocupación, originadas directamente por las personas, maquinas u objetos movibles. Su

efecto puede variar, incluso desaparecer sobre la estructura o elemento en el transcurso del tiempo.

c) Cargas debido al sismo: que son netamente dinámicas y se manifiestan como un movimiento vibratorio en la base de la estructura, el cual ocasiona esfuerzos y por consiguiente genera desplazamientos. La carga sísmica es un porcentaje del peso total de la estructura, este porcentaje proviene del producto y división de unos coeficientes que están en función de la zona geográfica, del uso de la edificación, del tipo de suelo, etc.

d) Cargas debido al viento: este tipo de carga, al igual que la carga debida al sismo, es de naturaleza dinámica y ejerce sobre las estructuras presiones o succiones en forma directa sobre todas las áreas o superficies expuestas de las estructuras lo cual ocasiona esfuerzos y desplazamientos.

Las cargas vivas son impuestas por el uso que tendrá la estructura y solo tenemos que aceptarlas, las cargas debido al viento también tenemos que aceptarlas y no

podemos disminuirlas. Sin embargo la carga muerta si podemos disminuirla mediante el uso de materiales ligeros. Y la carga producto del sismo que es función del peso de la estructura también la disminuimos indirectamente al disminuir las cargas muertas.

Por otro lado en una edificación de concreto armado entre el 75% y el 80% de las cargas totales son producto del peso propio de la estructura y de los elementos de tabiquería. En otras palabras, la mayor parte del peso de un edificio se debe al peso de las losas, de las vigas, de las columnas y de los muros, es decir de las cargas muertas.

El peso de estos elementos estructurales es función del peso del concreto, y si deseamos reducir las cargas de una estructura tenemos que buscar la manera de bajar el peso del concreto.

Podemos reducir el peso del concreto mediante el uso de agregados ligeros, agregados artificiales de poco peso, o mediante la incorporación de burbujas de aire en el

concreto, este último método produce el llamado concreto celular que es materia de la presente tesis.

Con la incorporación de aire dentro del concreto reducimos el peso específico pero sacrificamos resistencia, para aumentar la resistencia debemos aumentar el contenido de cemento, aumentando así el costo. También el concreto celular posee una menor resistencia a la tracción en comparación con el concreto convencional y también menor módulo de elasticidad resultando en una menor rigidez lateral de la estructura. En contraparte, el concreto celular reduce las cargas muertas, las cargas sísmicas, resiste mejor al fuego que el concreto convencional, conserva el calor y el frío, y absorbe los ruidos.

El objetivo de la tesis es determinar si es viable o no el uso de concreto celular en los elementos estructurales de viviendas unifamiliares en la ciudad de Tacna hasta 02 niveles de altura haciendo una comparación de costos entre dos edificios uno de ellos hecho de concreto

convencional y el otro de concreto celular. Considerando en el costo de la edificación lo siguiente: Costo del concreto en ambos diseños y costo del refuerzo en los diferentes elementos estructurales.

En este trabajo de investigación se tuvieron que realizar diferentes tipos de ensayo en el concreto, esto se realizó en la empresa CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda., la cual nos proporcionó todas las herramientas necesarias para realizar los ensayos.

Finalmente es importante hacer mención que en la década actual, ante la perspectiva del adelanto notable a nivel mundial de las técnicas, aditivos, conocimientos y procedimientos constructivos con concreto y la necesidad de no quedarnos atrás en estos avances, se plantea un reto muy importante en el desarrollo local de esta ciencia.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.0 Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

Para la edificación de viviendas se deberá verificar previamente la resistencia y morfología del suelo mediante un estudio. El suelo debe tener características que permitan una solución estructural que garantice la estabilidad de la edificación. Igualmente deberá verificarse el estado de las edificaciones colindantes con el fin de contar con una propuesta que no comprometa la estabilidad y seguridad de las edificaciones vecinas. Las viviendas deberán ser edificadas en lugares que cuenten con instalaciones de servicios de agua y energía eléctrica o con un proyecto que prevea su instalación en un plazo razonable.

Para el presente tema de tesis hemos buscado información sobre la situación actual de las viviendas en la ciudad de Tacna, en especial para detallar el tipo de material que predomina en la construcción de las mismas, información que damos a conocer a continuación.

En el estudio de las condiciones de vida de la población, la vivienda ocupa un lugar preferente, en cuanto a la calidad de su construcción, la disponibilidad de los servicios y de su equipamiento, entre otros.

En la cédula del V Censo Nacional de Vivienda del 2005, se aplicaron un conjunto de preguntas respecto a las viviendas y los hogares, a través de las cuales ha sido posible conocer el número de unidades habitacionales existente relacionándolas con sus características

respecto a su ubicación, tipo, estructura y servicios básicos. Asimismo ha permitido dimensionar las reales proporciones de las carencias de los hogares que residen en dichas viviendas, esta información nos ayuda a identificar las razones que justifican el presente tema de tesis.

En el 2005, se observa que 52,713 unidades de vivienda (76,5%) tienen como material predominante en sus paredes el ladrillo o bloque de cemento; 7 443 viviendas (10,8%) tienen paredes de adobe o tapia y 6 813 viviendas (9,9%) tienen paredes de estera (Ver Cuadro 1).

En la provincia de Tacna predomina el uso del ladrillo o bloque de cemento como material predominante en las paredes de la vivienda.

En la ciudad de Tacna se presentan viviendas unifamiliares elaboradas con

material convencional de albañilería, que hasta la fecha han demostrado poca resistencia ante eventos sísmicos ocurridos en nuestra localidad, tomando de referencia el artículo publicado por Sencico por intermedio de la Gerencia de Investigación y Normalización, que encargo el proyecto al Dr. Marcial Blondet profesor de la PUCP, con apoyo de estudiantes de dicha universidad, titulado **VULNERABILIDAD DE VIVIENDAS DE LADRILLO DE ARCILLA**, indicándose en la Tabla 5 lo siguiente:

"Tabla 5, Otros defectos constructivos,
Uno de los problemas más importantes observados en las viviendas informales de la costa peruana es la baja calidad de los ladrillos macizos, elaborados de forma artesanal, muchas veces estos ladrillos no

cumplen con las especificaciones dadas en las normas peruanas" ¹.

Otros defectos constructivos	Costa norte	Costa sur
Eflorescencia y salitre en muros	18%	28%
Humedad en muros o losa	25%	25%
Ladrillos de baja calidad	97%	89%
Losa agrietada	12%	14%
Muros agrietados	40%	32%

Fuente: http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/vulnerabilidad_2004.pdf

Así también se indica que es un problema estructural más importante es la inadecuada distribución de los muros resistentes.

CUADRO 1

DPTO. DE TACNA: VIVIENDAS PARTICULARES CON
OCUPANTES PRESENTES, POR MATERIAL
PREDOMINANTE EN LAS PAREDES EXTERIORES DE
LA VIVIENDA, SEGÚN PROVINCIAS: 2005

(Porcentaje)

PROVINCIA	TOTAL VIVIENDAS	MATERIAL PREDOMINANTE EN LAS PAREDES							
		LADRILLO BLOQ. DE CEMENTO	PIEDRA O SILLAR	ADOBE O TAPIA	QUINCHA	PIEDRA CON BARRO	MADERA	ESTERA	OTRO MATERIAL
TOTAL	68 933	76,5	0,1	10,8	0,5	0,4	1,0	9,9	0,8
TACNA	61 265	82,2	0,1	5,3	0,4	0,1	0,9	10,4	0,7

¹ http://www.asocem.org.pe/SCMRoot/vulnerabilidad_2004.pdf , "VULNERABILIDAD DE VIVIENDAS DE LADRILLO DE ARCILLA"

CANDARAVE	2 605	16,9	0,4	75,4	0,2	3,8	0,5	0,1	2,8
JORGE BASADRE	2 977	60,2	0,1	14,7	4,1	0,2	4,0	14,1	2,6
TARATA	2 086	5,5	0,2	86,9	1,2	6,0	0,1	-	0,1

Fuente: INEI - Censos Nacionales del 2005

Los resultados del 2005, muestran un fuerte incremento en el número de viviendas cuyo material predominante en las paredes es el ladrillo o bloque de cemento. Estas viviendas de 31 119 unidades en 1993, aumentan a 52 713 unidades habitacionales en el 2005 (Ver Cuadro 2).

CUADRO 2

DPTO. DE TACNA: VIVIENDAS PARTICULARES CON
OCUPANTES PRESENTES, SEGÚN MATERIAL
PREDOMINANTE EN LOS TECHOS: 1993 Y 2005

MATERIAL PREDOMINANTE EN PAREDES EXTERIORES	1993		2005		INCREMENTO INTERCENSAL 2005/1993	
	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TOTAL	46 360	100,0	68 933	100,0	22 573	48
LADRILLO O BLOQUE DE CEMENTO	31 119	67,1	52 713	76,5	21 594	69
PIEDRA O SILLAR	741	1,6	99	0,1	-642	-86

ADOBE O TAPIA	10 313	22,2	7 443	10,8	-2 870	-27,
QUINCHA	806	1,7	368	0,5	-438	-54,
PIEDRA CON BARRO	652	1,4	275	0,4	-377	-57,
MADERA	221	0,5	654	0,9	433	195,
ESTERA	2 106	4,5	6 813	9,9	4 707	223,
OTRO MATERIAL	402	0,9	568	0,8	166	41,

Fuente: INEI - Censos Nacionales de 1993 y 2005

Después del sismo del año 2001 las viviendas de concreto armado presentaron daños y el peligro de un nuevo terremoto en la región del sur del Perú, está latente, debido a que se sabe que el terremoto ocurrido el 23 de junio del 2001, no cumple las condiciones para ser considerado repetitivo del gran terremoto que se produjo en esta región el 13 de Agosto de 1868.

La vivienda tradicional, en cada país, busca cubrir las aspiraciones de la población. Los materiales y las técnicas de aplicación son conocidos y también lo es su respuesta con el tiempo, en cuanto a la duración de sus muros, techos e

instalaciones. Los estudios científicos sobre las exigencias que deben cumplir las viviendas, aceptados universalmente, han sido complementados y adaptados a cada medio. Las premisas básicas fundamentales son:

1. **Exigencias de seguridad:** comprenden la estabilidad y seguridad de las viviendas a la acción de cargas gravitatorias viento, sismo, nieve, fuego, resistencia al choque, a la intrusión humana o animal y a la circulación libre y sin obstáculo.
2. **Exigencias de habitabilidad:** comprende el aislamiento higrotérmico, acústico, estanqueidad al aire y al agua, iluminación, asoleamiento y servicios.

3. **Exigencias de durabilidad:** conservación de las calidades durante la vida útil, mantenimiento de bajo costo y flexibilidad interior.

4. **Exigencias arquitectónicas:** calidad arquitectónica y adecuación ambiental.

Existe en nuestro mercado de viviendas, un grupo de hechos que se repiten frecuentemente, tanto en las obras privadas como en las públicas, de los que mencionamos los más destacados:

1. La calidad de las construcciones de viviendas masivas es cada vez menor debido a una mano de obra ineficiente por escasez de quien la concreta: el oficial albañil. Esto genera una

menor productividad que las empresas consideran en los presupuestos a cotizar en obras siguientes

2. De lo anterior surge que se utiliza más mano de obra de la necesaria, que se destina a sustituir máquinas (p. ej. hacer mezclas en forma manual, con menor rendimiento y calidad). Esto es subocupación disimulada y una subestimación social del que la sufre.
3. El uso de subcontratistas en gran parte de las obras, que lógicamente trabajan a mayor velocidad en detrimento de la calidad.
4. El incumplimiento de entregas de obras en los plazos estipulados.

5. El mayor número de accidentes laborales, originados por la inexperiencia del obrero utilizado.

Es por este motivo que presentamos como alternativa el uso del CONCRETO CELULAR para la construcción de viviendas con el cual podemos reducir el peso del concreto mediante el uso de agregados ligeros, agregados artificiales de poco peso, o mediante la incorporación de burbujas de aire en el concreto, este último método produce el llamado concreto celular que es materia de la presente tesis; el concreto celular reduce las cargas muertas, las cargas sísmicas, resiste mejor al fuego que el concreto convencional, conserva el calor y el frío, y absorbe los ruidos.

1.2 Justificación de la investigación

Al realizar la propuesta del presente trabajo de investigación sobre el estudio de viabilidad en el uso de concreto celular para viviendas unifamiliares en la ciudad de Tacna, su entorno y su financiamiento, se justifica en la razón de analizar las principales ventajas en la obtención de nuevos materiales para dar solución a la industrialización de viviendas, explicando los materiales que lo componen y los métodos de preparación, luego las características y propiedades principales como su resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, la resistencia al fuego, su aislamiento térmico, y otras propiedades; también surge la necesidad de comparar las propiedades y características del concreto celular obtenidas de fuentes bibliográficas con las propiedades del concreto celular producido en nuestro medio con agregados propios de nuestro país. Por lo que se realizaran ensayos experimentales a la unidad de concreto celular de compresión, módulo de elasticidad,

módulo de Poisson, tracción por compresión diametral y flexión en la Empresa CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda. Y como referencia se tomara los ensayos de simulación sísmica en el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú, analizando el caso de un pórtico de concreto armado cuyo paño fue relleno con un tabique P-1 de concreto celular. En el Perú, el concreto celular, es un tema bastante nuevo por lo que la información bibliográfica consultada se remite básicamente a libros de autores especializados, artículos de instituciones internacionales e investigaciones de extranjeros particulares.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

"Evaluar las propiedades y ventajas del concreto celular para ser utilizado en la construcción de

viviendas unifamiliares dentro de la ciudad de Tacna."

1.3.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar ensayos de campo y laboratorio para identificar las propiedades que presenta el concreto celular elaborado con materiales de la localidad de Tacna.
2. Realizar ensayos experimentales de compresión, módulo de elasticidad, módulo de Poisson, tracción por compresión diametral y flexión en la Empresa CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda.
3. Citar los resultados obtenidos al realizar ensayos de simulación sísmica en el laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
4. Describir el proceso de producción, características y los componentes que se emplea para la elaboración del concreto celular.

5. Mostrar la importancia durante el proceso constructivo del empleo de concreto celular por el menor peso que posee y favorece en el transporte y acarreo de los elementos y bloques prefabricados.
6. Presentar un modulo de vivienda unifamiliar en la cual se realizara el análisis sismorresistente, primeramente empleando concreto convencional y luego concreto celular y con los resultados obtenidos se realizara la comparación de los mismos.
7. Determinar las ventajas que brinda el concreto celular para ser utilizado en la construcción de viviendas unifamiliares en la ciudad de Tacna.

1.4 Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

H1: El uso del concreto celular en la construcción de viviendas unifamiliares dentro de la ciudad de Tacna desempeña un papel positivo

cuando comparamos los beneficios ante acciones de sismo, fuego que este presenta en vez de utilizar concreto convencional.

H0: El uso del concreto celular en la construcción de viviendas unifamiliares dentro de la ciudad de Tacna desempeña un papel negativo cuando comparamos los beneficios ante acciones de sismo, fuego que este presenta en vez de utilizar concreto convencional.

1.4.2. Hipótesis específicas

H1: La resistencia a la compresión que presenta el concreto celular empleando materiales de la localidad es positiva.

H0: La resistencia a la compresión que presenta el concreto celular empleando materiales de la localidad es negativa.

H1: Las propiedades que presenta el concreto celular después de realizar la etapa experimental con agregados de la localidad es favorable para

ser empleado en la construcción de viviendas unifamiliares.

H0: Las propiedades que presenta el concreto celular después de realizar la etapa experimental con agregados de la localidad es desfavorable para ser empleado en la construcción de viviendas unifamiliares.

H1: El análisis estructural y sismorresistente del módulo de la vivienda propuesta con concreto celular presenta valores favorables para un buen comportamiento ante un evento sísmico en comparación con una utilizando concreto convencional.

H0: El análisis estructural y sismorresistente del módulo de la vivienda propuesta con concreto celular presenta valores desfavorables para un buen comportamiento ante un evento sísmico en comparación con una utilizando concreto convencional.

1.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

1.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

VARIABLE INDEPENDIENTE :

ENSAYOS DE LABORATORIO

INDICADORES:

- Resistencia a la compresión,
- Módulo de elasticidad,
- Módulo de Poisson,
- Tracción por compresión diametral y flexión.

Ensayos que se realizaran en la Empresa
CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda.
Utilizando materiales de la ciudad Tacna.

1.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

VARIABLE DEPENDIENTE:

CONCRETO CELULAR

INDICADORES:

- Recopilar todos los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio y campo para evaluar sus características.
- Identificar sus principales propiedades obtenidas de haber empleado agregados de la localidad.
- Interpretar los resultados obtenidos del análisis estructural y sismorresistente en un módulo de vivienda unifamiliar propuesto empleando concreto celular.
- Realizar la comparación de los beneficios del concreto celular en vez del concreto convencional que se utiliza para la construcción de viviendas en la ciudad de Tacna.
- Comunicar a los usuarios de las ventajas que se obtienen al emplear

concreto celular en la construcción de sus viviendas.

- Gestión para el abastecimiento de nuevo producto dentro de la localidad de Tacna.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL CONCRETO CELULAR

Aun cuando el concreto ligero se ha hecho ya bastante conocido en los últimos años no representa en ningún caso una nueva clase de material para la construcción. A fines del siglo XIX se utilizó en los Estados Unidos de Norteamérica, en Inglaterra y en muchos otros lugares, se empleo con agregado de escoria de hulla y con aire encapsulado. Su empleo no se limitó a viviendas y habitaciones populares de bajo costo, sino que también se utilizó en ciertas partes de edificios y monumentos, tales como el Museo Británico terminado en 1907. También se sabe que los romanos usaron frecuentemente una forma de concreto ligero en sus construcciones: tal es el caso de la cúpula de 44mt, del diámetro del Panteón, en Roma, construida en el siglo II D.C. La cual se compone en gran parte de concreto colado

"in- situ" a base de agregado de pómez, es decir, por medios naturales el aire ya estaba encapsulado.

A mediados de la década de los treinta, la escoria espumosa de los altos hornos se introdujo en Inglaterra, desde entonces se ha usado mucho como agregado de peso ligero. Antes de la última guerra mundial, el concreto a base de espuma se utilizaba en el Reino Unido, principalmente en la fabricación de bloques para muros que no fueran de carga, el concreto ligero se pudo utilizar también para elementos de carga. Con la experiencia obtenida posteriormente, el concreto de agregados ligeros ha sido utilizado más recientemente o para elementos estructurales de concreto reforzado y en algunos casos para elementos de concreto pretensado.

Paralelamente al desarrollo del concreto de agregado de peso ligero se fue efectuando un proceso similar con el concreto aireado. Por primera vez se produjo el concreto aireado con bomba generadora de espuma en Suecia en 1929, y su empleo durante los primeros años se destino exclusivamente a la fabricación de bloques (FIG. 1).

Las mejoras de sus propiedades condujeron al desarrollo de unidades reforzadas, de suerte que hoy en día más de la mitad de la producción de concreto aireado en Suecia, se hace en esta forma. No fue sino por el año de 1950 se introdujo en Inglaterra el concreto aireado para elementos de carga y por casi diez años no se tenía más que una sola fábrica dedicada únicamente a la producción de bloques, actualmente en Gran Bretaña existen por lo menos veinte fábricas.

En Gran Bretaña el concreto ligero se fabricaba con escoria de termoeléctricas a base de carbón, pero la gran aceptación del material obligó a que la demanda creciera acabando con las pocas existencias que habían de polvo de ceniza, a raíz de esto se implemento el concreto ligero a base de espumas jabonosas que permitieran el encapsulamiento del aire, por tanto, la industria del concreto está basada en gran parte en una reorientación radical de las provisiones disponibles de materiales, para ser seguido presumiblemente por una reorganización de los precios base en la industria. En el pasado, la

disponibilidad de varios materiales como la escoria de hulla y el carbón retardaron el desenvolvimiento de otro tipo de agregado como es el de la adición de espuma.

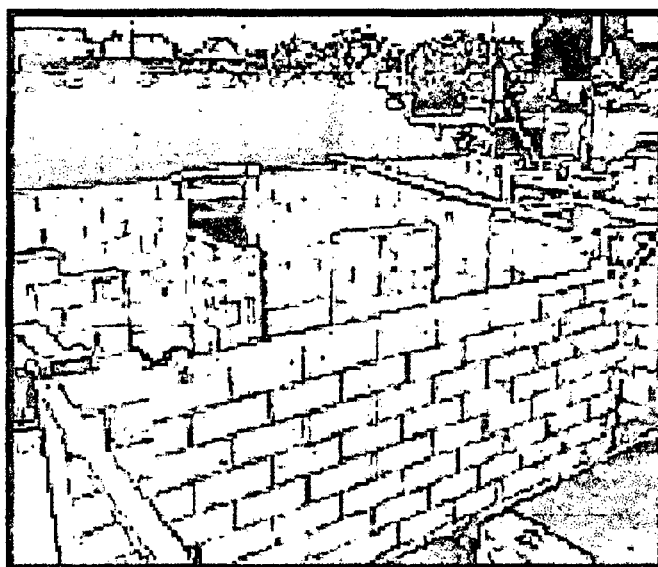


FIG. 1. Construcción de un muro con bloques de concreto aireado.

En Alemania a raíz de la segunda guerra mundial provoco un agotamiento de agregado como la piedra pómez a las industrias productoras de bloques y precolados y por el uso acrecentado del concreto colado in-situ como la industria (Schüttnbeton) que se ha hecho en la Alemania

occidental y en otros países, sufrió una gran crisis debido al abastecimiento del material de cantera, por lo tanto hubo una gran acogida la iniciación de agregados a base de espuma. Una cantidad limitada de arcilla expandida también se está fabricando por un proceso de espuma cerca de Hamburgo, basándose en un proceso Danés. La ampliación de la producción de agregado ligero en Alemania con la adopción de técnicas ya probadas y desarrolladas en Inglaterra se encuentra también en activo desarrollo, además, se dispone de un volumen considerable de productos precolados y curados en autoclave, procedente de un buen número de fabricas de concreto aireado o espumado que trabajan con asistencia técnica sueca.

En Francia, la mayor parte de producción de agregado de peso ligero existe en torno a la industria de hierro de la provincia de Alsacia; las escorias espumosas se están produciendo por medio de la utilización de métodos y normas Británicas.

En los Estados Unidos de Norteamérica el desarrollo en gran escala del concreto ligero fue más rápido que en ninguna otra parte, debido principalmente a que el enorme tamaño de este país origina altos costos de transporte para mover materiales pesados a través de grandes distancias para llegar a los sitios de las obras; este factor también debe ser aumentado al de los costos de la mano de obra relativamente altos. Aunque no parece haber escasez de agregados estos se encuentran a distancias considerables de los centros de prefabricados; es entonces cuando resulta más económico el uso de agregados a base de espumas producidos en la misma planta. Estos factores han conducido al desenvolvimiento más tecnificado del uso del concreto celular.

En cierta forma el desarrollo de todos los tipos de concretos ligeros y principalmente el de base de espuma en los países de Europa oriental y Asia está supeditado a los mismos factores que en los Estados Unidos de Norteamérica, en ellos también se tienen grandes distancias de transportes, grandes necesidades por

satisfacer en tiempos relativamente cortos y una gran variedad de materias primas tanto naturales como artificiales. El desarrollo del concreto ligero en esos países esta favorecido en gran parte por las políticas de inversión de capitales, las cuales no requieren forzosamente que el capital invertido obtenga buenas utilidades. Además de las necesidades normales de nuevos edificios tanto en uso industrial como para habitación en estas grandes áreas subdesarrolladas, existen en Europa oriental una gran escasez de habitaciones y construcciones en general, debido a los efectos de la guerra. Por ello, tanto la producción de agregados de peso ligero (principalmente escorias espumosas y arcillas expandidas) como la de concreto aireado o celular a tomado gran auge, de manera que ahora se efectúa en gran escala.

El desarrollo de nuevos tipos de concretos ligeros como el celular, y el uso creciente de tales materiales de construcción se ve reflejado, y al mismo tiempo alentado y ayudado, por el trabajo de investigadores de muchas

"instituciones de investigación" en todo el mundo. En Gran Bretaña, se inicio este trabajo en el "Building Research Station", donde Lea, Parker, Newman, Nurse, Bessey y otros llevaron a cabo una serie de estudios experimentales sobre la manufactura y propiedades del concreto celular y de otros agregados de peso ligero. Estas investigaciones fueron, en realidad, ampliadas al uso del concreto ligero para fines estructurales por Thomas, pero con la guerra dicho trabajo tuvo que ser suspendido para continuarse muchos años después. Entre tanto, la "Building Research Station" y algunos otros centros de investigación, habían logrado el uso de nuevos tipos de agregados hecho con las cenizas de polvos combustibles, cuyo desecho era un problema para las plantas termoeléctricas.

En los Estados Unidos de Norte América las investigaciones precursoras hechas por el "National Bureau of Standards", sobre las propiedades del material de un gran número de agregados de peso ligero de distintos tipos y de los concretos ligeros hechos con

tales agregados fueron seguidas por los laboratorios de la "Porthand Cement Association", de Chicago, en donde Shideler y otros investigadores realizaron programas de investigación sobre la aplicación estructural de estos materiales. A ellos se unieron también otros investigadores que trabajaron en laboratorios de varias universidades norteamericanas, entre quienes figuran primeramente Richart y Jensen, de Illinois, seguidos por otros investigadores de las universidades de Texas, Ohio y Oregon. Estas personas se ocuparon principalmente de estudiar el comportamiento de varios tipos particulares de concretos con agregados de peso ligero.

En Alemania las investigaciones se han concentrado principalmente en los concretos aireados espumosos o celulares. Entre los primeros principalmente el "Instituto de Investigaciones de la Industria del Cemento" en Düsseldorf. Y el "Instituto de Investigación de las Escorias" en Rheinhausen.

En la Unión Soviética las investigaciones sobre el concreto ligero son llevadas a cabo principalmente por

los institutos de investigación de la construcción Leningrado y Moscú, aunque últimamente el interés de las repúblicas más recientemente desarrolladas en la federación se observa en las publicaciones que tratan de los materiales locales; en especial, del tipo de arcillas sinterizadas. El uso de concreto espumado para tableros muy grandes y las consecuentes dificultades para proporcionar autoclave u hornos de secado de tamaño adecuado, han sido los temas de investigación en una escala industrial.

Las normas locales sobre las construcciones y adecuaciones en concreto celular en algunos países no están totalmente definidas, por lo tanto se debe tener cuidado a la hora de fijar manuales y códigos muy rígidos ya que no permiten la aplicación del concreto celular en estructuras que aparentemente sean impropias, lo mismo que las normas no deben ser lo suficientemente flexibles ya que esto ocasiona el deterioro de las estructuras y por ende la no aceptación del producto.

El desarrollo del concreto celular en Latinoamérica ha alcanzado un buen nivel de aceptación y de producción, en Brasil el concreto celular ha alcanzado un auge importante en monumentos y estatuas ostentosas de gran tamaño y poco peso, así mismo, es utilizado en viviendas de nivel social alto para la fabricación de muros aislantes térmicos y acústicos, existen aproximadamente siete empresas dedicadas a estos propósitos. En Argentina el concreto celular ha sido implementado a través de bombas generadoras de espuma y en la construcción de bloques de gran tamaño y poco peso, en plantas de prefabricados como Ardal. En Venezuela se emplea el concreto celular para vivienda industrializada, losas de pavimentación y rellenos, el concreto celular en este país pese a que es más económico, es vendido más costoso que el concreto normal ya que son espoleadas sus propiedades físicas como aislantes térmicos o acústicos y la auto nivelación, existe actualmente Concrecel Venezuela que distribuye concreto para fundir in-situ, y Geomateriales y Obras Civiles Rhen C.A. Que distribuye

bombas generadoras de espuma. En México Cemex trabaja el concreto celular vendiéndolo como concreto móvil para ser colado in -situ y es utilizado para aliviar cargas muertas en estructuras ya que las condiciones del suelo así lo exigen. En Colombia la empresa Concretos Celulares Ltda. lleva realizando investigaciones hace varios años, tanto así que se a desarrollado la maquinaria completa para diferentes usos de bombas generadoras de concreto celular, aditivos y mezcladoras, se han exportado algunas unidades para generar concreto celular, los países que solicitan más maquinaria son Venezuela Y Brasil.

En Colombia se han realizado diferentes tipos de obras entre ellos vivienda social totalmente en concreto celular, rellenos para acometidas en tuberías, soportes geotécnicos, pavimentaciones y rellenos. En Latinoamérica existe un muro invisible para el concreto celular ya que la idiosincrasia del consumidor opta por los sistemas tradicionales pesados, es por esto, que la divulgación

del concreto celular debe comenzarse a partir de sus propiedades físicas y bondades económicas².

En resumen:

- Los concretos celulares tienen más de treinta años de experiencia mundial, especialmente en Europa y en los EE. UU., aplicados fundamentalmente por sus elevadas cualidades aislantes y su baja densidad.
- El concreto aireado, también conocido como concreto celular, es un producto cementante de peso ligero consistente en cemento, arena y otros materiales sílicos que se elabora mediante un proceso físico o químico durante el cual se introduce aire o gas a la mezcla. El ACI define el concreto ligero celular como "aquel en el cual todo o parte del agregado grueso es sustituido por burbujas de gas o aire".
- Los componentes del concreto celular no difieren mucho con los del concreto normal o convencional, en general es una mezcla de cemento, arena y agua, con

² <http://www.concretoscelulares.com/antecedentes.htm>

la diferencia de que dentro de la mezcla se producen, mediante medios mecánicos o químicos, burbujas. Creando en la masa del concreto un gran número de alvéolos o vacíos, repartidos de manera regular y no comunicados entre sí, logrando reducir de esta manera su densidad y aumentando el volumen y por consecuencia incrementando el rendimiento de este concreto sobre el concreto convencional³.

- La versatilidad del sistema permite obtener diferentes tipos de concretos celulares, con densidades variables entre 500 a 1,800 kilogramos por metro cúbico y que cubren una amplia gama de necesidades y usos, tanto para estructuras resistentes como para aislaciones térmicas o acústicas.
- El concreto aireado se emplea de dos formas:
 - a) **Precolado:** en paneles para muros, losas de entepiso y azoteas, y bloques de construcción, los

³ Cfr. Cellular Concretes, autor : Rudolph C. Valore : 775

cuales son usualmente curados con vapor a alta presión.

b] Colado en sitio: para elementos estructurales y rellenos, curado al aire por aspersión o vapor.

- El uso del concreto celular ha hecho posible, en algunas ocasiones, obras que de otra forma hubieran tenido que abandonarse por razones del peso. En estructuras reticulares, los marcos deben llevar las cargas de pisos y muros; en ellos se pueden lograr considerables ahorros en su costo si se utilizan losas de entrepiso, muros divisorios y acabados exteriores en base de concreto celular.
- Se ha demostrado experimental y prácticamente en la industria que al emplear concreto celular en las construcciones se logran menores tiempos de ejecución que con materiales tradicionales. Por ello, muchos constructores en la actualidad están dispuestos a pagar más por unidades de concreto

celular que por ladrillos comunes para ejecutar una misma área de muro⁴.

2.2 APLICACIONES DEL CONCRETO CELULAR EN VIVIENDAS A NIVEL LOCAL E INTERNACIONAL

2.2.1 En Colombia - Santa Marta

2.2.1.1 Descripción de la vivienda

Descripción = Vivienda de 1er. Nivel

Área = 120 m²

Ambientes = 01 Sala - Comedor

01 SS.HH.

01 Cocina

02 Dormitorios

Año en que se construyó = 2006

Materiales utilizados =

▪ Cemento:

Cemento Samper

⁴ Pagina Web: <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/TECNOLOGIA.pdf>

Ficha técnica.-

Cemento Samper es la marca más tradicional del mercado cementero en Colombia. A principios del siglo pasado fue la primera empresa en producir cemento en el país en 1909, así mismo fue quien introdujo e impulsó el uso del concreto en Colombia.

Desde su creación, hasta nuestros días, el Cemento Samper es reconocido como el producto de mayores resistencias iniciales y la mayor manejabilidad del mercado nacional. Son estos atributos los que le han permitido ser el cemento que marca la excelencia y recibir el certificado de aseguramiento de la calidad ISO 9002 (norma internacional), así mismo cuenta con los sellos de cumplimiento

de las normas NTC 121 (propiedades físicas y mecánicas) y NTC 321 (propiedades químicas) otorgadas por el Icontec.

Cemento Samper le permite hacer tramos más largos, mezclar menos veces y desencofrar más rápido. Requiere menos trabajo de mezclado y consumo de cemento; mantiene la relación inicial agua - cemento⁵.

Portland Tipo I

Descripción

Destinado a obras de hormigón en general, al que no exigen propiedades especiales.

⁵Paqina Web:

<http://www.cemexcolombia.com/content/publica/cemento/index.asp?subm=1&ns=dgenerall12.html&nsDer=gdralderechal.html&submenu=submenu11.html&varfoto=112&vartitulo=112>

Usos

- En obras de concreto en general, que requiera resistencia a sulfatos.
- En concretos masivos.
- En obras de todo tipo y en particular que requieran cemento con un elevado desarrollo de resistencias a edades tempranas.
- En prefabricados

Especificaciones físicas

Finura, superficie específica en M ² /kg. (Ensayo por medio de permeabilidad al aire mínimo.	280
Estabilidad. Expansión en autoclave máximo %.	0,8
Tiempo de graduado, por ensayo de agujas de Vicat: Tiempo inicial en minutos debe ser menor de:	45
Tiempo inicial en minutos no debe ser menor de:	8
Resistencias a la comprensión kgf/cm ²	
3 días	80
7 días	150
28 días	240

▪ **Agregados:**

Se utilizó agregados de la localidad, de canteras cercanas a la zona destinada a construir la vivienda con el fin de producir un concreto de buena resistencia.

▪ **Agua:**

Se utilizó agua potable, para cumplir con los requisitos necesarios para su garantizar la calidad del concreto.

Elementos de concreto celular:

- **Bloque de concreto celular** (DENSIDAD: 800 kg/m³, F'c (28días): 35 kg/cm²) - **Megablock:** que permite la construcción de muros portantes, gracias a sus celdas, las cuales, se llenan de concreto estructural y refuerzo permitiendo tener una columna ahogada dentro del muro, este bloque permite la

construcción de viviendas y edificaciones⁶.

- **Losetas de concreto celular**, las cuales son de (0,90*1* 0,08 metros), densidad: 850 kg/m³, con refuerzo en malla electro soldada 15 *15 de 6 mm., F'c placa unidad: 300 kilos por unidad

2.2.1.2 Panel fotográfico.-

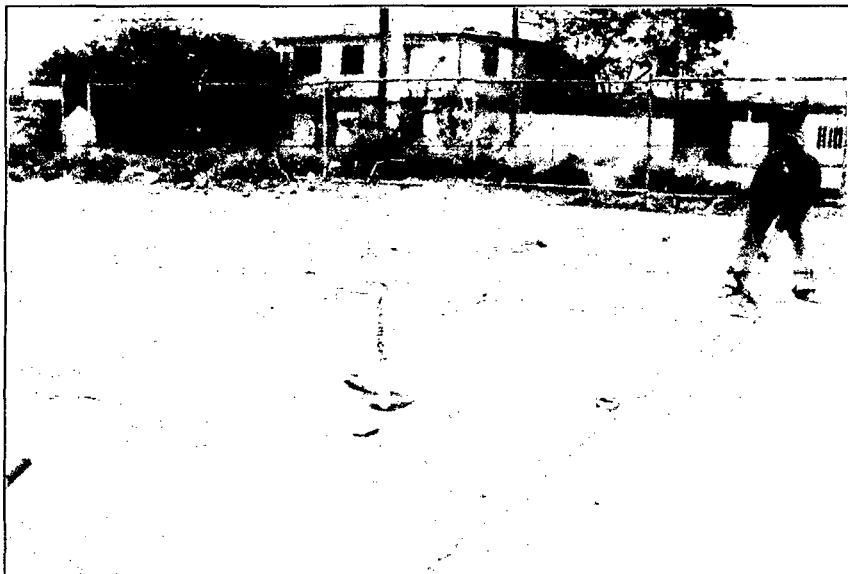


Foto 1 = Nivelación del terreno y Trazo de zanjas a excavar.

⁶ Página Web : <http://www.concretoscelulares.com/Megablock.htm>



Foto 2 =Excavación de zanjas en terreno de la vivienda a construir.

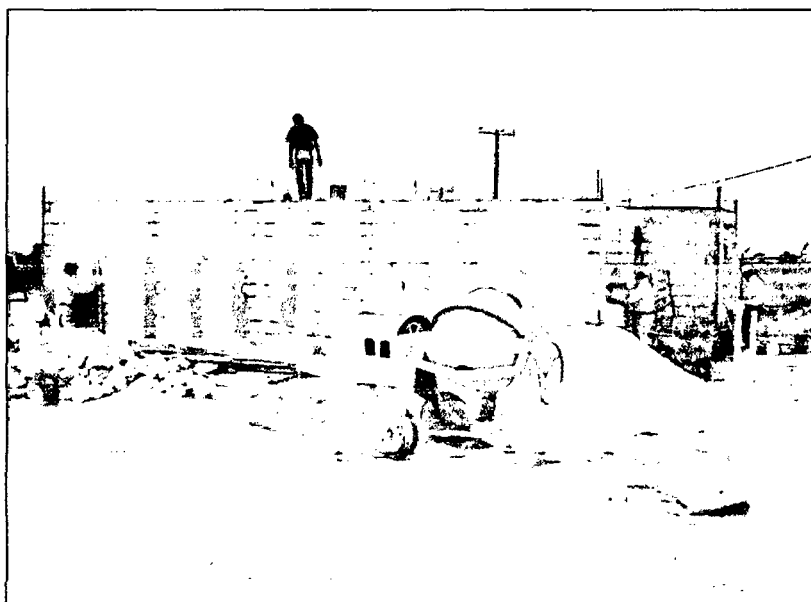


Foto 3 =Muros de unidades de concreto celular

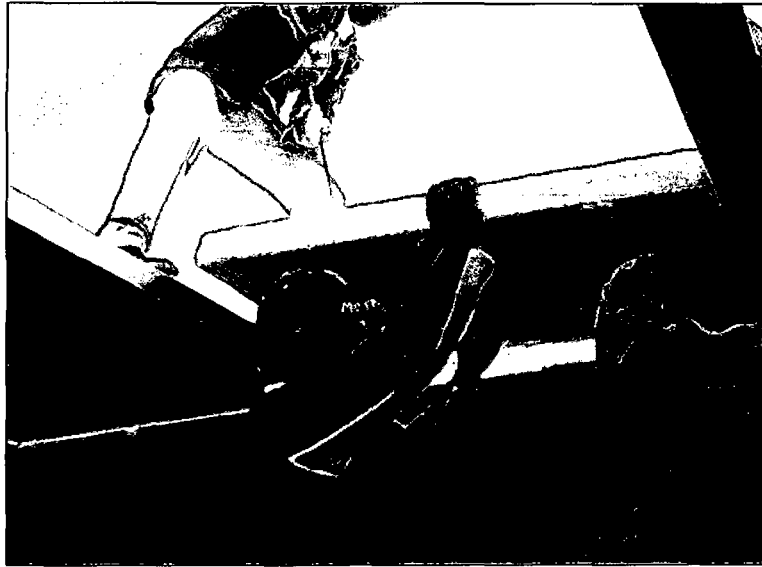


Foto 4 = Colocación de unidades de concreto celular en losa del 1er. nivel.

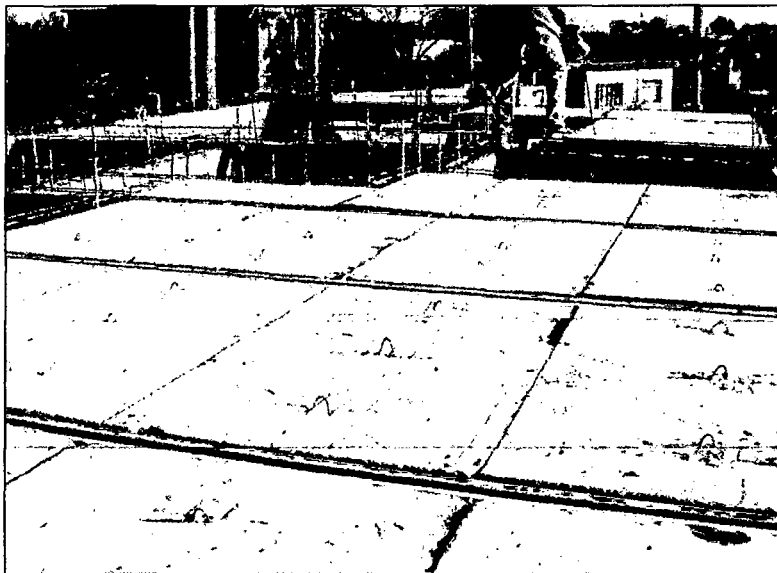


Foto 5 = Colocación de unidades de concreto celular en la losa del 1er. nivel.

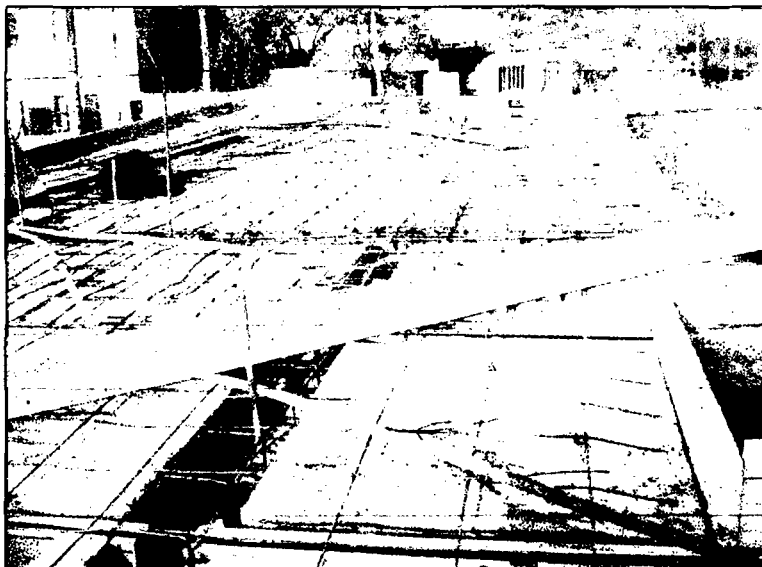


Foto 6 = Acero en techo del 1er. nivel y de las instalaciones para proceder con el vaciado del mismo.

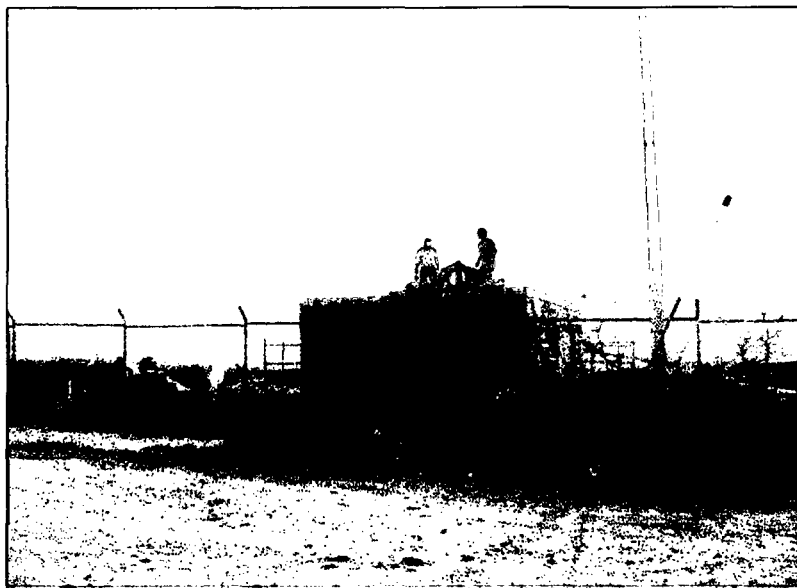


Foto 7 =Se muestra los acabados de la vivienda.

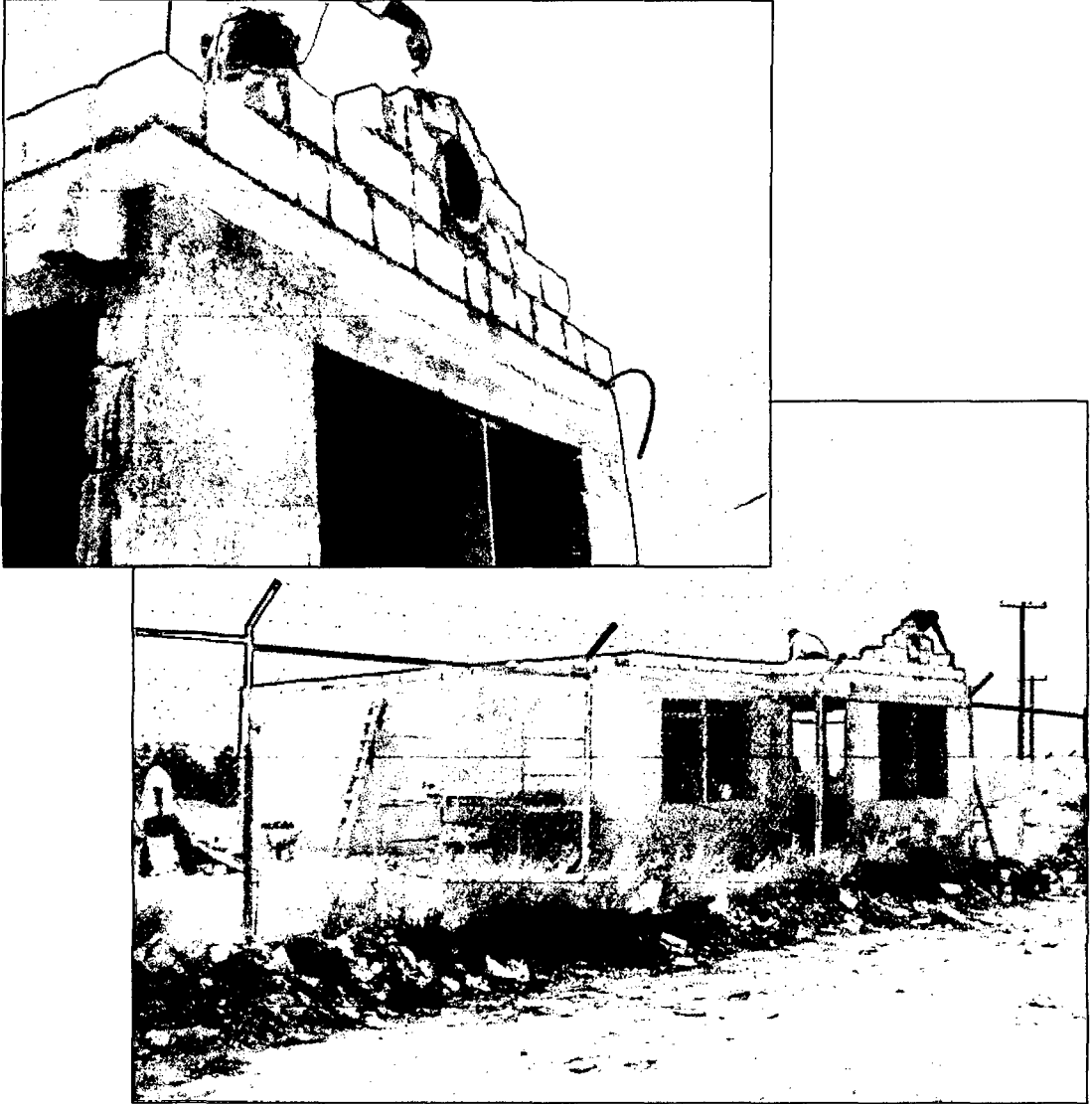


Foto 8 = Etapa final de construcción en la vivienda de
concreto celular.

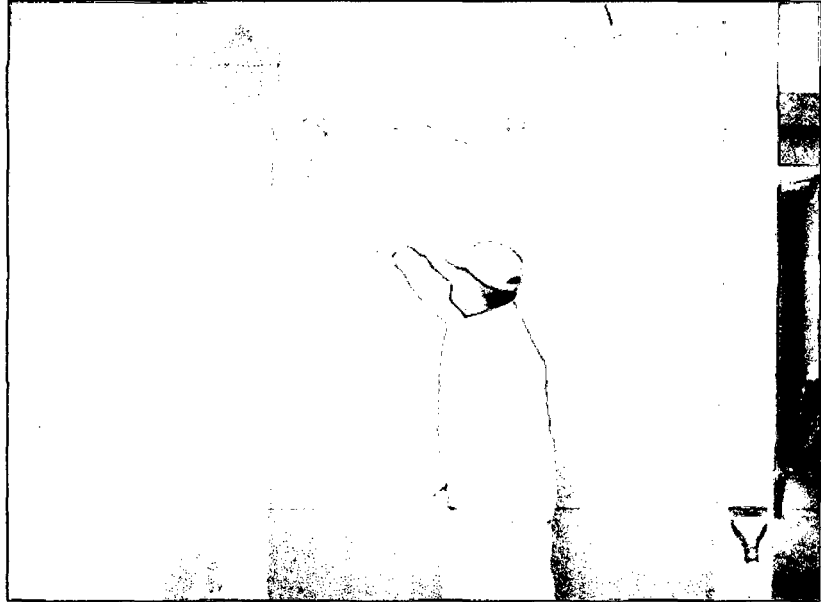


Foto 9, 10 = Tarrajeo en muros interiores y exteriores
en los que se utilizó unidades de concreto celular



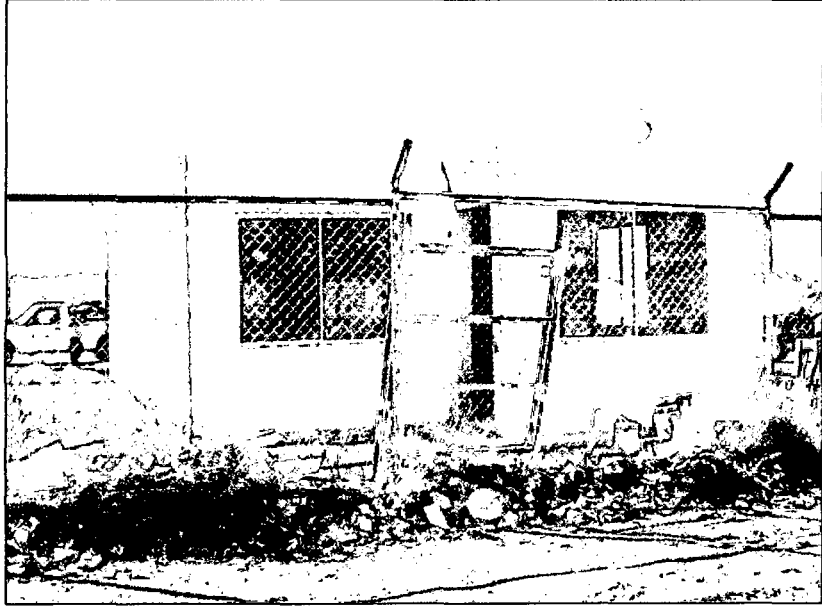
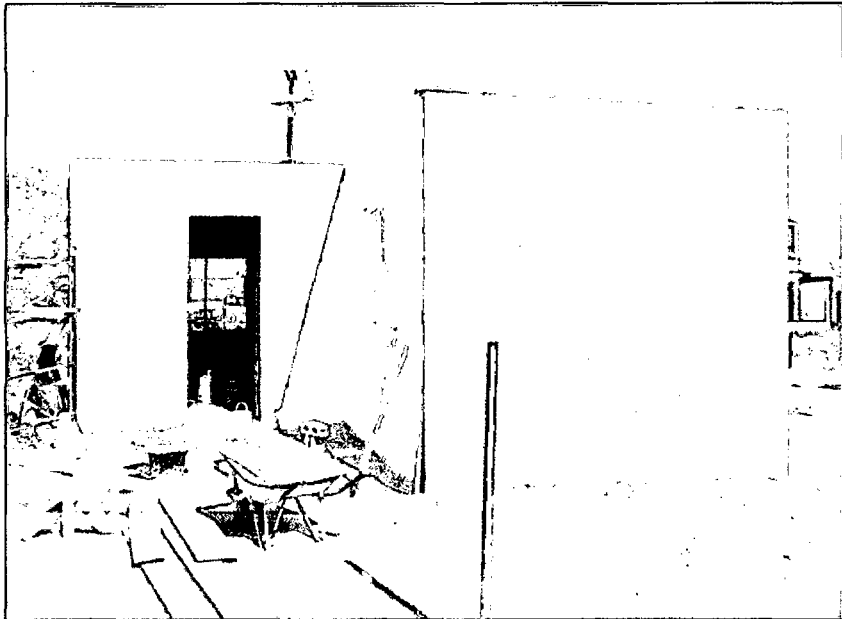


Foto 11 y 12 = Acabados y pintado de la vivienda



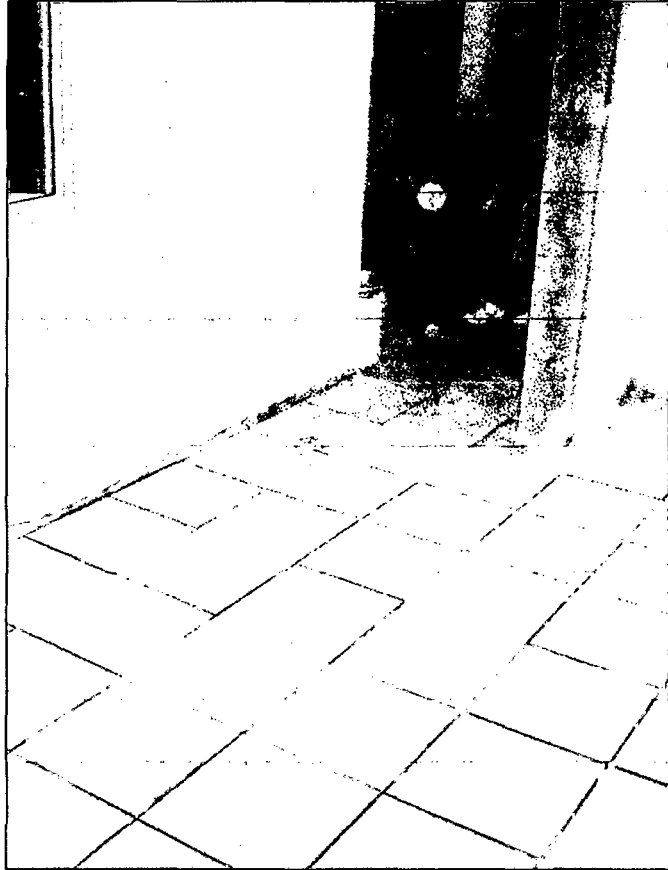


Foto 13 = Colocación de piso cerámico en la vivienda

2.2.1.3 Conclusión.-

El proyecto de construcción de una vivienda en concreto celular proyectada a 2 niveles, tiene la siguiente información:

GRUPO GIMSA Magdalena - Santa Marta - Colombia;

Director de proyecto: Ingeniero Rolando Aguayo.
(REBASA Área de Investigación y Desarrollo);

Asesoría: Ingeniero: Javier Sanabria. (Grupo
Concretos Celulares Ltda); Fecha: 15 Mayo de
2006;

Tiempo de ejecución: 25 días.

Este proyecto tuvo como objetivo la
CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA SIMO RESISTENTE EN
MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL, por lo tanto queda
como demostración este caso para identificar
las posibilidades en construcción de viviendas
unifamiliares que nos ofrece el uso de concreto
celular.

2.2.2 En Perú - Tacna- C.P.M. Boca del Rio

Se está construyendo un modulo de vivienda de 1
nivel en la zona de la Playa Boca del Rio.

2.2.2.1 Descripción de la vivienda

Ubicación = C.P.M. Boca del Rio Mz.44 Lte. 05

Área del terreno = 249,50 m²

Área Construida = 161,15 m²

Propietaria = Sra. Renza Mazzerini Carbajal

Planos = U.P-/01: Plano de ubicación

C.E./01: Plano de cortes y
elevaciones

E-01 : Plano de estructuras

(Ver **Anexo 4**)

Año en que se construyó = Diciembre 2008

Materiales utilizados =

Concreto estructural

-Cemento : Cemento Atlas Puzolánico Tipo IP

El cemento Atlas Puzolánico Tipo IP, en bolsas de 42,5 kg. y a granel. El cemento Atlas Puzolánico IP es altamente resistente a la tracción y fisuración. Su resistencia a la compresión es ligeramente baja a temprana edad (3 primeros días). Desprende menor calor de hidratación, lo que reduce la retracción térmica y la permeabilidad, lo que hace que el fierro interno se conserve mejor. Es moderadamente resistente a la acción de

sulfatos; evita el ataque del salitre, reduce la expansión árido - álcali y mejora la trabajabilidad.

Especificaciones técnicas

- Norma técnica: ASTM C-595
- Norma Técnica Peruana (NTP 334.044)

-Agregados :

Los agregados fueron tomados de una Cantera cercana a la localidad del C.P.M. Boca del Rio, cumpliendo la granulometría adecuada para la producción de concreto de un $f'c = 210$ kg/cm².

-Agua :

Se abasteció de un camión cisterna debido a la escases del recurso hídrico en la zona del C.P.M. Boca del Rio, pero verificando la pureza de la misma para garantizar la calidad del concreto final utilizado en el vaciado de la losa del primer nivel.

Concreto celular

- o Sistema de muros megablock, dimensiones L=60cm, H=40cm, A=15cm, Peso=20kg, unidades por m²=4,2kg

2.2.1.2 Panel fotográfico.-

Se muestra a continuación el procedimiento de construcción del primer nivel:

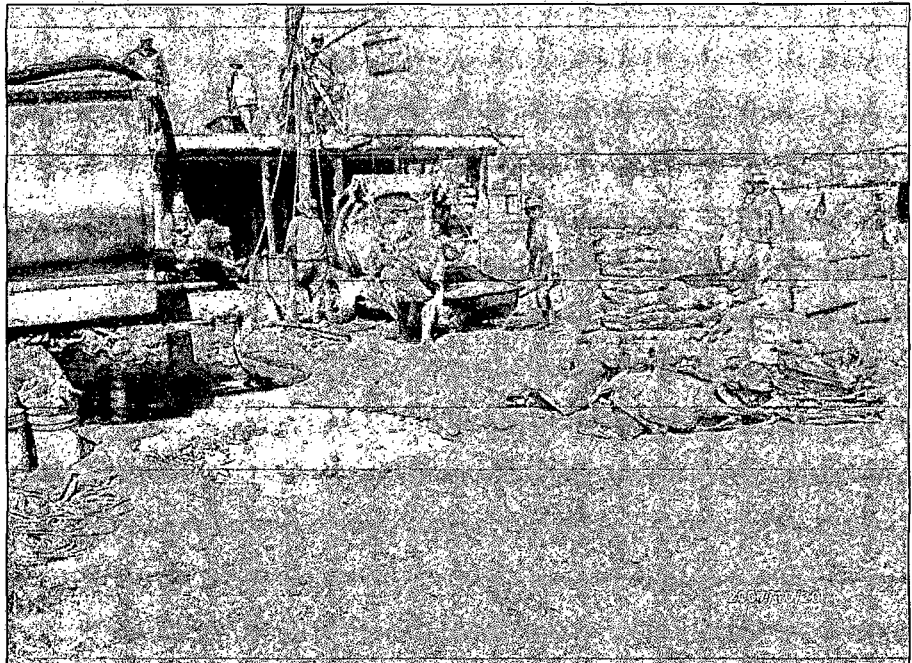


Foto 14 = Distribución de materiales y equipos utilizados en el vaciado de la losa del 1er. nivel de la vivienda en la que se está empleando unidades de concreto celular.

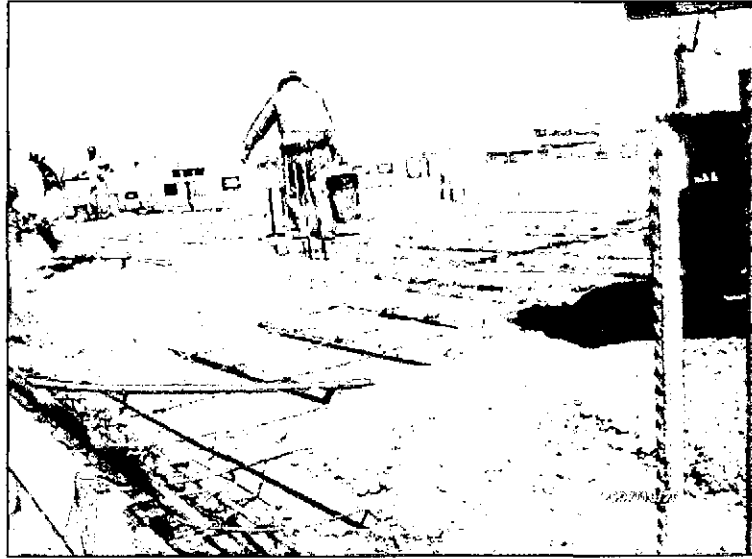


Foto 15 = Se muestra el proceso del vaciado de
concreto en la losa



Foto 16 = Se muestra como se realiza el vaciado de
concreto en la losa

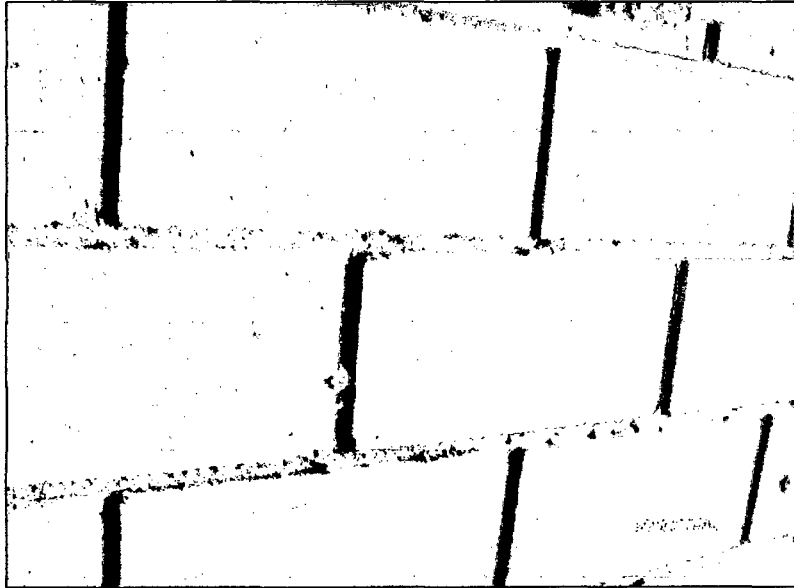


Foto 17 = Bruñas que se deja en los muros utilizando unidades de concreto celular

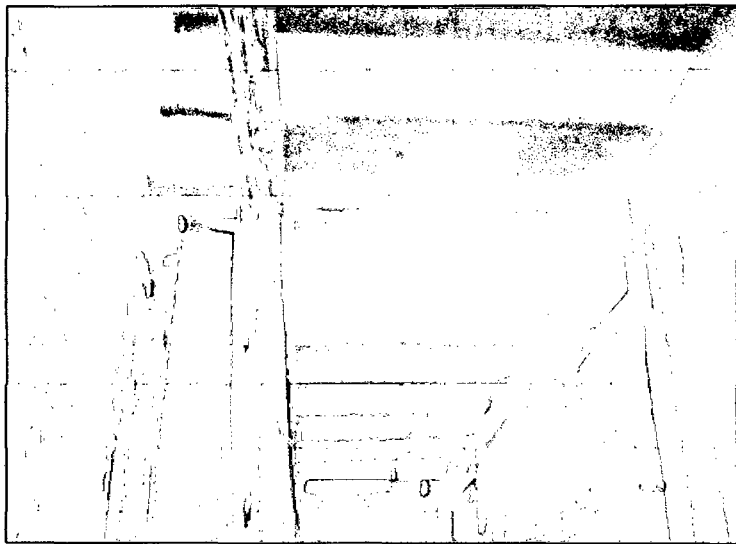
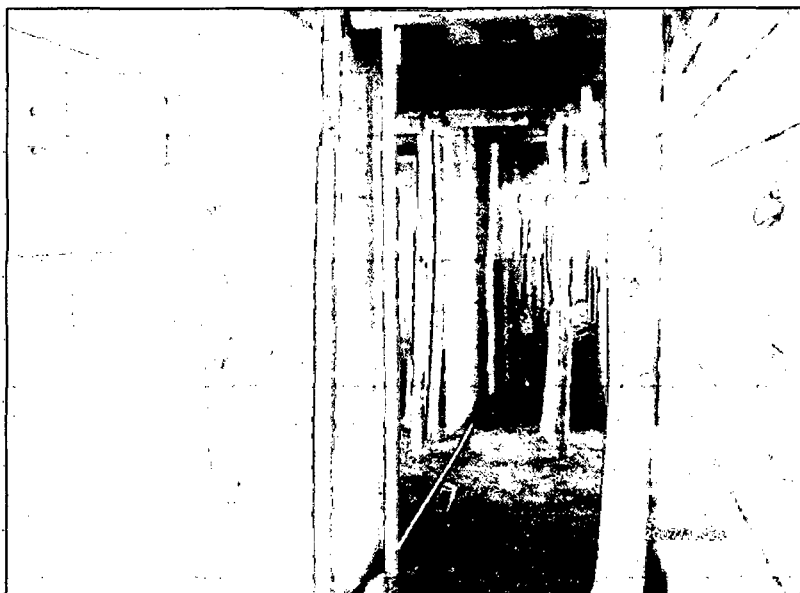


Foto 18 = Encofrado de losa de techo



Foto 19 y 20 = Interior de vivienda empleando unidades de concreto celular



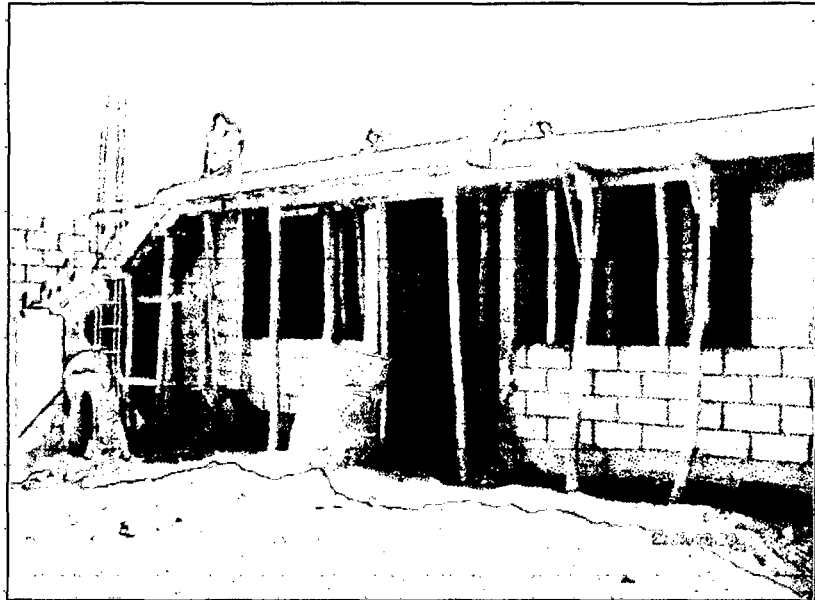
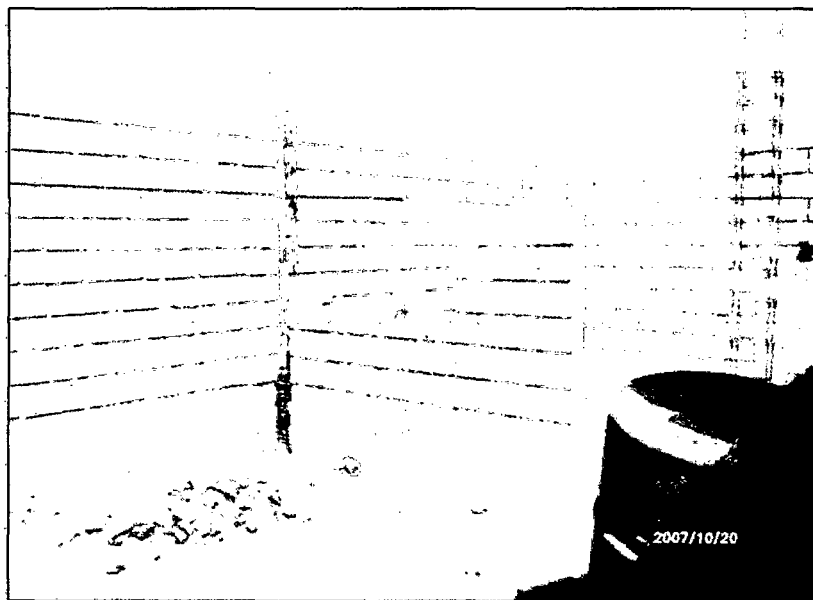


Foto 21 y 22 = Exterior de vivienda empleando unidades de concreto celular



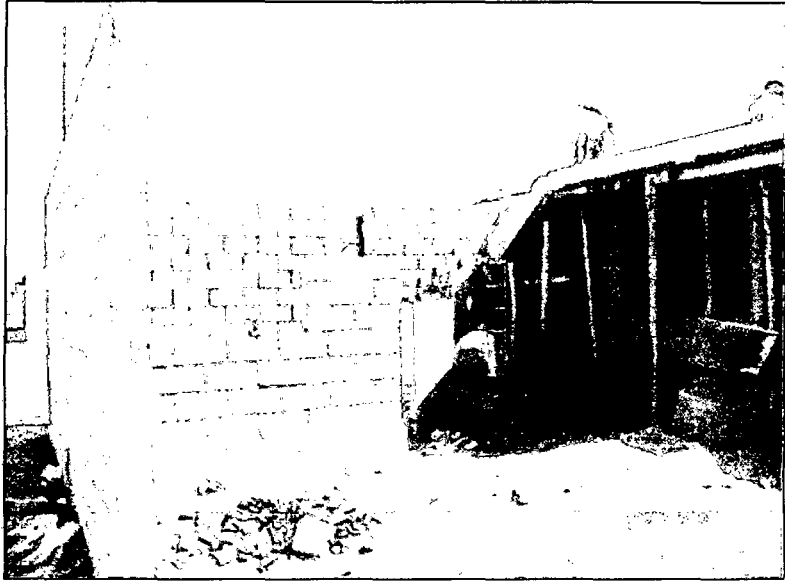
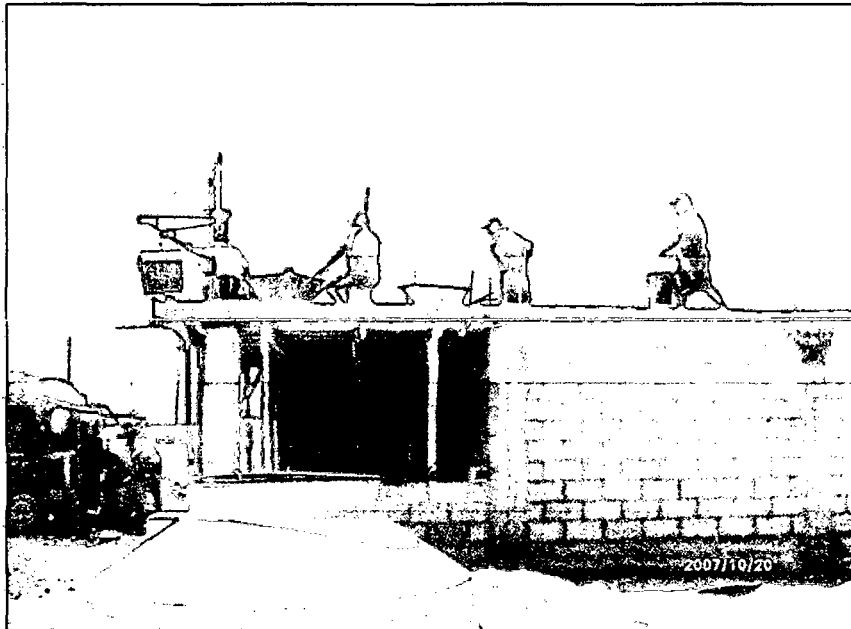


Foto 23 y 24 = Vaciado de techo, escalera en vivienda
empleando unidades de concreto celular



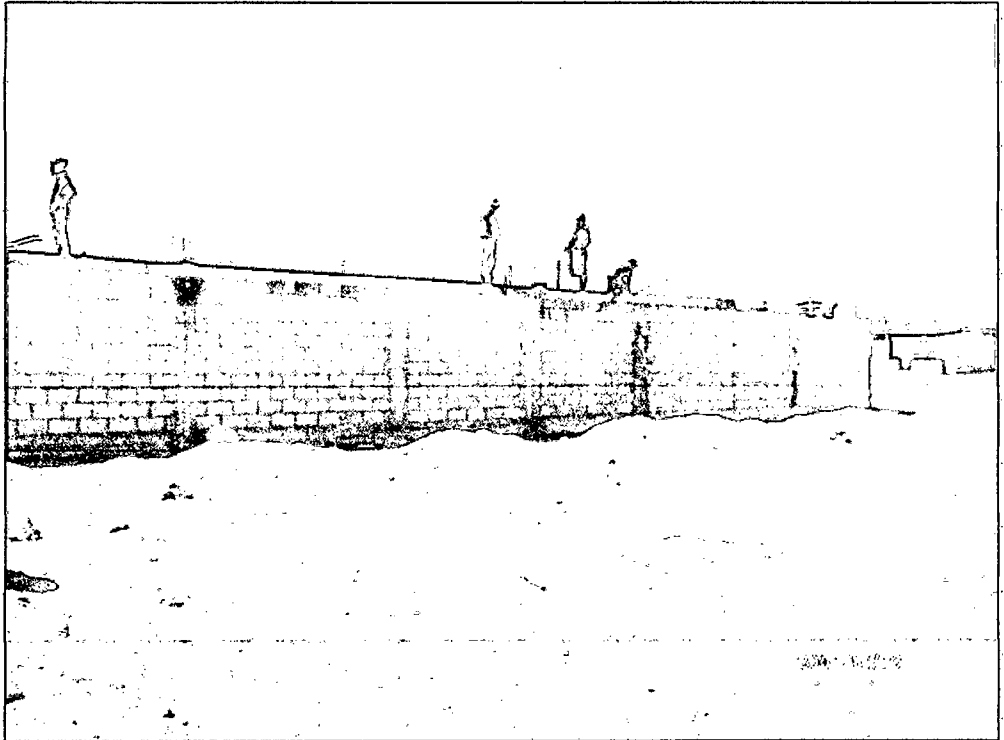


Foto 25 = Vista panorámica de vivienda empleando unidades de concreto celular.

2.2.2.3 Conclusión.-

Se efectuó el vaciado de techo, siguiendo la dosificación de mezcla citada en líneas anteriores de la presente tesis, conservando todos los criterios mencionados durante su proceso de construcción según normas, especificaciones técnicas; además se coordinó directamente con el propietario de las bondades

que proporciona el concreto celular en ambientes de elevada temperatura y humedad como en el caso de la playa, su uso permite un mejor desempeño y bienestar al usuario.

Como experiencia a nivel internacional tenemos la: Construcción de 7 casas sistema megablock. San Antonio de Coronado⁷, a cargo de **Ingeniería PCR S. A.**, es una empresa constructora que se constituyó en Costa Rica desde el 4 de marzo de 1997.y viene realizando proyectos de construcción y remodelación.

2.3 CONCRETO CELULAR

En este primer capítulo se tocarán los temas relacionados con las características inherentes de este tipo especial de concreto, sus propiedades, sus materiales componentes y las diversas aplicaciones en la Ingeniería Civil. Así, tendremos un conocimiento bastante

⁷ Página Web : <http://www.ingenieriapcr.com/experiencia.php>

amplio y profundo de este material no tradicional prácticamente desconocido en nuestro país y que es empleado principalmente en Europa.

Definición

Los concretos que posean un peso específico entre 400 kg/m^3 y 1800 kg/m^3 y que tengan en su estructura interna una formación homogénea de vacíos o una estructura celular reciben el nombre de concretos celulares⁸.

La naturaleza de los constituyentes de este material es bastante similar a la del concreto tradicional o comúnmente utilizado, sin embargo su estructura interna es diferente.

El concreto celular a diferencia del concreto normal posee una masa mucho más homogénea, conteniendo una serie de esferas o espacios vacíos aislados entre si. El mayor

⁸ Cfr. Rudolph C. Valore : 773

o menor porcentaje de estos vacíos permite variar la densidad del concreto.

Los términos concretos espumados, concretos porosos y concretos aireados han sido utilizados para nombrar al concreto celular de manera indistinta al método de producción de la estructura celular. En países como Alemania y Suecia se ha hecho la distinción entre los distintos concretos celulares, así están los concretos espumados, los concretos gaseosos y los concretos limosos o de cal.

Aun cuando la mayoría de los lectores sin duda alguna entienden de una manera general lo que significa "CONCRETO CELULAR", de hecho, no ha sido definido nunca con precisión, se a dicho, no sin razón, que el concreto ligero es de características propias que por un medio espumoso adicionado a la mezcla se ha hecho más ligero que el concreto convencional de cemento, arena y grava. Esto, sin embargo, es más bien una descripción cualitativa en vez de una definición, así mismo, se ha sugerido definirlo como un concreto hecho a base de

agregados de peso ligero (encapsulamiento del aire), lo cual se presta también a dudas ya que en todos lados se conoce por agregado de peso ligero aquel que produce un peso ligero. En todo caso, existen algunos concretos ligeros que ni siquiera contienen agregados.

En vista de la dificultad para definirlo, el concreto ligero fue conocido durante muchos años como un concreto cuya densidad superficialmente seca no fuese mayor a 1800kg/m^3 . Por otra parte con la introducción de miembros estructurales de concreto reforzado con agregados de peso ligero, la densidad limite tuvo que ser revisada, ya que algunas muestras de concreto hechas para este propósito a menudo daban concretos de densidad (superficialmente secos) de 1840kg/m^3 o mayores. Esto, sin embargo, es aun concreto ligero dado que resulta todavía bastante más ligero que el concreto común, que usualmente pesa entre los 2400 y 2560kg/m^3 .

Para analizar lo ligero del concreto celular se estudia previamente sus propiedades y características, en relación a las de aquellos concretos ya tradicionales. La

característica más evidente es su densidad, la cual es considerablemente menor que la del concreto normal y con frecuencia solo una fracción es la misma, (FIG. 2).

Las ventajas de tener materiales con baja densidad son muy numerosas; por ejemplo, reducción de las cargas muertas, mayor rapidez de construcción, menores costos de transportes y acarreos. El peso que gravita sobre la cimentación de un edificio es un factor importante en el diseño del mismo especialmente hoy en día en que la tendencia es hacia la construcción de edificios cada vez más altos. El uso del concreto celular ha hecho posible, en algunas ocasiones, llevar a cabo diseños que en otra forma hubieran tenido que abandonarse por razones del peso. En estructuras reticulares, los marcos deben llevar las cargas de pisos y muros; en ellos se puede lograr considerables ahorros en su costo si se utilizan losas de entrepiso, muros divisorios y acabados exteriores a base de concreto celular.

Se ha demostrado experimental y prácticamente en la industria, que utilizando concreto celular en las construcciones se logran menores tiempos de ejecución en las obras que si se utilizaran materiales tradicionales; por ello, muchos constructores en la actualidad están dispuestos a pagar considerablemente más por unidades de concreto celular que por ladrillos comunes para ejecutar una misma área de muro.

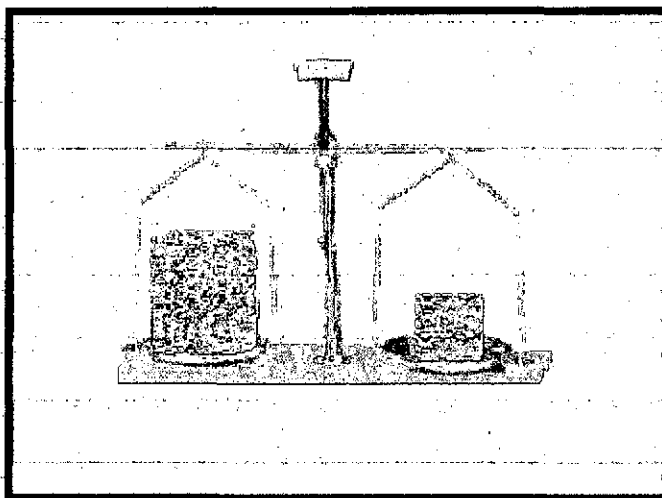


FIG. 2. Muestras de concreto ligero y concreto común del mismo peso.

Para la mayoría de los materiales de construcción, tales como el ladrillo de barro recocido, el acarreo de los mismos queda limitado no por su volumen sino por su peso. Con dispositivos o sistemas de acarreo diseñados convenientemente, se pueden manejar en forma económica volúmenes mucho mayores de concreto celular.

Una característica menos clara, pero no menos importante del concreto celular es la conductividad térmica relativamente baja que posee propiedad que mejora conforme se reduce su densidad.

En los últimos años, se ha dado mayor importancia a la necesidad de reducir el consumo de combustible del sistema de calefacción de los edificios mientras se mantenga o de ser posible se mejore el ambiente a una temperatura confortable dentro de ellos. Lo anterior se podrá entender si se advierte que un muro solido de concreto celular de 12 cm de espesor proporciona un aislamiento térmico aproximadamente cuatro veces mayor que el de una pared de ladrillo de 23 cm de espesor.

Ademas de sus ventajas desde el punto de vista técnico en la construcción, algunas densidades de concreto celular tienen el gran mérito de proporcionar una salida a ciertos desechos de plantas industriales, además de la agricultura, es la industria que por sí sola puede absorber los millones de toneladas de desechos industriales que anualmente se producen (concreto celular más escorias de hulla, cenizas de combustibles pulverizados y las escorias de altos hornos).

En muchas regiones han comenzado a escasear en estos últimos años los agregados tradicionales del concreto común: la arena y la grava; es entonces cuando el concreto celular aun sin tener en cuenta ninguna otra de sus cualidades podría, suplir las deficiencias de dichos materiales, en tales áreas.

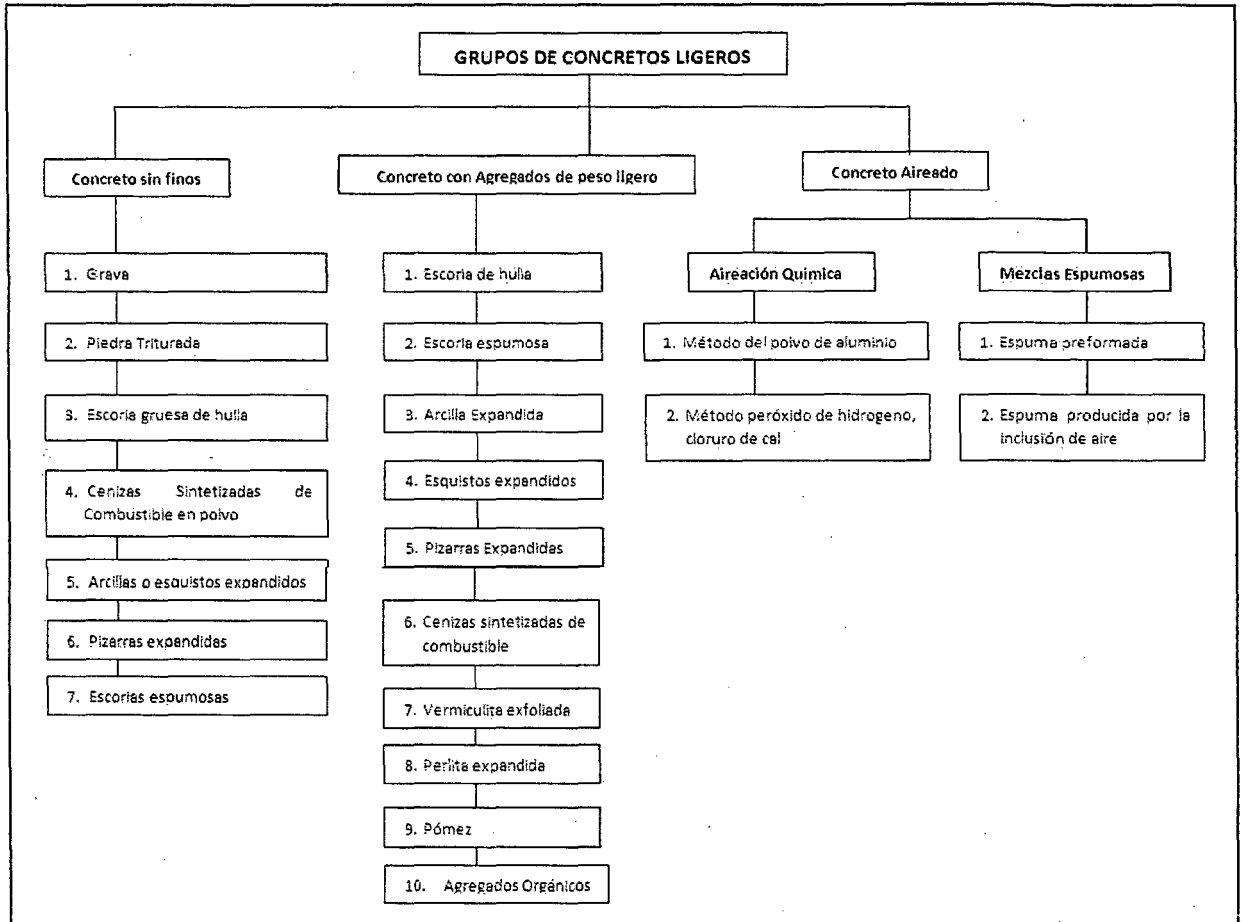
Básicamente, existe una forma para hacer el concreto de menor peso; es por la inclusión de aire en su estructura. Esto, sin embargo puede lograrse de tres diferentes maneras:

Omitiendo los finos y los granos de diámetros pequeños del agregado pétreo, con lo cual se logra el llamado (concreto sin finos).

Substituyendo los agregados de grava o piedra triturada por agregados con estructura celular o porosa, los cuales incluyen aire en la mezcla.

Haciendo que se produzcan burbujas de aire en una lechada de cemento, de manera que al fraguar esta quede con una estructura celular llamada (concreto celular o concreto aireado).

Los tres tipos de concreto ligero se ilustran sistemáticamente en la (TABLA 1.), sin embargo, aunque básicamente son tres los tipos distintos (FIG. 3), se pueden tener también unas combinaciones de los mismos para formar otros concretos más comunes aún; por ejemplo, se puede tener un concreto sin finos cuyo agregado sea de peso ligero, al igual que un concreto aireado que contenga agregado celular.



Fuente: NEVILLE A.M Properties of Concrete: 90

TABLA 1. Tipos de concreto ligero.

2.4 MATERIALES COMPONENTES Y PREPARACIÓN

Los componentes del concreto celular no difieren mucho con los del concreto normal o convencional, en general es una mezcla de cemento, arena y agua, con la

diferencia de que dentro de la mezcla se producen, mediante medios mecánicos o químicos, burbujas.

Creando en la masa del concreto un gran número de alvéolos o vacíos, repartidos de manera regular y no comunicados entre sí, logrando reducir de esta manera su densidad y aumentando el volumen y por consecuencia incrementando el rendimiento de este concreto sobre el concreto convencional.

Para los concretos celulares espumados esta inclusión de aire a la masa del mortero se logra mediante el uso de espuma especial que resiste las fuerzas de mezclado y el contacto con el agua, siendo a su vez muy estable durante muchas horas, garantizando la permanencia del aire en la mezcla del concreto celular hasta su fraguado.

Si bien, existen diversos métodos para generar esa tan especial estructura interna de vacíos, la presente tesis se centrará en solo uno de ellos, los concretos espumados, no obstante se hará alguna mención de los otros métodos.

2.5 MATERIALES EMPLEADOS

2.5.1 Para producir concreto celular con espuma

a. Aglomerante:

De manera similar a la producción de un concreto convencional para producir concreto celular puede utilizarse cualquier tipo de cemento Portland, Cal o una combinación de ambos.

El cemento es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua se endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes⁹.

En elementos curados en autoclave generalmente se utilizan cementos normales mientras que en elementos no curados en autoclave es recomendable utilizarse cementos

⁹ Cfr Lea Frederik .- The Chemistry of Cement and Concrete

de rápida resistencia inicial, para reducir el tiempo de cura y tiempo de uso de moldes¹⁰.

b. Agregados:

Para producir concreto celular no se necesita agregado grueso, el agregado fino puede ser arena de grano fino de: cuarzo, pizarra, escoria de altos hornos, piedra pómez, cenizas volantes, escorias ricas en sílice, arcilla calcinada etc. Sin embargo el agregado usado con mayor frecuencia son las arenas con un denso contenido de sílice.

La composición granulométrica de la arena tiene una influencia directa en las características que tendrá el concreto celular.

Una de las principales propiedades del concreto celular es su baja densidad o peso específico, es decir un concreto liviano, por lo que para lograr este objetivo es

¹⁰ Cfr. Rudolph C. Valore : 776

necesario utilizar arenas con un alto módulo de fineza, entendiendo como módulo de fineza a la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas 3", 1 ½" ¾" 3/8", 4", 8", 16", 30", 50", 100".

No obstante, tampoco es aconsejable tener un módulo de fineza muy alto pues si bien por un lado se obtienen beneficios por otro lado llevaría a que se incrementará el consumo de agua. Al incrementarse la cantidad de agua en la mezcla esta perdería resistencia y sería necesario, a fin de mantener un nivel de resistencia deseado, la adición de más cemento.

La práctica ha demostrado, que una arena media con módulo de fineza de 2,6 a 2,7 da como resultado una mezcla con características mecánicas y económicas más adecuadas. Sin embargo en nuestro medio las arenas se encuentran en un rango de 2,9 a 3,1.

c. Agua:

El agua debe ser potable, transparente y limpia. La cantidad de agua que debe ser agregada a la mezcla está en función del contenido de humedad de la arena. Los valores de la relación agua - cemento varían entre 0,38 y 1,25, para concretos celulares de cemento puro, los concretos con densidades menores requieren de relaciones mayores. En promedio se utiliza un volumen de agua entre 40 y 45 litros por cada 100 kg de cemento. La relación agua - cemento aconsejable es de 0,6¹¹.

No obstante en la investigación que hemos realizado para alcanzar la resistencia a compresión deseada tuvimos que utilizar una relación agua - cemento de 0,38 y 0,39.

Tener una relación agua - cemento baja es favorable para evitar encogimientos en el concreto pre moldeado, además de tener más resistencia, pero en contraparte una baja cantidad de agua en la mezcla haría que la humedad

¹¹ Cfr. Pan Pacific Engineering PTY LTD : 8

necesaria para hacer una mezcla maleable sea obtenida de la espuma una vez que ésta sea agregada, resultando en la destrucción de parte de la espuma, lo que resulta ser una manera costosa de agregarle agua a la mezcla.

En general el contenido de agua en la mezcla está gobernado por la consistencia que se desee lograr. Es necesario realizar ensayos con diferentes relaciones agua cemento para determinar los valores óptimos.

d. Espuma:

El espumógeno es un líquido sintético altamente concentrado capaz de producir una espuma muy estable.

Existen dos métodos para producir esta espuma, el primero consiste en producir la espuma separadamente de la mezcla de cemento, arena y agua para luego ser incorporada en proporciones obteniendo los diferentes niveles de densidades requeridas.

El segundo método es mezclar al mismo tiempo todos los componentes del concreto celular, la densidad obtenida estará en función de las características del espumógeno.

Las características principales de esta espuma deben ser;

- Debe lograr formar espacios vacíos de aire dentro de la masa del concreto, y dicha formación debe ser estable.
- Debe soportar la tensión superficial del agua
- Debe resistir las fuerzas producidas en el mezclado y posteriormente a las fuerzas generadas por su colocación.

Existen diversos tipos de espumógenos, tenemos:

- i. Detergentes (Sulfato Lauryl de Sodio)
- ii. Jabón de resina y goma animal o vegetal
- iii. Proteína hidrolisada como la Keratina, pezuña del ganado y las escamas de los peces

Los espumógenos en la categoría iii son los más usados recientemente.

e. Fibras:

En el concreto celular se producirán tensiones debidas principalmente a las variaciones de temperatura y a las contracciones por la pérdida de agua durante el endurecimiento del concreto. También estará expuesto a impactos durante su vida útil, por estas razones es aconsejable incorporar fibras.

Hay una gran variedad de tipos de fibras que pueden ser empleados para ayudar al concreto a resistir todas las sollicitaciones mencionadas anteriormente, sin embargo la incorporación de fibras trae como desventaja un incremento en el costo.

Existen las fibras de carbono pero su costo es bastante alto al igual que las fibras metálicas. Las fibras de vidrio necesitan tratamientos adecuados para resistir un ambiente alcalino generado por el cemento Portland. Entre la gran diversidad de fibras las más aconsejables son las fibras de polipropileno. Se debe garantizar que las

fibras estén unidas al concreto, es importante que posean una considerable elasticidad.

2.5.2 Para producir concreto celular con otros agentes

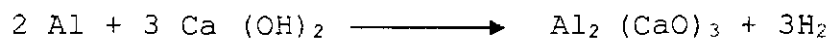
Se puede emplear procesos químicos para liberar aire en la mezcla de concreto.

Explicaremos brevemente estos métodos ya que no son el objetivo de este estudio. Son conocidos los siguientes métodos:

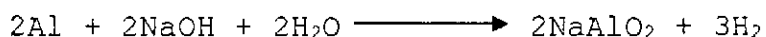
a. Método del polvo de aluminio¹²

El polvo de aluminio se añade en cantidades pre establecidas al cemento o puede incorporarse después de haber obtenido una consistencia inicial. Para acelerar la reacción química se le añade hidróxido de sodio, la reacción producida viene dada por la ecuación siguiente cuando no ha sido añadido el hidróxido de sodio:

¹² Cfr. Rudolph C. Valore : 782,783



Y cuando se añade el hidróxido de sodio,



El hidróxido de calcio resulta de la reacción del cemento con el agua,



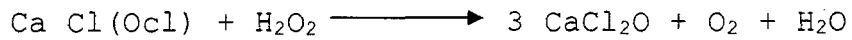
Se deberá tener en cuenta la finura de las partículas, la pureza y aglomeración, la proporción de hidrógeno de sodio y las precauciones para evitar la fuga del gas antes del endurecimiento.

Todos estos controles solo se pueden hacer en plantas de pre fabricado lo que hace de este método no muy aplicable en la realidad de este país.

b. Método del peróxido de hidrógeno¹³

Se añade a la mezcla peróxido de hidrógeno e hipoclorito de calcio, que al reaccionar liberan oxígeno y cloruro de calcio. La reacción química es la siguiente:

¹³ Cfr. Rudolph C. Valore : 783,784



La estructura celular deberá ser estabilizada con el empleo de un agente espumante. La expansión es más rápida, incluso durante el batido por lo que es más fácil controlar la densidad buscada.

Se deberán tomar precauciones con los moldes y aceros de refuerzo, para evitar la corrosión del oxígeno y cloruro de calcio, es recomendable el uso de moldes de material anticorrosivo y proteger los aceros de refuerzo con una sustancia asfáltica o cemento líquido.

2.6 MÉTODOS DE PREPARACIÓN

Tenemos principalmente dos métodos para producir concreto celular espumado; el de la mezcla conjunta de todos los componentes, y el método de producir separadamente la espuma.

a. Método conjunto de mezcla:

En este método, el agente espumante es adicionado a la mezcla después de que todos los demás componentes han sido mezclados ligeramente. La consistencia después del mezclado debe asemejar a una crema gruesa pero que escurra fácilmente.

Para lograr una mejor unión de todos los componentes es necesario una mezcla rápida, así se logrará una estructura estable de células de vacíos. También, aparte de la velocidad de mezclado y de las características de los ingredientes, la cantidad de agente espumante requerido para producir un concreto de determinada densidad dependerá del tipo de mezcladora, la cantidad de los materiales mezclados, la consistencia de la mezcla, las proporciones de mezcla, el tiempo de mezclado y por último y más importante el tipo de agente espumante utilizado.

En la tabla 2 se muestra los efectos de la velocidad de mezclado en la cantidad requerida de agente espumante, y

claramente se aprecia que la velocidad es un factor nada despreciable.

Tabla 2

Proporciones, por peso		Velocidad mezcladora rpm	Tiempo de mezcla min	Densidad seca lb/pe3	Cantidad de agente espumante	
Cemento	Ceniza volante				Por peso de cemento, %	Por yd3 de concreto, lb
1	0,75	30	6	46	5,4	38,7
1	0,75	90	3	34	2,0	8,5
1	1,5	30	6	42	7,0	30,2
1	1,5	90	3	35	2,8	10,0

Fuente : Rudolph C. Valore: 784

b. Método de mezcla con espuma pre formada:

En este método la espuma es producida separadamente y posteriormente agregada a la mezcla. Los pasos seguidos en la producción de concreto mediante este método son:

- Mezclar el cemento y la arena por 1 minuto
- Mezclar el cemento, el agua, y el acelerador por 2 minutos a 30 r.p.m.
- Colocar la espuma y mezclar por 1 minuto a 30 r.p.m.
- Mezclar a 90rpm durante 1 minuto

Este método de producción de concreto celular es más eficiente en comparación con el de la mezcla conjunta¹⁴.

2.7 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES FUNCIONALES

El concreto celular al igual que el concreto convencional es un material frágil, resistente a esfuerzos de compresión y débil a las sollicitaciones de tracción. Se caracteriza principalmente por tener menor peso específico en comparación con el concreto normal, de esta manera el concreto celular espumado contribuye a disminuir las cargas muertas o permanentes de una estructura incidiendo en la reducción significativa de secciones de vigas y columnas.

Proporciona también un elevado aislamiento térmico contribuyendo en el ahorro de energía en sistemas de calefacción o de aire acondicionado de un determinado ambiente, y un elevado aislamiento acústico.

¹⁴ Cfr. Rudolph C. Valore : 786,787

Las principales propiedades del concreto celular las mencionamos a continuación.

2.7.1 Resistencia a la compresión - ASTM C 330 (ASTM C 495)

La resistencia a compresión simple es función de la densidad específica, del contenido de cemento, de la relación agua cemento, de las características del agregado y del procedimiento de cura.

La resistencia está asociada a densidades plásticas y no a la densidad del concreto a una edad de 28 días.

La densidad seca será algo menor y es posible determinarla con la siguiente expresión:

$$W = [(1,2 C + A)/27] \times 16,0184$$

Donde:

W = Peso específico en kg/m^3

C = Peso del cemento en lb/yd^3

A = Peso de la arena en lb/yd^3

La resistencia a compresión se determina usando probetas de 150mm x 300mm según la norma **ASTM C 330 (ASTM C 495)**, con la diferencia de que los lados del molde deben ser ligeramente golpeados con un martillo de jebe mientras es llenado.

2.7.2 Módulo de elasticidad - ACI 523. 3R-93

El módulo de elasticidad está determinado por el módulo secante a 1/2 de $f'c$ (Ver gráfica 1) y puede determinarse con la siguiente expresión:

$$E_c = w^{1,5} \times 0,14 \times f'c^{0,5}$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad en kg/cm^2

w = Peso específico en kg/m^3

$f'c$ = Resistencia a la compresión del concreto en kg/cm^2

Este valor de módulo de elasticidad es válido para concretos celulares con valores de peso específico que se

encuentren entre 1440 kg/m^3 y 2480 kg/m^3 .¹⁵, según norma ACI 523. 3R-93.

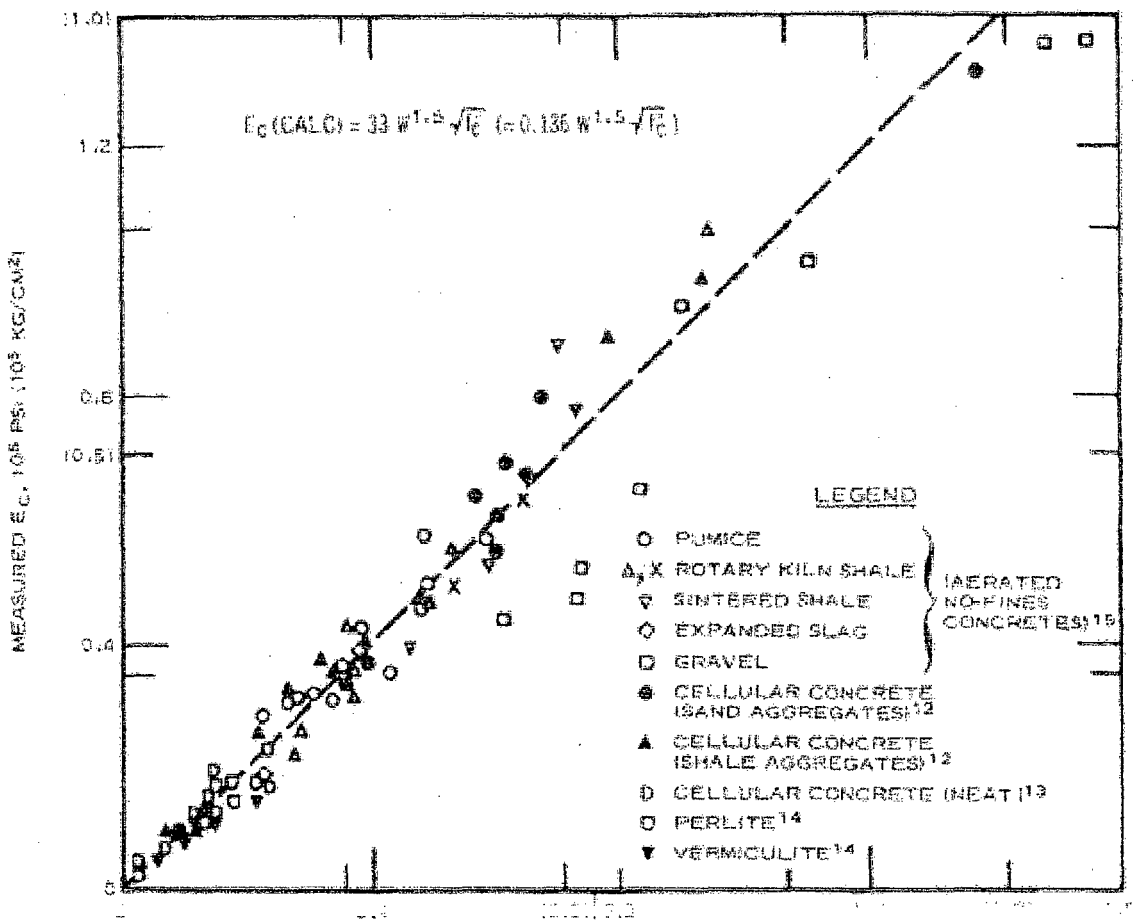
Para los concretos celulares que posean un peso específico entre 800 y 1400 la expresión anterior es una primera aproximación válida. Sin embargo los valores de módulo de elasticidad deberán de ser comparados con los ensayos tomados en el laboratorio.

¹⁵ Cfr. Harmsen : 27, 28 y ACI 523.3R-93 : 9

Gráfica 1 Módulo de elasticidad calculado vs medido

523.3R-8

MANUAL OF CONCRETE PRACTICE



Fuente del gráfico: ACI 523.3R-8

2.7.3 Coeficiente de expansión térmica

Debido al incremento de temperatura del medio ambiente el concreto se expande, y de igual modo se contrae con su disminución. El coeficiente de dilatación térmica varía con la calidad del concreto y con su edad y su valor se encuentra en el mismo orden que del concreto normal. Puede oscilar entre $9,2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ y 12×10^{-6} para temperaturas entre -15°C y $+50^\circ\text{C}$. Pero según estudios es recomendable tomarlo como $0,000009 / ^\circ\text{C}$.¹⁶ (Gráfica 2)

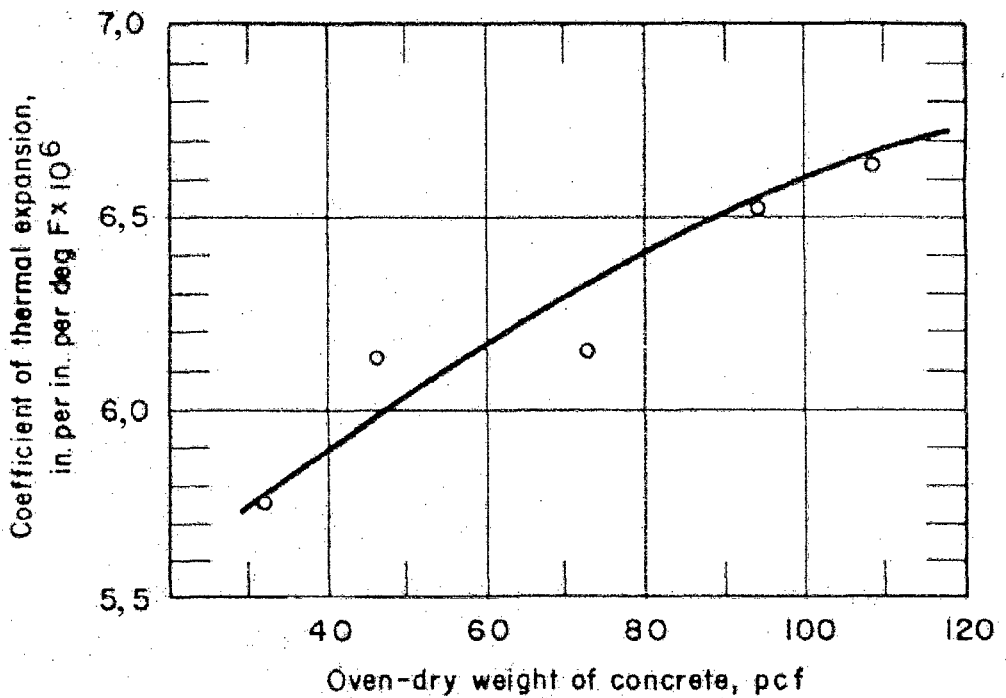
2.7.4 Conductividad térmica - ASTM C 177

La masa del material y sus propiedades térmicas son indicadores importantes de capacidad de este para almacenar energía y resistir la transmisión de calor. Esta ventaja del concreto celular al ser un excelente material aislante da como resultado en un ahorro de energía, reduciendo requisitos de calefacción y de aire acondicionado.

¹⁶ Cfr. Harmsen: 31, 32 y Pan Pacific Engineering PTY LTD : 11

La conductividad térmica del concreto celular es principalmente una función de su densidad. Esta propiedad esta denotada por la letra "k" y tiene unidades de Btu in/hr ft²F°. Se determina con densidades secas del concreto y según la norma **ASTM C 177**¹⁷.

Gráfica 2



Thermal expansion of cellular concrete made with siliceous fine aggregate

Fuente de la gráfica: Pan Pacific Engineering PTY LTD: 11

¹⁷ Cfr. ACI 523.3R-93 : 9

El coeficiente de conductividad térmica nos sirve para obtener la transmisión térmica denotada por U y calculada con la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{1}{f_o} + \frac{x}{k}}$$

Donde:

k = Conductividad térmica del material

x = Espesor

f_i = Coeficiente de superficie interna

f_o = Coeficiente de superficie externa

Estos valores de f representan la transmisión de superficie o la razón de tiempo del intercambio de calor mediante radiación, conducción, y convección de un área de superficie unitaria con los alrededores. Los valores típicos son de f_i = 1,46 para aire en reposo y f_o = 6,0 para una velocidad del viento de 15 mph o 24,14 kph.¹⁸

¹⁸ Cfr. ACI 523.3R-93 : 9

En la siguiente tabla (Cuadro 3) se muestra la conductividad térmica del concreto celular para diferentes valores de densidad:

Tenemos por ejemplo:

Cuadro 3

DENSIDAD SECA		CONDUCTIVIDAD TERMICA (FACTOR K)		FACTOR DE AJUSTE POR SECADO NORMAL	CONDUCTIVIDAD TERMINA (FACTOR K corregido)	
pcf	kg/cm ²	Btu in./hr ft ² F	Mw/cn c°		Btu in./hr ft ² F	Mw/cn c°
50	800	1,40	2,02	1,31	1,83	2,65
60	960	1,70	2,45	1,25	2,13	3,06
70	1120	2,10	3,03	1,22	2,56	3,70
80	1280	2,50	3,61	1,20	3,00	4,33
90	1440	3,00	4,33	1,17	3,51	5,07
100	1600	3,60	5,19	1,16	4,18	6,02
110	1760	4,25	6,13	1,15	4,89	7,05
120	1920	5,20	7,50	1,13	5,88	8,48
140	2240	9,00	12,99	1,11	9,99	14,42

Fuente: ACI 523.3R-93: 9

Es interesante comparar los valores de transmisión térmica del concreto celular con otros materiales. Y obtener para una misma transmisividad diferentes espesores de muros, determinando así la ventaja de usar concreto celular como material aislante térmico. El cuadro 4 muestra los diferentes espesores de muro

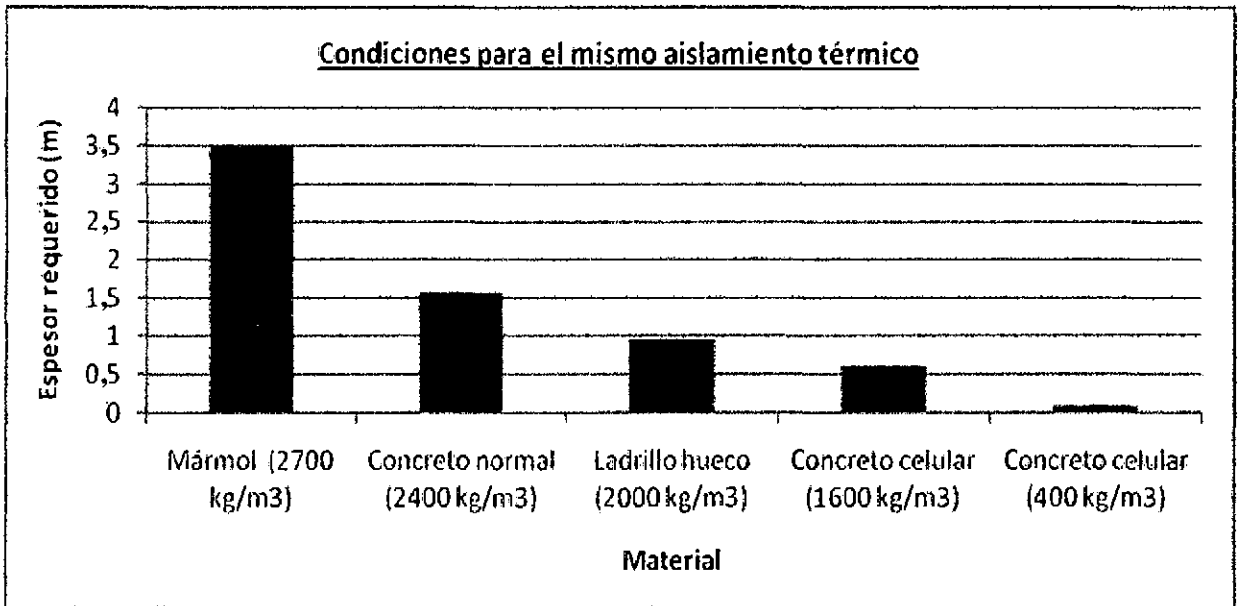
necesarios para diferentes materiales manteniendo constante la transmisión en un valor de $0,7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, y se muestra el gráfico 3 donde se aprecia con mayor facilidad las diferencias entre los materiales.

Cuadro 4

MATERIAL	DENSIDAD kg/m^3	ESPESOR m
Mármol	2700	3,5
Concreto normal	2400	1,58
Ladrillo hueco	2000	0,97
Concreto Celular	1600	0,61
Concreto Celular	400	0,097
Corcho expandido	100	0,036
Lana mineral	100	0,04
Poliestireno	25	0,036
expand.	35	0,026
Poliestireno		
expand.		

Fuente: Pan Pacific Engineering PTY LTD: 12

Gráfico 3



Fuente: Pan Pacific Engineering PTY LTD: 12

2.7.5 Aislamiento acústico

El concreto celular posee una capacidad elevada de absorción acústica. En general el concreto denso tiende a reflejar el ruido. La transmisión acústica en paredes convencionales, en la mayoría de la gama de frecuencias audibles, podría ser de un 2% a 3% más alta comparado con el concreto. En la mayoría de los casos esta ligera

desventaja es despreciable, ya que por lo general las paredes se revisten y/o se pintan. Esto hace que el sonido se refleje y no se absorba.¹⁹

Por otro lado el uso de concreto celular en losas es bastante ventajoso por su capacidad de absorber ruidos de baja frecuencia, reduciendo la transmisión de ruido de un piso a otro en edificios residenciales o comerciales²⁰.

Es necesario sin embargo realizar ensayos para describir las propiedades acústicas de este material.

2.7.6 Resistencia al fuego

La transferencia de calor en materiales porosos se efectúa mediante conducción y a elevadas temperaturas mediante radiación. La transferencia de calor debido a la radiación es una función inversa al número de vacíos que se atravesaran. Esta afirmación y a la vez la relativa conductividad térmica del concreto celular sugiere que

¹⁹ Cfr. Pan Pacific Engineering PTY LTD : 11

²⁰ Cfr. Pan Pacific Engineering PTY LTD : 11

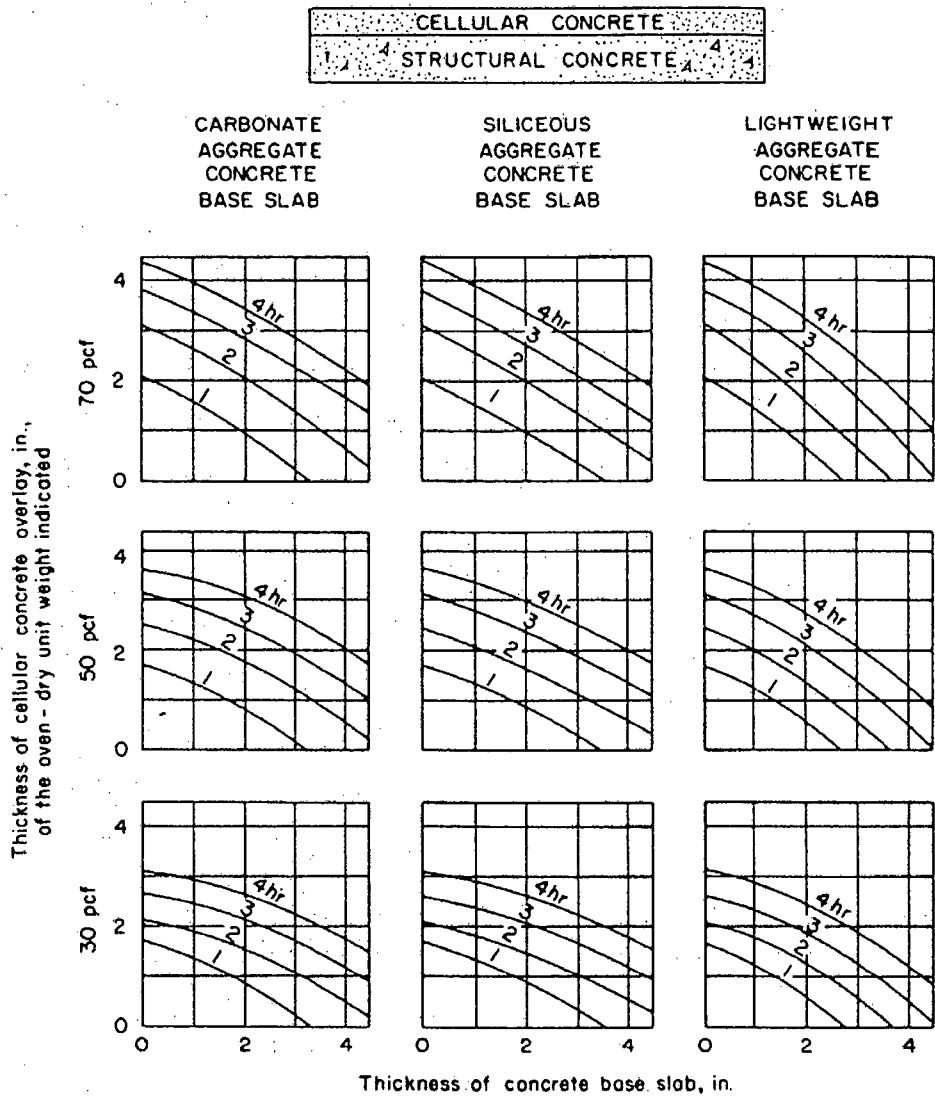
este material posee excelentes cualidades de resistencia al fuego.

De esta manera el concreto celular da una mayor protección al acero estructural de refuerzo y a las estructuras metálicas en general, así también a estructuras de concreto normal cuando se le coloca una capa de determinado espesor para protección.

Se han realizado ensayos para determinar los espesores necesarios para resistir fuegos durante 2, 3, 4 y 5 horas.

En los gráficos mostrados se observa el comportamiento del concreto celular frente a concretos hechos con diferentes agregados. Y se observa claramente que el concreto celular es muy superior para ser considerado como resistente al fuego.

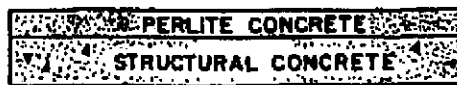
Gráfico 4
CELLULAR CONCRETES



Fuente: BAGHERI, A. R y PARHISZKAR, T 1985 An experimental study of physical and mechanical properties of foam concrete. Iran: University of Technology, Iran: 98.

Gráfico 5

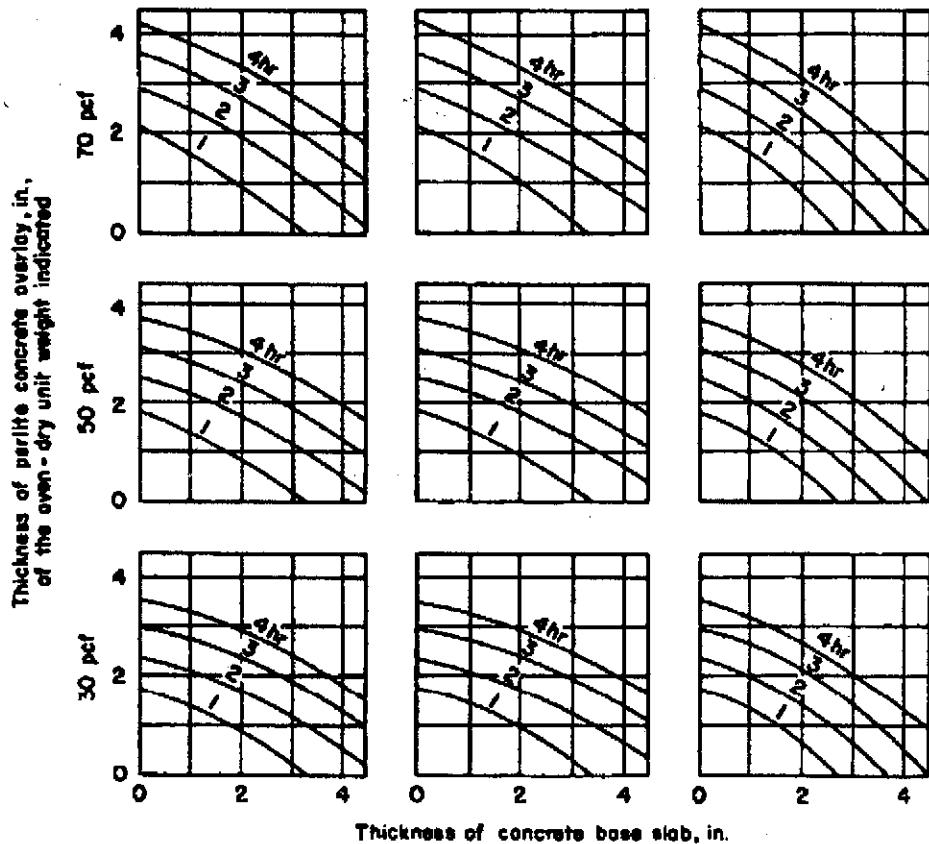
MANUAL OF CONCRETE PRACTICE



**CARBONATE
AGGREGATE
CONCRETE
BASE SLAB**

**SILICEOUS
AGGREGATE
CONCRETE
BASE SLAB**

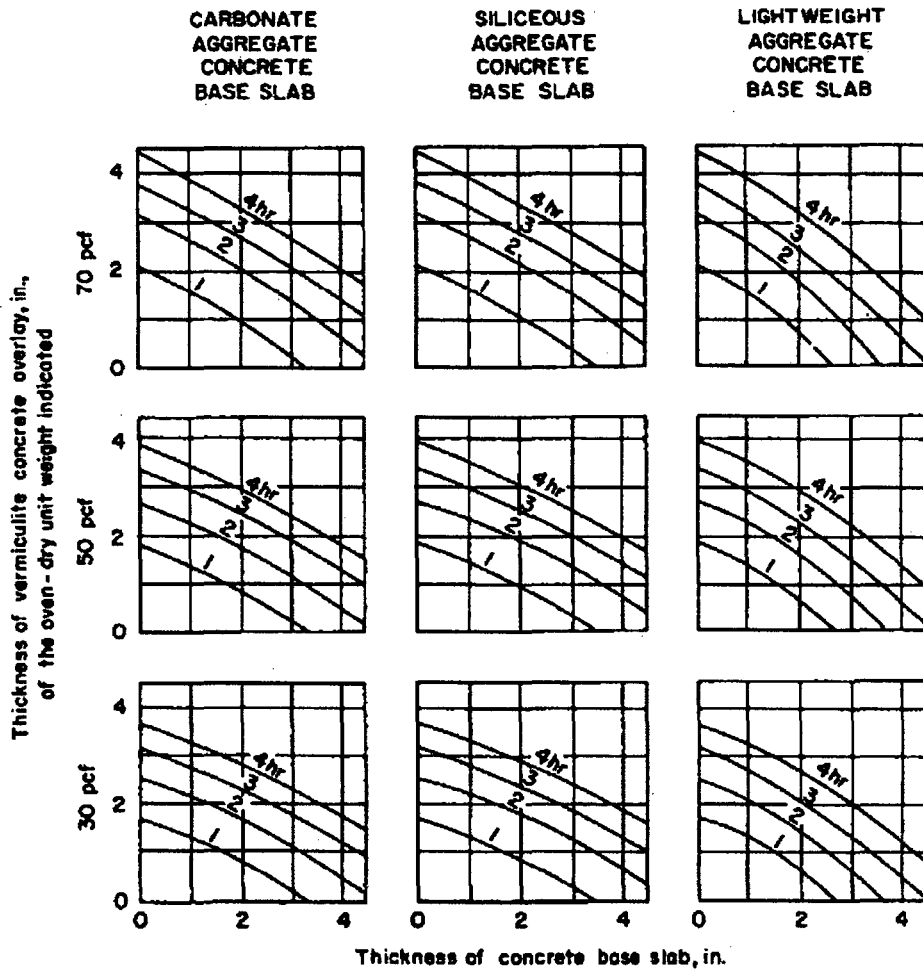
**LIGHTWEIGHT
AGGREGATE
CONCRETE
BASE SLAB**



Fuente: BAGHERI, A. R y PARHISZKAR, T 1985 An experimental study of physical and mechanical properties of foam concrete. Iran: University of Technology, Iran: 99.

Gráfico 6
CELLULAR CONCRETES

VERMICULITE CONCRETE
STRUCTURAL CONCRETE



Fuente: BAGHERI, A. R y PARHISZKAR, T 1985 An experimental study of physical and mechanical properties of foam concrete. Iran: University of Technology, Iran: 100.

2.7.7 Permeabilidad

La determinación del coeficiente K de permeabilidad es mediante la aplicación de la Ley de Darcy, en ensayos realizados por otros investigadores con carga constante se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 5

Densidad (kg/m ³)	Coef. de permeabilidad K (m/s)
1000	$2,32 \times 10^{-8}$
1200	$1,32 \times 10^{-9}$
1500	$1,28 \times 10^{-9}$

Fuente: Elaboración propia

2.7.8 Reducción de peso (carga muerta)

Las condiciones de suelo inestable generalmente limitan el uso de concreto simple o armado; al aplicar concreto celular, que es liviano, permite tener más niveles de construcción en este tipo de suelo, se recomienda que en la construcción de más de tres pisos en concreto celular se combine la estructura en concreto armado en aquellas partes donde requieran esfuerzos y los componentes no

estructurales fabricarlos en concreto celular, ya sean: pasamanos de balcón, bloques: (FIG. 4), fachadas, divisiones no portantes de carga, parapetos, reglas de piso, paneles, etc., esto debido que al aplicar concreto celular en zonas de soporte estructural la adición de espuma sería mínima, pues al adicionar más espuma la densidad del concreto baja y por lo tanto su resistencia. Al aplicar el sistema de concreto celular en cualquier estructura se aprecian cargas muertas lo más livianas posibles, esto es importante en áreas de alto riesgo sísmico, además, a la hora de una sollicitación de la estructura o en un sismo, los muros que sufrieren daño y se precipitaran sobre las personas no causarían daños físicos, lo contrario ocurriría con el concreto convencional²¹, así mismo de la información obtenida para este material, podemos decir que la remoción de escombros es mucho más rápida y así mismo el rescate de las personas, gracias a la reducción del peso del material.

²¹ Artículo técnico de Mireya Pérez=
<http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/TECNOLOGIA.pdf>([exposihac.com.mx](http://www.exposihac.com.mx))

Otro ejemplo práctico es en la construcción de un edificio de gran altura, ya que si los muros no portantes se fabrican en concreto celular, ya fueran estos paneles o bloques, podemos reducir la carga muerta de la edificación y en consecuencia, también el acero de refuerzo de los elementos estructurales y cimentación.

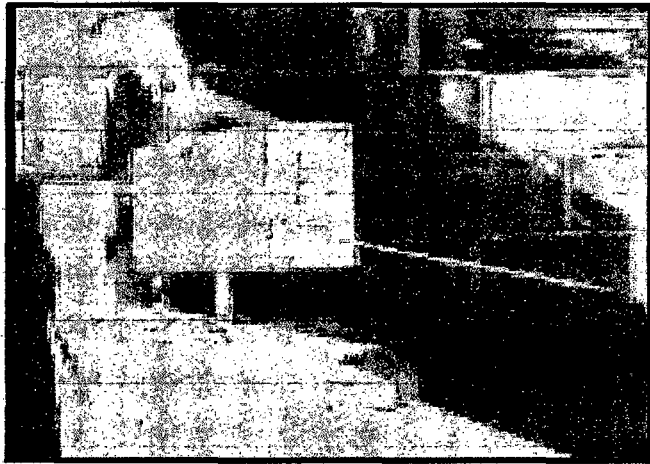


FIG. 4. Bloques de concreto celular

2.7.9 Velocidad de construcción

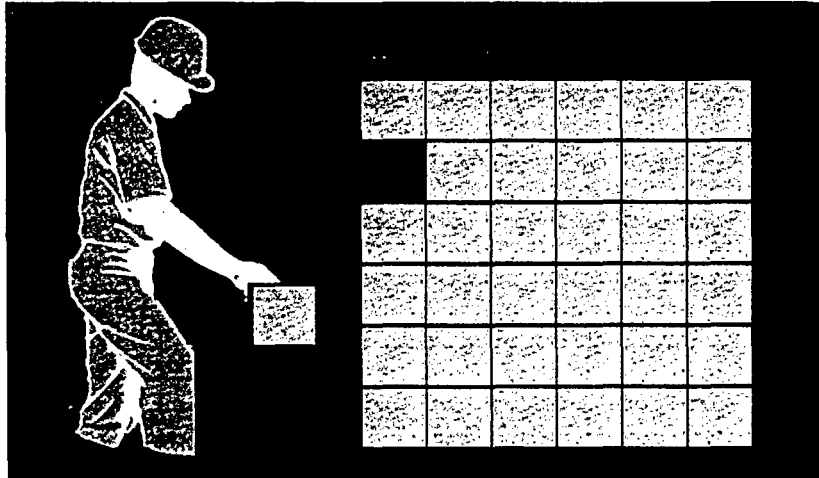
La ausencia de agregado grueso y el efecto de rodamiento producido por la espuma proporciona una buena consistencia al concreto celular. NO ES NECESARIA LA VIBRACIÓN cuando se vacía o se cola, ya que el sistema de

concreto celular se distribuye uniformemente y llena todos los espacios completamente con la misma densidad en el elemento colado, permitiendo que cualquier pared de una construcción pueda ser vaciada en sitio, en molde vertical y en una sola etapa, (FIG. 5), lo cual acelera considerablemente la velocidad de construcción. Podemos afirmar que los paneles, baldosas, adoquines o cualquier estructura que sea de mampostería fabricada en concreto celular tienen mayores rendimientos que la del concreto normal (FIG. 6), por ejemplo un obrero en la construcción de un muro de ladrillo de concreto normal demora tres veces más que si lo construyera en concreto celular, a demás las unidades de concreto celular a colocar serán de mayor tamaño, como se detalla en el cuadro comparativo en la Fig. 6 donde para una misma área a cubrir con baldosas de concreto convencional y el celular se demuestra en planta que con baldosas de concreto celular que se pueden elaborar con mayores dimensiones que las del convencional llegan a colocarse

para esa misma área menos tres veces el tiempo requerido con las baldosas de concreto convencional.

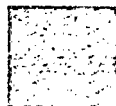
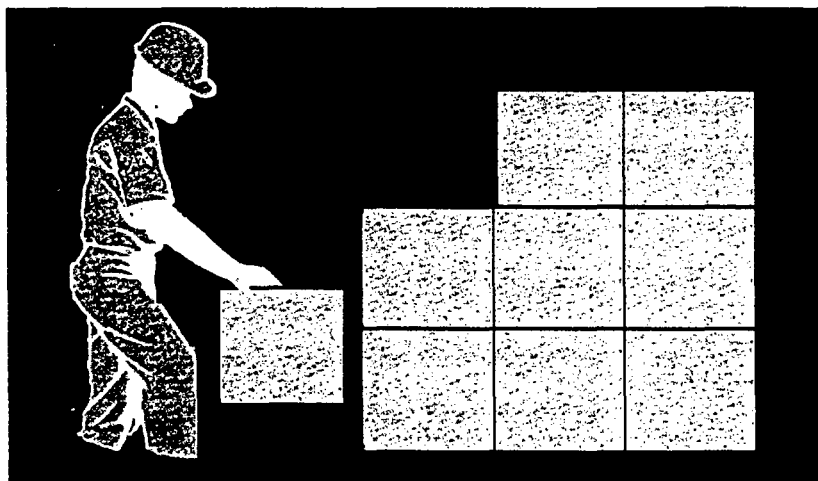


FIG. 5. Colado de un muro "in situ", con formaleta metálica vertical.



Baldosa A

Concreto convencional



Baldosa B

Concreto celular

Comparación de los dos tipos de baldosas

	Área a cubrir (m ²)	Área de 1 baldosa (cm)	Peso de 1 baldosa (kg)	Rendimiento obrero	Rendimiento total (m ² /minuto)	Peso total (kg)
Baldosa A	1,44	20 * 20	4	Und /5minutos	1,44 / 180	144
Baldosa B	1,44	40 * 40	9,5	Und /8minutos	1,44 / 72	85,5

Fuente: Empresa Concretos Celulares del Sur Ltda.

FIG. 6. Comparación de rendimientos entre el concreto celular y el concreto convencional.

Análisis de costos y cantidades en ambas baldosas

1. Costos de materias primas:

Costos de materias primas:			
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo x Kilo
Cemento	42,5	kg	0,612
Arena Gruesa	1	kg	0,011
Arena Fina	1	kg	0,014
Gravilla	1	kg	0,031

Fuente: Informe final de producción en Tacna - Empresa Concretos Celulares del Sur Ltda.

Fecha de elaboración: Octubre 2008

2. Costos y cantidades para la elaboración de 1 m³ de concreto celular para baldosa B:

Materiales	Para 1 m ³	Unidad	Costo 1m ³
Cemento	318,75	kg	195,00
Arena Gruesa	0,00	kg	0,00
Arena Fina	390,00	kg	6,00

Gravilla	0,00	kg	0,00
Agua	191,25	Lts	0,019
Espuma	130,5	seg	
			S/. 200,53

Fuente: Informe final de producción en Tacna - Empresa
Concretos Celulares del Sur Ltda.

Fecha de elaboración: Octubre 2008

Densidad Promedio: 900 kg.m3.

Peso promedio bovedilla: 9,5 kilos.

3. Costos y Cantidades para la elaboración de UNA

PREPARADA para la baldosa B.

Materiales	Para 1 Prepar.	Unidad	Costo 1m3
Cemento	42,50	kg	26,00
Arena Gruesa	0,00	kg	0,00
Arena Fina	52,00	kg	1,00
Gravilla	0,00	kg	0,00
Agua	25,50	Lts	0,003
Espuma	17,4	seg	
			S/. 26,78

Fuente: Informe final de producción en Tacna - Empresa
Concretos Celulares del Sur Ltda.

Fecha de elaboración: Octubre 2008

Ahora, las cantidades en Volumen son:

BALDOSA B		
Materiales	Para 1 Prepar.	Unidad
Cemento	1,00	Bolsa
Arena Gruesa	0,00	kg
Arena Fina	2,00	Baldes
Gravilla	0,00	kg

Agua	25,50	Lts
Espuma	17,4	seg

Fuente: Informe final de producción en Tacna - Empresa
Concretos Celulares del Sur Ltda.

Fecha de elaboración: Octubre 2008

Nota: la espuma se adiciona en 3 disparos de 5,8 seg.

Cada uno.

4. Estimaciones de otros costos para la BOVEDILLA.

Otros	M.O	Administra	Utilidad	Impuesto	Total
4%	25%	5%	15%	19%	68%

El valor del m3 según las dosificaciones de las
BOVEDILLAS es de: S/.200,53

Ahora, el volumen de la BOVEDILLA es:

BALDOSA B		
Alto:	0,15	m
Ancho:	0,25	m
Largo:	0,4	m
Huecos:	3	Unidad.
Área Aleta:	0,000004	
Área Huevo:	0,001338024	m3

Volumen bloque:	0,010981927	m3
------------------------	-------------	----

Fuente: Informe final de producción en Tacna - Empresa
Concretos Celulares del Sur Ltda.

Fecha de elaboración: Octubre 2008

Entonces=

Número de BOVEDILLAS por m³ = 1 m³ / en el volumen del bloque.

Número de BOVEDILLAS por m³ = 1 / 0,010981927.

Número de BOVEDILLAS por m³ = 91 unidades.

Ahora=

COSTO BOVEDILLA = Valor del m³ / Número de BOVEDILLAS.

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE BOVEDILLA = S/.2,20

COSTOS TOTALES:

	Otros	M.O	Administra	Utilidad	Impuesto	Total
Valor material	4%	25%	5%	15%	19%	68%
2,20	0,065	0,406	0,081	0,244	0,309	3,31

Fuente: Informe final de producción en Tacna -
Empresa Concretos Celulares del Sur Ltda.

Fecha de elaboración: Octubre 2008.

VALOR DE VENTA DE LA BOVEDILLA: S/. 3,31

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS EN AMBAS BOVEDILLAS

Costo por m² en Baldosa A - Concreto convencional

Descripción recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
CAPATAS	hh	0,1000	0,1569	13,40	2,10
OPERARIO	hh	1,0000	1,5686	11,68	18,32
PEÓN	hh	0,5000	0,7843	9,48	7,44
ARENA GRUESA	m3		0,0140	28,56	0,40
Bloque de concreto 0,20x0,20	und		36,0000	0,78	28,08
CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42,5kg)	BOL		0,0300	22,00	0,66
AGUA	m3		0,0100	8,50	0,09
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3,0000	27,86	83,58
				Total	140,66

Fuente: Elaboración propia

Fecha de elaboración: Octubre 2008

Costo por m² en Baldosa B - Concreto celular

Descripción recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
OPERARIO	hh	0,5000	0,9275	11,68	10,83
PEÓN	hh	0,2500	0,4638	9,48	4,40
ARENA GRUESA	m3		0,0015	28,56	0,04
Bloque de concreto celular 0,40x0,40	und		9,0000	3,31	29,79
CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42,5kg)	BOL		0,0120	22,00	0,26
AGUA	m3		0,0008	8,50	0,01
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		2,0000	27,86	0,56
				Total	45,89

Fuente: Elaboración propia en la Empresa Concretos Celulares del Sur Ltda.

Fecha de elaboración: Octubre 2008

Por lo tanto del análisis de costos unitarios por m² se puede apreciar que la diferencia entre ambas baldosas es del orden de tres veces en su rendimiento, como lo que se indica en la pag.118.

2.7.10 Durabilidad

Se puede definir como la habilidad de un material para resistir los efectos de todos los agentes del medio que los rodea. En un material de construcción estos pueden ser interpretados como los ataques químicos, los esfuerzos físicos y las acometidas mecánicas.

El ataque químico generalmente se presenta como agua freática, corrosiva, particularmente sulfato, un ambiente contaminado y escurrimiento de líquidos reactivos. El concreto celular no posee una resistencia especial a estos agentes, es igual al concreto tradicional, sino que, por el contrario, por el hecho de ser en general más poroso que los concretos convencionales, es más vulnerable. Por esta razón, los concretos celulares al usarse por debajo del nivel natural del terreno debe

hacerse con un aditivo hidrófugo especial para concreto celular.

El ataque químico del aire no es significativo a excepción de que se produce en medios sumamente contaminados; de cualquier manera, se acostumbra proteger el concreto celular con aplanados, estucados o pañetes o en alguna otra forma, por distintas razones. Un aspecto químico de la durabilidad es la estabilidad del mismo material, particularmente ante la presencia de humedad. Al trabajar concretos ligeros con escorias de hornos pueden presentar problemas graves.

Los esfuerzos físicos a los cuales el concreto ligero queda expuesto son principalmente la congelación, la contracción y los esfuerzos de temperatura, el concreto celular sufre la congelación no muestra en general daños significativos.

Los esfuerzos ocasionados debido a la contracción del concreto por secado o a movimientos térmicos diferenciales entre materiales de distinta clase, o bien a otros fenómenos de naturaleza semejante no ocasionan

agrietamiento en el concreto celular (FIG 7) esto debido a la cantidad de agua que posee y durante su fraguado es manejable el calor de hidratación. Cuando el concreto celular ya ha sido instalado se deben tomar las mismas precauciones de problemas por contracción de temperatura que las de un concreto convencional.

Los daños mecánicos pueden resultar de la abrasión o impactos, pero pueden también provenir de una carga excesiva en miembros de flexión, esto se reduce o se anula utilizando fibras de polipropileno especiales para concreto celular. Un aspecto de la durabilidad que sin llegar a ser una propiedad del material en si es sin embargo de gran importancia, es el de tener cuidado de utilizar varillas con alto grado de corrosión, ya que esto ocasiona descascaramiento del concreto ligero. En conclusión el concreto celular es igual de durable o un tanto más o menos al concreto convencional.

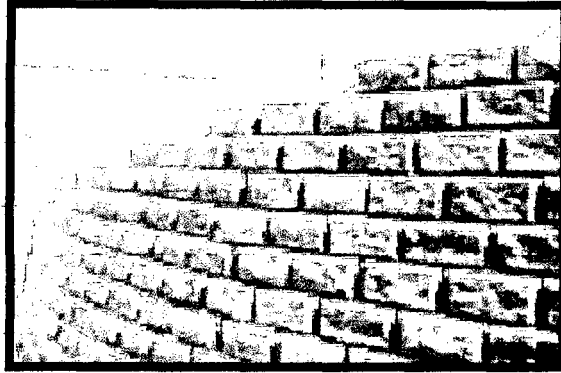


FIG. 7. Bloques de concreto celular expuestos a la intemperie en Miami (Florida)

2.7.11 Prueba contra sonido

Para realizar esta prueba se toma como referencia la metodología exacta para efectuar los ensayos a piezas de hormigón ligero para la prueba de resistencia acústica, por lo tanto, se recurrió a los siguientes documentos para poder establecer los valores a nivel laboratorio.

- ACI ACI International Tel: 248-848-3700
(American Concrete Institute) Fax: 248-848-3720
P.O. Box 9094 Sitio Web: <http://www.aci-int.net/>
- AGC Associated General Contractors Tel: 703-548-3118

of America Fax: 703-548-3119

333 John Carlyle Street Sitio Web:

<http://www.agc.org>

- AFPA American Forest & Paper Tel: 202-463-2700

Association Fax: 202-463-2785

1111 19th Street NW, Suite 800 Sitio Web:

<http://www.afandpa.org>

- AIA American Institute of Architects Tel: 202-626-7300

1735 New York Avenue, N.W. Fax: 202-626-7587

Washington, DC 20006 Sitio Web:

<http://www.aiaonline.com>

- AIHA American Industrial Hygiene Sitio Web:

www.aiha.org

Association

2700 Prosperity Avenue, Suite 250

- AISI American Iron and Steel Institute Tel:

202-452-7100

1101 17th Street, N.W. Fax: 202-463-6573

Washington, DC 20036 Sitio Web:

<http://www.steel.org>

- ANSI American National Standards Tel: 212-642-4900

Institute Fax: 212-398-0023

11 W. 42nd Street, 13th floor Sitio Web:

<http://www.ansi.org>

- APA APA, The Engineered Wood Tel: 253-565-6600 Association (formerly: American Plywood Association) Fax: 253-565-7265

Sitio Web:

<http://www.apawood.org>

- ASA Acoustical Society of America Tel: 516-576-2360

2 Huntington Quadrangle Fax: 516-576-2377

Suite 1N01 Sitio Web: <http://asa.aip.org>

Se realizó el siguiente ensayo:

2.7.11.1. ENSAYO: (121) Prueba contra sonido.

Proyecto: Concreto celular.

Entidad: Concretos Celulares Ltda.

SENA.

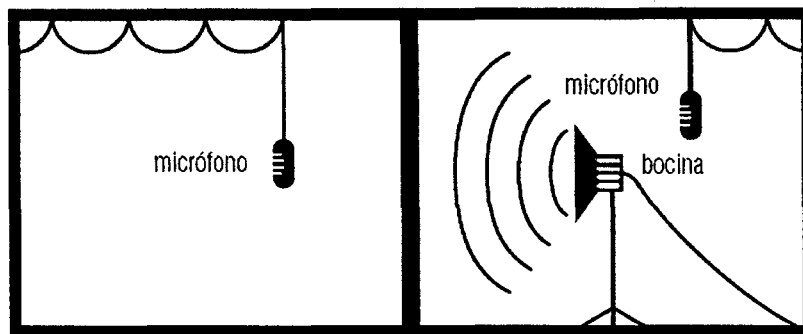
Determinación de la clasificación de transmisión de
sonido (STC)

Las pruebas contra sonidos transmitidos por aire se realizan bajo procedimientos rígidamente establecidos por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (procedimiento ASTM E90-90). Existen varios laboratorios acústicos independientes calificados para realizar estas pruebas. Aunque todas ellas son presumiblemente confiables y siguen el procedimiento ASTM, los resultados tienden a variar ligeramente de un laboratorio a otro. Por esta razón, los resultados de las pruebas de varios laboratorios no podrán compararse con base en su exactitud.

Las pruebas se realizan en un ensamble de muestra, de un tamaño de cuando menos 2,4 m por 2,4 m. El ensamble se instala entre dos cuartos construidos de tal forma que sea insignificante el sonido transmitido entre ellos por otras trayectorias que no sean a través de los ensambles. Los ruidos ambientales de los cuartos son controlados para asegurarse de que no afecten los resultados de las pruebas.

La fuente de sonido consiste en un dispositivo electrónico y una bocina que produce un ruido aleatorio continuo, que cubre un nivel mínimo de frecuencia de 125 a 4,000 Hz (Hertz, ciclos por segundo). En comparación, nótese que el nivel del habla humana varía entre 125 y 8,000 Hz. Los difusores de paneles y /o planos giratorios se colocan de modo que el ruido se difunda, y el nivel de sonido se pueda medir por micrófonos colocados en varias posiciones, en cada cuarto. Las lecturas se toman a 16 intervalos de 1/3 de octava de banda de frecuencia. Los niveles de sonido promedio en el cuarto receptor se

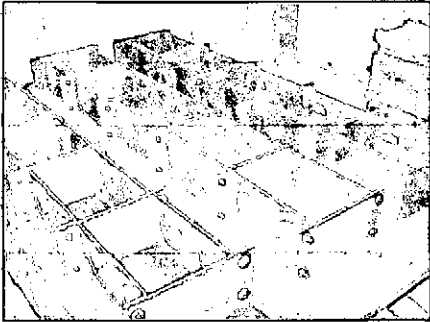
restan de los que se producen en el cuarto donde se origina el ruido. Las diferencias (niveles de sonido de la transmisión real) se registran como valores de pérdida de transmisión de sonido (se realizan ajustes por la absorción del cuarto de prueba y el tamaño del ensamble de prueba).



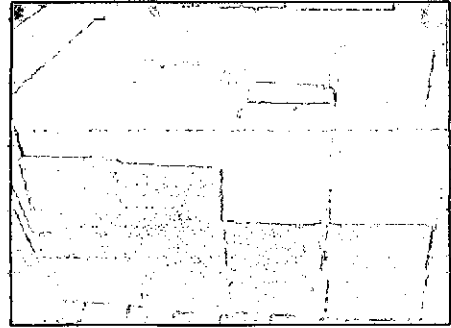
Construcción de muestra de prueba contra sonido

Estos valores de pérdida de transmisión de sonido se grafican en una gráfica de nivel de presión de banda de frecuencia de sonido, y la curva resultante se compara con un contorno de referencia estándar. La clasificación de transmisión de sonido (STC), definida por el procedimiento de clasificación descrito en la norma ASTM

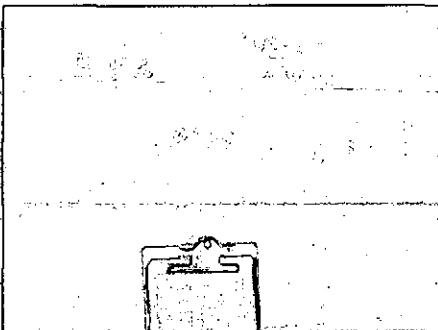
E413-87, se determina ajustando verticalmente el contorno de referencia, hasta que sean menor o igual a 32 el total de decibeles (dB) de todas las bandas de frecuencia en la curva de prueba por debajo del contorno de referencia, y que ningún punto en la curva de prueba se desvíe más de 8 decibeles por abajo del contorno de referencia. Luego, con el contorno de referencia ajustado para cumplir con estas normas, se toma la pérdida de transmisión a 500 Hz (500 ciclos por segundo) como STC (eliminando la unidad dB).



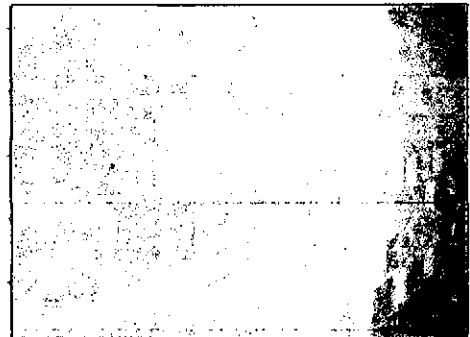
Preparación de los moldes.



Preparación de las piezas para el ensayo



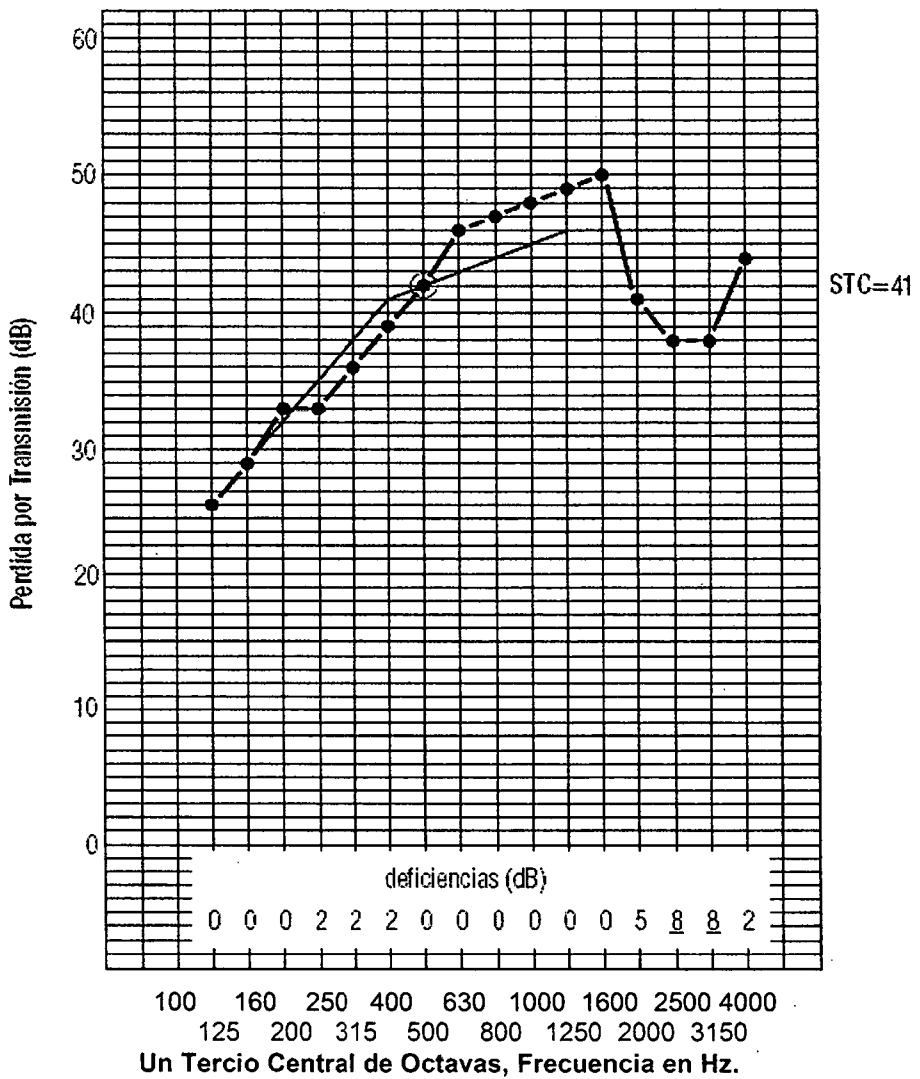
numerando piezas.



Construcción de muros

Un procedimiento alternativo, utilizado para medir la pérdida de transmisión de sonido en condiciones de campo, se describe en el método de prueba convencional conforme a la norma ASTM E336-90. Puede emplearse para obtener una clasificación de transmisión de sonido en el campo (FSTC). Pendiente por ejecutar para comprar resultados.

2.7.11.2. Determinación de la clasificación de transmisión de sonido



Fuente: Laboratorio SENA: proyecto concreto celular.

El muro está clasificado como STC: 41 (para bloques de concreto celular con densidad de 900 kg/m³ y con 15 cms de espesor).

La relación con los demás espesores quedaría:

Espesores:	STC:
15	41
10	35
8	30

Estas medidas son sin recubrimientos en los muros.

El contorno de referencia en sí se grafica para permitir una respuesta humana subjetiva a una presión de sonido a las 16 bandas de frecuencias medidas. Como el oído humano es menos sensible a presiones de sonido de baja frecuencia que de altas frecuencias, el contorno de referencia se ajusta para permitir cierto volumen de sonido adicional a baja frecuencia.

Esto evita clasificar a la baja los resultados de las pruebas por sonidos que son menos molestos para la gente. El procedimiento de prueba la norma ASTM explica el uso de STC en la siguiente cita, tomada de E413.

"Estas clasificaciones de un solo número se relacionan, de forma general, con impresiones subjetivas de transmisión de sonido del habla, radio, televisión y fuentes similares de ruido en oficinas y edificios. Este método de clasificación no es apropiado para fuentes acústicas con espectros significativamente distintos a las fuentes antes descritas. Estas fuentes incluyen maquinaria, procesos industriales, boliches, transformadores de energía, instrumentos musicales, muchos sistemas de música y ruidos de transportes como motores de vehículos, aviones y trenes. Para estas fuentes, una evaluación precisa de la transmisión de sonido requiere un análisis detallado de las bandas de frecuencias".

Elaboración de la mezcla para concreto normal

La mezcladora se cargará primero con una parte no superior a la mitad ($1/2$) del agua requerida para la mezcla; a continuación se añadirán simultáneamente el agregado fino y el cemento y, posteriormente, el agregado grueso, completándose luego la dosificación de agua durante un lapso que no deberá ser inferior a cinco segundos (5 s), ni superior a la tercera parte ($1/3$) del tiempo total de mezclado, contado a partir del instante de introducir el cemento y los agregados.

Como norma general, los aditivos se añadirán a la mezcla disueltos en una parte del agua de mezclado.

Antes de cargar nuevamente la mezcladora, se vaciará totalmente su contenido. En ningún caso, se permitirá el remezclado de concretos que hayan fraguado parcialmente, aunque se añadan nuevas cantidades de cemento, agregados y agua.

Cuando la mezcladora haya estado detenida por más de treinta (30) minutos, deberá ser limpiada perfectamente antes de verter materiales en ella. Así mismo, se requiere su limpieza total, antes de comenzar la fabricación de concreto con otro tipo de cemento.

Cuando la mezcla se produce en una planta central, sobre camiones mezcladores o por una combinación de estos procedimientos, el trabajo se deberá efectuar de acuerdo con los requisitos aplicables de la especificación ASTM C-94.

Dosificación

La mezcla se deberá efectuar en las proporciones establecidas durante su diseño, admitiéndose las siguientes variaciones en el peso de sus componentes:

- Agua, cemento y aditivos $\pm 1\%$
- Agregado fino $\pm 2\%$
- Agregado grueso hasta de 38 mm $\pm 2\%$
- Agregado grueso mayor de 38 mm $\pm 3\%$.

Elaboración de la mezcla para concreto celular

El método de espuma pre formada, consiste en adicionar una espuma estable que se forma gracias a un generador y un reactivo denominado: AGENTE ESPUMANTE DE ALTA DENSIDAD, existen varios en el mercado dependiendo del grado de espuma que se requiere, las normas en que se basa la preparación de este concreto son las ASTM y algunas de la ACI, en nuestro país no hay una norma concreta sobre el tema, pero ya se están empezando a visualizar algunos textos con algunas indicaciones sobre ese método, una vez adicionada la espuma a la mezcla cementante se coloca en su molde y se desmolda por lo general en 24 horas, su curado es al aire libre, pero si se adiciona vapor a 3 grados y por 4 horas mejora notablemente sus propiedades mecánicas, estos concretos con espuma pre formada son muy nobles permiten hacer dosificaciones desde 600 kg/m³ hasta 1800 kg/m³, por lo que constructores tienen un espectro de densidades y resistencias para sus proyectos, lo que se ve reflejado en una optimización del sistema constructivo.

Las características del proceso productivo del **concreto celular** permiten la obtención de un material sólido, como un material de inigualables atributos. Sus propiedades se traducen en una serie de ventajas constructivas constituyéndose en una opción de superioridad comprobada, en construcciones residenciales, comerciales e industriales. Por ser un material sumamente liviano, de baja densidad (600 a 700 kg/m³), reduce la carga sobre estructuras y fundaciones, cumpliendo los requerimientos de resistencia estructural, ante la acción sísmica confirmado por su exitosa utilización en países como Japón y Turquía. Sumado su bajo peso y espesores de concreto adhesivo mínimo, determina que estos concretos son fáciles de manipular y rápidos para ensamblar en obra, con excelentes cualidades de aislamiento térmico y acústico, muy durable que no se degrada bajo condiciones climáticas de humedad, en ciclos de congelación o deshielo u/o ataques químicos. Por todas estas ventajas pueden ser que utilizado, tanto en muros exteriores como en tabiquería interior.

Componentes de la mezcla:

El aglomerante puede ser cemento portland o cal y algunos fabricantes han utilizado una mezcla de ambos. También se han producido concretos celulares, que junto con el cemento, contenían cal viva.

Cuando el curado sea realizado al aire, o con vapor sin presión, será conveniente el uso del cemento portland y cuando sea realizado en autoclave, podrá utilizarse también cal.

El agregado fino puede ser arena de grano fino de: cuarzo, pizarra, escoria de altos hornos, piedra pómez, cenizas volantes (producidas por la combustión de carbón mineral pulverizado), escorias ricas en sílice, arcilla calcinada, toba volcánica etc.; en general finamente molida.

Dentro de la cantidad de agua que se establezca, se incluirán: los activantes, estabilizadores, que deban agregarse para producir y estabilizar las burbujas.

Elaboración de la mezcla:

El proceso tiene dos etapas:

1. Mezcla del aglomerante, el agregado fino y el agua
2. La incorporación de los activantes, estabilizadores y otras posibles adiciones.

Durante el mezclado, tiene mucha importancia: la temperatura ambiente, el tipo de mezcladora, el dosaje y la duración y velocidad del mezclado. El tiempo de la formación de los alvéolos, es variable según cuál sea el activante utilizado.

Curado:

Existen dos métodos de curado: curado al aire y curado con vapor a presión, o sea en autoclave. El curado al aire tiene generalmente una resistencia menor de la mitad que la de los curados en autoclave y una contracción por secado varias veces mayor.

2.7.12. Tipos de climas en los que se puede usar el concreto celular

El concreto celular será en el futuro una buena alternativa para construir viviendas, porque ofrece

resistencia, estabilidad estructural y comodidad. Con el uso de concretos especiales, se busca diseñar una vivienda más confortable para climas extremos, con temperaturas superiores a 40 °C y por debajo de 0 °C. Usar concretos para la vivienda equivale a una industrialización de ésta; construir a bajo costo y a un mayor ritmo de producción, por encima de los sistemas constructivos tradicionales. Sin embargo, se necesita capacitar más al trabajador; en lugar de albañiles, se requieren obreros industriales. Si se logra esto, seguramente el resultado final será muy diferente a lo que conocemos hoy día.

El concreto celular es recomendable para:

a) El clima cálido, ya sea húmedo o seco, con invierno templado y verano demasiado caliente. En estos lugares debe evitarse el empleo de materiales pesados que propicien la acumulación de calor hasta un nivel que imposibilite su enfriamiento. Los habitantes de las zonas desérticas han recurrido a lo largo del tiempo a viviendas construidas con materiales ligeros. El concreto

aireado se encuentra en el grupo de los materiales ligeros y además evita la penetración del calor dentro de la vivienda.;

b) El clima frío. En lugares con bajas temperaturas deben utilizarse materiales térmicos para propiciar la acumulación de calor interior evitando el enfriamiento. El concreto aireado se ubica entre los materiales térmicos debido a las células que lo conforman.

Desde hace varios años, el concreto aireado ha sido un material de construcción común e idóneo en ciertas regiones climáticas del planeta. Actualmente, es fácil encontrarlo en edificaciones de Noruega, Países Bajos, Suecia, Gran Bretaña, Alemania, Francia, Estados Unidos, Canadá y países de América del Sur y del Sudeste Asiático. Se lo utiliza especialmente en aquellas regiones cuyo clima es templado, semifrío o extremo tanto en invierno como en verano. Su empleo en estos climas ha sido un ejemplo de adecuación de la vivienda al entorno, al aprovechar las propiedades térmicas del material que permiten no cambiar el clima interior a pesar de las

variaciones diarias y estacionales de los elementos meteorológicos.

Por tanto, el concreto celular demora la transmisión de la temperatura exterior al interior haciendo la vivienda más agradable y habitable. Se debe construir una vivienda más digna y no sacrificar calidad en los materiales por razones económicas.

2.8 APLICACIONES EN LA INGENIERÍA CIVIL

La principal propiedad del concreto celular es su baja densidad, esta característica hace que una edificación construida con este material sea de menor peso que otra construida con concreto convencional.

Las cargas por peso propio y cargas por solicitaciones sísmicas serán considerablemente menores. Al ser menores podemos afirmar en una primera instancia que las secciones de los elementos estructurales serán de menor dimensión que las de un edificio convencional.

De esta manera, esta tesis pretende demostrar si es posible o no, el uso de este material en elementos estructurales tales como losas, columnas, vigas, vigas de cimentación y zapatas para edificaciones de baja altura, logrando así un menor peso de la estructura, elementos de secciones menores, y un ahorro en los costos de construcción.

Sin embargo los usos del concreto celular son muchos otros. En Europa, Australia, y algunos países sudamericanos se le está dando diversos usos que solo mencionaremos sin entrar en más detalle pues no son objetivos del presente trabajo.

1. Mampostería reforzada de concreto celular

Este sistema es similar a uno de mampostería reforzada con bloques de concreto normal, la diferencia consiste en que los bloques son más ligeros y con mayor capacidad de aislar térmica y acústicamente a la casa. Otra diferencia es que los bloques son más grandes y fáciles de colocar por lo

que incrementan el rendimiento de las obras. Se pueden usar bloques de menor resistencia sin refuerzo para llevar a cabo los cerramientos.

2. Paneles horizontales de concreto celular

Por lo general estos paneles no son de carga sino de cerramiento de espacios. Se introducen entre columnas de concreto o acero las cuales sirven de rieles para mantener fijos y en posición vertical a los paneles.

3. Paneles verticales de concreto celular

Hay dos sistemas básicos uno en que los paneles toleran las cargas verticales y horizontales y otros en que estos son solo de cerramiento. En algunas ocasiones se vacían columnetas entre los paneles, siendo estas pequeñas columnas los elementos estructurales que toleraran las cargas gravitacionales y laterales.

4. Techos y entrepisos en estructuras metálicas

Se usan láminas corrugadas de acero estructural denominadas en inglés como Steel Deck y en español

como encofrados colaborantes. Se hace un vaciado de concreto celular sobre las láminas corrugadas. En ocasiones se intercalan con láminas de poliestireno expandido EPS. Estas losas compuestas de acero en láminas corrugadas y concreto celular sirven de pisos y entrepisos proporcionando un eficiente aislamiento térmico y acústico.

5. Tilt up

Es la construcción de paneles que sirven de fachadas completas de edificaciones de uno o múltiples pisos, estos paneles se vacían en sitio de forma horizontal y una vez fraguado se levantan con grúas para su inmediata colocación. La utilización de concreto celular permite ahorrar en tamaños de grúas, facilitar la colocación y ahorrar dinero en la producción del panel ya que no requerirá de capas de poliestireno expandido.

6. Prefabricados estructurales y ornamentales

No requiere del vibrado en la mesa para que el concreto celular se adapte perfectamente a figura de las formaletas. Los encofrados son más ligeros y movilizables con facilidad. Estos una vez producidos con concreto celular favorece al ahorro por flete permitiendo cargar al camión volumétricamente y no como en el caso del concreto normal que el camión por volumen estaba vacío pero cargado al máximo por peso. Se pueden producir escaleras, tanques sépticos, bancos para las plazas, etc.

7. Geotecnia

Muros y contrafuertes de puentes

La sustitución total o parcial del suelo del backfill por concreto celular de muy baja densidad permite disminuir los empujes y momentos actuantes sobre el muro en voladizo o cantiliver.

8. Losas para suelos de material rígido

Consiste en una capa de concreto aireado debajo de baldosas cerámicas, pavimentos de mármol, baldosas

de cemento etc. Generalmente se utiliza una densidad de 500 kg/m³, lograda con cemento y espuma solamente. El espesor mínimo recomendado para una losa de este tipo es de 40mm.

2.9 COSTO DE PRODUCCIÓN

El costo de producir 1m³ de concreto celular es mayor comparado con el costo de producir el mismo volumen con concreto convencional. En la siguiente tabla se muestra el costo de producir el concreto celular, pero es necesario mencionar que a lo largo de la vida útil de la estructura este mayor costo inicial se iría pagando con el ahorro de energía, pólizas de seguro contra incendio, e inclusive por la construcción misma de la estructura si se utilizan elementos prefabricados tomando en cuenta que al tener menor peso, no será necesario el uso de equipos de alta potencia. También el transporte de los elementos prefabricados será en menor tiempo, reduciendo el costo de transporte y grúa.

En los cuadros 06 y cuadro 07 se observa el costo de producción de concreto celular, que incluye insumos, producción, transporte, depreciación, costos administrativos, costo de ventas y costos financieros²².

Cuadro 6

Relación de precios estimados de insumos de concreto celular

Diseño kg/cm2	PU (kg/m3)	Cemento kg/m3	Arena kg/m3	Agua l/m3	Reactivo J&D l/m3	Costo/m3
210	1856	500	1165,88	190,00	462,5	92,10
175	1786	495	1102,50	188,10	548,25	90,96
140	1777	490	1095,00	191,10	612,75	90,06
120	1755	485	1080,00	189,15	612,75	89,13

Fuente: Elaboración propia con información de bibliografía sobre concretos celulares

Fecha: Octubre 2008

Cuadro 7

Diseño kg/cm2	Precio de venta y peso kg/m3	
	Concreto convencional \$ (kg/m3)	Concreto celular \$ (kg/m3)
210	123,71 (2300)	127,10 (1855,88)
175	106,17 (2300)	125,96 (1785,60)
140	102,56 (2300)	125,06 (1776,10)
120	102,13 (2300)	124,13 (1754,15)

Nota= El litro de aditivo cuesta \$11,80

Fuente: Elaboración propia con información de bibliografía sobre concretos celulares

Fecha: Octubre 2008

²² Estos datos fueron obtenidos de la base de datos de Concretos Celulares del Sur Ltda. - TACNA.

En un principio el costo del concreto celular es mayor, pero sus ventajas adicionales de aislamiento térmico, resistencia al fuego o bajo peso por ejemplo hace que a lo largo del tiempo este sobrecosto inicial sea justificado.

En el capítulo 5 realizamos el análisis y diseño de dos viviendas unifamiliares, una de concreto convencional y otra de concreto celular, la diferencia entre los costos considerando movimiento de tierras, obras de concreto simple, obras de concreto armado como son zapatas, vigas, columnas, losa aligerada, escalera y acero de refuerzo en todos estos elementos, y encofrado fue de solamente 2,38%. Es decir la vivienda de concreto celular era 2,4% aproximadamente más caro que la de concreto convencional.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Descriptivo - Correlacional; a fin de vincular las dos variables determinando como influye una variable sobre la otra y cuál es la relación entre ellas.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

"Expost Factum", la misma que permitirá establecer relaciones causa -efecto.

POBLACION Y MUESTRA DE ESTUDIO

AMBITO : Ingeniería

POBLACIÓN : La población en este estudio consisten las Unidades de concreto celular, muestras que se desarrollan en coordinación con la empresa **Concretos**

Celulares del Sur Ltda. Quienes en su permanente búsqueda de soluciones que faciliten y agilicen los procesos constructivos ha desarrollado un sistema de entrepiso auto portante, fácil de utilizar, rápido y seguro llamado PLACA FACIL, el cual consta de una serie de VIGUETAS PREFABRICADAS DE CONCRETO así como otros sistemas que mencionamos a continuación:

1. **Sistema vigueta bovedilla celular,** que sirven como aligerante y formaleta. El sistema lo complementan un acero de refuerzo y una capa de concreto

estructural de 5 a 10 cms de espesor.

2. **Sistema muros livianos**
divicel 10, bloque de concreto celular, práctico, económico, rápido y seguro. Especial para muros divisorios y como aligerante en placas de entrepisos con espesores de 15 cms, o menores.
3. **Sistema cerco perimetral**, una forma fácil y económica de construir una pared de cerco de hormigón que consiste en disponer postes de hormigón armado en forma superpuesta.
4. **Sistemas muros megablock**, los bloques para muros

térmicos, son elaborados con concreto celular, el cual es liviano y fácilmente manipulable, lo que incrementa la agilidad de la construcción reduciendo costos por disminuir tiempos de colocación, y aumento de rendimiento de mano de obra.

Así también se tiene como objetivo evaluar las propiedades del concreto celular en elementos estructurales para ser usado en viviendas unifamiliares dentro de la ciudad de Tacna.

MUESTRA : Para determinar el tamaño de muestra para el proyecto de investigación sobre

el estudio de la viabilidad en el uso de concretos celulares en viviendas unifamiliares de la ciudad de Tacna, es en base a los ensayos de campo y laboratorio que se realizaran identificándose las principales propiedades del concreto celular que nos permitirá demostrar sus ventajas para ser utilizado en los procesos constructivos de viviendas dentro de la localidad, y sea utilizado en elementos estructurales, mostrando un nivel de confianza al empleo de nuevas tecnologías de 97% en comparación con un desconocimiento de las mismas de un 3%.

Además su estructura molecular ofrece a las construcciones un mayor grado de insonorización, que evita el acceso de ruidos externos aun en los casos más rigurosos.

También se menciona las propiedades de los prefabricados para muro que pueden ser fácilmente cortados con herramienta liviana

para ajustar a las medidas deseadas lo que permite tener el mínimo de desperdicios, entre otras ventajas que ofrece el Concreto Celular.

3.2 ENSAYOS EXPERIMENTALES

En el capítulo 2 se mostraron las características y propiedades del concreto celular.

Propiedades como módulo de elasticidad y resistencia a la compresión, sin embargo creímos importante en esta tesis realizar una investigación experimental, es decir, elaborar concreto celular y preparar moldes o testigos para los ensayos correspondientes a fin de contar con las características y propiedades de este concreto, producido en nuestro medio con agregados obtenidos de canteras de nuestro país.

Los ensayos fueron realizados en la empresa CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda. bajo la supervisión de los ingenieros de planta: Ing. Wendel Esquivel Caballero Reg.CIP N° 67455 y el Ing. Civil: Javier M. Sanabria S.,

colombiano, actualmente: Gerente Técnico de la Empresa: Concretos Celulares Ltda., en los cuales yo participe para obtener los resultados de dichos ensayos y realizar el análisis respectivo que es materia de investigación de la presente tesis.

Se realizaron 4 diseños distintos correspondientes a resistencias de diseño de 120 kg/cm², 140 kg/cm², 175 kg/cm² y 210 kg/cm².

Se realizaron varios diseños de prueba utilizando las cantidades de materiales que sugería el **método de mezcla con espuma pre formada** según se indica en el libro de Rudolph C. Valore, págs.: 786,787; hasta obtener la resistencia a compresión esperada. Esto tomó bastante tiempo pues se probaron distintas dosificaciones, luego había que esperar la edad adecuada para realizar el ensayo, mejorar el diseño hasta finalmente definir un diseño final.

Se sacaron muestras con los diseños finales para las diferentes pruebas y estas fueron ensayadas de acuerdo a las **normas ASTM** correspondientes a cada tipo diferente de

ensayo. La preparación y curado de los especímenes fue realizada, también, siguiendo los procedimientos indicados en las normas ASTM. Los ensayos realizados fueron los siguientes:

3.2.1 Generalidades del diseño

Para cada diseño se hacían 3 tandas en una mezcladora de 85 litros, en donde se dosificaban los agregados para un total de 80 litros de mezcla. El método de preparación empleado fue el descrito en el capítulo 2 sub capítulo 2.6 ítem b, que es el método de mezcla con espuma pre formada.

La secuencia utilizada fue, agregar primero la arena que debe tener un contenido de humedad bastante bajo²³, luego el cemento, mezclar un corto tiempo hasta que se homogenice, luego agregar el agua, mezclar y finalmente agregar la espuma controlándola por tiempo.

²³ Bajo para que no se formen grumos ver conclusiones

3.2.1. a. De los materiales

Los materiales empleados son los siguientes:

a) Cemento: El cemento a emplearse será el Portland Tipo IP, que cumpla con las normas ITINTEC 334-044 y ASTM-C-595-1-P. Normalmente este cemento se expende en bolsas de 42,5 kg. (94 lbs/bolsa) el mismo que podrá tener una variación de +/- 1% del peso indicado. Podrá emplearse cemento a granel siempre y cuando se cuente con un almacenamiento adecuado para que no se produzcan cambios en su composición y características físicas. En ambos casos el supervisor tomará muestras, las que serán sometidas a pruebas de acuerdo con los requerimientos de las especificaciones de la norma ASTM-C-150 y que serán de cargo del contratista.

b) Agregados: Los agregados a usarse son: fino (arena).
Que deberá considerarse como elemento separado del

cemento y deberán cumplir las Normas INDECOPI 400.037 (ex-ITINTEC) y ASTM C-33. Se podrán usar otros agregados siempre y cuando se demuestre, mediante ensayos de laboratorio, que producen concretos de resistencia y durabilidad adecuada.

a) Agregado fino (Arena gruesa)

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas que pasa por el tamiz de 3/8" (9,5 mm) y que cumple con los límites establecidos en la Norma INDECOPI 400.037 (ex-ITINTEC).

El RNC especifica la granulometría y requisitos de calidad de la arena en concordancia con la Norma ASTM C-33. La norma prescribe que la diferencia entre el contenido que pasa una malla y el retenido en la siguiente, no debe ser mayor del 45% del total de la muestra. De esta manera se tiende a una granulometría más regular.

El agregado fino será arena natural. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y resistentes. Deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias perjudiciales.

No debe haber menos del 15% de agregado fino que pase por la malla #50, ni más del 5% que pase la malla #100. La trabajabilidad del concreto es muy sensible a las cantidades de material que pasan estos tamices. Una deficiencia de estos puede hacer que la mezcla necesite más agua, produciendo afloramiento y exudación excesivos. Esto último deberá tomarse en cuenta en el concreto expuesto.

Se recomienda que las sustancias dañinas, no excedan los porcentajes máximos siguientes:

- Partículas deleznable.....3%
- Material más fino que la malla # 200.....5%

c) El agua: Para la preparación del concreto se deberá contar con agua potable. Si por razones obvias no fuese posible contar con el agua potable, se usará agua con las siguientes características: deberá ser clara, de apariencia limpia, no debe contener sustancias decolorantes, olor inusual o sabor objetable.

d) REACTIVO J&D. (Agente Espumante de Alta Densidad): El agente espumante es un líquido viscoso basado en alcoholes naturales que combinado con un agente estabilizante produce una espuma densa que resiste las fuerzas múltiples que ocurren durante la mezcla y permite mantener la estructura espumosa de micro burbujas, las cuales, se incorporan a la matriz cementante, estas burbujas forman espacios de aire atrapado que permanecen durante varias horas hasta lograr el total fraguado y endurecido del concreto,

logrando así un concreto con características inmejorables .

La espuma no presenta reacción química con el concreto y solamente sirve como material de envoltura para el aire atrapado.

Es un líquido de color blanco transparente y la espuma que se obtiene es de color blanco, con una densidad de 60 y 90 gramos /litro, con un peso específico de 1,04 kg/l, a 20 °C de temperatura.

El agente espumante no es venenoso, no es inflamable, no es tóxico, no corroe, no explota, no ataca los componentes del concreto y es biodegradable. Se mantiene en su envase original durante dos años.

3.2.1. a.1 Características de los agregados utilizados en la planta productora de unidades de concreto celular.-

Generalidades

La cantera ARUNTA se encuentra ubicada en el distrito de Gregorio Albarracín - Cono Sur, para llevar a cabo la presente investigación debido a su gran demanda, ya que en la actualidad se viene extrayendo sus agregados para abastecer el acelerado crecimiento urbano de la ciudad de Tacna, donde un buen porcentaje de las obras se han construido con estos materiales, obteniéndose buenos resultados, Además debemos resaltar que la planta productora de unidades de concreto celular también adquieren de esta cantera.

Uno de los materiales que constituyen las unidades de concreto celular, son los agregados cuya calidad es de mucha importancia y debe ser probada a través de distintos ensayos realizados normalizados.

Las especificaciones para la aceptación de la calidad de los agregados se basa principalmente en criterios técnicos y en consideraciones

económicas, sin embargo el criterio técnico no es absoluto, por consiguientes pueden ser considerados como agregados aceptables aquellos que no obstante estar fuera de la limitaciones impuestas por una especificación se comportan bien en la práctica e inversamente en algunos casos, no todos los agregados que si cumplen con una especificación pueden ser aceptables para ciertos usos.

Ubicación y descripción

Cantera denominada ARUNTA se encuentra ubicada aproximadamente a 5 km al sur del distrito de Gregorio Albarracín - Cono sur de la ciudad de Tacna, teniendo como vía de acceso las faldas del cerro Arunta. Esta cantera tiene un área aproximadamente de 5 km² de extensión.

La extracción que consiste tanto de agregado fino (arena) y agregado grueso grava o confitillo (denominado así por su forma redonda), se realiza

por frentes al descubierto. Según se observó estos agregados no tienen ninguna clasificación en planta.

Muestreo de agregados

Norma INDECOPI (ITINTEC) 400. 010

La toma de muestras de los agregados constituye una operación fundamental en el proceso de control de calidad de la producción de concreto. El muestreo puede producirse en el yacimiento, en la planta de beneficio o al pie de la obra, según su razón de ser.

Cuando se requiere conocer la calidad de un producto que se ofrece en el mercado, se procede a la toma de muestras en la planta de producción. Se recomienda extraer las muestras de manera intermitente mientras se carga el material a los vehículos. De no ser posible, se puede obtener muestras separadas de los silos, tomándoselas de la parte superior y de la boca de descarga.

Obtención de material de la planta productora

El estudio se refiere a los agregados tal como se usan en la elaboración de unidades de concreto celular, es decir, tal como compran de la cantera ARUNTA, para la fabricación de unidades de concreto celular, es por esto que se obtuvo el material a usarse en la producción de unidades de concreto celular, para este trabajo de investigación se obtuvo el material en bolsas de aproximadamente 30 kg., debidamente selladas, etiquetadas y transportadas, para luego pasar a laboratorio y realizar su análisis granulométrico

Muestreo de agregados para laboratorio

Cuando la inspección indica diferencias sustantivas en los materiales, en su tamaño, textura o color (lo que ocurre generalmente en el yacimiento), deberá ensayarse independientemente cada una de las muestras que se obtengan.

Para su envío a laboratorio, las muestras representativas pueden reducirse hasta llegar al volumen mínimo adecuado, según los requerimientos de ensayo. Las muestras representativas no deberán ser menores de 25 kg. en caso de arena.

Ensayos de laboratorio para agregados

Los métodos de ensayo quedan determinados con las siguientes normas:

INDECOPI 400. 012 ; Agregados, análisis granulométrico.

INDECOPI 400. 017 77; Método de ensayo para determinar el peso unitario de los agregados.

INDECOPI 400. 021 79; Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso

INDECOPI 400. 022 79; Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino.

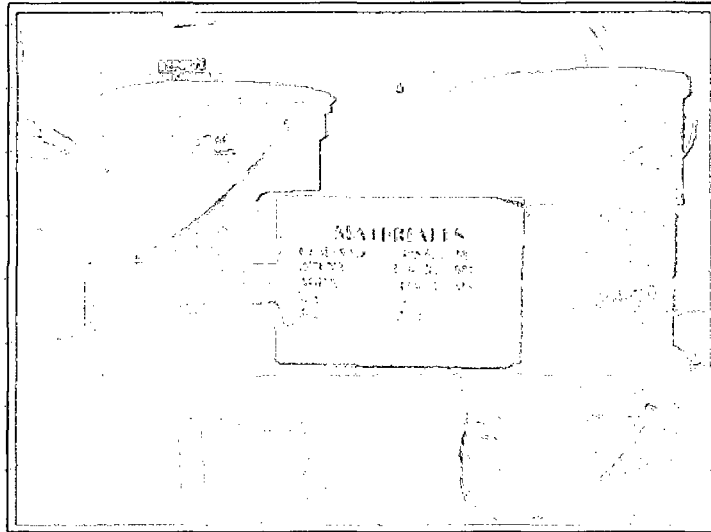
Estudio de las propiedades físicas de los agregados

Determinar las propiedades físicas de la cantera ARUNTA del departamento de Tacna, para el uso del agregado en la fabricación de unidades de concreto celular.

El estudio de todas las pruebas que se han realizados a los agregados han sido hechas por la empresa Concretos Celulares del sur Ltda. con equipo de propiedad de esta empresa y asesoramiento del personal especializado del mismo.

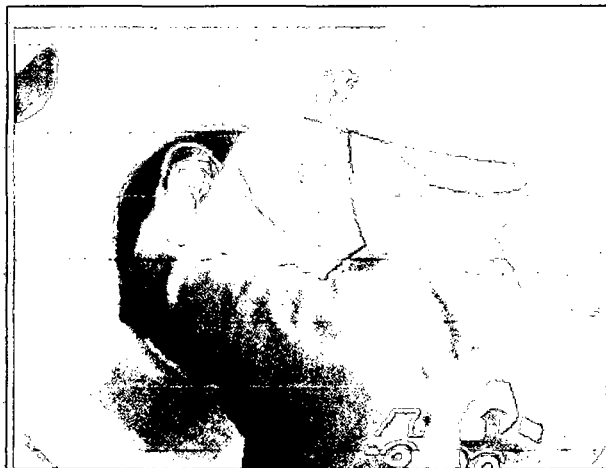
Ver Anexo 1 - Propiedades Mecánicas de los agregados.

3.2.1. b. Del procedimiento



Arriba: Los materiales se pesan y se guardan en baldes, para luego realizar la mezcla

Abajo: Se colocan los agregados en la mezcladora

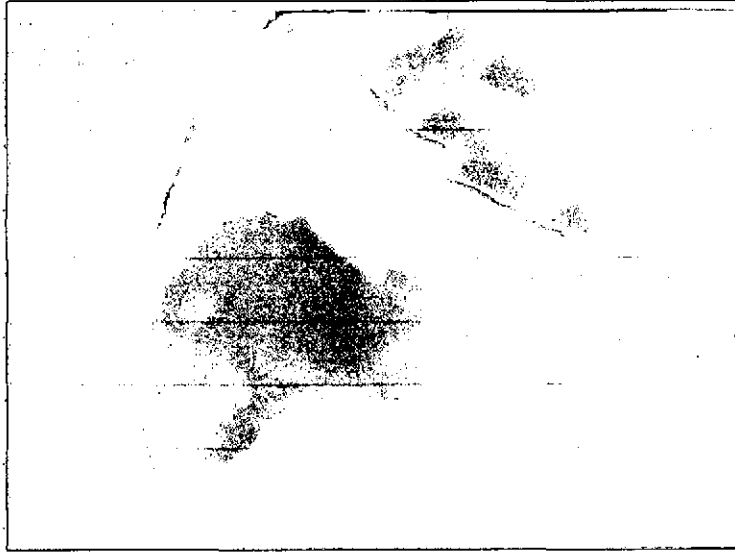




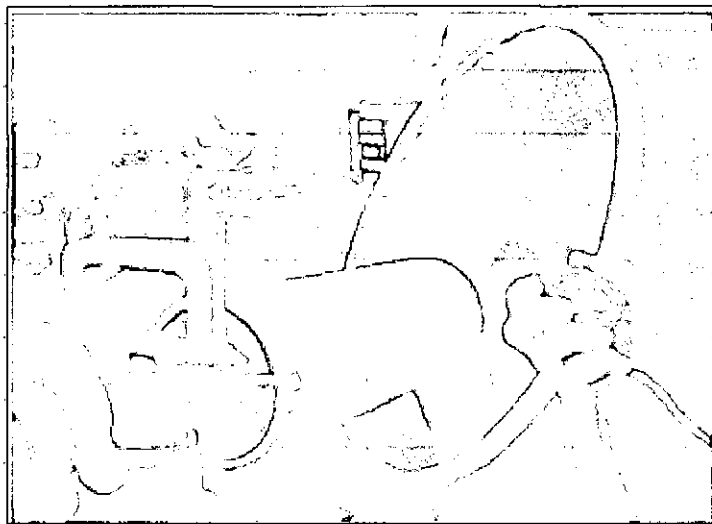
Arriba: El cemento se mezcla con los demás agregados

Abajo: Con el uso de una espátula de acero liso se ayuda a mezclar todos los materiales





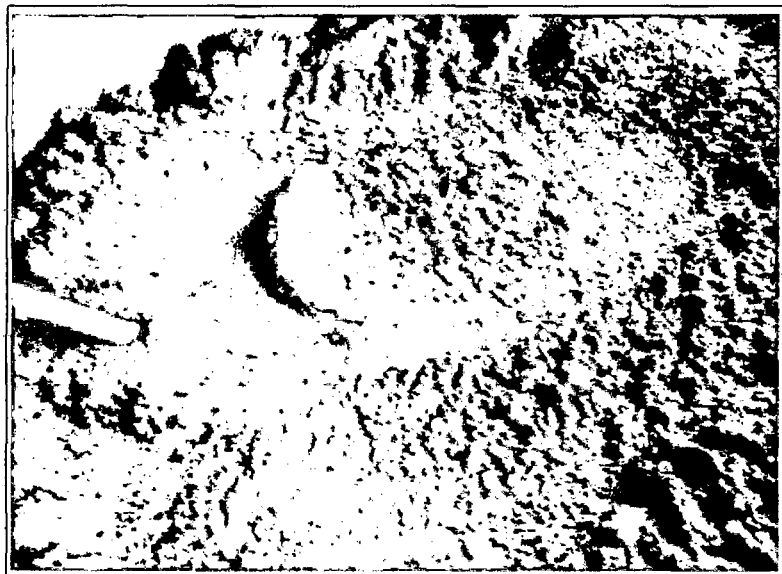
Abajo: Finalmente se agrega la espuma y se termina de mezclar



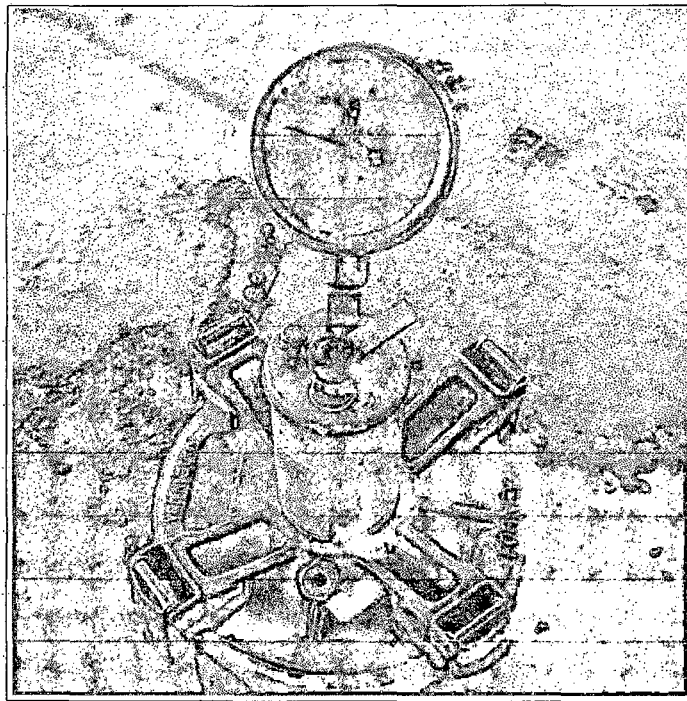


Arriba: Se coloca la mezcla en una carretilla. Esta presenta una consistencia espesa, trabajable y uniforme.

Abajo: Concreto celular en la carretilla antes de ser colocado en los moldes



A cada diseño se le medía el contenido de aire con el dispositivo de Washington como se aprecia en la fotografía, el peso unitario siguiendo el procedimiento descrito en la norma ASTM, y la temperatura.



Dispositivo de Washington

El peso unitario y el contenido de aire era un indicador importante para saber si se había aplicado la cantidad de espuma correcta y por lo tanto el diseño había resultado satisfactorio.

Las dosificaciones en seco por metro cúbico empleadas fueron las siguientes, no olvidar de hacer las correcciones por humedad del agregado y por agua incorporada a la mezcla en la adición de espuma.

3.2.2. ANÁLISIS DEL DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS CELULARES

3.2.2.1 Materiales utilizados:

- Agregados

Los resultados que se muestran a continuación son obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados en la Empresa SUSERING S.A.C cuyo Gerente General es el Ing. Franklin Ramos Vargas, quien previa coordinación con el Arquitecto Edgardo Vargas Cancino, gerente de la Empresa Concretos Celulares del Sur, se me permiten participar en dichos ensayos y obtenidos los resultados sean materia de

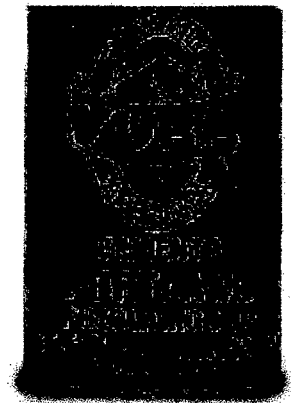
análisis para la presente investigación así también se verificaron los resultados con los ensayos realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimento de la Universidad Privada de Tacna.

- Peso Retenido = 506,75 g.
(En las mallas 3", 1 1/2" 3/4" 3/8", 4", 8", 16", 30", 50", 100".)
- Modulo de fineza = 2,89
- Tamaño máximo nominal de agregado = 3/8"
(9,5mm)
(Ver **Anexo 1**)

- **Cemento**

Marca = Cemento YURA Portland Puzolánico IP

Cemento Portland adicionado con hasta 30% de puzolana, de conformidad con la Norma ASTM C 595 (NTP 334,009), de uso general en todo tipo de obra civil. Posee una moderada



resistencia al ataque de sulfatos, bajo calor de hidratación, mayor impermeabilidad, ganancia de mayor resistencia al tiempo, y mayor trabajabilidad en morteros y revestimientos.

Presentación a granel o en bolsas de 42,5 kg.

- Agua

Potable, de la red de distribución de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A.

- Aditivo

REACTIVO J&D. (Agente Espumante de Alta Densidad), para la fabricación de CONCRETO CELULAR cumple con los requisitos de la norma: ASTM C796-04 Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam. El agente espumante es un líquido viscoso basando en alcoholes naturales que combinado con un agente estabilizante

produce una espuma densa que resiste las fuerzas múltiples que ocurren durante la mezcla y permite mantener la estructura espumosa de micro burbujas, las cuales, se incorporan a la matriz cementante, estas burbujas forman espacios de aire atrapado que permanecen durante varias horas hasta lograr el total fraguado y endurecido del concreto, logrando así un concreto con características inmejorables.

3.2.2.2. Diseño de mezcla

A) RELACIÓN AGUA/CEMENTO:

El uso del cemento por metro cúbico esta alrededor de 280 a 350 kg de cemento por metro cúbico, el rango es tan grande, ya que, los productos se pueden fabricar con una gran amplitud de densidades desde: 350 kg/m³ hasta 1800 kg/m³.

Como se tienen grandes posibilidades en las densidades, es necesario, contar con dosificaciones

muy variadas, tanto para lograr la densidad, como para lograr la resistencia final.

Una dosificación típica de un mortero de 1200 kg/m³, llega a tener:

- 300 kg de cemento.
- 840 kg de arena.
- 140 l de agua.
- 460 l de Espuma. (preparado con 0,7 l de aditivo en 35 l de agua).

Entre menos densidad deseemos mayor va hacer la concentración de aditivo por m³ de producto a fabricar.

Es importante tener en cuenta la relación agua / cemento, por ejemplo:

En la dosificación anterior se toma una relación:

AGUA TOTAL / CEMENTO.

Agua en la mezcla + agua en el aditivo / cemento.

$$140 + 35 / 300$$

$$A/C = 0,58$$

La cual es una relación bastante grande si la comparamos con una relación agua / cemento de un mortero o un concreto normal que esta por el orden de 0,35.

Esta relación agua cemento, está muy relacionada con la obtención de una resistencia final adecuada, ya que, al adicionar más agua se impide lograr una resistencia alta, es por esto que se deben hacer pruebas en cilindros y sobre los materiales finales, ya que, no es lo mismo una resistencia a la compresión en cilindros para mortero de 70 kg/cm² a la resistencia de un bloque de 70 kg/cm², por lo que se deben evaluar ambas resistencias, como el concreto celular a base de espuma preformada tienen problemas con la resistencia final, es necesario realizar varios ajustes para poder obtener productos no tan pobres de resistencia, por ejemplo el uso de arenas de río con bastante contenido de cuarzo o arenas sílice y que estén finas, existen varias alternativas para

lograr concretos o morteros con resistencias adecuadas.

Existen varios libros europeos sobre el tema de concreto o mortero celular, que indican que el concreto fabricado por este sistema no funciona para elementos precolados, por tener una resistencia tan pobre, lo que sucede es que, no se puede pretender fabricar productos con resistencias altas con relaciones agua / cemento tan altas, además con bajos contenidos de cemento, el uso del concreto celular está encaminado a fabricar productos acordes a sus resistencia, por ejemplo, para muros portantes de carga se piden resistencias entre 70 y 100 kg/m³, esto también se puede obtener en un concreto celular con una densidad de 1300 kg/m³, comparados con bloques cuya densidad es de 1800 a 2000 kg/m³.

Además una ventaja contra los bloques convencionales sería eliminar carga muerta en la estructura, en resumen podemos decir: la función

estructural se la dejamos a elementos que soporten carga y elementos no estructurales se los dejamos a elementos livianos, esto no quiere decir en ningún momento que no podamos construir elementos estructurales netamente en concreto celular, si se puede, lo que pasa es que la cantidad de espuma es poca, por ejemplo, podemos lograr resistencias a la compresión de 211 kg/cm², con elementos de concreto celular con densidad de 1800 kg/m³, que es una densidad más baja que la normal, sin embargo el ahorro de materiales no es muy representativo, mientras que si utilizamos el concreto celular en densidades más bajas se ven los ahorros de materiales, por ejemplo, una densidad de 1200kg/m³ en mortero, se representan ahorros en materiales del orden del 15% y en todo un sistema constructivo ahorros de cimentación, mano de obra, rapidez, etc., del orden del 35%.

B) PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLA:

Para cada diseño se hacían 3 tandas en una mezcladora de 85 litros, en donde se dosificaban los agregados para un total de 80 litros de mezcla. El método de preparación empleado fue el descrito en el capítulo 2 sub capítulo 2.6 ítem b, que es el método de mezcla con espuma pre formada.

En este método la espuma es producida separadamente y posteriormente agregada a la mezcla. Los pasos seguidos en la producción de concreto mediante este método son:

- Mezclar el cemento y la arena por 1 minuto
- Mezclar el cemento, el agua, y el acelerador por 2 minutos a 30 r.p.m.
- Colocar la espuma y mezclar por 1 minuto a 30 r.p.m.
- Mezclar a 90rpm durante 1 minuto

Con una relación agua - cemento de 0,38 y 0,39

Este método de producción de concreto celular es más eficiente en comparación con el de la mezcla

conjunta; indicado en las págs. 786,787 en el libro de Rudolph C. Valore.

C) NORMA TÉCNICA:

La norma técnica utilizada para la elaboración de mezclas de concreto celular en la ASTM es la siguiente: **ASTM C796 - 04** Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam (Método de prueba estándar para los espumantes empleados en la producción de concreto celular- uso de espuma preformada).

D) SUGERENCIAS DE APLICACIONES:

El concreto a base de espuma preformada se puede utilizar según la siguiente tabla:

DENSIDADES	SUGERENCIAS DE USO
350 @ 600 kg/m ³	Para entrepisos y entre techos como aislante térmico y acústico.
800 @ 1000 kg/m ³	Para prefabricados no portantes, bloques y aislamiento térmicos.
1100 @1200 kg/m ³	Prefabricados portantes y para pisos.
1400 @1600 Kg/m ³	Usos estructurales, moldes en sitio y

	premoldeados.
1800 kg/m ³	Apto para todo tipo de usos estructurales.

E) MAQUINARIA:

Dentro de la maquinaria se tiene que adquirir un **generador de espuma**, sin embargo, se tienen problemas con este equipo como veremos: el generador de espuma es relativamente económico y no es complicado de conseguirlo, existen marcas de países: alemanes, suecos, americanos, etc., estos generadores de espuma logran su función gracias a un aditivo espumante y como producto final tendremos espuma, una espuma densa, bastante estable, de color blanco muy similar a la espuma que se usa para rasurarse la barba, las burbujas de que está compuesta la espuma tiene la particularidad de ser tamaño homogéneo, pequeño (apenas se percibe a la vista) y principalmente que sea difícil reventarse o disgregarse, cuando ya tenemos la espuma fabricada, viene el problema

de incorporarla al concreto celular, se puede pensar en una opción sencilla y es la de adicionarla a un mezclador convencional, sin embargo, es necesario tener la medida por volumen de la espuma a inyectar, podríamos pensar en adicionar la espuma por baldes u otro medida de volumen, sin embargo, un litro mas de espuma descuadra la densidad que se desea, ya que se adiciona mas aire o mas espuma, por lo que es necesario contar con un temporizador, este nos ayudará a controlar la cantidad de espuma que entra a la premezcla cementante, cuando ya tengamos el temporizador y la cantidad de espuma controlada viene el problema de adicionar la espuma y que esta se homogenice bien de entrada, es decir necesitamos un presión de entrada a la masa cementante, es bueno decir, que los materiales deben estar homogenizados perfectamente antes de adicionar la espuma, si se adiciona la espuma a un trompo o mezclador

convencional y sin una presión de entrada, la espuma rotara en la superficie y tendrá que girar muchas más veces el homogenizador antes de incorporarse la espuma, corriendo el riesgo de "quemar la mezcla", lo cual significa disgregar las propiedades del cemento por fuerza centrífuga, entonces tenemos 2 factores importantes, un temporizador y una presión de entrada, esta presión debe estar en el orden de 80 lbs, también es necesario, hacer los descuentos por pérdida de espuma, es decir, existe un porcentaje bajo de pérdida del orden del (5%), que en realidad es pequeño, pero, es necesario calibrar esta pérdida y más si se requiere mezclas con densidades perfectas, estas pérdidas se pueden incrementar si se usa un homogenizador convencional o no apto para concreto celular, es decir, la pre mezcla que está perfectamente homogenizada, en su mezclador, se le adiciona la espuma, el peso del volteo hace

reventar mas espuma que si se variará la velocidad y las aspas internas para que el homogenizado con la espuma sea lo más suave posible y su incorporación sea perfecta, luego de analizar esta información tenemos entonces los siguientes factores a tener en cuenta:

Si adquiere un generador de espuma, es necesario controlar: un temporizado perfecto de espuma en l/s, una presión de entrada y una homogenización más suave que la convencional.

F) ADITIVOS:

Un aditivo debe cumplir con la propiedad de generar espuma y que esta espuma fabricada resista la fuerzas múltiples de mezclado, las cuales, están del orden de 10 kg/cm² de presión, una buen aditivo debe soporta estas fuerzas múltiples, además el aditivo, se puede rendir en agua, esto con el propósito de hacerlo más económico, es decir existen aditivos que se relacionan así:

- 1 litro de aditivo, en 40 litros de agua, para 1 m³ de concreto celular.
- 1 litro de aditivo, en 60 litros de agua, para 1 m³ de concreto celular.

Siempre que se vaya a adquirir un aditivo, un agente espumante, vale la pena preguntar su rendimiento en agua, además, entre menos rendimiento en agua, mas costos se torna el producto, pero, se debe tener cuidado a la hora de adquirir productos que ofrezcan más de una relación 1:60 un litro de aditivo en 60 litros de agua, ya que, pueden producirse deficiencias en la calidad de la espuma y por lo tanto en el producto final.

G) DISEÑO DE MEZCLA PARA RESISTENCIA F'C=210 kg/cm²:

Ejemplo:

Diseño 1: Resistencia 210 kg/cm²

Para 80 litros de mezcla se tiene la siguiente dosificación según el método de conjunto de

mezcla descrito en el capítulo 2 sub. capítulo 2.6

ítem b - Método de mezcla con espuma pre formada.

Los agregados y agua se agrega en baldes de 30 kg

AGUA : 7 BALDES (190,00 l).

ARENA : 39 BALDES DE ARENA. (1165,88 kg).

CEMENTO : 12 BOLSAS DE CEMENTO. (500 kg).

ESPUMA : 280 l de espuma (Se produce con
0,5l de reactivo en 20 l. de agua)

TEMPORIZADOR: COLOQUELO EN 3,3 SEGUNDOS Y HAGA 3
DISPAROS.

En conclusión se puede tomar de manera práctica
en obra que para 1 bolsa de cemento se tiene la
siguiente relación:

1:2,33 (cemento: arena), a/c = 0,38 y 0,5 l. de
espuma

H) RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS 4 DISEÑOS:

De la misma forma se procedió para los tres
diseños sgtes.; obteniéndose los siguientes
resultados:

Diseño 1 : Resistencia 120 kg/cm²

Arena 1080 kg

Agua 189,15 l

Cemento 485 kg

Tiempo espuma 4 s / tanda de 80 litros

Diseño 2 : Resistencia 140 kg/cm²

Arena 1095 kg

Agua 191,1 l

Cemento 490 kg

Tiempo espuma 3,6 s / tanda de 80 litros

Diseño 3 : Resistencia 175 kg/cm²

Arena 1102,5 kg

Agua 188,1 l

Cemento 495 kg

Tiempo espuma 3,6 s / tanda de 80 litros

Diseño 4 : Resistencia 210 kg/cm²

Arena 1165,88 kg

Agua 190 l

Cemento 500 kg

Tiempo espuma 3,3 s / tanda de 80 litros

Luego, se preparaban las probetas para los ensayos y después de 24 horas se procedía a desmoldar los testigos y a sumergirlos en la poza de curado en donde permanecerían por 28 días para luego ser ensayados. En la siguiente fotografía se aprecian las muestras que se sacaban y las probetas sumergidas dentro de la poza de curado.²⁴



²⁴ Fuente: DUERTO, Antonio Ruis, 1993. El hormigón celular curado en autoclave, España : 152 - 155



Arriba: Probetas dentro de la poza de curado

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Localización de planta de bloques de concreto celular

La planta de prefabricados en el sistema de concreto celular no difiere mucho en la de una planta de prefabricados de concreto compactado, simplemente es de saber manejar ciertos factores como la calidad de los agregados y la buena utilización de la maquinaria para que todo salga perfecto, en este punto comentaremos experiencias propias sobre nuestra planta de prefabricados en concreto celular, como cabe anotar hay poca o nula información sobre como adecuar un terreno

para la instalación de la planta de concreto celular, por lo tanto los comentarios que se mencionen no son ciento por ciento efectivos, esto debido a que la región difiere en cuanto a clima, mano de obra, tipos de agregados y muchos otros factores.

Localización

Es conveniente que la planta sea ubicada cerca a una vía de acceso principal y retirada unos treinta minutos de la ciudad, ya que se debe tener en cuenta que los fletes por transporte a la ciudad no alcancen a marcar tarifa de una hora, a demás proyectando que el crecimiento de la ciudad demore un poco y que la planta sea construida en una zona rural y no en una zona urbana, puesto que algunas normas sanitarias así lo exigen.

Se debe observar muy cuidadosamente el sitio en el que se van a tomar los agregados base, las minas de los agregados (arena, grava), no deben estar situados a una distancia muy grande, porque habría costo en el flete de

agregados y esto incidiría en el costo final del concreto celular; a medida de ejemplo podemos citar: "La mina del agregado, debe ser lo suficientemente cerca para abastecer a la planta, además, como se requieren agregados triturados de tamaño máximo de 3/8" de pulgada, se tiene que observar en donde estará situada la trituradora, es decir, ó se compra el material ya triturado de cantera de caliza, ó se adquiere el equipo de trituración y se instala en la planta, cualquiera que fuera la decisión se debe pensar en lo siguiente: si se compra el material ya triturado, es necesario clasificarlo, ya que, en algunos casos se utilizará grava de menor pulgada, también se debe pensar que el distribuidor debe ser confiable, de lo contrario la planta dependería de una tercera persona, si se compra la trituradora se puede instalar en planta y simplemente lo abastecerán del material tal como sale de cantera o mina y se pueden tener varios proveedores para no depender de uno solo, en conclusión recomendamos poseer en la planta una trituradora de grava, para poder tener el material de

calidad necesaria para que el sistema funcione correctamente, claro que, si poseen un proveedor lo bastante confiable, cercano y con trituradora, se ahorrarían el costo de la trituradora y mano de obra para manipularla.

Otros factores que se deben tener en cuenta son el clima (más temperatura más rápido es el fraguado) a demás deben poseer corriente trifásica para el funcionamiento de la maquinaria, suficiente abastecimiento de agua limpia para las mezclas y para la limpieza de los equipos, si el clima es menor de 18°C se recomienda tener instalaciones de gas para fabricar hornos de rápido fraguado.

Construcciones y adecuaciones

Al tener ya definida la localización se ubica un lote dependiendo del tamaño deseado de la planta:

- 800 a 1000 m² planta concreto celular pequeña
- 1000 a 5000 m² planta concreto celular mediana
- 5000 m² o más planta concreto celular grande.

Para seleccionar el tipo de planta se debe medir los rendimientos esperados, teniendo en cuenta la cantidad de formaletas y la mano de obra disponible (TABLA 6.):

Selección de planta según rendimiento

TABLA 6

TIPO DE PLANTA	RENDIMIENTO (MENSUAL)		
	BLOQUES	MUROS	BALDOSAS
Pequeña	3000	110	4500
Mediana	5000	250	7500
Grande	10000 o más	380 o más	8500 o más

Fuente: Página Web: [http://www.concretoscelulares.com/planta de fabricacion.htm](http://www.concretoscelulares.com/planta_de_fabricacion.htm)

Una vez seleccionada la planta, dependiendo del tamaño del lote, procedemos hacer las adecuaciones necesarias para tal fin. Las estructuras más importantes a construir son:

- Oficinas.
- Techado para fundición (en el cual se realiza el proceso de colado).
- Techado para alojar el material en proceso de fraguado.

- Techado para el almacenamiento del material ya fraguado, es mejor no realizar este proceso a la intemperie.

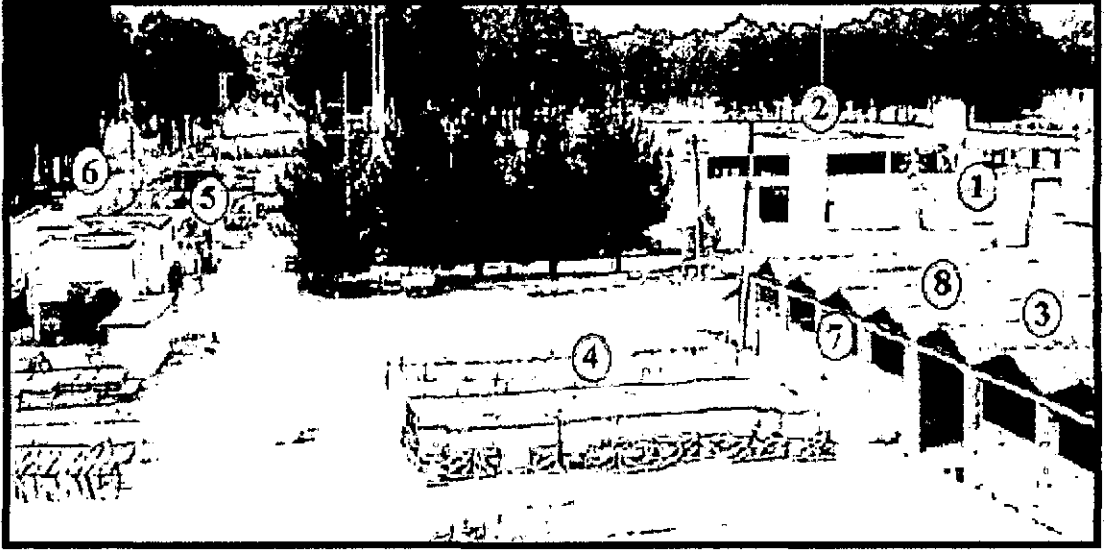
Todas las estructuras anteriores deben estar dotadas de buena luz, acometidas hidráulicas y una excelente ventilación. Las estructuras no deben ser totalmente cerradas, es necesario dejar un espacio lo suficientemente amplio entre el techo y el muro divisorio, los materiales base deben quedar lo más cerca posible a la maquinaria de concreto celular.

Los techados en dimensiones y alturas dependen de los materiales con los cuales se va a fabricar, (FIG. 8.) por ejemplo en la fabricación de baldosas se requiere un área plana lo suficientemente grande así como para los muros, para la fabricación de bloques incide también la altura del techado.

Es necesario la adecuación de un laboratorio en la planta para la toma de muestras y así poder realizar el debido control de calidad; el laboratorio tiene las mismas características y pruebas del concreto

convencional; tenga en cuenta que la manera más fácil de trabajar el concreto celular es someterlo dentro del molde sin vibración, ni compresión, ni adición de agua durante su fraguado simplemente fundir y desmoldar.

Un punto importante es la transferencia de tecnología a la mano de obra que va a manipular los equipos, el proceso de fundición, desmolde y almacenamiento, para lo cual se debe trabajar con personas idóneas en concreto o que tengan alguna experiencia en la manipulación de estos materiales; se deben elaborar manuales instructivos y cartillas especiales de bolsillo para un fácil acceso de la información para las personas que laboran en la planta. Es importante en la planta de prefabricados celulares el control de la dosificación de los materiales.



Fuente: Página Web: <http://www.concretoscelulares.com/antecedentes.htm>

FIG. 8. Fotografía de planta de prefabricados.

1. Dosificación de materiales (arena, cemento, agua, grava y fibras de polipropileno)
2. Techado para fundición de elementos.
3. Techado de almacenamiento de material en proceso de fraguado (materiales que ya han sido desmoldados)
4. Colocación de material terminado y listo para entrega.
5. Oficinas, camerinos, cafeterías, baños etc.
6. Vía principal en zona rural.

7. Altura libre entre tejado y muro divisorio, para evitar acumulación de polvillo.

8. Tejas de asbesto cemento no térmicas para acelerar el proceso de fraguado.

Ubicación:

La planta de prefabricados cuyas instalaciones apoyaron en la elaboración de la presente tesis se encuentra en el Parque Industrial Mz. J Lte. 28 en la Ciudad de Tacna - Perú.



Foto 26 = Planta de fabricación de la empresa Concretos Celulares del Sur Ltda.

3.2.4. Estudio de agregados a utilizar

Los agregados que se emplean en la producción de concreto celular son de la localidad.

Uno de los materiales que constituyen los bloques de concreto celular son los agregados cuya calidad es de mucha importancia y debe ser probada a través de distintos ensayos realizados normalizados.

Las especificaciones para la aceptación de la calidad de los agregados se basa principalmente en criterios técnicos y en consideraciones económicas, sin embargo el criterio técnico no es absoluto, por consiguientes pueden ser considerados como agregados aceptables aquellos que no obstante estar fuera de la limitaciones impuestas por una especificación se comportan bien en la práctica e inversamente en algunos casos no todos los agregados que si cumplen con una especificación pueden ser aceptables para ciertos usos.

Norma INDECOPI (ITINTEC) 400. 010

La toma de muestras de los agregados constituye una operación fundamental en el proceso de control de calidad de la producción de concreto. El muestreo puede producirse en el yacimiento, en la planta de beneficio o al pie de la obra, según su razón de ser.

Cuando se requiere conocer la calidad de un producto que se ofrece en el mercado, se procede a la toma de muestras en la planta de producción. Se recomienda extraer las muestras de manera intermitente mientras se carga el material a los vehículos. De no ser posible, se puede obtener muestras separadas de los silos, tomándoselas de la parte superior y de la boca de descarga.

ENSAYOS DE LABORATORIO PARA AGREGADOS

Los métodos de ensayo quedan determinados con las siguientes normas:

- INDECOPI 400. 012; Agregados, análisis granulométrico.
- INDECOPI 400. 017 77; Método de ensayo para determinar el peso unitario de los agregados.
- INDECOPI 400. 021 79; Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso
- INDECOPI 400. 022 79; Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino.

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

Las propiedades físicas de la cantera ARUNTA del departamento de Tacna, para el uso del agregado en la fabricación de bloques de concreto celular.

Los ensayos de laboratorio a los agregados se realizaron en la empresa SUSERING S.A.C. contando con una instalación provisional de materiales de laboratorio a cargo del Ing. Javier Sanabria quien

solicitó dichos materiales para la realización de dichos ensayos; estos se realizaron bajo la supervisión del Ing. Franklin Ramos Vargas - Gerente General de SUSERING S.A.C.- Supervisión Servicios de Ingeniería S.A.C., también se realizó los ensayos de análisis granulométrico por tamizado y ensayo de compactación en el laboratorio de mecánica de suelos , concretos y pavimentos de la Universidad Privada de Tacna, con el propósito de comparar los resultados; yo participe en estos ensayos, previa coordinación con el personal encargado, y así tomar los resultados para su análisis en gabinete.

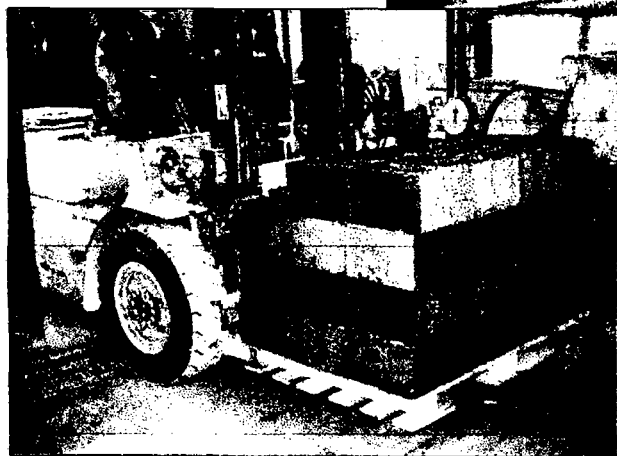
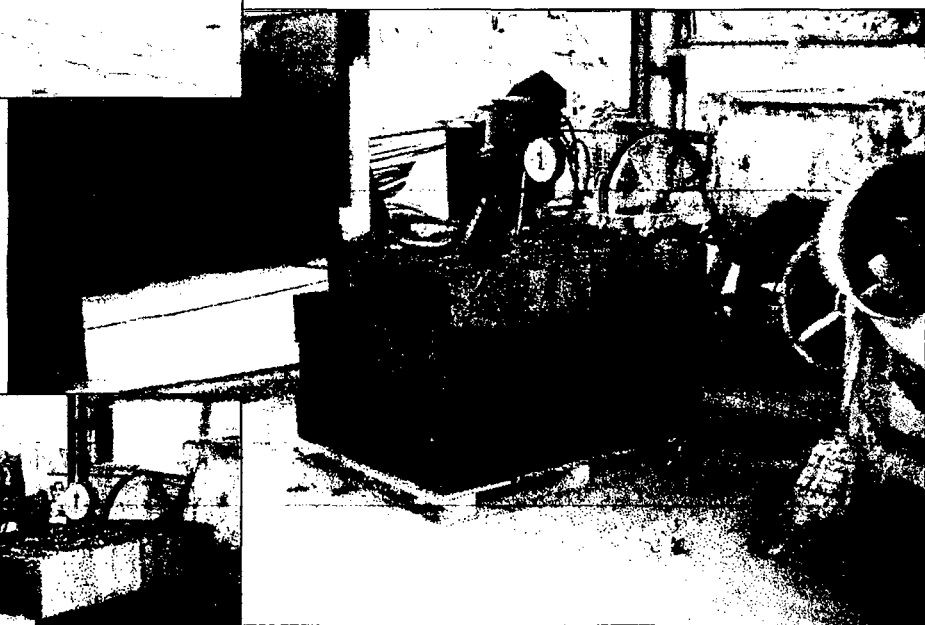
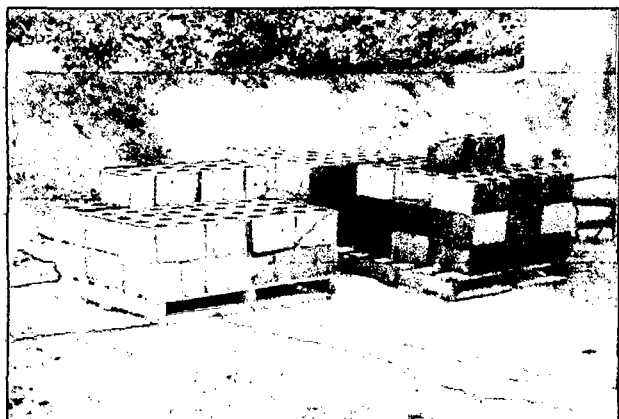


Foto 27 = Almacenamiento y transporte de unidades de concreto celular en planta

3.2.4.1 Criterios para determinar la composición de agregados de la mezcla.-

En el diseño de mezclas para la fabricación de bloques de concreto como unidades de albañilería, se tiene que tomar en cuenta que no se pueden usar directamente los métodos ni aplicar las tablas utilizadas para concretos normales de obra; ya que el concreto que se emplea para la fabricación de bloques es generalmente seco, de bajo o ningún asentamiento y se utiliza agregados menores de 3/8". El método propuesto por el ACI para diseñar dosificaciones de mezclas de concreto resistentes y trabajables, fija, mediante tablas, los parámetros de w/c (relación en peso del agua y del cemento), según los requerimientos de resistencia y las cantidades de agua y agregado grueso, según los requerimientos de fluidez y trabajabilidad. Asimismo hay que recopilar información sobre mezclados empleados y las proporciones basadas en la experiencia.

Así se tiene información de experiencias que demuestran que las relaciones agua/cemento de 0,40 a 0,50 (por peso) en un rango de gradaciones de agregados normalizados menores de 1" que componen su mezcla han sido las que generan mejores resistencias en concretos secos con desmoldeo inmediato, con estas relaciones se obtienen de 17 a 20 litros de agua por bolsa de cemento.

Igualmente se tiene recomendaciones de fabricantes de bloques de concreto celular que indican un contenido mínimo de cemento en un 10 % por unidad de volumen y que relacionan las proporciones de la mezcla en función de sus módulos de fineza en un rango de dosificaciones de 1:5 y 1:6.

Sin embargo se debe entender estas cantidades solo como guías, ya que de los agregados disponibles, la duración del vibrado, la cantidad de material que se coloca al molde, y el periodo de curado que se emplee, varían en cada lugar de fabricación, lo que obliga a efectuar ajustes a medida que se avanza la

producción y se establecen los procesos de control de calidad, según se requiera. Teniendo en cuenta que mezclas con exceso de humedad, generan burbujas en la cara superior de las unidades y al sacarlos del molde, las caras laterales se curvan; pero mezclas demasiado secas tienen muy poca cohesión, y los bloques al salir de los moldes, se pueden fisurar o desbordar fácilmente, pueden quedar huecos en la cara superior o dejar parte de la mezcla pegada al fondo de los mismos.

Por lo tanto para el caso particular de la fabricación de unidades de concreto celular de nuestra investigación, las proporciones de la mezcla se seleccionarán con el método descrito en el capítulo 2 sub capítulo 2.6 ítem b, de tal manera que se obtengan las condiciones de manejabilidad, resistencia y durabilidad necesarias que contemplan las propiedades del concreto celular.

3.2.5. Dosificación de la muestra

3.2.5.1 Criterios para determinar la medida de dosificación.-

Existen diversas dosificaciones usadas para la fabricación de bloques de concreto las cuales se presentan como alternativas de estudios efectuados o recomendaciones de fabricantes en la materia.

Tratándose de un concepto "nuevo" de aplicaciones y mezclas de concretos no tradicionales; deberá considerarse que en la producción de un m³ deberá tenerse en cuenta el importantísimo factor de densidad por kg/m³; de masa al final de la mezcla. Las miles de burbujas incluidas, no solamente expanden la mezcla si no que también cambia las densidades radicalmente. La aplicación de las diferentes densidades del **concreto celular**; es un espacio reservado a la ingeniería, la imaginación; y; las pruebas en campo.

Además se tiene opiniones sobre la medida de los componentes que podría realizarse por volumen, y peso. Si se midieran por volumen los materiales, se cometen alteraciones en la dosificación. Lo recomendable es dosificar solo por peso, pero si no se dispone de equipo para pesar, es aconsejable que la proporción de cemento se establezca por bolsas y no por volumen.

Con el fin de que la presente investigación mejore la fabricación manual de bloques en los talleres de fabricación de la zona en estudio, es que se realizan una serie de ensayos en el campo, tanteando dosificaciones compatibles con la realidad, obtenidas en peso, que usualmente se ponen en práctica; la medida del cemento se puede incorporar en función de bolsas de cemento, para los agregados se puede usar baldes de 30kg o los que se cuente en obra según la cantidad en peso para el diseño de mezcla respectivo con el fin de obtener la densidad deseada.

3.2.5.2 Descripción de dosificación de mezcla en planta.-

Para este tipo de concreto la empresa hará sus diseños de mezcla, los que deberán estar respaldados por los ensayos efectuados en laboratorios competentes; en éstos deben indicar las proporciones, tipo de granulometría de los agregados, calidad en tipo y cantidad de cemento a usarse, así como también la relación de agua - cemento; los gastos de estos ensayos son por cuenta de la empresa. La empresa deberá trabajar sobre la base de los resultados obtenidos en el laboratorio siempre y cuando cumplan con las normas establecidas. En este caso los valores de la relación agua - cemento varían entre 0,38 y 1,25, para concretos celulares de cemento puro, los concretos con densidades menores requieren de relaciones mayores.

Se emplea en la empresa Concretos Celulares del Sur Ltda. para la elaboración de concreto celular el

reactivo J&D. (Agente espumante de alta densidad), para la fabricación de concreto celular, a base de espuma preformada.

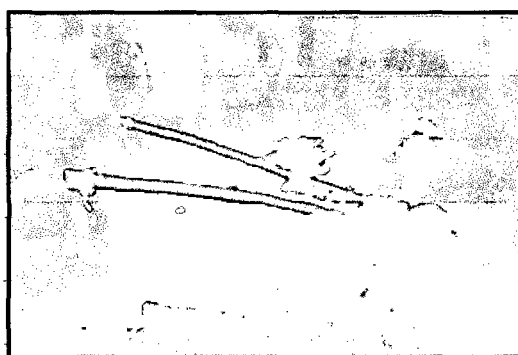


Foto 28 = Empleo de reactivo J&D - Agente espumante de alta densidad

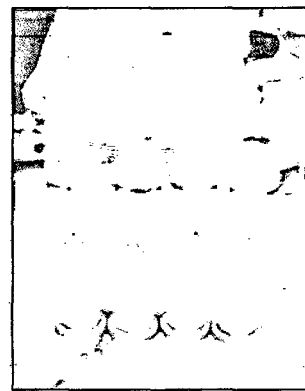


Foto 29 y 30 = Limpieza de maquinaria en planta para empezar a preparar la mezcla, al costado la presentación del producto reactivo J&D



Foto 31 y 32 = Forma en la que se incorpora el agente espumante a la mezcla, al costado la consistencia a la que llega el agente espumante

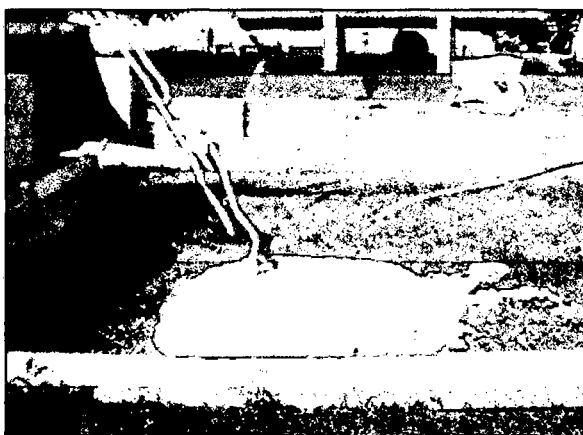


Foto 33 = Presentación del reactivo J&D, en uso a gran escala

3.2.5.2.a ¿Que es el agente espumante de alta densidad?:

El agente espumante es un líquido viscoso basando en

alcoholes naturales que combinado con un agente estabilizante produce una espuma densa que resiste las fuerzas múltiples que ocurren durante la mezcla y permite mantener la estructura espumosa de micro burbujas, las cuales, se incorporan a la matriz cementante, estas burbujas forman espacios de aire atrapado que permanecen durante varias horas hasta lograr el total fraguado y endurecido del concreto, logrando así un concreto con características inmejorables .

La espuma no presenta reacción química con el concreto y solamente sirve como material de envoltura para el aire atrapado.

USOS:

Este aditivo se utiliza como material de envoltura para el aire atrapado.

BENEFICIOS:

- Aligera el concreto, produciendo una gran manejabilidad y fácil colocación del producto en obra.

- Seguridad, confiabilidad y economía.

CARACTERÍSTICAS:

Es un líquido de color blanco transparente y la espuma que se obtiene es de color blanco, con una densidad de 60 y 90 gramos /litro, con un peso específico de 1,04 kg/l., a 20 °C de temperatura.

El agente espumante no es venenoso, no es inflamable, no es tóxico, no corroe, no explota, no ataca los componentes del concreto y es biodegradable. Se mantiene en su envase original durante dos años.

MODO DE EMPLEO:

El agente espumante se incorpora a la mezcla de concreto con un máximo de 0,5 ml, por cada kilogramo de cemento. Se diluye 1 kg, de agente espumante en 80 litros de agua. La dilución a incorporar en la mezcla varía en función de la densidad a obtener. Según la densidad en bruto deseada se efectúa la mezcla previa. Una vez esta homogénea se añade el agente espumante mediante un generador de espuma

tipo GET 1, 2, 3, 4 ó 5, este trabaja en forma continua.

El generador cuenta con un temporizador digital para dosificar la cantidad de espuma requerida.

Durante la mezcla previa la relación agua/cemento no deberá exceder considerablemente de 0,40, dado que tras añadir la espuma se alcanza una relación agua cemento de aproximadamente 0,50 a 0,60 dependiendo del producto que se prepare.

PRESENTACION:

Envase plástico de alto impacto, canecas de 20 kilos y 200 kilos máximos.

3.2.5.2. b. Certificado de calidad

Se toma como referencia el certificado de origen del reactivo J&D a nivel de la república de Colombia, según el Tratado Libre de Comercio celebrado entre la república de Colombia, los Estados Unidos Mexicanos y la república de Venezuela, en el año 2004 para el uso del agente espumante de alta densidad - reactivo J&D para la fabricación de

concreto celular en la empresa Concretos Celulares Ltda.

Ver CERTIFICADO DE ORIGEN DEL REACTIVO J&D, pag.229.

Dosificación de concretos celulares

El método de preparación empleado fue el descrito en el capítulo 2 sub capítulo 2.6 ítem b, que es el método de mezcla con espuma pre formada.

En este método la espuma es producida separadamente y posteriormente agregada a la mezcla. Los pasos seguidos en la producción de concreto mediante este método son:

- o Mezclar el cemento y la arena por 1 minuto
- o Mezclar el cemento, el agua, y el acelerador por 2 minutos a 30 r.p.m.
- o Colocar la espuma y mezclar por 1 minuto a 30 r.p.m.
- o Mezclar a 90rpm durante 1 minuto

Se mantiene una relación agua - cemento de 0,38 y 0,39; este método de producción de concreto celular es más eficiente en comparación con el de la mezcla conjunta; indicado en las págs. 786,787 en el libro de Rudolph C. Valore.

El concreto celular a base de espuma preformada se puede desmoldar según la siguiente tabla 7:

Tabla 7

DENSIDADES	TIEMPO DESMOLDAR
350 @600 kg/m ³	de 15 a 20 hrs.
800 @1000 kg/m ³	de 14 a 16 hrs.
1100 @1200 kg/m ³	de 12 a 14 hrs.
1400 @1600 kg/m ³	de 8 a 12 hrs.
1800 kg/m ³	en 6 hrs.

Esto en condiciones normales de curado, temperatura promedio anual: 18,6°C y una altitud de 562 m.s.n.m. En climas más fríos requerirán de mayor tiempo de curado, y en climas calientes de menor tiempo de curado.

Básicamente el curado debe conservar una humedad del elemento del 35% por peso, debe almacenarse en áreas con buena ventilación; no debe dejarse secar al sol, se deben curar con techo, se deben colocar plásticos cubriendo la totalidad del elemento con el fin de evitar deshidrataciones, el almacenamiento se puede hacer en patio, pero siempre el producto debe conservar por lo menos el 20% de humedad retenida al cabo de 28 días, si el elemento es colocado antes de este tiempo debe mantenerse húmedo; (casos extremos).

Información básica de costos para concretos celulares.-

Ponemos algunas dosificaciones tipo de concretos celulares. Las dosificaciones pueden variar (notablemente) según el tipo de agregados que se encuentren en la zona, pero en un caso típico y sin agregar cales, yesos u otros componentes cementantes podríamos tener:

Dosificaciones básicas iniciales para producir un metro cubico de concreto celular.-

<u>Para densidad 1600 kg/m3:</u>		<u>Para densidad 1400 kg/m3:</u>	
Cemento:	300 kg.	Cemento:	250 kg.
Arena:	1200 kg.	Arena:	1050 kg.
Agua:	120 kg.	Agua:	110 kg.
Espuma:	450 l.	Espuma:	520 l.
Fibra polipropileno:	1 kg.	Fibra polipropileno:	1 kg.

<u>Para densidad 1200 kg/m3:</u>		<u>Para densidad 1000 kg/m3:</u>	
Cemento:	240 kg.	Cemento:	225 kg.
Arena:	870 kg.	Arena:	680 kg.
Agua:	100 kg.	Agua:	95 kg.
Espuma:	620 l.	Espuma:	685 l.
Fibra polipropileno:	1 kg.	Fibra polipropileno:	1 kg.

<u>Para densidad 700 kg/m3:</u>		<u>Para densidad 500 kg/m3:</u>	
Cemento:	210 kg.	Cemento:	200 kg.
Arena:	400 kg.	Arena:	215 kg.
Agua:	90 kg.	Agua:	85 kg.

Espuma:	900 l.	Espuma:	1250 l.
Fibra polipropileno:	1 kg.	Fibra polipropileno:	1 kg.

El aditivo espumante rinde/proporciona un promedio de 560 litros de espuma por litro de aditivo.

En algunos casos cuando se localiza un buen cementante o una arena rica en sílice o de características particulares podemos reducir el consumo de cemento hasta un 30%, controlando la resistencia de los productos. Lo anterior requiere obviamente pruebas en sitio hasta obtener lo requerido.

Para fabricar 1 m³ de concreto convencional requerimos:

Para densidad 2400 kg/m³:

- Cemento: 450 kg.
- Arena : 1500 kg.

- Agua: 180 kg.
- Fibra de polipropileno 1 kg.

Como se tienen grandes posibilidades en las densidades, es necesario, contar con unas dosificaciones muy variadas, tanto para lograr la densidad, como para lograr la resistencia final. Una dosificación típica de un mortero de 1200 kg/m³, llega a tener:

- 300 kg de cemento.
- 840 kg de arena.
- 140 l de agua.
- 460 l de espuma. (preparado con 0,7 l de aditivo en 35 l de agua).

Entre menos densidad deseemos mayor va hacer la concentración de aditivo por m³ de producto a fabricar.

Referente ha los **agregados** a utilizar en la producción de concreto celular, En muchas regiones han comenzado a escasear en estos últimos años los agregados tradicionales del concreto común: la arena y la grava. El concreto celular puede suplir las deficiencias de dichos materiales en tales áreas. Básicamente, hay una forma para hacer el concreto de menor peso, por la inclusión de aire en su estructura. Esto, sin embargo puede lograrse de diferentes maneras:

- Omitiendo los finos y los granos de diámetros pequeños del agregado pétreo, con lo cual se logra el llamado concreto sin finos.
- Sustituyendo los agregados de grava o piedra triturada por agregados con estructura celular o porosa, los cuales incluyen aire en la mezcla.

- Haciendo que se produzcan burbujas de aire en una lechada de cemento, de manera que al fraguar ésta quede con una estructura celular llamada concreto celular o aireado.

También, pueden combinarse los tres tipos de concreto para formar otros más comunes aún; por ejemplo, se puede tener un concreto sin finos cuyo agregado sea de peso ligero, al igual que un concreto aireado que contenga agregado celular.

El uso de **fibras de polipropileno** en la preparación de concreto celular no ha sido experimentalmente desarrollado en la presente investigación pero se busco la bibliografía correspondiente, como se detalla a continuación

Las fibras de polipropileno son ligeras, fuertes, resistentes a los químicos, no se oxidan ni absorben agua; su fabricación en forma de arreglos fibrilados y cortados en longitudes predeterminadas permiten

que durante el proceso de mezclado las mallas se abran y distribuyan uniformemente²⁵.

USOS:

- Pisos de concreto
- Torta inferior y superior sobre placas
- Prefabricados
- Estructuras hidráulicas
- En pavimentos
- Aeropuertos
- Cubiertas de puentes y, en general, en cualquier parte donde el concreto celular tenga lugar

BENEFICIOS:

- Las fibras al ser introducidas en la mezcla no flotan ni se asientan.
- Uniformidad y reducción de la segregación en la mezcla.

²⁵ Pagina Web:
<http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/TECNOLOGIA.pdf>

- No hay absorción de agua en la fibra ya que es de polipropileno.
- Reduce los esfuerzos intrínsecos (pérdida de plasticidad, asentamiento plástico, contracciones térmicas rápidas).
- Trabajabilidad y la manejabilidad (se deben hacer las pruebas por medio del ensayo de cono invertido).
- Mejora las propiedades del concreto celular sin modificar los métodos de mezclado y colocación.
- Seguridad, confiabilidad y economía

CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS:

Geométricas

- Longitudes: $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $2 \frac{1}{2}$ pulgadas
- Relación de forma: 9 a 30 cm
- Unión: mecánica

Físico-químicas

- Gravedad específica: 0,91

- Absorción de agua a 20°C, ninguna
- Conductividad térmica y eléctrica: baja
- Resistencia a los ácidos y sales
- Resistencia a las bases, agentes oxidantes y microorganismos: buena
- Resistencia a la abrasión: buena
- Temperatura de ignición: 593°C
- Temperatura de fusión: 165°C

Mecánicas

- Módulo: 4,8 kN²⁶/mm²
- Elongación a la falla: mínimo 8%

Normas consideradas en la metodología

- Para obtener los resultados deseados deben seguirse las recomendaciones del ACI 318 "Building Code Requirements For Structural Concrete and Comentario" y del ACI 308 "Standard

²⁶ kN= kilonewton(s)

Practice and Curing Concrete" donde se recomienda un curado no menor a 7 días.

- El concreto celular cumple con las especificaciones indicadas en la norma americana ASTM C94.
- Considerar los siguientes datos técnicos:

Datos Técnicos

Descripción	Normativa Empleada	Valor
Resistencia a la compresión	ASTM C39	De 100 a 180 kg/cm ² (1 400 a 2 500 psi) a 28 días.
Asentamiento	ASTM C94	De 5,0 a 25,0 cm (2" a 10"), incluyendo sus tolerancias.
Contenido de aire incluido	ASTM C231	Menor del 25%.
Peso volumétrico en estado Fresco	ASTM C28	Mayor de 1 000 y menor de 1 900 kg/cm ² .
Tamaño máximo nominal del agregado	ASTM C33	De 9,5 mm (3/8") para concreto de descarga con bomba.

Características de bombeo

Tubería horizontal hasta 80 metros o hasta 15 metros de elevación vertical, con revenimiento mayor de 12.5 cm (5'').

Tiempo de descimbrado

De 4 a 12 horas, según asentamiento solicitado

Concretos disponibles	Valor de revenimiento (ASTM C94)	Tipo de Colocación
Con asentamiento bajo	7,5 +/- 2,5 cm (3,0 +/- 1 plg)	Directo
Con asentamiento alto	20,0 +/- 5,0 cm (8,0 +/- 2 plg)	Bombeado o directo

- El reactivo J&D cumple con la norma ASTM C796-04 Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam (Agente espumante de alta densidad), para la fabricación de concreto celular, a base de espuma preformada.

CERTIFICADO DE ORIGEN DEL REACTIVO J&D:

**TRATADO DE LIBRE COMERCIO CELEBRADO ENTRE
LA REPUBLICA DE COLOMBIA, LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
Y LA REPUBLICA DE VENEZUELA**

CERTIFICADO DE ORIGEN

REPUBLICA DE COLOMBIA
Ministerio de Comercio, Industria y Turismo

FORMA No. 007950

1. NOMBRE Y DIRECCION DEL EXPORTADOR COMERCIOS CELULARES LTDA EDIFICIO CAMARA Y COMERCIO DE SUDAMAZO BOGOTÁ CO. 10 12-14 OF. 402 TEL. 415241 BOGOTÁ COLOMBIA FAX: 415241 BOGOTÁ COLOMBIA		2. NOMBRE Y DIRECCION DEL PRODUCTOR COMERCIOS CELULARES LTDA EDIFICIO CAMARA Y COMERCIO DE SUDAMAZO CR 60 12-14 OF. 402 TEL. 415241 BOGOTÁ COLOMBIA FAX: 415241 BOGOTÁ COLOMBIA		3. NOMBRE Y DIRECCION DEL IMPORTADOR MONTEREY S.A. DE CV CALLEJÓN DEL MÁRMOL # 201 ZONA INDUSTRIAL SANTA CATARINA II CP 66364 MONTEREY MEXICO TEL. 34553046 FAX: 34553046	
4. ATRIBUCIÓN ACORD DE RENTAS	5. CLASIFICACION ARANCELARIA	6. DESCRIPCION DEL PRODUCTO	7. COMISOS PARA TRÁFICO DIFERENCIAL	8. VALOR DE CONTENIDO CONTENCIONAL	9. OTRAS DETALLAR
000 2010 02-14	34.02.00.00.00	100 NGS AGENTE ESPERANTE DE ALTA IGREDAD PARA LA FABRICACION DE CLASIFICACIONES Y CAMERAS.	ANT. 0-02 LET. B	NO	NO

10. DECLARACIONES DEL EXPORTADOR

La información contenida en este documento es verdadera y exacta, y me hago responsable de comprobar lo que declaro. Estoy consciente que seré responsable por cualquier dolo, fraude o error cometido con el presente documento.

Me comprometo a conservar y presentar, en caso de ser requerido, los documentos necesarios que respalden el contenido del presente certificado, así como a facilitar por escrito a todas las personas a quienes haya otorgado el presente certificado de cualquier cantidad que pudiese afectar la exactitud o validez del mismo.

Los bienes son originarios y cumplen con los requisitos que los son aptos para cumplir al Tratado de Libre Comercio celebrado entre la República de Colombia, los Estados Unidos Mexicanos y la República de Venezuela, y no han sido objeto de procesamiento posterior a su origen en esta operación fuera de los territorios de los Partes salvo en los casos permitidos en el artículo 11 del Tratado.

Este certificado se compone de 2 (dos) copias que serán validadas en el país.

Firma: 	EMPRESA: COMERCIOS CELULARES LTDA.
NOMBRE: CLAUDIA ROJAS	CARGO: REPRESENTANTE LEGAL
FECHA: 06/03/2004	TELEFONO: 4150519 FAX: 0042510

11. OBSERVACIONES

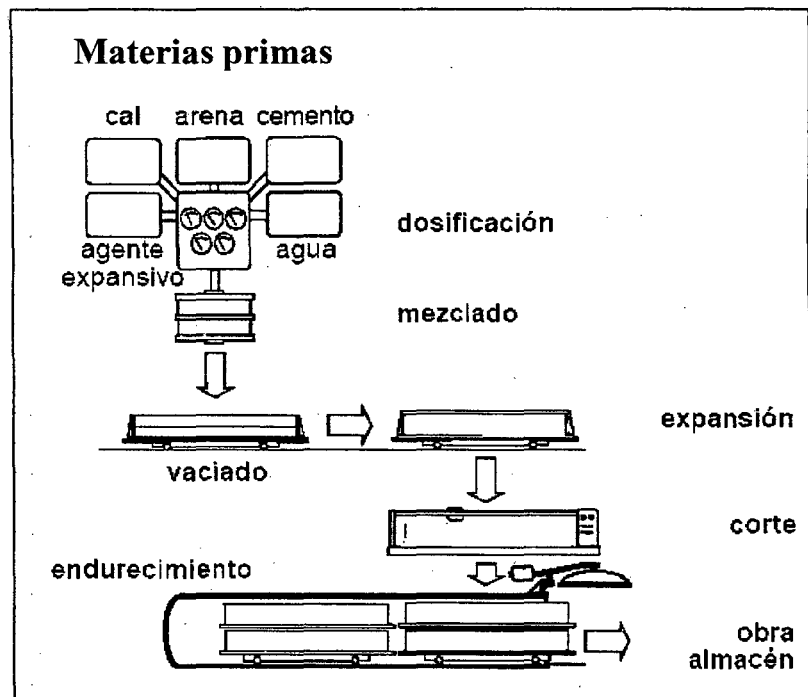
12. VALOR DEL CERTIFICADO DE ORIGEN (VALOR NOMINAL DEL PRODUCTO)
 Dólar, Euro, Libra, Nuevo Pataca, Franco Suizo

3.2.6. Proceso de producción

3.2.6.1. Descripción del proceso de producción

3.2.6.1. a. Proceso de producción - Producto no armado

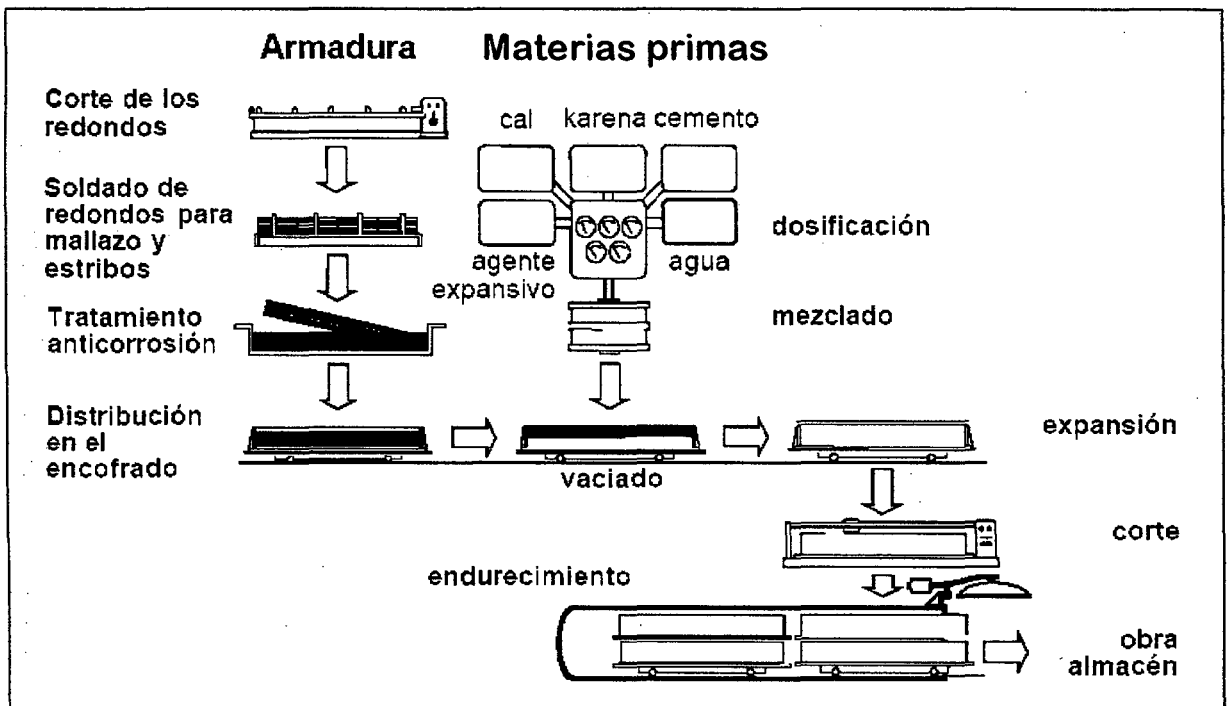
Se muestra el esquema del proceso de producción para un producto no armado, indicando las materias primas a emplear, proceso de dosificación, mezclado, vaciado, y entrega en obra.



Fuente= Elaboración propia.

3.2.6.1. b. Proceso de producción - Producto armado

Se muestra el esquema del proceso de producción para un producto armado, indicando las materias primas a emplear, proceso de dosificación, mezclado, vaciado, y entrega en obra.



Fuente= Elaboración propia.

3.2.6.2. Resumen de producción para productos de fábrica

Bovedilla y bloque DIVICEL.

Producción.-

Para disolver el reactivo se debe hacer bajo la siguiente relación: 8 litros de aditivo en 250 litros de agua, se adiciona primero el agua y posteriormente los 8 litros de agua.

Es importante recalcar que el tanque de Química Suiza, esta súper concentrado y es necesario diluirlo en agua tibia en porciones 50% aditivo 50% agua, la disolución debe ser poco a poco, no utilice el aditivo puro en el generador, ya que puede estropear la electro bomba y desestabilizar las dosificaciones.

PARA EL BLOQUE DIVICEL:

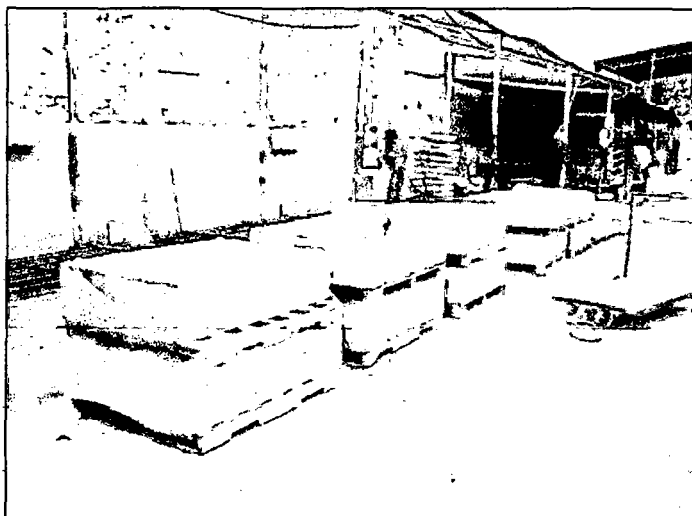


Foto 34 = Almacenamiento del producto en planta de fabricación

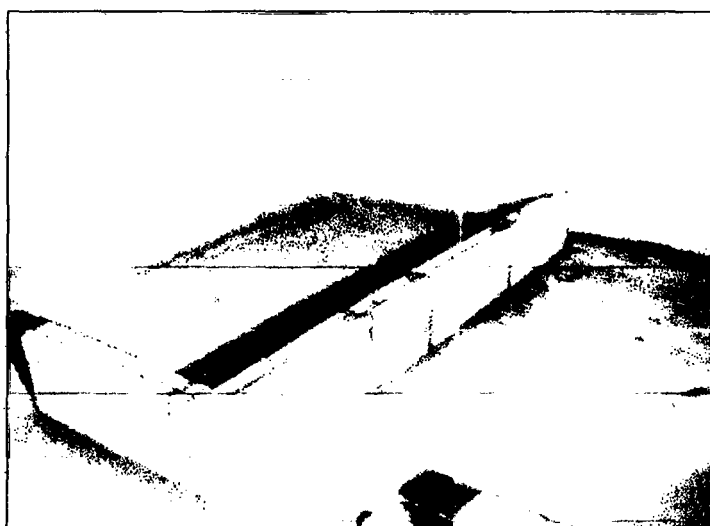


Foto 35 = Presentación y empleo del producto en obra

Procedimiento:

- Abra la llave de paso amarilla del compresor para agitar el aditivo con el agua que se encuentra en el tanque negro.
- Encender el equipo teniendo en cuenta que el voltímetro indique 220 V, si indica mas no prender el equipo y avisar al supervisor.

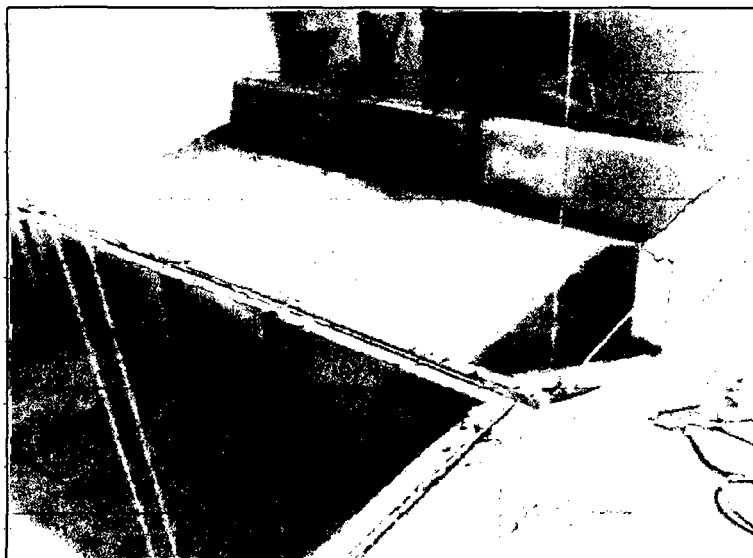


Foto 36 = Modo de puesta del producto en obra

Dosificación.-

Preparar la siguiente dosificación para bloques DIVICEL (bloque grande).

AGUA : 1 BALDE Y MEDIO DE AGUA (35 l.).
ARENA GRUESA : 2 BALDES DE ARENA. (76 kg).
GRAVILLA : 1 BALDE DE PIEDRA. (34 kg).
ARENA FINA : 1 BALDE DE ARENA FINA. (26 kg).
CEMENTO : 1 BOLSA DE CEMENTO. (42,5 kg).
TEMPORIZADOR : COLOQUELO EN 4,8 SEGUNDOS Y HAGA 3
DISPAROS.

Procedimiento.-

- Haga un disparo de espuma al suelo para que cargue el sistema con la espuma.
- Coloque la manguera de espuma apuntando hacia la mezcla y dispare la espuma, espere a que la espuma desaparezca y haga el segundo disparo, espere a que la espuma desaparezca y haga el tercer y último disparo.
- Deje que la espuma desaparezca y tome la medida de un litro en la jarra o envase plástico.

- Pese el recipiente plástico y revise que el peso deba estar entre: 1 350 y 1 250 de lo contrario avise al supervisor.
- Llene los moldes y prepare la siguiente tanda de lo contrario apague el equipo.

PARA LA BOVEDILLA:

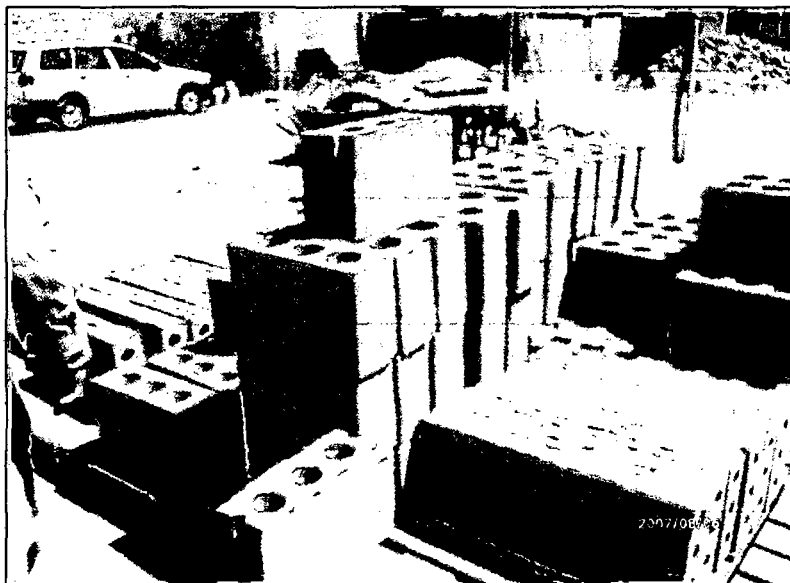


Foto 37 = Presentación y almacenamiento del producto en planta

Procedimiento:

- Abra la llave de paso amarilla del compresor para agitar el aditivo con el agua que se encuentra en el tanque negro.
- Encender el equipo teniendo en cuenta que el voltímetro indique 220 V., si indica mas no prender el equipo y avisar al supervisor.

Dosificación.-

- Preparar la siguiente dosificación para bloques BOVEDILLA (bloque pequeño).

- AGUA : 17 JARRAS DE 1,5 LITROS (25,5 l.).

ARENA FINA : 2 BALDES DE ARENA FINA. (52 kg).

CEMENTO : 1 BOLSA DE CEMENTO. (42,5 kg).

TEMPORIZADOR: COLOQUELO EN 5,8 SEGUNDOS Y HAGA 3
DISPAROS.

- Haga un disparo de espuma al suelo para que cargue el sistema con la espuma.
- Coloque la manguera de espuma apuntando hacia la mezcla y dispare la espuma, espere a que la espuma desaparezca

y haga el segundo disparo, espere a que la espuma desaparezca y haga el tercer y último disparo.

- Deje que la espuma desaparezca y tome la medida de un litro en la jarra o envase plástico.
- Pese el recipiente plástico y revise que el peso deba estar entre: 850 y 1000 de lo contrario avise al supervisor.
- Llene los moldes y prepare la siguiente tanda, de lo contrario apague el equipo.

3.2.6.3. Mantenimiento preventivo cada 30 días

Desocupar el tanque de reactivo con agua de 250 litros y llenarlo solamente con agua limpia. (Aprovechar para limpiar el tanque de almacenamiento con agua limpia desconectándolo del acople rápido).

Nota: Dejar la llave abierta del tanque una vez limpio y colocado en su posición original.

Cerrar la salida de aire del compresor: Abrir completamente la llave de presión de la motobomba.

Colocar el temporizador en 120 segundos.

Dejar fluir el agua a través del sistema revisando frecuentemente que el tanque este con agua suficiente para que la bomba pueda trabajar libremente.

Vaciar la compresora con la válvula de seguridad y posteriormente drenarlo con la válvula inferior ubicada debajo del tanque de la compresora fluirá agua (un chorro pequeño), posteriormente cerrar nuevamente la válvula.

Revisar el aceite del cabezote del compresor, ojo indicador. Si está vacío llénelo con aceite para motocicleta de 2 tiempos hasta que el ojo indicador muestre el nuevo nivel.

Una vez terminado el proceso:

- Volver la llave de presión de la motobomba a su posición original (casi cerrada).
- Abrir la llave de la compresora totalmente.
- Llenar el tanque con aditivo y agua. 3 litros en 250 de agua limpia.

- Cargar el compresor y revisar que el manómetro indique 85 libras, de lo contrario con el regulador de aire ajústelo y fijelo en esta posición.
- Colocar el temporizador en 5 segundos.
- Encender el sistema varias veces hasta que se cargue el sistema con los componentes: aire presurizado y agua con reactivo.
- Revisar la calidad de la espuma, lo más parecida a la espuma de afeitar: con cuerpo, burbujas pequeñas y estables.
- Revisar que no hayan escapes de aire.

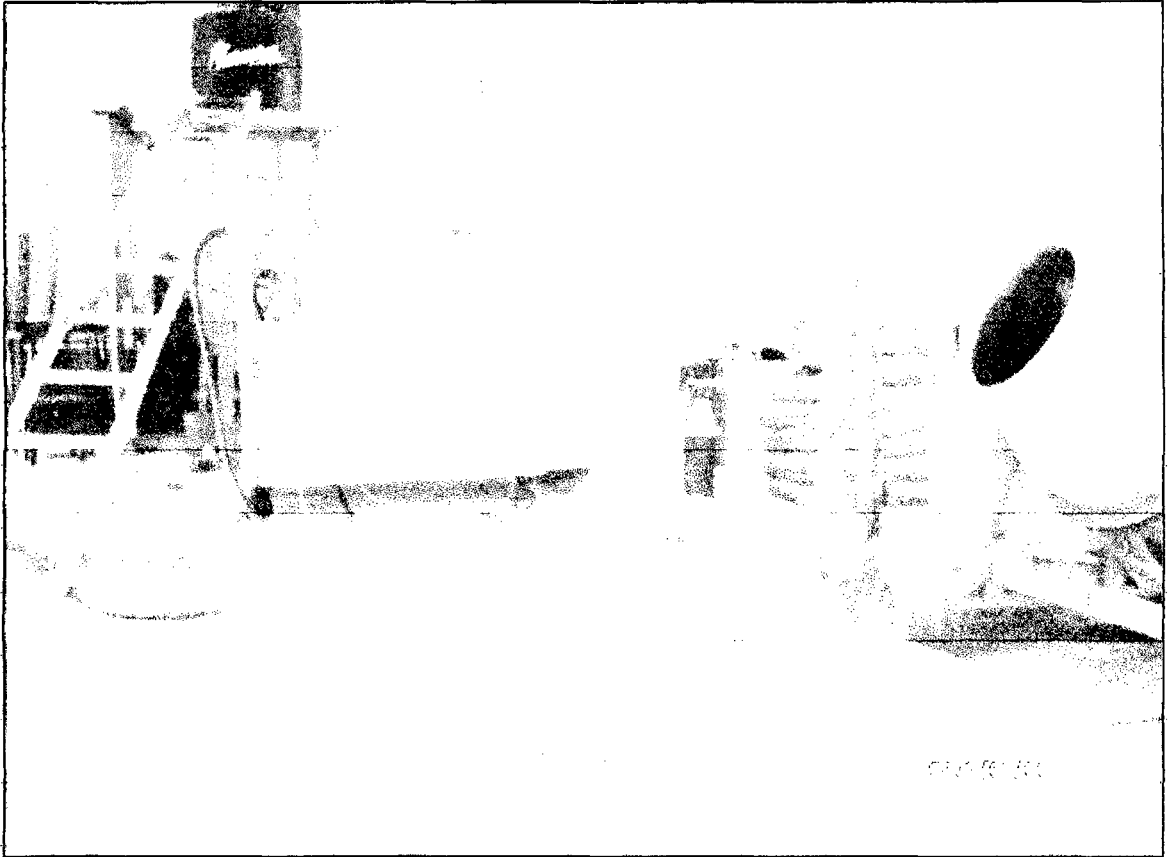


Foto 38= Presentación del equipo utilizado para la elaboración de concreto celular en la empresa Concretos Celulares del sur Ltda.

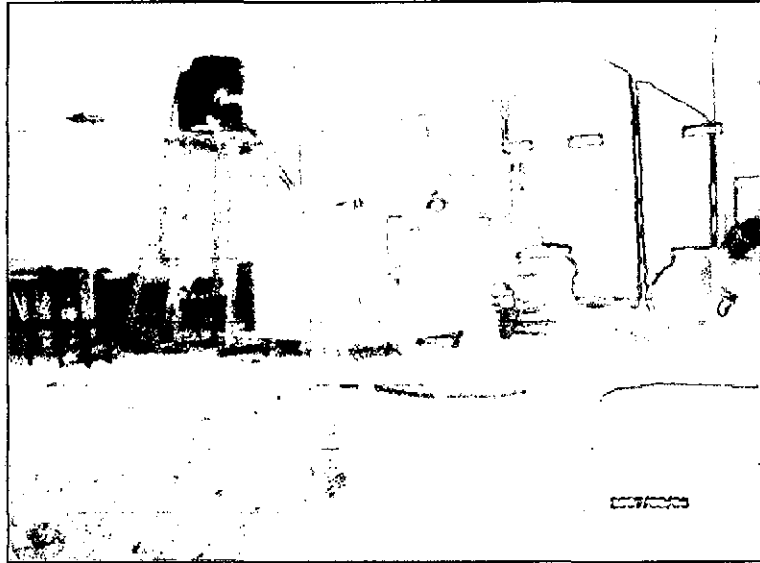


Foto 39 = Modo de empleo del equipo en la planta de fabricación

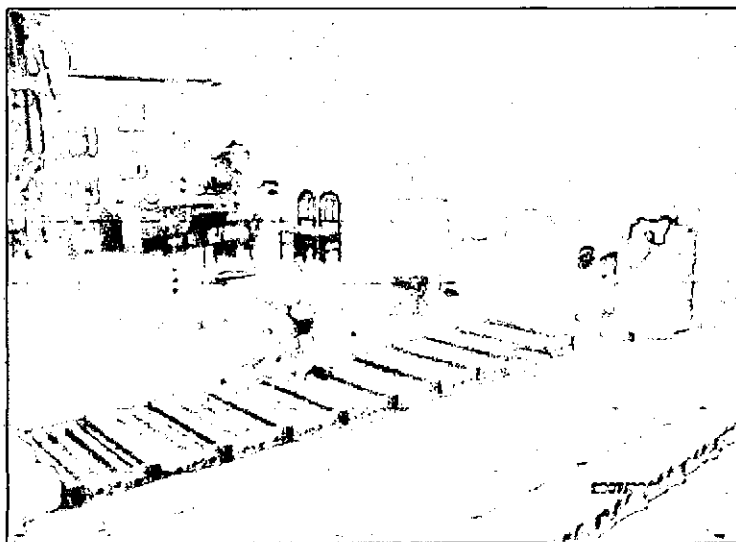


Foto 40 = Preparación de moldes para vaciado de concreto celular



Foto 41 = Preparación del producto en planta de fabricación

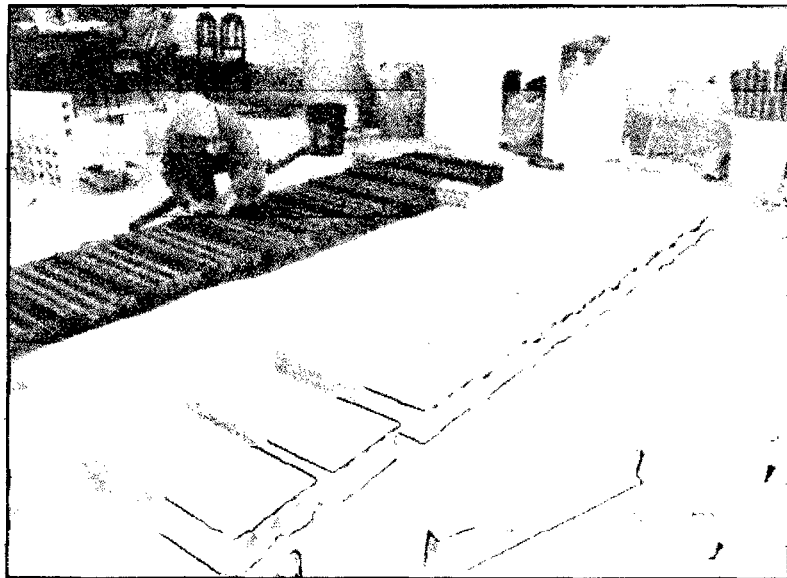


Foto 42 = Presentación del producto en la fabrica y su respectivo almacenamiento

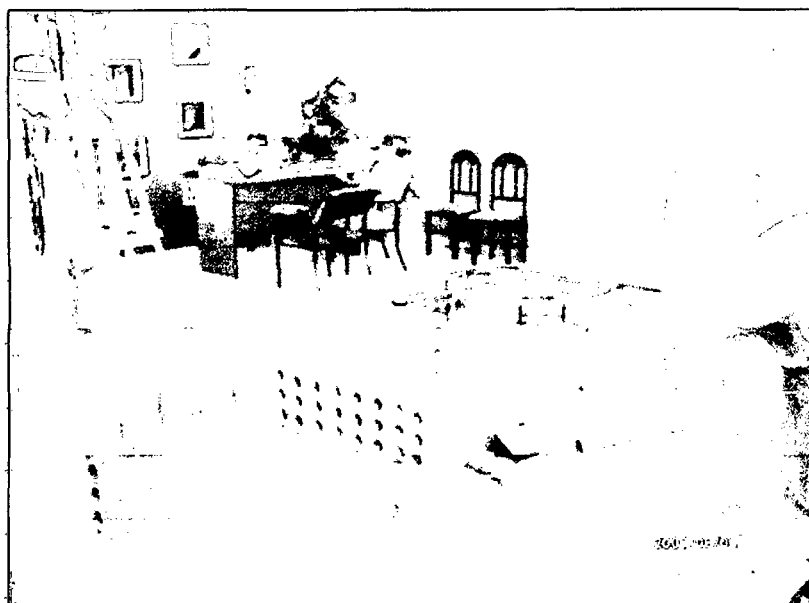
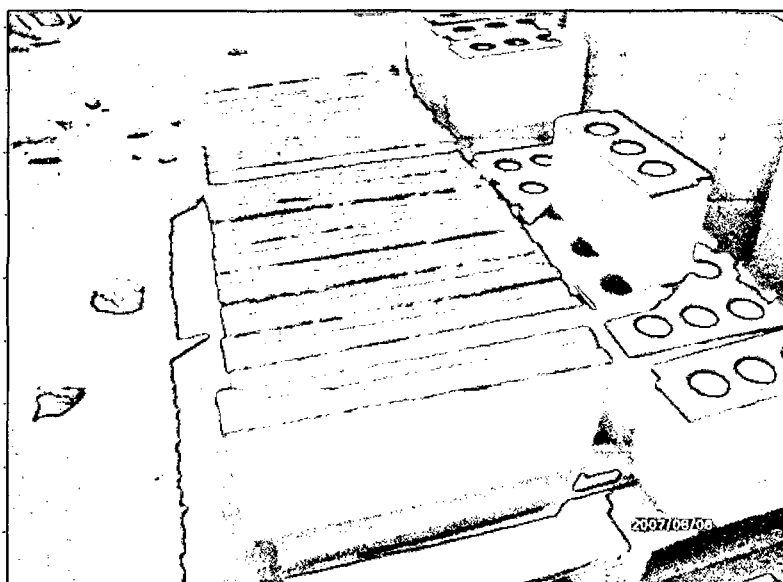


Foto 43 y 44 = Presentación del producto en planta de fabricación



3.2.7. Ensayos de laboratorio

3.2.7.1. Metodología empleada en los ensayos

- Ensayo de resistencia a compresión

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros según Normas ASTM para prácticas C 31, C 197, C 617, y C 1231 y métodos de ensayo C 42 y C 873

- Ensayo de módulo de elasticidad y módulo de Poisson

El procedimiento del ensayo se explica en la norma utilizada que en nuestro caso fue la C 469 - 94 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.

- **Ensayo de tracción por compresión diametral**

El procedimiento se describe en la norma ASTM C496-96 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

- **Ensayo de flexión**

La viga de prueba es preparada y curada según método de ensayo C 42 o práctica C 31 o C 192 de la norma ASTM. El procedimiento se describe en la norma ASTM C78-94 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete.

3.2.7.2. Ensayos realizados

3.2.7.2.1 Ensayo de compresión - ASTM C42 y C 873

Este ensayo determina la resistencia a compresión de un espécimen cilíndrico de concreto. Este ensayo tiene como límite a

concretos que posean un peso específico mayor a 800 kg/m³

Para un mismo diseño por ejemplo el de 120 kg/cm² preparábamos una tanda y la repetíamos 2 veces, en total teníamos 3 tandas de un mismo diseño. De cada tanda sacábamos 2 probetas cilíndricas para ensayarlas a compresión, al final teníamos 6 probetas de concreto, 2 de cada tanda.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros preparados y curados según prácticas C 31, C 197, C 617, y C 1231 y métodos de ensayo C 42 y C 873 de las normas ASTM. La carga es aplicada a una velocidad entre rangos establecidos hasta que la falla ocurra. La resistencia a la compresión es calculada dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen.

En la fotografía (foto 68) se muestra la probeta en la máquina de compresión.

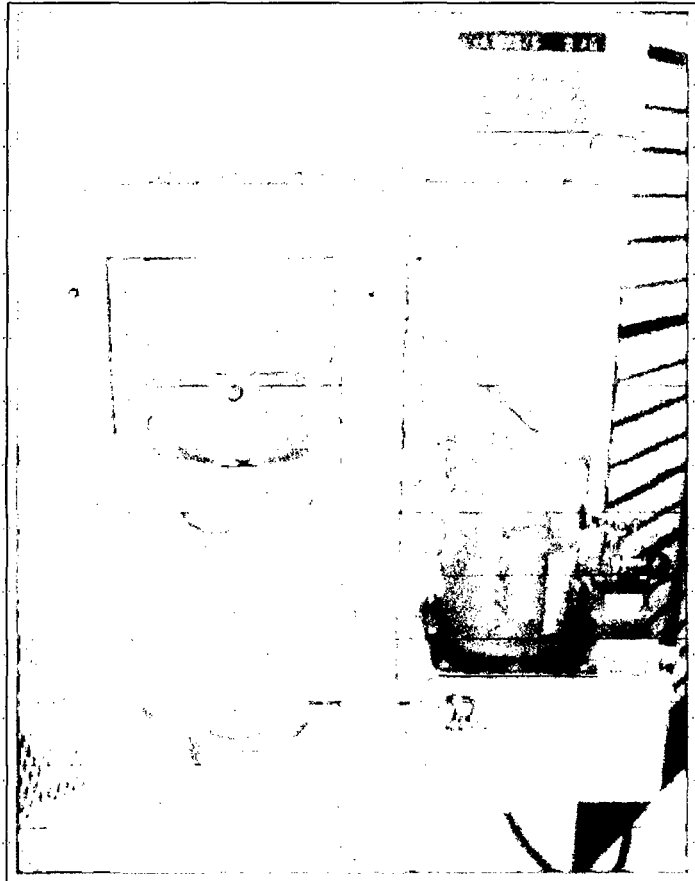


Foto 45 - Máquina de compresión, modelo FQS
Se realizó este ensayo en los cuatro diseños, 120 kg/cm², 140 kg/cm², 175 kg/cm² y 210 kg/cm². Los resultados fueron registrados, y se tomaron fotos del procedimiento así como del

tipo de falla, que en muchos casos la falla predominante era de corte debido posiblemente a la ausencia de piedra, esto se hace mención en una publicación del ACI por la Dra Elsabe Kearsley²⁷, donde menciona que el uso de fibras de polipropileno solucionaría esta limitación otorgándole al concreto la resistencia al corte de la que carece.

La norma a la que hace referencia este ensayo es la C 39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

3.2.7.2.2 Ensayo de módulo de elasticidad estático en compresión - ASTM C 469 y C-94

Este ensayo cubre la determinación del módulo de elasticidad o módulo de Young y la relación de Poisson cuando están sometidas a esfuerzos longitudinales de compresión.

²⁷ Cfr. ACI SP 172-48 The use of Foamcrete in Southern Africa E.P Kearsley y H.F Mostert

Este método otorga una relación de esfuerzo deformación y una relación de deformación lateral longitudinal del concreto endurecido.

Los valores de módulo de elasticidad usualmente serán menores a los módulos de elasticidad derivados de aplicación rápida de carga (ratios dinámicos o sísmicos por ejemplo) y serán usualmente mayores a los valores derivados de la aplicación lenta de la carga o de tiempos de carga mayores.

El procedimiento del ensayo se explica en la norma utilizada que en nuestro caso fue la C 469 - 94 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. Los resultados fueron registrados.

En la figura siguiente se muestra el aparato que se utiliza en este ensayo.

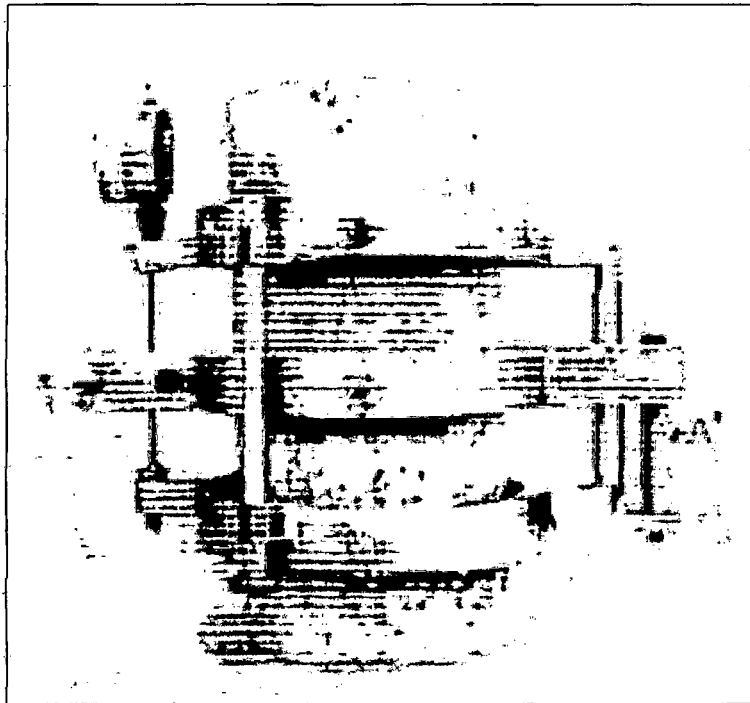


Fig. 9- Suitable Combined Compressometer -
Extensometer

Los resultados y el análisis de ellos se presentan en el capítulo 4 donde se muestra la relación entre los valores obtenidos en el laboratorio con los valores obtenidos de la fórmula del ACI.

3.2.7.2.3. Ensayo de tracción por compresión
 diametral - ASTM C496-96

Este tipo de ensayo determina la resistencia a la tracción, y es usada para evaluar la resistencia al corte del concreto. La resistencia al corte del concreto celular es menor a la del concreto convencional.

El método consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a lo largo de la longitud del espécimen cilíndrico de concreto a una velocidad de carga pre-establecido hasta que la falla ocurra. Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano de carga y esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediata alrededor de la carga. Debido a que las áreas sometidas a carga están en un estado de compresión triaxial pueden resistir esfuerzos de compresión mucho mayores que los

que se obtendrían en un ensayo de compresión uniaxial, por lo que, en el espécimen, la falla por tensión ocurre y no la de compresión.²⁸

El procedimiento se describe en la norma ASTM C496-96 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. En la figura 10 se aprecia la forma de colocar la probeta en la máquina de compresión.

²⁸ ASTM C496-96 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimen

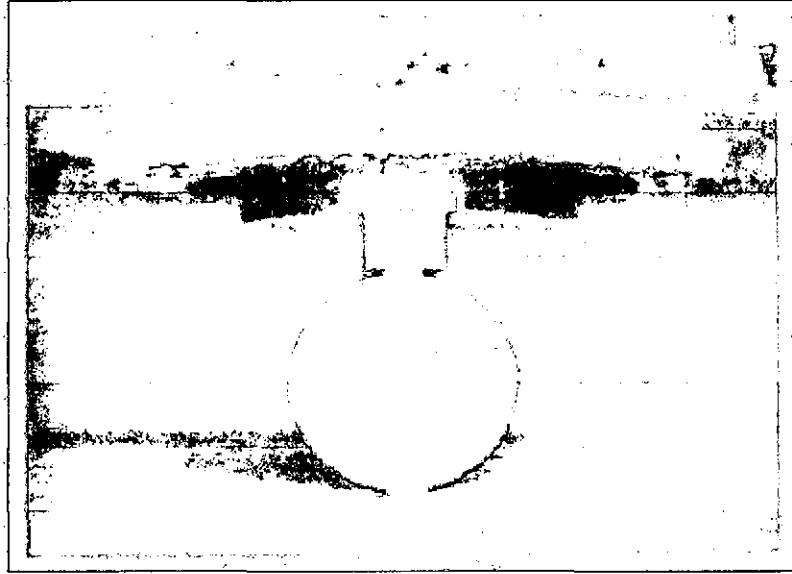


Fig.10 - Specimen Positioned in a Testing Machine for Determination of Splitting Tensile Strength

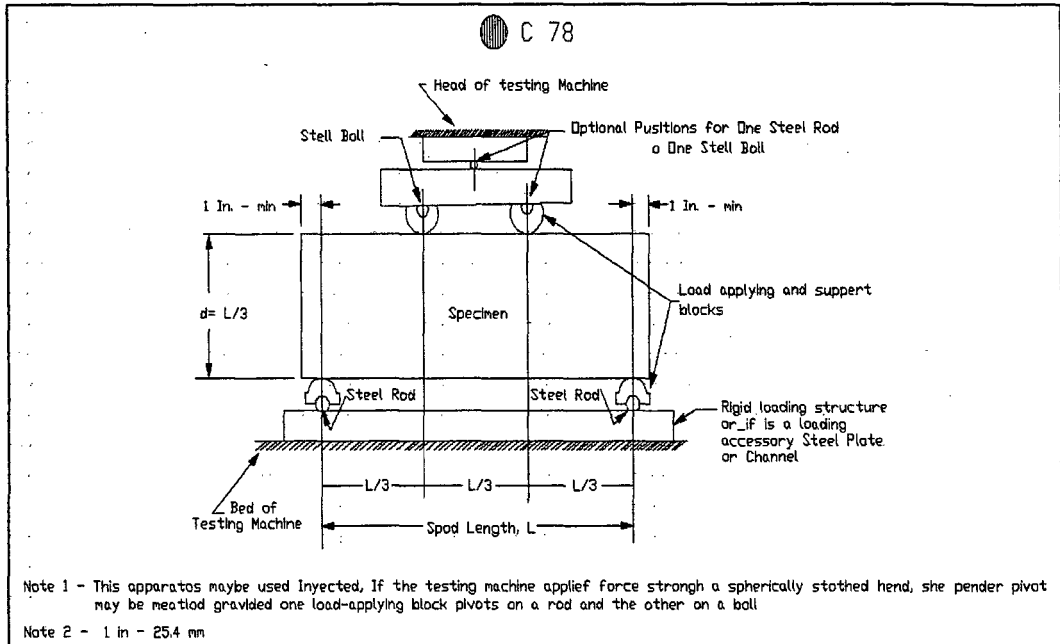
Los resultados obtenidos son utilizados para determinar la resistencia de diseño al corte en estructuras de concreto. Los valores obtenidos para los diferentes diseños (120 kg/cm², 140 kg/cm², 175 kg/cm² y 210 kg/cm²) se muestran en el capítulo 4.

3.2.7.2.4. Ensayo de flexión - ASTM C 42 y C 31 o C 192, ASTM C78-94

El ensayo de flexión determina la resistencia a la flexión del concreto empleando una viga de concreto sometida a una carga. La viga de prueba es preparada y curada según método de ensayo C 42 o práctica C 31 o C 192 de la norma ASTM. Los resultados son calculados y presentados como el módulo de ruptura. Este método es usado para ensayar concreto para la construcción de losas y pavimentos²⁹.

El procedimiento se describe en la norma ASTM C78-94 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete. En la figura 11 se observa la manera de colocar el espécimen en la máquina de ensayo y la posición de los apoyos.

²⁹ ASTM C78-94 Standard Test Method for Flexural strength of Concrete Specimen (Using simple beam with third point loading)



Fuente: Norma ASTM C 78

Fig.11 - Diagrammatic View of a Suitable Apparatus for Flexure Test of Concrete by Third-Point Loading Method.

Los resultados obtenidos, tipos de falla y fotos se presentan en el capítulo 4 de Resultados de ensayos.

3.3. Métodos y técnicas del estudio de investigación

3.3.1 Variables de estudio y operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE

ENSAYOS DE LABORATORIO

INDICADORES:

- Resistencia a la compresión,
- Módulo de elasticidad,
- Módulo de Poisson,
- Tracción por compresión diametral y flexión

Ensayos que se realizaran en la empresa Concretos Celulares del Sur Ltda. utilizando materiales de la Ciudad Tacna.

VARIABLE DEPENDIENTE

CONCRETO CELULAR

INDICADORES:

- Recopilar todos los resultados obtenidos de los ensayos de

laboratorio y campo para evaluar sus características.

- Identificar sus principales propiedades obtenidas de haber empleado agregados de la localidad.
- Interpretar los resultados obtenidos del análisis estructural y sismorresistente en un módulo de vivienda unifamiliar propuesto empleando concreto celular.
- Realizar la comparación de los beneficios del concreto celular en vez del concreto convencional que se utiliza para la construcción de viviendas en la ciudad de Tacna.
- Comunicar a los usuarios de las ventajas que se obtienen al emplear concreto celular en la construcción de sus viviendas.

- Gestión para el abastecimiento de nuevo producto dentro de la localidad de Tacna.

3.3.2 Métodos y técnicas de recolección de información

Para la presente investigación se hizo uso de los siguientes métodos como fuentes primarias:

Ensayos de laboratorio y campo.

- **Como unidad - Bloque de concreto celular,** se practicaron los siguientes ensayos:
 - La resistencia a compresión norma ASTM C 330 (ASTM C 495).
 - Módulo de elasticidad ACI 523.3R-8.
 - Densidades secas del concreto y según la norma ASTM C 177.
 - Ensayos de compresión - según prácticas C 31, C 197, C 617, y C 1231 y métodos de ensayo C 42 y C 873 de las normas ASTM. La norma a la que hace referencia este ensayo es la C 39

Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

- Ensayo de módulo de elasticidad estático en compresión, C 469 - 94 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
 - Ensayo de tracción por compresión diametral, ASTM C496-96 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
 - Ensayo de flexión, Norma ASTM C78-94 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete.
- **Como Sistema a base de concreto celular**, se mostrara las bondades que ofrece este nuevo producto con los siguientes ensayos:
- Diseño por corte según el capítulo 11 del reglamento de concreto del ACI 318-99, se indica que los valores de "fct" deben ser

considerados para hallar la resistencia al esfuerzo de corte de concretos ligeros.

- Prueba de resistencia acústica, ACI International
- Prueba de conductividad térmica, coeficiente de resistencia a la transmisión de calor.
- Resistencia al fuego.

NORMAS TENIDAS EN CUENTA PARA EL DESARROLLO DE LA PRUEBA CONTRA SONIDO.

Para la metodología exacta de efectuar ensayos a piezas de hormigón ligero para la prueba de resistencia acústica, se recurrió a los siguientes documentos para poder establecer los valores a nivel laboratorio.

ACI ACI International Tel: 248-848-3700
(American Concrete Institute) Fax: 248-848-3720
P.O. Box 9094 Sitio Web: <http://www.aci-int.net/>
38800 Country Club Drive E-mail: jtosca@aci-int.org
Farmington Hills, MI 48333

AGC Associated General Contractors Tel: 703-548-3118
of America Fax: 703-548-3119
333 John Carlyle Street Sitio Web:
<http://www.agc.org>
Alexandria, VA 22314 E-mail: info@agc.org

AFPA American Forest & Paper Tel: 202-463-2700
Association Fax: 202-463-2785
1111 19th Street NW, Suite 800 Sitio Web:
<http://www.afandpa.org>
Washington, DC 20036 E-mail: info@afandpa.org

AIA American Institute of Architects Tel: 202-626-7300
1735 New York Avenue, N.W. Fax: 202-626-7587
Washington, DC 20006 Sitio Web:
<http://www.aiaonline.com>
E-mail: aiaonline@aiamail.aia.org

A. Ins. A. American Insurance Association Tel:
202-828-7100
1130 Connecticut Ave., N.W. Fax: 202-293-1219
Washington, DC 20036 Sitio Web:
<http://www.aiadc.org>
E-mail: membership@aiadc.org

AIHA American Industrial Hygiene Sitio Web:
www.aiha.org
Association
2700 Prosperity Avenue, Suite 250

Fairfax, VA 22031

AISI American Iron and Steel Institute Tel:
202-452-7100
1101 17th Street, N.W. Fax: 202-463-6573
Washington, DC 20036 Sitio Web:
<http://www.steel.org>
E-mail: dwalson@steel.org

ANSI American National Standards Tel: 212-642-
4900
Institute Fax: 212-398-0023
11 W. 42nd Street, 13th floor Sitio Web:
<http://www.ansi.org>
New York, NY 10036 E-mail: ansionline@ansi.org

APA APA, The Engineered Wood Tel: 253-565-6600
Association (formerly: American Fax: 253-565-
7265
Plywood Association) Sitio Web:
<http://www.apawood.org>
P.O. Box 11700 E-mail: help@apawood.org
Tacoma, WA 98411

Interpretación de resultados y presentación de
beneficios y usos que brinda el empleo del
concreto celular en la construcción de

viviendas unifamiliares dentro de la localidad de Tacna.

Y Como Técnica:

Observación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

4.1.1 COMO UNIDAD DE CONCRETO CELULAR

Los resultados obtenidos fueron los esperados, por ejemplo la resistencia a tracción por compresión diametral fue de un 8 a 10% de la resistencia a compresión, como se hacía mención en las fuentes bibliográficas. El módulo de elasticidad obtenido por experimentación se acercó bastante al teórico. En este capítulo se muestran los resultados hallados de las mezclas hechas con los diseños finales, y debo manifestar que se deben realizar más pruebas, con aditivos reductores de agua, y con fibras de polipropileno para optimizar estos diseños. Estas sugerencias las tocaré en el capítulo de conclusiones.

4.1.1.1 Pesos unitarios y contenido de aire

Como ya mencionamos, se hizo 3 tandas por cada uno de los diseños, además la prueba de contenido de aire se realizó siguiendo la norma ASTM C173, tenemos entonces los siguientes pesos unitarios de concreto celular:

Diseño 1 : Resistencia 120 kg/cm ²				
	<u>P.U. Teórico</u> ³⁰	<u>P.U. ensayo</u>	<u>Rendimiento</u>	<u>% aire</u>
Tanda 1	1754,15 kg/m ³	1758,20 kg/m ³	1,00	27%
Tanda 2	1754,15 kg/m ³	1737,64 kg/m ³	1,01	28%
Tanda 3	1754,15 kg/m ³	1757,20 kg/m ³	1,00	27%

Fuente: Elaboración propia.

Diseño 2 : Resistencia 140 kg/cm ²				
	<u>P.U. Teórico</u>	<u>P.U. ensayo</u>	<u>Rendimiento</u>	<u>% aire</u>
Tanda 1	1776,10 kg/m ³	1780,30 kg/m ³	1,00	25%
Tanda 2	1776,10 kg/m ³	1769,50 kg/m ³	1,01	25%
Tanda 3	1776,10 kg/m ³	1775,20 kg/m ³	1,00	25%

Fuente: Elaboración propia.

³⁰ P.U Teórico: Peso unitario obtenido de sumar los pesos del cemento, arena y agua.

Diseño 3 : Resistencia 175 kg/cm ²				
	<u>P.U. Teórico</u>	<u>P.U. ensayo</u>	<u>Rendimiento</u>	<u>% aire</u>
Tanda 1	1785,60 kg/m ³	1797,66 kg/m ³	0,99	24%
Tanda 2	1785,60 kg/m ³	1790,48 kg/m ³	1,00	24%
Tanda 3	1785,60 kg/m ³	1786,30 kg/m ³	1,00	24%

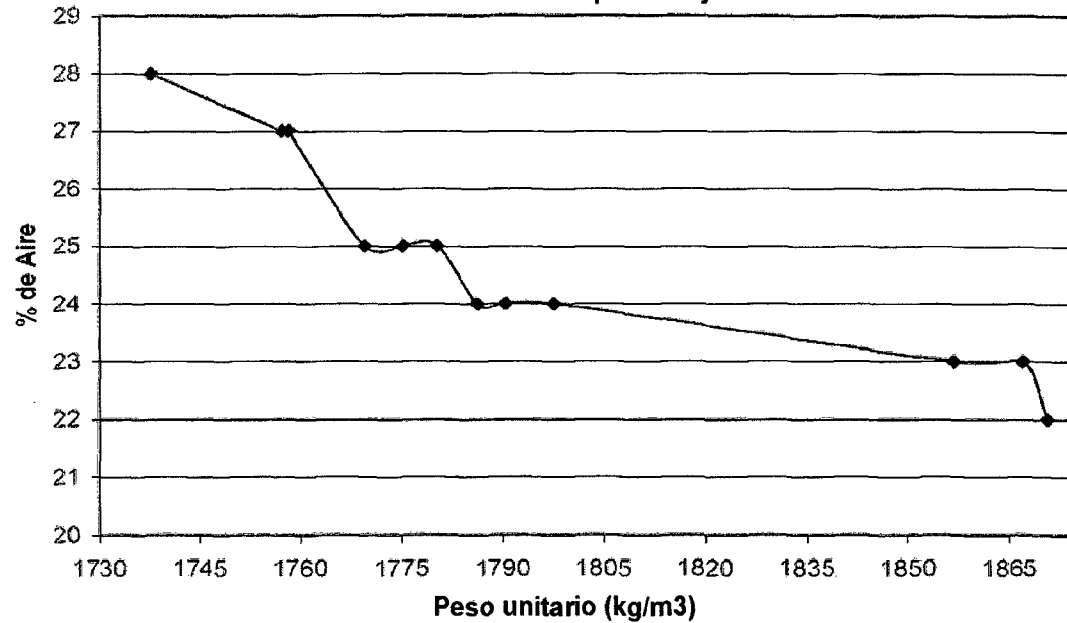
Fuente: Elaboración propia.

Diseño 4 : Resistencia 210 kg/cm ²				
	<u>P.U. Teórico</u>	<u>P.U. ensayo</u>	<u>Rendimiento</u>	<u>% aire</u>
Tanda 1	1855,88 kg/m ³	1870,54 kg/m ³	0,99	22%
Tanda 2	1855,88 kg/m ³	1866,83 kg/m ³	0,99	23%
Tanda 3	1855,88 kg/m ³	1856,67 kg/m ³	1,00	23%

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 7 de la página siguiente se muestra la relación entre el peso unitario y el porcentaje de aire de los ensayos realizados en el concreto celular, mostrándose claramente que a un mayor contenido de aire o vacíos le corresponde una menor densidad.

Gráfico 7
Peso unitario vs porcentaje de aire



Fuente : Elaboración propia.

Leyenda : —●— Relación peso unitario (kg/m^3) vs % de aire, para los 4 diseños de mezcla.

Interpretación : La gráfica muestra claramente que a mayor % de aire le corresponde menor densidad, en los ensayos a resistencias de 140 y 175 kg/cm^2 se obtuvo un contenido de aire igual para las 3 tandas esto debido a que el contenido de aire para densidades entre 1760 a 1800 kg/m^3 es constante, siendo esta una propiedad del concreto celular.

4.1.1.2 Resultados del ensayo de compresión

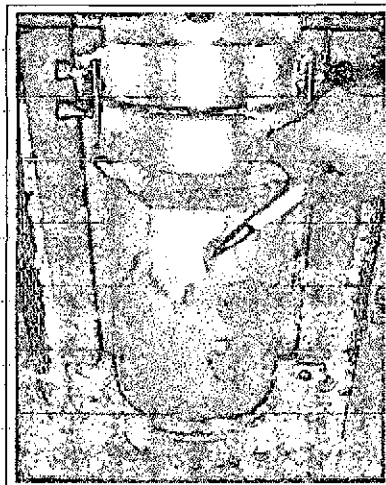
Se ensayaron a compresión 2 probetas de cada tanda, teníamos 6 probetas en total para un mismo diseño.

La falla que predominaba se aprecia en las siguientes fotos.

Tipo corte



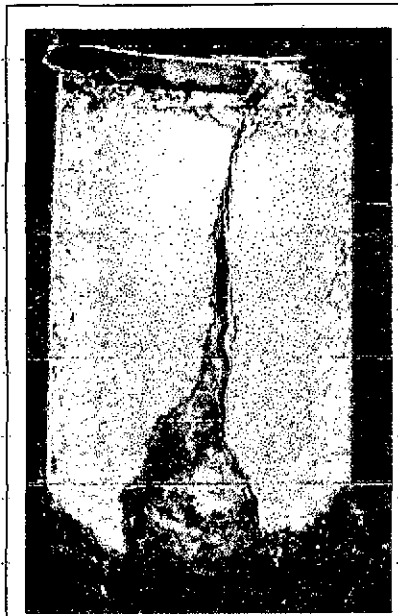
Tipo corte



Tipo cono y split.



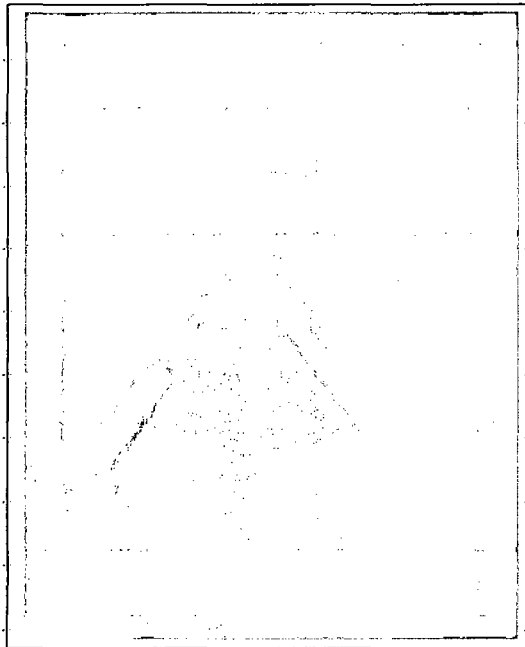
Tipo cono y split



Tipo cono y split



Tipo corte



Los resultados obtenidos los presentamos a continuación en el Cuadro 8, 9, 10 y 11 y en la página siguiente se muestra de manera gráfica - Gráfico 8 - estos resultados de resistencia a la compresión vs el peso unitario del concreto celular. En la siguiente página también se muestra, en un tipo de gráfica distinta - Grafico 9 y 10, la resistencia a la compresión vs el peso unitario.

Cuadro 8

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DISEÑO 1 120 kg/cm ²									
Edad (días)	f'c (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv.est. de probetas	Coeficiente de variación	Limite ASTM (%)	Rango Rt (%)	Limite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	147	151	149	3,55	2,38	2,37	2,7	6,6	147
28	146	143	145	2,66	1,84	2,37	2,1	6,6	
28	148	149	149	0,89	0,60	2,37	0,7	6,6	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 9

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DISEÑO 2 140 kg/cm ²									
Edad (días)	f'c (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv.est. de probetas	Coeficiente de variación	Limite ASTM (%)	Rango Rt (%)	Limite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	165	168	167	2,66	1,60	2,37	1,8	6,6	163
28	158	162	160	3,55	2,22	2,37	2,5	6,6	
28	160	164	162	3,55	2,19	2,37	2,5	6,6	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DISEÑO 3 175 kg/cm ²									
Edad (días)	f'c (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv.est. de probetas	Coeficiente de variación	Límite ASTM (%)	Rango Rt(%)	Límite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	213	209	211	3,55	1,68	2,37	1,9	6,6	202
28	201	198	200	2,66	1,33	2,37	1,5	6,6	
28	194	199	197	4,43	2,26	2,37	2,5	6,6	

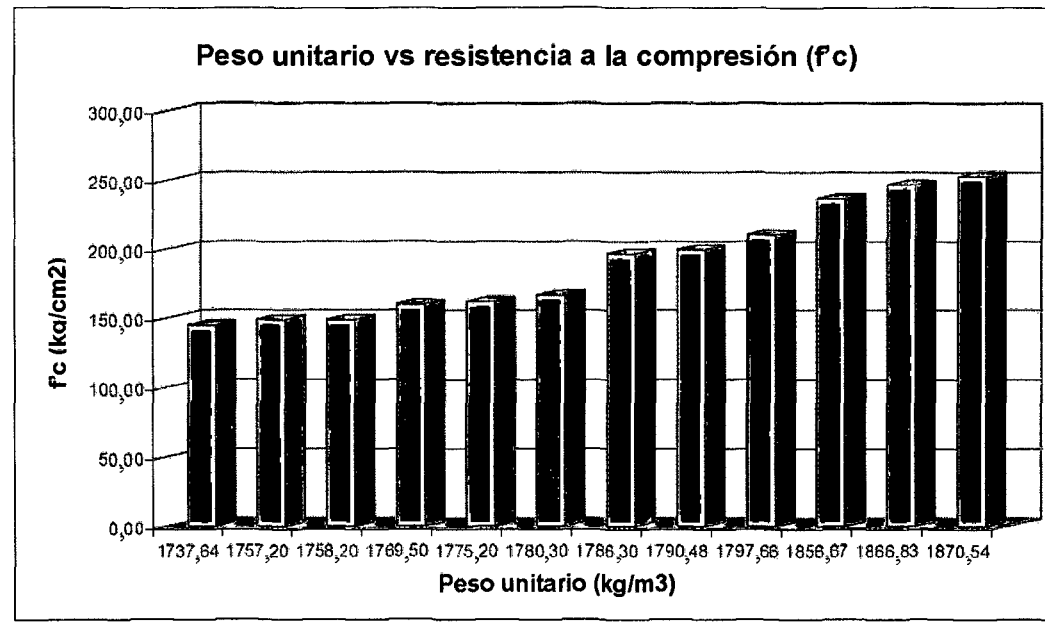
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 11

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DISEÑO 4 210 kg/cm ²									
Edad (días)	f'c (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv.est. de probetas	Coeficiente de variación	Límite ASTM (%)	Rango Rt(%)	Límite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	250	256	253	5,32	2,10	2,37	2,4	6,6	246
28	247	246	247	0,89	0,36	2,37	0,4	6,6	
28	240	234	237	5,32	2,24	2,37	2,5	6,6	

Fuente: Elaboración propia.

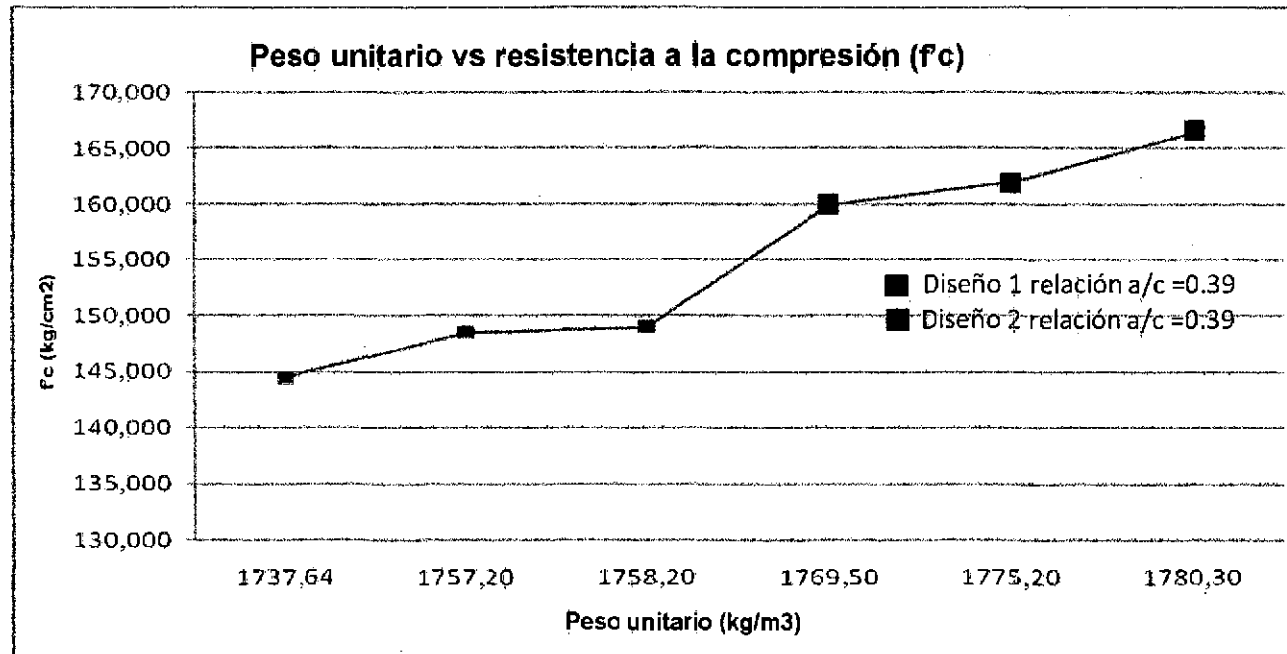
Gráfico 8



Fuente : Elaboración propia.

Interpretación: La grafica muestra la relación entre el peso unitario (kg/m³) vs la resistencia en compresión (kg/cm²) obtenida al ensayar los 4 diseños cada uno con 3 tandas, observándose que para densidades dentro de 1797,66 y 1870,54 kg/m³ se consiguen resistencias del orden de 210 - 240 kg/cm², lo que demuestra que en concretos ligeros se puede obtener la misma resistencia que en concretos más pesados; siendo considerablemente menor en peso que el concreto normal.

Gráfico 9



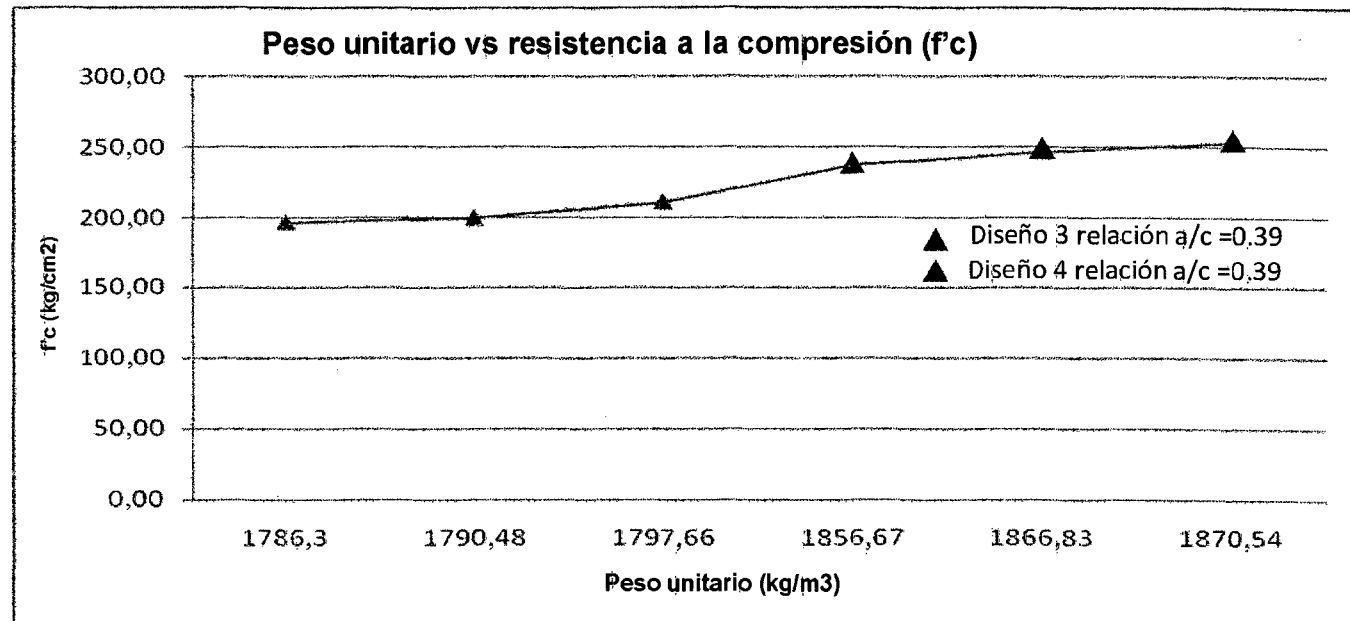
Fuente : Elaboración propia.

Leyenda :
 ■ Diseño 1 = Resistencia a compresión 120 kg/cm² (03 tandas).
 ■ Diseño 2 = Resistencia a compresión 140 kg/cm² (03 tandas).

Interpretación:

Claramente se observa que ambos diseños tienen una tendencia casi lineal en sus resultados, para una relación agua /cemento de 0,39.

Gráfico 10



Fuente : Elaboración propia.

Leyenda : Diseño 3 = Resistencia a compresión 175 kg/cm² (03 tandas).

Diseño 4 = Resistencia a compresión 210 kg/cm² (03 tandas).

Interpretación:

Se observa que la representación de los valores obtenidos para cada diseño tienen una tendencia muy cercana, siendo la más favorable obtenida para una relación agua/cemento de 0,38.

4.1.1.3 Resultados del ensayo de módulo de elasticidad y módulo de Poisson

El módulo de elasticidad de un material es un parámetro que mide la variación de esfuerzo en relación con la deformación en el rango elástico. Es función del ángulo de la línea esfuerzo deformación y es una medida de la rigidez o resistencia a la deformación de dicho material.

El módulo de elasticidad del concreto es función de su resistencia a la compresión y del peso unitario del concreto, el ACI propone la siguiente expresión para determinar el módulo de elasticidad:

$$E_c = 0.14 x w^{1.5} x \sqrt{f'c}$$

Donde:

w = Peso unitario del concreto en kg/m³

f'c = Resistencia a la compresión del concreto

La expresión anterior es válida para concretos de pesos unitarios entre 1440 y 2480 kg/m³.³¹

³¹ Cfr. Harmsen y Mayorca : 25,27

Por otro lado el módulo de Poisson se determina de la relación entre la deformación transversal y la deformación longitudinal, el valor del módulo de Poisson oscila generalmente entre 0,15 y 0,252 y es usado para determinar el módulo de corte del concreto mediante la siguiente expresión:

$$G_c = \frac{E_c}{2x(1 + \mu)}$$

Donde:

G_c = Módulo de corte

E_c = Módulo de elasticidad

μ = Módulo de Poisson

En el laboratorio se realizó el ensayo de módulo de elasticidad y módulo de Poisson en los 4 diseños (120 kg/cm², 140 kg/cm², 175 kg/cm², 210 kg/cm²) y se obtuvo los resultados presentados en los cuadros siguientes, y en la página 150 se grafica - Gráfico 11 - la relación entre los resultados teóricos de módulo de elasticidad y los resultados obtenidos de los ensayos.

Cuadro 12

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MODULO ELÁSTICO Y RELACIÓN DE POISSON DISEÑO 1 120 kg/cm ²					
Edad (días)	Peso específico kg/m ³	f'c kg/cm ²	E exp. kg/cm ²	E teórico kg/cm ²	Relación Poisson
28	1 758,22	151	120 344	126 831	0,17
28	1 737,64	143	118 791	121 265	0,17
28	1 757,20	149	122 960	125 879	0,17

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 13

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MODULO ELÁSTICO Y RELACIÓN DE POISSON DISEÑO 2 140 kg/cm ²					
Edad (días)	Peso específico kg/m ³	f'c kg/cm ²	E exp. kg/cm ²	E teórico kg/cm ²	Relación Poisson
28	1 780,30	168	131 347	136 308	0,17
28	1 769,50	162	129 915	132 636	0,15
28	1 775,20	164	132 598	134 098	0,16

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 14

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MODULO ELÁSTICO Y RELACIÓN DE POISSON DISEÑO 3 175 kg/cm ²					
Edad (días)	Peso específico kg/m ³	f'c kg/cm ²	E exp. kg/cm ²	E teórico kg/cm ²	Relación Poisson
28	1 797,66	209	159 118	154 263	0,22
28	1 790,48	198	157 617	149 250	0,22
28	1 786,30	199	151 885	149 103	0,21

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 15

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MODULO ELÁSTICO Y RELACIÓN DE POISSON DISEÑO 1 120 kg/cm ²					
Edad (días)	Peso específico kg/m ³	f'c kg/cm ²	E exp. kg/cm ²	E teórico kg/cm ²	Relación Poisson
28	1 870,54	246	182 274	177 642	0,20
28	1 866,83	256	180 882	180 678	0,22
28	1 856,67	234	175 498	171 332	0,20

Fuente: Elaboración propia.

Calculo de tendencia lineal para los valores obtenidos en laboratorio y de los teóricos

De los resultados obtenidos en laboratorio tabulamos los mismos para los 4 diseños a $f'c = 120 \text{ kg/cm}^2$, 140 kg/cm^2 , 175 kg/cm^2 y 210 kg/cm^2 , comparando los valores del módulo de elasticidad experimental y teórico, como se muestra en la siguiente tabla 8:

Tabla 8

Y = E Exper. (kg/cm ²)	X = E Teórico (kg/cm ²)
121 265	118 791
126 831	120 344
125 879	122 960
132 636	129 915
136 308	131 347
134 098	132 598
149 103	151 885
149 250	157 617
154 263	159 118
171 332	175 498
180 678	180 882
177 642	182 274

El factor de regresión resulta:

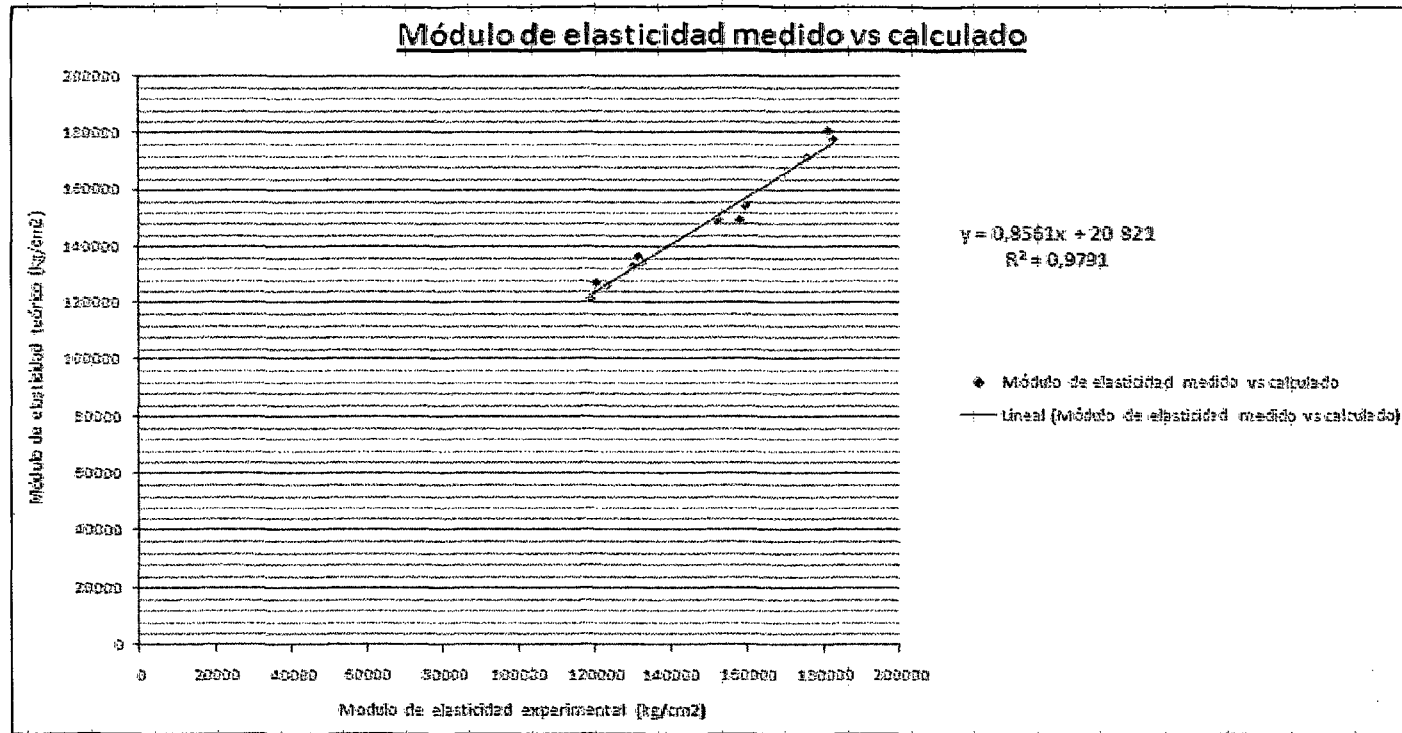
$$R^2 = 0,979$$

Siendo el valor aceptable para una regresión lineal ($R^2 = 1,00$) simple que determina la función lineal de recta siguiente:

$$y = 0,856x + 20\ 821$$

A continuación se muestra en el gráfico 5 la tendencia de la recta que forma los puntos de dispersión de los valores obtenidos en el ensayo de laboratorio y el esperado según calculo teórico:

Gráfico 11



Fuente : Elaboración propia.

Interpretación: Se observa que la representación de los valores obtenidos para cada diseño comparándolos con los valores que se obtienen aplicando la fórmula conservan una similitud, dicha interpretación se consigue al trazar la tendencia lineal entre las mismas.

4.1.1.4 Resultados del ensayo de tracción por compresión diametral

La resistencia del concreto a la tracción es mucho menor que su resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción varía entre 8% y 15% de la resistencia a la compresión.

Para determinar este parámetro en el laboratorio no es usual realizar ensayos directos debido a las dificultades que se presentan, por lo tanto para estimar la resistencia a la tracción del concreto se realizan ensayos indirectos, uno de ellos es el de tracción por compresión diametral. El procedimiento se explicó en el capítulo 3 ítem 3.2.7.2.3, y recordamos que la resistencia a la tracción f_{ct} se determina por la siguiente expresión:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi h d}$$

Donde:

f_{ct} = Resistencia a la tracción del concreto kg/cm²

P = Carga de rotura en kg

h = Longitud del cilindro en cm

d = Diámetro del cilindro en cm

A continuación mostramos los resultados obtenidos y en la página 154 se grafican los resultados -

Gráfico 12 - y se observa que estos se encuentran, efectivamente, entre el 8% y 15% de la resistencia a compresión.

Cuadro 16

RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN DISEÑO 1 120 kg/cm ²									
Edad (días)	fct (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv. Est. de probetas	Coeficiente de variación	Límite ASTM (%)	Rango Rt (%)	Límite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	12,9	13,2	13	0,27	2,04	5	2,3	14	14
28	14,1	13,8	14	0,27	1,91	5	2,2	14	
28	13,8	14,1	14	0,27	1,91	5	2,2	14	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 17

RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN DISEÑO 2 140 kg/cm ²									
Edad (días)	fct (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv. Est. de probetas	Coeficiente de variación	Límite ASTM (%)	Rango Rt (%)	Límite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	14,1	15,0	15	0,80	5,48	5	6,2	14	15
28	13,8	14,7	14	0,80	5,60	5	6,3	14	
28	14,7	15,9	15	1,06	6,95	5	7,8	14	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 18

RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN DISEÑO 3 175 kg/cm ²									
Edad (días)	fct (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv.Est. de probetas	Coeficiente de variación	Límite ASTM (%)	Rango Rt(%)	Límite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	18,6	18,9	19	0,27	1,42	5	1,6	14	18
28	18,0	17,7	18	0,27	1,49	5	1,7	14	
28	16,8	16,5	17	0,27	1,60	5	1,8	14	

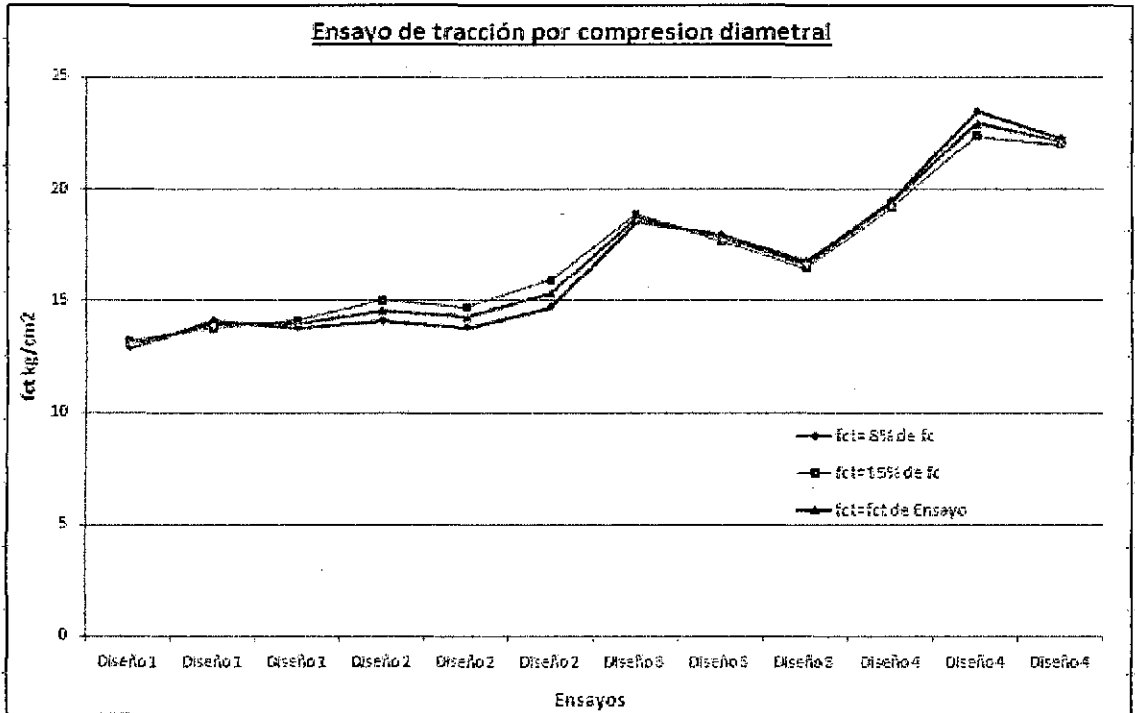
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 19

RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN DISEÑO 4 210 kg/cm ²									
Edad (días)	fct (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv.Est. de probetas	Coeficiente de variación	Límite ASTM (%)	Rango Rt(%)	Límite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	19,5	19,2	19	0,27	1,37	5	1,6	14	21
28	23,5	22,4	23	0,98	4,25	5	4,8	14	
28	22,3	22,0	22	0,27	1,20	5	1,4	14	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 12



Fuente : Elaboración propia

Leyenda : Diseño 1 = Resistencia a compresión 120 kg/cm² (03 tandas).
 Diseño 2 = Resistencia a compresión 140kg/cm² (03 tandas).
 Diseño 3 = Resistencia a compresión 175kg/cm² (03 tandas).
 Diseño 4 = Resistencia a compresión 210kg/cm² (03 tandas).

4.1.1.5 Resultados del ensayo de flexión

Este ensayo determina también de forma indirecta la resistencia a la tracción del concreto, en realidad la resistencia a la tracción del concreto se desprecia y se asume igual a 0, puesto que las tracciones son resistidas por el acero de refuerzo. Se ensayaron a flexión 2 probetas de cada tanda, teníamos 6 probetas en total para un mismo diseño.

En las fotografías siguientes se muestra el tipo de falla de las probetas, todas fallaron correctamente en la sección central del espécimen.

Falla en la sección central

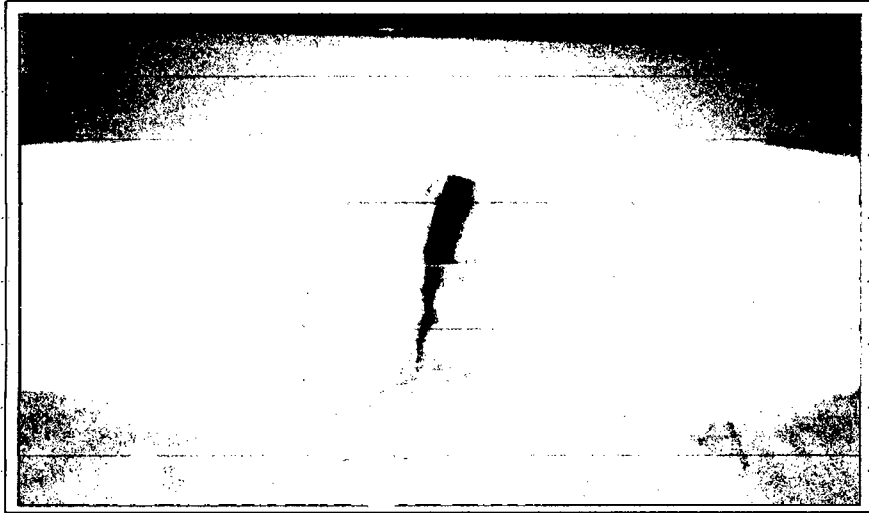


Foto 46

Elaboración propia.

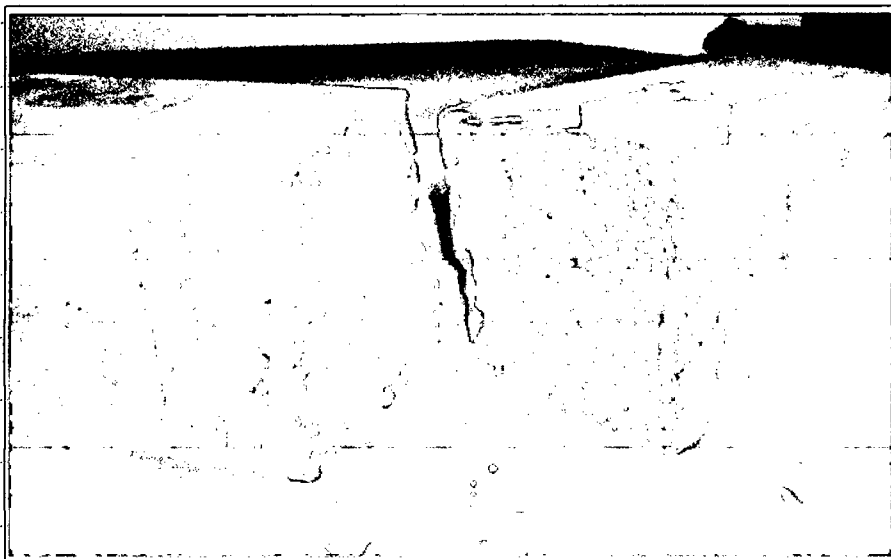


Foto 47

Elaboración propia.



Foto 48

Elaboración propia

Los resultados obtenidos de módulo de ruptura se muestran a continuación en los cuadros 20, 21, 22 y 23 y en la página 291 se grafican los resultados - Gráfico 13.

Cuadro 20

RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN DISEÑO 1 120 kg/cm ²									
Edad (días)	Mr (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv.Est. de probetas	Coeficiente de variación	Límite ASTM (%)	Rango Rt (%)	Límite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	23,0	22,0	23	0,89	3,94	5,7	4,4	16	23
28	23,5	24,1	24	0,53	2,23	5,7	2,5	16	
28	22,9	21,5	22	1,24	5,59	5,7	6,3	16	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21

RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN DISEÑO 2 140 kg/cm ²									
Edad (días)	Mr (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv.Est. de probetas	Coeficiente de variación	Límite ASTM (%)	Rango Rt(%)	Límite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	29,4	28,3	29	0,98	3,38	5,7	3,8	16	27
28	27,5	28,0	28	0,44	1,60	5,7	1,8	16	
28	25,3	25,9	26	0,53	2,08	5,7	2,3	16	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 22

RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN DISEÑO 3 175 kg/cm ²									
Edad (días)	Mr (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv.Est. de probetas	Coeficiente de variación	Límite ASTM (%)	Rango Rt(%)	Límite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	34,6	34,0	34	0,53	1,55	5,7	1,7	16	32
28	32,3	30,8	32	1,33	4,21	5,7	4,8	16	
28	32,2	30,5	31	1,51	4,81	5,7	5,4	16	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 23

RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN DISEÑO 4 210 kg/cm ²									
Edad (días)	Mr (kg/cm ²)		Promedio parcial	Desv.Est. de probetas	Coeficiente de variación	Límite ASTM (%)	Rango Rt(%)	Límite ASTM (%)	Promedio global
	Probeta 1	Probeta 2							
28	51,9	49,5	51	2,13	4,20	5,7	4,7	16	50
28	49,4	47,9	49	1,33	2,73	5,7	3,1	16	
28	49,4	48,9	49	0,44	0,90	5,7	1,0	16	

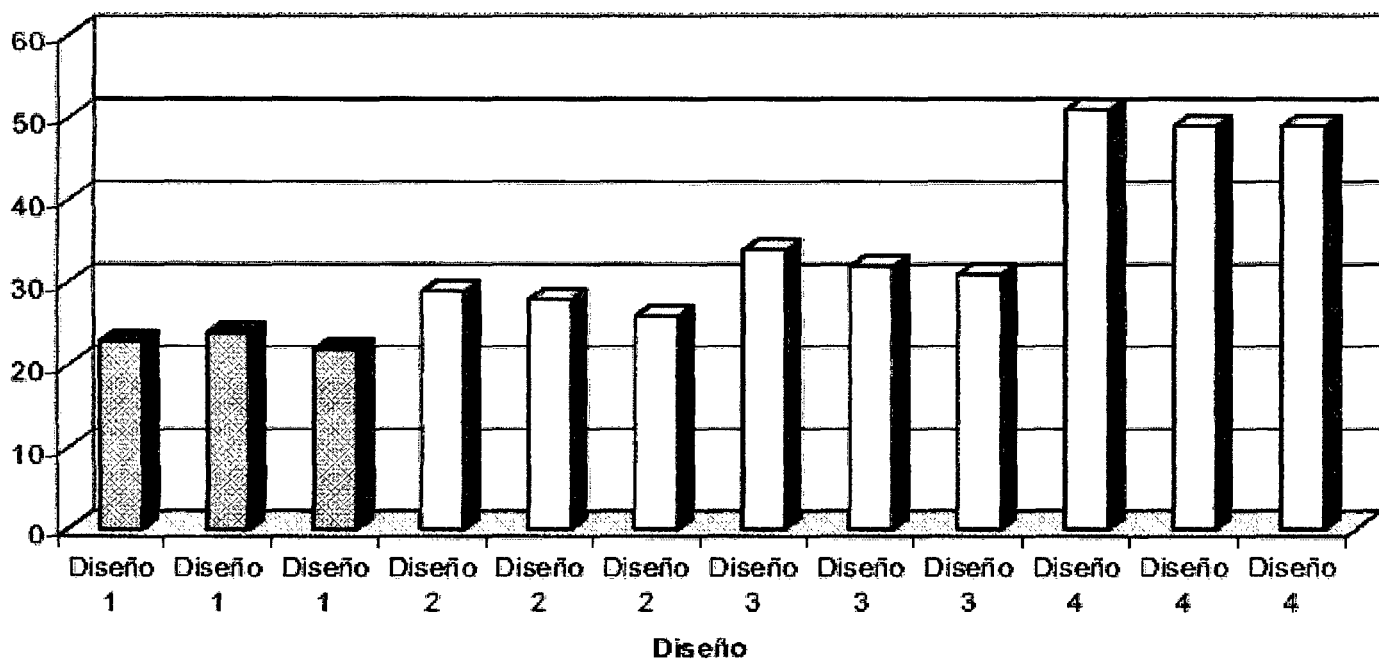
Fuente: Elaboración propia.

En el diseño de la vivienda de concreto celular se tomará en cuenta para el diseño por corte los valores obtenidos del ensayo de tracción por compresión diametral " f_{ct} " y no los de flexión debido a que en el capítulo "Corte y Torsión", capítulo 11 del Reglamento de Concreto del ACI

318-99, se indica que los valores de " f_{ct} " deben ser considerados para hallar la resistencia al esfuerzo de corte de concretos ligeros.

Gráfico 13

Resultados del ensayo de flexión



Fuente : Elaboración propia.

Leyenda :

- Diseño 1 = Resistencia a compresión 120 kg/cm² (03 tandas).
- Diseño 2 = Resistencia a compresión 140 kg/cm² (03 tandas).
- Diseño 3 = Resistencia a compresión 175 kg/cm² (03 tandas).
- Diseño 4 = Resistencia a compresión 210 kg/cm² (03 tandas).

4.1.1.6. Resumen de resultados obtenidos en laboratorio

De los ensayos realizados se muestra el resumen que determina las propiedades físicas del concreto celular, para diferentes diseños escogiéndose el más viable que viene a ser para una resistencia de $f'c=210$ kg/cm² (**Diseño 4**), comprobándose las virtudes que muestra este tipo de concreto para ser utilizado en módulos de vivienda que es materia de estudio de la presente tesis a tratar en el capítulo 5; el cuadro de resumen por elaboración propia se presenta a continuación:

Resultados del peso unitario y contenido de aire

Diseño	Peso Unitario (kg/m ³)	% Aire
Diseño 1 Resistencia $f'c=120$ kg/cm ²	1 757,20	27%
Diseño 2 Resistencia $f'c=140$ kg/cm ²	1 775,20	25%
Diseño 3 Resistencia $f'c=175$ kg/cm ²	1 786,30	24%
Diseño 4 Resistencia $f'c=210$ kg/cm ²	1 856,67	23%

Resultados del ensayo de resistencia a compresión

Diseño	$f'c$ kg/cm ²	Edad (días)
Diseño 1 Resistencia $f'c=120$ kg/cm ²	147,00	28
Diseño 2 Resistencia $f'c=140$ kg/cm ²	163,00	28
Diseño 3 Resistencia $f'c=175$ kg/cm ²	202,00	28
Diseño 4 Resistencia $f'c=210$ kg/cm ²	246,00	28

Resultados del ensayo de módulo de elasticidad y módulo de Poisson

Diseño	E kg/cm ²	Relación de Poisson
Diseño 1 Resistencia f'c=120 kg/cm ²	120 698	0,17
Diseño 2 Resistencia f'c=140 kg/cm ²	131 287	0,16
Diseño 3 Resistencia f'c=175 kg/cm ²	156 207	0,22
Diseño 4 Resistencia f'c=210 kg/cm ²	176 551	0,21

Resultados del ensayo de tracción por compresión diametral

Diseño	fct kg/cm ²	Edad (días)
Diseño 1 Resistencia f'c=120 kg/cm ²	14	28
Diseño 2 Resistencia f'c=140 kg/cm ²	15	28
Diseño 3 Resistencia f'c=175 kg/cm ²	16	28
Diseño 4 Resistencia f'c=210 kg/cm ²	21	28

Resultados del ensayo de flexión

Diseño	Mr kg/cm ²	Edad (días)
Diseño 1 Resistencia f'c=120 kg/cm ²	23	28
Diseño 2 Resistencia f'c=140 kg/cm ²	27	28
Diseño 3 Resistencia f'c=175 kg/cm ²	32	28
Diseño 4 Resistencia f'c=210 kg/cm ²	50	28

4.1.1.6.1 Conclusión

Después de realizar los ensayos de laboratorio para los diseños de mezcla con dosificaciones que alcancen resistencias de $f'c=120\text{kg/cm}^2$, 140 kg/cm^2 , 175 kg/cm^2 y de 210 kg/cm^2 , los resultados más satisfactorios se presentaron en el **diseño 4** siendo este el diseño más óptimo para concretos celulares garantizando sus propiedades físicas, el diseño de la resistencia a compresión alcanzada a los 28 días es de $f'c= 210\text{ kg/cm}^2$, la menor relación agua - cemento que es posible lograr en un concreto con aire incluido tiende a compensar las resistencias mínimas inferiores del concreto con aire incluido, particularmente en mezclas con contenidos de cemento pobres e intermedios. Siendo el siguiente el diseño mezcla para $f'c=210\text{ kg/cm}^2$.

Diseño 4 Resistencia 210 kg/cm^2

Arena 1 165,88 kg

Agua 190 l

Cemento 500 kg

Tiempo espuma 3,3 s / tanda de 80

litros

La producción de todo el concreto celular colocado en obra sigue un riguroso control de calidad, a través de un laboratorio montado al pie de obra; en el cual se realizan los controles del mortero matriz y del concreto celular antes de su colocación, a modo tal que se mantenga la densidad de masa específica para cada caso.

4.1.2. COMO SISTEMA MURO DE CONCRETO CELULAR

Antecedente

El presente ensayo no se realizó en la ciudad de Tacna, porque no se cuenta en el medio con los equipos necesarios para realizar un ensayo de simulación sísmica, la información que se describe a continuación fue proporcionada por el Ing.Civil Javier M. Sanabria S., Colombiano; actualmente: Gerente Técnico de la empresa: Concretos Celulares Ltda., quien realizó dicho ensayo en la Ciudad de Lima, en el laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

La placa P-1 es una unidad de concreto celular con el sistema muros livianos **divicel 10** de grandes dimensiones y con alvéolos semicirculares en sus extremos que permiten el paso del refuerzo vertical, el mismo que se conecta a las vigas o a las losas de techo. Estas unidades se utilizan para construir muros divisorios de ambientes (tabiques). Puesto que se desconoce el comportamiento sísmico de este

sistema, se ejecutaron ensayos de simulación sísmica en el laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú, analizando el caso de un pórtico de concreto armado cuyo paño fue relleno con un tabique P-1. Este sistema fue sujeto a la acción de cargas laterales cíclicas coplanares al tabique y a un ensayo sísmico en mesa vibradora sometiendo al tabique a la acción de cargas perpendiculares a su plano. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

4.1.2.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se viene utilizando la placa P-1 para la construcción de tabiques no portantes en los edificios (Fig.12), sin embargo, se desconoce el comportamiento de estos muros ante cargas sísmicas paralelas y perpendiculares al plano, por lo que fue necesario comprobar si este sistema y sus conexiones podían soportar los desplazamientos y las cargas sísmicas reglamentarias, además de observar en que

medida afectan al comportamiento de la estructura principal.

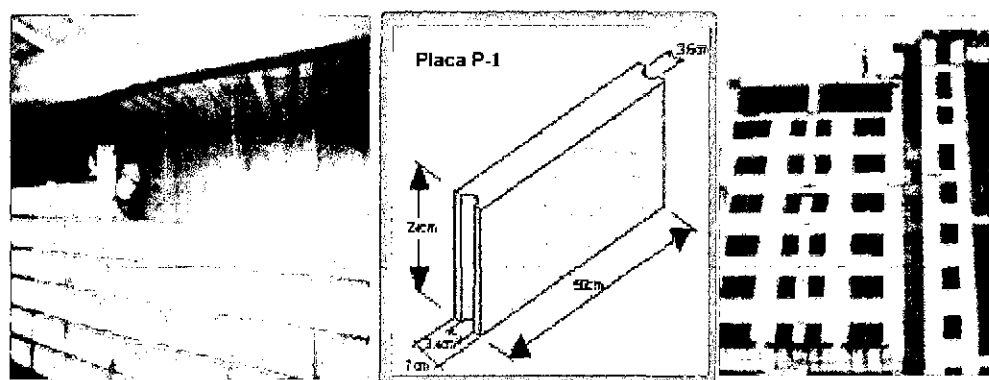


Fig. 12. Uso de la Placa P-1 en la construcción de tabiques permanentes (fijos).

La metodología de trabajo utilizada en este proyecto fue la siguiente:

- Se construyó un pórtico de concreto armado para luego construir el tabique P-1.

Posteriormente, se aplicaron cargas laterales cíclicas paralelas al plano del tabique, hasta alcanzar la máxima distorsión inelástica permitida por la norma sísmica E.030 (Ref.1). Este ensayo permitió determinar además la influencia del tabique en la rigidez del pórtico.

- Se construyó otro pórtico con tabique P-1. Este sistema fue ensayado en mesa vibradora aplicando aceleraciones correspondientes a sismos leves, moderados y severos, perpendiculares al plano del tabique. Adicionalmente, hubo que aplicar cargas estáticas para determinar la capacidad resistente del tabique en la dirección ortogonal a su plano.

4.1.2.2. MATERIALES

a) Placa P-1

Son unidades de concreto celular, cuyas dimensiones nominales (en cm) son: largo = 50, espesor = 7 y altura = 24, con baja variación en sus dimensiones. Otras características de esta unidad son:

- Succión: 8 g / (200 cm² - min).
- Absorción en 24 horas de inmersión: 14%.
- Resistencia característica a compresión sobre 5 muestras: $f'_{b} = 182 \text{ kg/cm}^2$.

b) Concreto, mortero y grout

En este proyecto se utilizó cemento Pórtland tipo I. El concreto utilizado para los elementos de cada pórtico (cimentación, viga y 2 columnas) fue de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

El mortero utilizado para asentar las placas P-1 tuvo una proporción cemento-arena gruesa 1: 4.

El grout (concreto líquido para llenar los alvéolos de la placa P-1) tuvo una proporción cemento arena. 1: 3. La resistencia promedio a compresión de las probetas de grout fue 218 kg/cm^2 .

c) Acero de refuerzo

El acero utilizado en el pórtico de concreto armado y en la armadura vertical del tabique fue de grado 60, con esfuerzo nominal de fluencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Para el refuerzo vertical del tabique P-1 se utilizaron en total 4 varillas de acero corrugado de $\Phi \frac{1}{4}$ " espaciadas a 50 cm.

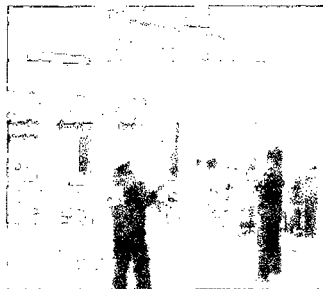
d) Soldadura

Las varillas del tabique fueron soldadas a unos pernos expansivos insertados en la viga y la cimentación del pórtico, utilizando electrodos Supercito AWS/ASME E 7018.

4.1.2.3. CARACTERÍSTICAS DEL PÓRTICO DE CONCRETO ARMADO

Se construyeron 2 pórticos (Fig.13), cada uno estuvo compuesto por 2 columnas de 0,25x0,25x2,4 m de altura libre y una viga de 0,25x0,25x3,0 m de longitud total. La viga de cimentación fue de 0,30x0,30 y 3,60 m de longitud. Todos los elementos fueron reforzados con 4 varillas de fierro Φ 1/2" y estribos de Φ 3/8", 1 a 5, 4 a 10, resto a 20 cm. El paño a ser relleno con el tabique P-7 fue de 2,5x2,4 m.

Fig.13
Pórticos de
concreto armado.



4.1.2.4. CONSTRUCCIÓN DEL TABIQUE CON PLACA P-1

El tabique P-1, de 7 cm de espesor, quedó ubicado en el eje central del pórtico. Los pasos que se siguieron en la construcción del tabique fueron los siguientes:

- a) En la base de la viga superior y en la superficie superior de la cimentación se clavaron pernos expansivos (Fig.14) espaciados cada 50 cm, para lo cual, previamente se efectuaron perforaciones en el concreto de 2,5 cm de profundidad con un taladro de broca 1/4".
- b) Las cuatro varillas de refuerzo vertical de 1/4", fueron conectadas a los pernos expansivos con un punto de soldadura.
- c) Las placas P-1, previamente limpiadas, fueron asentadas en su estado natural (secas) utilizando mortero 1:4. Las juntas horizontales tuvieron 1 cm de grosor (Fig.15).
- d) Culminada la construcción de cada hilada, se procedió a rellenar los alvéolos con grout,

formándose de esta manera las juntas verticales, las mismas que estuvieron alineadas. Incluso el alvéolo semicircular de la Placa P-1 en contacto con la columna, fue rellenado con grout.

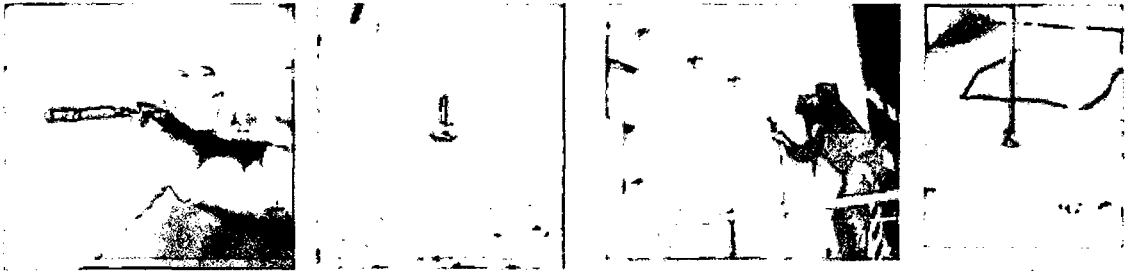


Fig.14. Perno expansivo y soldadura con las varillas del tabique



Fig.15. Construcción del tabique con placa P-1

4.1.2.5. ENSAYO DE CARGA LATERAL COPLANAR AL TABIQUE

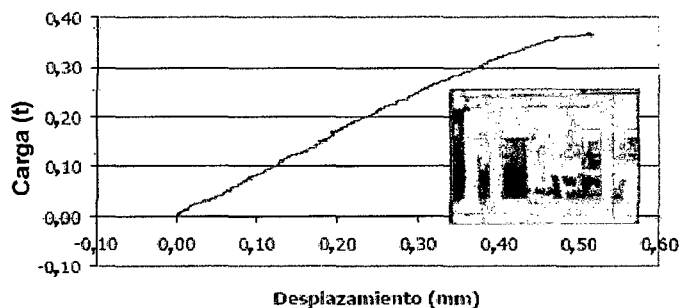
Con la finalidad de determinar la influencia del tabique P-1 sobre la rigidez lateral del pórtico, el ensayo fue dividido en 2 partes. El

primer ensayo se realizó sobre el pórtico antes de construir al tabique y el segundo sobre el conjunto completo.

4.1.2.5.1. Ensayo del pórtico de concreto armado sin el tabique P-1

Este ensayo se realizó aplicando con un actuador dinámico una carga lateral, monotónicamente creciente, sobre la viga hasta alcanzar un desplazamiento horizontal de 0,5 mm (medido con un LVDT). Este desplazamiento fue pequeño de modo que el pórtico se comporte en el régimen elástico, sin que se produzcan fisuras. La curva cortante-desplazamiento (Fig.16) fue prácticamente lineal, con una pendiente (rigidez lateral del pórtico) igual a $K_p = 596 \text{ ton/m}$.

Fig. 16
Ensayo monotónico del pórtico en el rango elástico.



4.1.2.5.2. Ensayo de carga lateral cíclica del conjunto p_órtico-tabique P-1

Este ensayo fue realizado en doce fases de desplazamiento horizontal controlado (D en la Tabla 1), hasta alcanzar una distorsión angular ligeramente mayor que el límite máximo especificado por la norma sismorresistente para edificaciones aporricadas (0,7%, equivalente a $D = 17,7$ mm). Este ensayo se ejecutó a una velocidad de 1 ciclo cada 4 minutos y el estado final en que quedó el espécimen, así como la gráfica cortante-desplazamiento, aparecen en la Fig.17.

Tabla.1. Fases del ensayo de carga lateral cíclica y número de ciclos aplicados

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D (mm)	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0
Ciclos	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Cabe destacar que el tabique P-1 falló por corte, presentándose fisuras muy finas. Asimismo, no se presentaron separaciones entre los elementos de concreto armado y el tabique, ni fallas en los puntos de soldadura perno-refuerzo vertical del tabique, comportándose el conjunto en forma integral, como si

se tratase de una albañilería confinada. Tampoco se presentaron grietas de importancia en las juntas verticales de las placas P-1 (adheridas por el grout). Además, los lazos histeréticos cortante-desplazamiento fueron estables y la resistencia máxima alcanzada por el conjunto fue 10,5 t, degradando a 9 ton en las 4 últimas fases del ensayo.

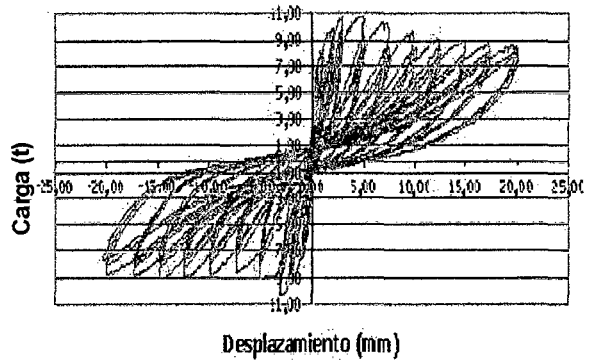
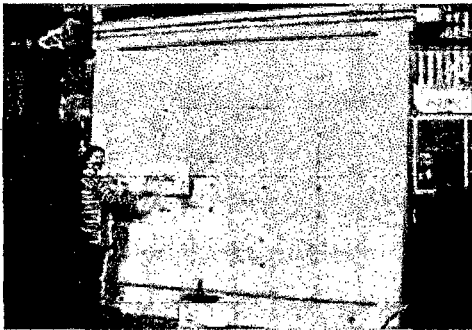


Fig.17. Estado final del conjunto y gráfica cortante-desplazamiento lateral

4.1.2.5.3. Rigidez lateral del conjunto pórtico-tabique P-1

La pendiente de la gráfica carga-desplazamiento en el rango elástico (fase 2), corresponde a la rigidez lateral experimental del conjunto pórtico-tabique: K_{pt}

= 16,867 ton/m. Esta rigidez fue 28 veces mayor que la proporcionada por el pórtico ($K_p = 596$ ton/m, ver 5.1), por lo que el tabique aportó una rigidez considerable al sistema.

Para evaluar la rigidez lateral del conjunto podría emplearse 2 modelos matemáticos:

- a) Sección transformada. Corresponde a los muros de albañilería confinada, donde las columnas de concreto deben reemplazarse por áreas equivalentes de albañilería. En este caso se admite que la albañilería y el concreto están integrados.
- b) Puntal equivalente. Corresponde a los tabiques no aislados de los pórticos, donde para reflejar la interacción tabique-pórtico el tabique es reemplazado por un puntal diagonal equivalente de albañilería que siempre trabaja en compresión. En este caso se admite separaciones en la unión concreto-albañilería, en las zonas donde no se presenta interacción.

Durante el ensayo del pórtico con tabique P-1, no se detectaron separaciones entre el pórtico y el tabique, sino que ambos elementos actuaron en forma integral, por lo que empleando el criterio de la sección transformada y conociéndose la rigidez del conjunto ($K_{pt} = 16,867 \text{ ton/m}$), se obtuvo para la albañilería P-1 un módulo de elasticidad $E = 600,000 \text{ ton/m}^2$, para lo cual se supuso $G = 0.4E$. Cabe indicar que cuando se aplicó la técnica del puntal equivalente, con un ancho efectivo igual a la cuarta parte de la longitud de la diagonal del tabique, se obtuvo un módulo de elasticidad "E" superior al del concreto, resultado que se consideró incongruente.

4.1.2.6. ENSAYO SÍSMICO ORTOGONAL AL PLANO DEL TABIQUE

Antes de realizar la prueba sísmica, el espécimen fue pesado colgándolo de una celda de carga sostenida por un puente grúa. Primero se pesó al pórtico antes de construir el tabique, obteniéndose 2188 kg, luego se pesó al conjunto

completo, registrándose 2983 kg, con lo cual el peso del tabique P-1 resultó: $P_t = 795 \text{ kg}$, lo que proporciona un peso volumétrico $\rho = 1892 \text{ kg/m}^3$, ligeramente mayor al que se utiliza para la albañilería tradicional (1800 kg/m^3).

4.1.2.6.1. Técnica de ensayo

Para tratar de simular el arriostramiento que proporcionan los elementos estructurales perpendiculares a la dirección en estudio, conectados en un edificio real a través de la losa de techo al sistema en análisis, se recurrió a perfiles metálicos anclados en la mesa vibradora. Estos perfiles limitaron el movimiento de la viga superior, dejando en libertad de desplazarse lateralmente tanto a las columnas como al tabique (Fig.18).

Para obtener las fuerzas actuantes en la dirección perpendicular al plano del tabique, se reticuló al tabique colocando en el centro de cada retícula un

acelerómetro. Luego, multiplicando la masa tributaria de la retícula por la aceleración captada por el acelerómetro, se determinó la fuerza de inercia F_i en la retícula "i" respectiva. La suma de todas las fuerzas F_i , proporcionó la fuerza total F , la misma que dividida entre el área total del tabique (2,5x2,4m), proporciona la carga distribuida "w" que se reporta en este artículo.

La señal sísmica utilizada en este ensayo, corresponde a la componente L del terremoto ocurrido el 31 de mayo del año 1970, variando la aceleración máxima de la plataforma (A0) del simulador de sismos en 5 fases (A0 = 0,2g, 0,4g, 0,6g, 1,0g y 1,2g), de tal modo de representar la acción de sismos leves, moderados y severos. Previo a cada fase, se aplicaron pulsos en la mesa vibradora con el objeto de determinar el período natural de vibrar del tabique.

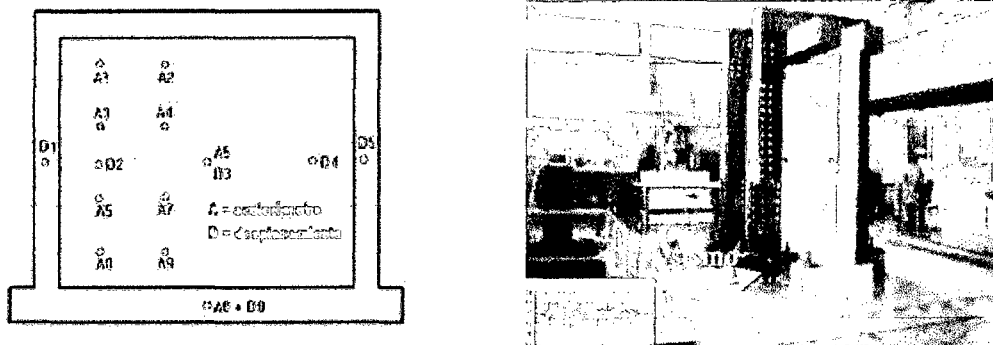
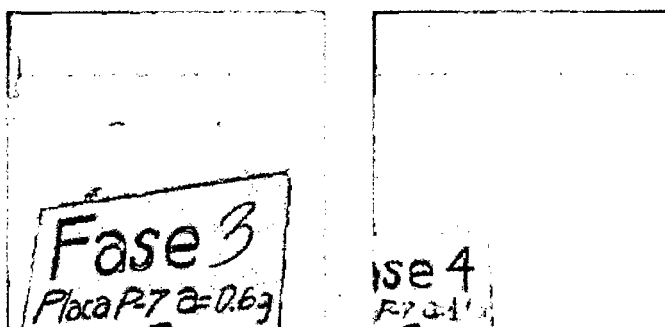


Fig.18. Instrumentación utilizada y vista global del ensayo sísmico

4.1.2.6.2. Comportamiento sísmico del tabique

El tabique P-1 y los elementos del pórtico actuaron en forma integral. En las dos primeras fases no se presentaron fisuras. A partir de la tercera fase se presentaron pequeñas trituraciones del mortero en la zona de unión entre las juntas horizontales y verticales. En la fase 4 se presentaron fisuras horizontales y verticales muy finas en las juntas de la zona central del tabique (Fig.19), las mismas que se prolongaron ligeramente en la fase 5.

Fig. 19
Fisuras en la parte central del tabique, en las fases 3 y 4.



4.1.2.6.3. Período natural de vibrar

El período natural de vibración (T) del tabique P-1, fue obtenido utilizando la respuesta del acelerómetro A5, ubicado en la parte central del tabique, luego de someterlo a ensayos de vibración libre antes de cada fase. Este período se incrementó desde 0,05 seg (previo a la fase 1) hasta 0,055 seg (previo a la fase 5), producto de las pequeñas fisuras formadas en el ensayo.

Admitiéndose que el tabique se comporta como una losa arriostrada por el pórtico, que la albañilería tiene un peso volumétrico $\rho = 1\ 892\ \text{kg/m}^3$ y un módulo de Poisson $\nu = 0,25$ ($G = 0,4E$), y que su período de vibrar es $T = 0,05$ seg, se obtuvo mediante la Ref.4 un

módulo de elasticidad para el tabique P-1: $E = 650,000$ ton/m², muy parecido al indicado en 5.3.

4.1.2.6.4. Resultados máximos.

En la Tabla 2, se indica los valores máximos registrados por los acelerómetros y LVDT (ver la notación en la Fig.7) en las 5 fases del ensayo, asimismo, aparece la carga "w", evaluada tal como se indicó en 6.1. Con relación a los desplazamientos que aparecen en la Tabla 2, estos fueron obtenidos restando al desplazamiento absoluto el desplazamiento de la plataforma.

Tabla 2. Resultados del ensayo de simulación sísmica										
Aceleración (g)	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Fase 1	0,21	0,27	0,26	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23
Fase 2	0,42	0,56	0,54	0,56	0,54	0,51	0,49	0,48	0,45	0,45
Fase 3	0,60	0,85	0,82	0,85	0,81	0,77	0,71	0,70	0,65	0,65
Fase 4	0,93	1,50	1,37	1,50	1,41	1,29	1,14	1,16	0,98	1,00
Fase 5	1,20	1,90	1,69	1,85	1,76	1,62	1,45	1,47	1,26	1,30
Desplazamiento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	Carga "w" (kg/m ²)				
Fase 1	(*)	0,52	3,74	0,68	0,49	29,65				
Fase 2	(*)	0,89	7,34	1,04	1,11	59,59				
Fase 3	(*)	1,32	10,80	1,43	1,68	86,37				
Fase 4	(*)	2,06	18,14	2,26	2,14	144,05				
Fase 5	(*)	2,58	24,15	3,33	2,97	180,32				

(*) Se descalibró el LVDT.

En cuanto a los desplazamientos, puede observarse en la Tabla 2 que D4 y D5 son parecidos en todas las fases del ensayo, por lo que se puede afirmar que no hubo separación entre el tabique y la columna, sino que más bien hubo compatibilidad de desplazamientos entre ambos elementos.

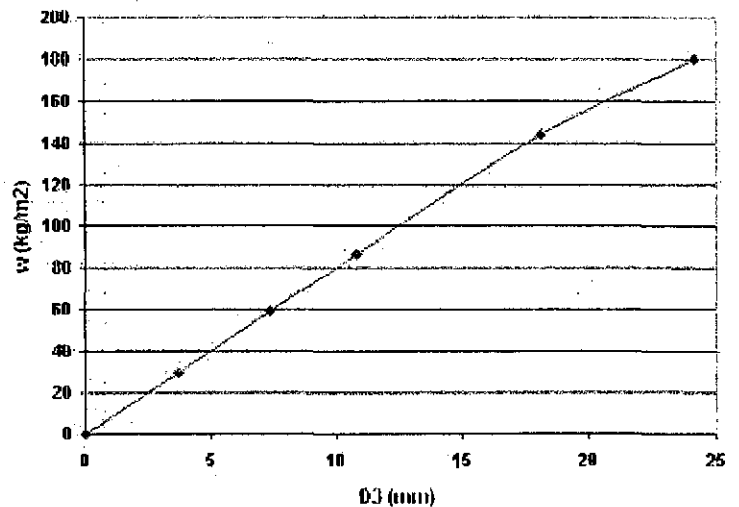
Asimismo, los mayores desplazamientos en la parte intermedia de la altura se produjeron en el punto central del muro (D3), lo que era previsible.

En relación a las aceleraciones, puede notarse en la Tabla 2 que están guardan una forma trapezoidal, con valores mayores en la parte alta del muro (A1, A2), y con un promedio con la existente en la parte baja (A8,

A9) que es parecido a la aceleración del punto central (A5).

En la Fig.20 se aprecia que la relación carga w - desplazamiento D_3 es prácticamente lineal, lo cual hace notar que la rigidez varió muy poco durante todo el ensayo. Este comportamiento es propio de sistemas elásticos y se debió a las pocas y finas fisuras formadas durante el ensayo.

Fig. 20
Curva w - D_3 en las 5 fases del ensayo sísmico.



4.1.2.6.5. Ensayo estático adicional

Puesto que en el ensayo sísmico el espécimen no pudo llevarse a condición de rotura, hubo que realizar un

ensayo adicional. Este ensayo consistió en rotar 90° al espécimen, apoyando a una de las caras laterales de la viga y la cimentación sobre perfiles metálicos, de tal modo que las columnas y el tabique queden en libertad de desplazarse verticalmente, para luego cargar paulatinamente al tabique con bolsas de arena (Fig.21).

En este ensayo pudo apreciarse la formación de grietas diagonales en el tabique, propias de una losa sujeta a cargas perpendiculares al plano, así como el agrietamiento por flexión de las columnas, esto último conlleva a la conclusión de que hubo una adecuada transmisión de cargas desde el tabique hacia las columnas, puesto que no se aplicó cargas sobre las columnas. Estas fisuras ocurrieron para una carga $w = 762 \text{ kg/m}^2$, que incluye el peso del tabique.

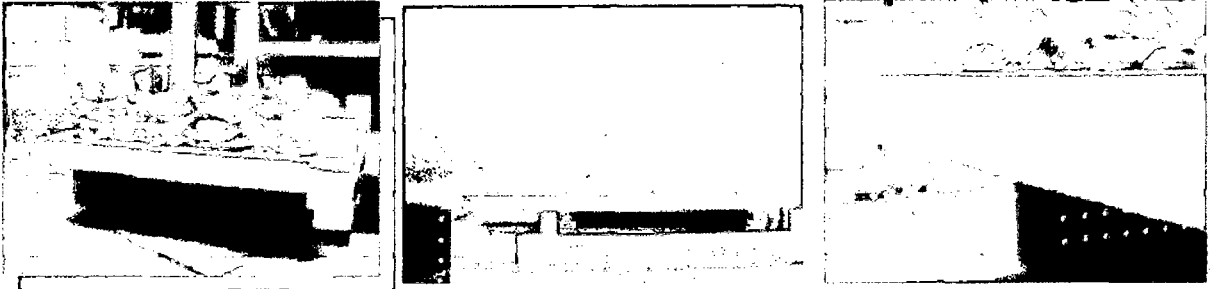


Fig.20. Ensayo estático (izq.) fisuras en el tabique (centro) y fisuras en la columna (der.)

El colapso que se obtuvo (Fig.21) fue frágil, presentándose roturas en el punto de soldadura perno-refuerzo del tabique y falla por anclaje del perno expansivo, ello ocurrió para una carga un tanto mayor que la de agrietamiento (762 kg/m²).

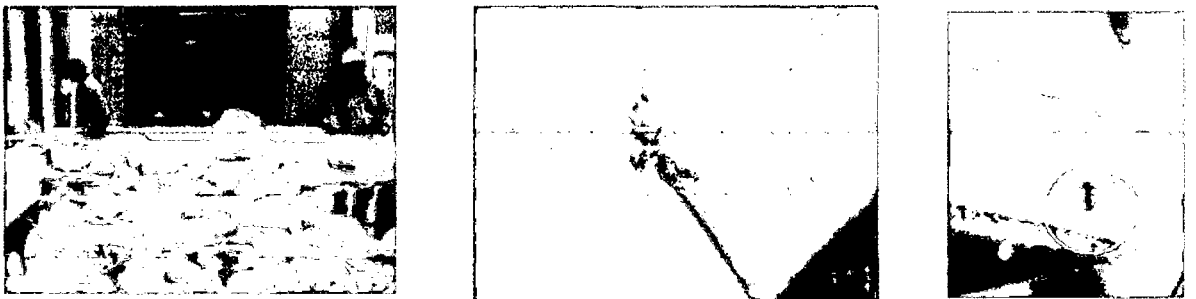


Fig.21. Colapso del tabique (izq.), falla por anclaje del perno expansivo (centro) y falla en el punto de soldadura perno-refuerzo vertical del tabique (der.)

4.1.2.6.6. Comparación con las cargas del reglamento sísmico

La carga sísmica reglamentaria de rotura, actuando en la dirección perpendicular al plano del tabique, se determina mediante la expresión $V = Z U C_1 P$, donde Z es el factor de zona, U es el factor de importancia, C_1 es el coeficiente sísmico y P es el peso del tabique ($P = g t = 1\ 892 \times 0,07 = 132$ kg/m²). Para efectos comparativos, se supone que el edificio se encuentra ubicado en la costa ($Z = 0,4$, la peor de las zonas sísmicas) y se analizan 2 situaciones:

Caso 1: tabique ubicado en la parte interna ($C_1 = 0,9$) de un edificio común ($U = 1$).

Caso 2: tabique ubicado en el perímetro ($C_1 = 1,3$) de un edificio esencial ($U = 1,5$).

Este caso corresponde a un tabique que puede precipitarse fuera de la edificación.

Bajo estas condiciones se obtiene:

$$V_1 \text{ (caso 1)} = 0,4 \times 1 \times 0,9 \times 132 = 48 \text{ kg/m}^2.$$

V2 (caso 2, el peor): $0,4 \times 1,5 \times 1,3 \times 132 = 103 \text{ kg/m}^2$.

Habiéndose obtenido que las primeras fisuras (muy finas) se produjeron en la fase 4 del ensayo sísmico para una carga $w = 144 \text{ kg/m}^2$ (Tabla 2) y que las grietas estructurales se presentaron para una carga de 762 kg/m^2 (acápite 4.1.2.6.5), se llega a la conclusión de que el tabique P-1 podría soportar la carga reglamentaria más adversa (caso 2) en el rango elástico y que presenta un margen de seguridad contra el colapso de 15,9 para las situaciones comunes (caso 1) y de 7,4 para las situaciones más adversas (caso 2), con lo cual, el tabique P-1 analizado estuvo sobredimensionado ante las acciones sísmicas transversales a su plano.

4.1.2.6.7. Resistencia a la primera fisura de tracción por flexión

Las primeras fisuras de tracción por flexión se presentaron en la fase 4 del ensayo sísmico para una carga $w = 144 \text{ kg/m}^2$ (Tabla 2). Suponiendo que el

tabique actúa como una losa simplemente apoyada sobre el pórtico, es posible determinar el momento sísmico (M) en la parte central del tabique como: $M = m h^2 w = 0,051 \times 2,42 \times 144 = 42,3 \text{ kg-m/m}$, con lo cual, la resistencia a tracción por flexión de la albañilería P-7 puede calcularse como:

$$\sigma = My/I = 6M/(bt^2) = 6 \times 42,3 / (1 \times 0,07^2) = 51796 \text{ kg/m}^2 \cong 5 \text{ kg/cm}^2$$

4.1.2.7. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se vierten en este artículo son válidas para el tabique P-1 de 2,4 m de altura, conectado al pórtico de concreto armado mediante pernos expansivos y soldadura en la unión con el refuerzo vertical del tabique. Casos donde se ancla el refuerzo vertical en perforaciones hechas en el concreto taponándolas luego con mortero o con epóxico, o donde la altura sea mayor que 2,4 m, deben ser materia de futuras investigaciones.

4.1.2.7.1. Ventajas del tabique P-1

El tabique P-1 presenta las siguientes ventajas sobre la tabiquería de albañilería tradicional:

- Su menor espesor (7 cm vs. 12 cm) permite que los ambientes tengan una mayor área libre.
- Su menor espesor y la ausencia de tarrajeos (el tabique P-1 requiere empaste) permiten reducir sustancialmente el peso del edificio, con lo cual, disminuye la fuerza sísmica así como el refuerzo de los elementos estructurales, lo que incide en la disminución de costos.
- Su construcción en una sola jornada de trabajo, hasta una altura de 2,4 m, y las grandes dimensiones de la placa P-1, reducen en forma significativa el costo de la mano de obra.
- Su refuerzo vertical interno le permite un comportamiento dúctil después de haberse producido

el agrietamiento diagonal del muro por acciones sísmicas coplanares; mientras que para acciones sísmicas perpendiculares al plano, este refuerzo impide la falla por volcamiento, en tanto que los tabiques tradicionales requieren de arriostramientos.

4.1.2.7.2. Integración del tabique P-1 a la estructura

Por la forma como se construye y refuerza al tabique P-1, éste se integra totalmente al pórtico que lo enmarca, incrementando su resistencia y rigidez, lo cual puede favorecer o desfavorecer al comportamiento sísmico del edificio (podría causarle problemas de torsión o de piso blando). De esta manera, considerándose que el tabique P-1 no puede aislarse de la estructura principal, debe incluirse su participación en el análisis sísmico estructural contemplando lo siguiente:

- Es posible aplicar el criterio de la sección transformada para el cálculo de la rigidez lateral.

- El reemplazo del tabique por puntales diagonales no es efectivo, debido a que el tabique no llega a separarse del pórtico (observación proveniente de los experimentos).
- Las deformaciones diferidas de las vigas de concreto armado harían con el tiempo que el tabique porte una fracción de la carga vertical, aunque ello debe ser de poca importancia.

Más relevante se considera la mejora que producirían estas deformaciones diferidas en la transmisión de las fuerzas sísmicas desde la losa del techo hacia los tabiques P-1.

4.1.2.7.3. Propiedades estructurales del tabique P-1

Para fines estructurales puede emplearse las siguientes propiedades para el tabique P-1:

1. Peso volumétrico: $g = 1\ 890\ \text{kg/m}^3$, 5% mayor que el de la albañilería tradicional.
2. Módulo de elasticidad: $E = 600\ 000\ \text{t/m}^2$.

3. Módulo de corte: $G = 0,4 E$ (o módulo de Poisson = 0,25).

4. Resistencia a fuerza cortante: 2,5 t/m de longitud (o 3,6 kg/cm²), en condición de rotura.

Esta resistencia fue evaluada restando a la resistencia del conjunto la resistencia que aportaba el pórtico, asumiendo que éste tenía un mecanismo de falla por flexión.

- Capacidad de distorsión inelástica: 0,007. El tabique P-1 ensayado a carga lateral cíclica pudo soportar la distorsión angular máxima permitida por la Norma Sísmica E.030 (0.007, Ref.1) para edificaciones aporricadas, formándose en esta etapa fisuras finas y una pequeña disminución de la resistencia a fuerza cortante.

- Resistencia a la primera fisura de tracción por flexión de la albañilería ante acciones sísmicas perpendiculares al plano: 5 kg/cm².

4.1.2.7.4. Comportamiento del tabique P-1 ante acciones sísmicas transversales

- El tabique P-1 ensayado en mesa vibradora a carga sísmica perpendicular a su plano, se comportó como una losa apoyada sobre el pórtico, con un período natural de vibrar de 0,05 seg muy distante del período predominante del sismo de ensayo (0,4 seg), por lo cual no entró en condición de resonancia, comportándose prácticamente en el régimen elástico, incluso para aceleraciones en la base de hasta 1,2g correspondiente a sismos muy severos.
- Cuando el conjunto pórtico-tabique se giró 90° para someterlo a cargas estáticas, se produjeron fisuras en el tabique en forma de aspa, propias de una losa arriostrada en sus 4 bordes, y fisuras de flexión en las columnas, lo cual indicó que las cargas se transmitieron en forma adecuada desde el tabique hacia las columnas. Bajo esta condición, se alcanzó una carga 7,4 veces superior a la carga de rotura reglamentaria para la condición más adversa (tabique

ubicado en el perímetro de un edificio esencial localizado en la costa), por lo que se considera que el tabique P-1 se encuentra sobredimensionado para este tipo de acción, pero, para acciones sísmicas coplanares se considera que el refuerzo utilizado es adecuado.

4.1.2.8. COMENTARIOS

Del ensayo realizado se destaca los siguientes factores muy importantes en construcción:

- Velocidad de aplicación: Por sus características autonivelantes, reduce el tiempo de ejecución de obra hasta en un 50%, lo que hace de él un material óptimo para obras de gran envergadura, donde la rapidez de ejecución constituye un factor decisivo.
- Costos: La reducción de costos está directamente relacionada a la velocidad de ejecución y a la reducción de desperdicio de materiales, ya que los materiales componentes:

cemento, arena, espuma y agua son de fácil control y medición; además durante el proceso de transporte y bombeado, el desperdicio es prácticamente nulo.

- Control de calidad: La producción de todo el concreto celular colocado en obra sigue un riguroso control de calidad, a través de un laboratorio montado al pie de obra; en el cual se realizan los controles del mortero matriz y del concreto celular antes de su colocación, a modo tal que se mantenga la densidad de masa específica para cada caso.
- Un obrero rinde más colocando unidades grandes de concreto celular que colocando unidades pequeñas fabricadas con concretos normales.
- Un obrero utiliza menor mortero de pega colocando unidades de concreto celular que cualquier otro sistema.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LAS VIVIENDAS

UNIFAMILIARES EN ESTUDIO

5.1 Modelo estructural para viviendas unifamiliares de concreto convencional y de concreto celular

5.1.1 Descripción de las viviendas

a) Ubicación

El terreno del proyecto en mención se ubica en la Asoc. "La Agronómica" S/N del distrito Coronel Gregorio Albarracín, provincia y departamento de Tacna.

b) Distribución arquitectónica

Ambas viviendas son de 2 pisos, la altura total de la edificación es de 6,00 metros.

Con respecto a las áreas, tenemos que el área por piso es de: 120 m², y el área total es de

240 m². La planta es libre y cualquier separación será de tabiquería móvil. Los diferentes pisos estarán conectados por una escalera ubicada en el interior de la edificación.

En el primer nivel, interior:

<u>Descripción de ambiente</u>	<u>Área (m²)</u>
Sala - Comedor - Bar	53,20
Cocina	24,30
Hall - Escalera	14,00
Estudio	13,50
01 SS.HH.	5,00
Total=	110,00

En el segundo nivel, interior:

<u>Descripción de ambiente</u>	<u>Área (m²)</u>
Sala de estar	17,00
Hall - Escalera	21,52
Dormitorio 01	18,20
Dormitorio 02	12,60
Dormitorio 03	14,60
01 SS.HH.	5,50
01 SS.HH. en dormitorio princ.	7,20
Dormitorio principal	17,80
Total=	114,42

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma **TH-010** tipos de habilitaciones, en lo referente a Habilitaciones residenciales dentro del Capítulo I - Generalidades, se tiene:

Artículo 8.- La densidad máxima permisible se establece en la Zonificación y como consecuencia de ella se establecen el área mínima y el frente mínimo de los Lotes a habilitar, de conformidad con el Plan de Desarrollo Urbano.

Artículo 9.- En función de la densidad, las Habilitaciones para uso de Vivienda o Urbanizaciones se agrupan en seis tipos, de acuerdo al siguiente cuadro:

TIPO	ÁREA MINIMA DE LOTE	FRENTE MÍNIMO DE LOTE	TIPO DE VIVIENDA
1	450 M2	15 ML	UNIFAMILIAR
2	300 M2	10 ML	UNIFAMILIAR
3	160 M2	8 ML	UNIFAM / MULTIFAM
4	90 M2	6 ML	UNIFAM / MULTIFAM
5	(*)	(*)	UNIFAM / MULTIFAM
6	450 M2	15 ML	MULTIFAMILIAR

Fuente = <http://www.construccion.org.pe/normas/rne2006.htm>
(Reglamento nacional de edificaciones)

Por lo tanto la propuesta de las viviendas unifamiliares en la presente tesis cumple las características de vivienda unifamiliar con un frente de 8 ml en una zona de densidad media (R3) conforme al reglamento nacional de edificaciones en la norma TH-010.

Comentario.-

Esta tesis pretende demostrar si es posible o no, el uso de este material en elementos estructurales tales como losas, columnas, vigas, obras de concreto simple y zapatas en viviendas unifamiliares, logrando así un menor peso de la estructura.

En el **anexo 2** se muestra la distribución arquitectónica, cortes y elevaciones de la vivienda propuesta, relación de planos:

- Lámina A-01 = Planta 1er y 2do nivel
- Lámina C/E = Cortes y elevaciones de 1er y 2do nivel.

5.2 Estructuración

Con respecto al sistema estructural, se utilizara un sistema de pórticos de concreto armado y albañilería confinada, es decir con un sistema en el cual las cargas horizontales y verticales son resistidas únicamente por pórticos de concreto armado y un diseño a la rotura para los muros de albañilería.

Se realizó el análisis de dos viviendas unifamiliares utilizando el programa RCBE y el SAP 2000, se diseñaron los elementos de concreto armado, como son: las vigas, las columnas, la losa aligerada y las zapatas, para el diseño a la rotura se utilizó una plantilla de cálculo elaborada en base a la documentación sobre "Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería".

El material utilizado en la primera vivienda fue concreto convencional y para la segunda vivienda

concreto celular con las siguientes propiedades¹.

(Ver cuadro 1)

Cuadro 1	Vivienda de concreto convencional	Vivienda de concreto celular
Peso específico (kg/m ³)	2400	1855 ²
Resistencia, f'c (kg/cm ²)	210	210
Modulo de elasticidad, E (kg/cm ²)	217 371	179 551
Modulo de Poisson, μ	0,20	0,20
Modulo de corte, Gc (kg/cm ²)	90 571	74 195
Resistencia a tracción, fct (kg/cm ²)	-----	21,15 ³
Resistencia al corte del concreto (kg)	$Vc = 0.53x\sqrt{f'c}xbxd$	$Vc = 0.53x\frac{fct}{1.77}xbxd$
Coef. expan. térmica (por °C)	0,000009	0,000009

Los elementos estructurales como columnas y vigas serán de concreto armado la cimentación esta conformada por zapatas y cimientos corridos, la capacidad de carga del suelo es de 2,5 kg/cm², la

¹ Las propiedades del concreto celular son las obtenidas de los ensayos realizados en la presente tesis, con excepción del coeficiente de expansión térmica.

² Peso de los agregados del diseño 4 (concreto de f'c 210 kg/cm²)

³ Este valor es importante en concreto celular para determinar la resistencia Vc que tiene el concreto para el diseño

losa es aligerada de $e=0,20m$, con un recubrimiento de 2cm

Cuadro 2 Geometría	Vivienda concreto convencional	Vivienda concreto celular
Altura total (m)	6,00	6,00
Altura entre piso(m)	2,825	2,825
Área por piso (m ²)	120	120
Separación entre ejes en x (m)	4,90	4,90
Separación entre ejes en y (m)	3,85	3,85
Numero de vanos en x	3	3
Numero de vanos en y	2	2

Fuente = Elaboración propia.

5.3 Dimensionamiento

Predimensionamiento de losa, vigas y columna.-

En los pórticos 2-2, B-B,C-C las secciones de las columnas y vigas fueron definidas a fin de que ambas viviendas presenten los mismos desplazamientos laterales debidos a la acción de la fuerza sísmica, sin embargo también se evaluó el diseño a la rotura para los tramos en albañilería confinada. (Ver cuadro 3)

Cuadro 3 Secciones	Vivienda concreto convencional	Vivienda concreto celular
Espesor de Losa (m)	0,20	0,20
Vigas de 4,90 m (m)	0,30 x 0,45	0,30 x 0,45
Vigas de 3,85 m (m)	0,30 x 0,45	0,30 x 0,45
Columnas (m)	0,30 x 0,30	0,30 x 0,30

5.4 Metrado de cargas

Con respecto a la sobrecarga basándonos en el reglamento (Reglamento nacional de edificaciones E020 - Cargas) capítulo 03 - Carga viva en la tabla 1 - Cargas vivas mínimas repartidas, tomaremos como carga viva 200 kg/m², esta será igual para los dos niveles. (Ver cuadro 4)

Cuadro 4 Cargas	Vivienda concreto convencional	Vivienda concreto celular
Peso tabiquería (kg/m ²)	250	250
Piso terminado (kg/m ²)	100	100
Sobre-carga - viviendas (kg/m ²) (30%) (E030)	200	200
Sobre carga de azotea (kg/m ²) (30%)	100	100

5.5 Análisis estructural

Empezaremos con el análisis sísmico del modelo estructural para una vivienda unifamiliar, con las consideraciones anteriores de dimensionamiento y metrado de cargas se tiene lo siguiente que:

- Primero, analizaremos el diseño a la rotura, en los muros de albañilería según como se muestra en la lámina E/Q de los planos en anexo 3, desarrollándose una plantilla de cálculo de acuerdo a los criterios de análisis expuestos en los libros: "Análisis y diseño de Edificaciones de albañilería - Ing. Flavio abanto Castillo" y "Diseño de Muros de mampostería- Ing. Roberto Meli Piralla", para Diseño en Albañilería Confinada.
- Para el análisis de los pórticos en concreto armado usamos el programa RCBE y el SAP 2000, lo primero que hicimos fue definir los

materiales, luego la geometría de los elementos.

- Después ingresamos las cargas, se definieron los diafragmas de piso, luego se definieron las combinaciones de carga según el reglamento, finalmente se definió el espectro de aceleraciones debido a las sollicitaciones sísmicas.
- Se hizo un primer análisis de la edificación y se verificó que cumpliera con los requisitos de la norma técnica E-030 - diseño sismo resistente, por lo tanto la sección de las columnas queda de 30 x 30 cm.

Cálculo del peso de cada nivel - Concreto convencional.-
(P.u=2400kg/m3)

1er nivel						
Elemento	N° veces	Ancho	Longitud	Altura	P.U. (kg/m2)	Peso
P.P. viga P-1	3	0,30	4,90	0,45	2400	4 762,80
P.P. viga P-2	1	0,30	3,85	0,45	2400	1 247,40
P.P. viga solera	10	0,15	4,60	0,30	2400	4 968,00
P.P. losa aligerada	6	4,90	3,85		280	31 693,20
P. tabiquería repar.		8,00	15,00		250	30 000,00
Sobre carga	0,30	8,00	15,00		200	7 200,00
P.P. columna	6	0,30	2,825	0,30	2400	3 661,20
P.P. columna	2	0,25	2,825	0,25	2400	847,50
Total=						84 380,10

Masa₁:

$$m_1 = \frac{W_1}{g} \dots W_1 (\text{kg/ml}) \dots g (980 \text{ cm/s}^2)$$

$$m_1 = \frac{84380,1}{980} = 86,102 \text{ kg} - \text{masa}$$

2do nivel						
Elemento	N° veces	Ancho	Longitud	Altura	P.U. (kg/m2)	Peso
P.P. viga P-1	3	0,30	4,90	0,45	2400	4 762,80
P.P. viga P-2	1	0,30	3,85	0,45	2400	1 247,40
P.P. viga solera	7	0,15	4,60	0,30	2400	3 477,60
P.P. losa aligerada	6	4,90	3,85		280	31 693,20
P. piso terminado		8,00	15,00		100	30 000,00
Sobre carga azotea	0,3	8,00	15,00		100	7 200,00
P.P. columna	5	0,30	2,825	0,30	2400	3 051,00
P.P. columna	1	0,25	2,825	0,25	2400	423,75
Total=						81 855,75

Masa₂:

$$m_2 = \frac{W_2}{g}, \dots W_2 (\text{kg/ml}) \cdot y \cdot g (980 \text{cm/s}^2)$$

$$m_2 = \frac{81855,75}{980} = 83,526 \text{kg} - \text{masa}$$

Cálculo del peso de cada nivel - Concreto celular.-

(P.u=1855kg/m³)

1er nivel						
Elemento	N° veces	Ancho	Longitud	Altura	P.U. (kg/m ²)	Peso
P.P. viga P-1	3	0,30	4,90	0,45	1855	4 762,80
P.P. viga P-2	1	0,30	3,85	0,45	1855	1 247,40
P.P. viga solera	10	0,15	4,60	0,30	1855	4 968,00
P.P. losa aligerada	6	4,90	3,85		216,42	24 496,58
P. tabiquería repar.		8,00	15,00		250	30 000,00
Sobre carga	0,30	8,00	15,00		200	7 200,00
P.P. columna	6	0,30	2,825	0,30	1855	3 661,20
P.P. columna	2	0,25	2,825	0,25	1855	847,50
Total=						77 183,48

Masa₁:

$$m_1 = \frac{W_1}{g}, \dots W_1 (\text{kg/ml}) \cdot y \cdot g (980 \text{cm/s}^2)$$

$$m_1 = \frac{77183,48}{980} = 78,759 \text{kg} - \text{masa}$$

2do nivel						
Elemento	N° veces	Ancho	Longitud	Altura	P.U. (kg/m ²)	Peso
P.P. viga P-1	3	0,30	4,90	0,45	1855	4 762,80
P.P. viga P-2	1	0,30	3,85	0,45	1855	1 247,40
P.P. viga solera	7	0,15	4,60	0,30	1855	3 477,60
P.P. losa aligerada	6	4,90	3,85		216,42	24 496,58
P. piso terminado		8,00	15,00		100	30 000,00
Sobre carga azotea	0,3	8,00	15,00		100	7 200,00

P.P. columna	5	0,30	2,825	0,30	1855	3 051,00
P.P. columna	1	0,25	2,825	0,25	1855	423,75
					Total=	74 659,13

Masa₂:

$$m_2 = \frac{W_2}{g} \dots W_2 (\text{kg/ml}) \dots g (980 \text{cm/s}^2)$$

$$m_2 = \frac{74659,13}{980} = 76,183 \text{kg} - \text{masa}$$

Comentario.-

- Masa total concreto convencional = 169,628 kg-masa (1er+2do piso)
- Masa total concreto celular = 159,942 kg-masa (1er+2do piso)

Por lo tanto hay una reducción en peso aproximadamente del 8% en la vivienda de concreto celular respecto a la de concreto convencional, lo que demuestra la reducción en peso que se puede conseguir con el concreto celular.

5.5.1 DISEÑO A LA ROTURA PARA UNA VIVIENDA CON CONCRETO CONVENCIONAL DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

El presente programa permite diseñar los elementos resistentes para una vivienda de mediana altura, según la última

Norma de albañilería E-070

1. Características del edificio

A. Características geométricas

Número de pisos

2

h=altura libre de la albañilería

e= espesor efectivo de los muros

l=longitud del muro

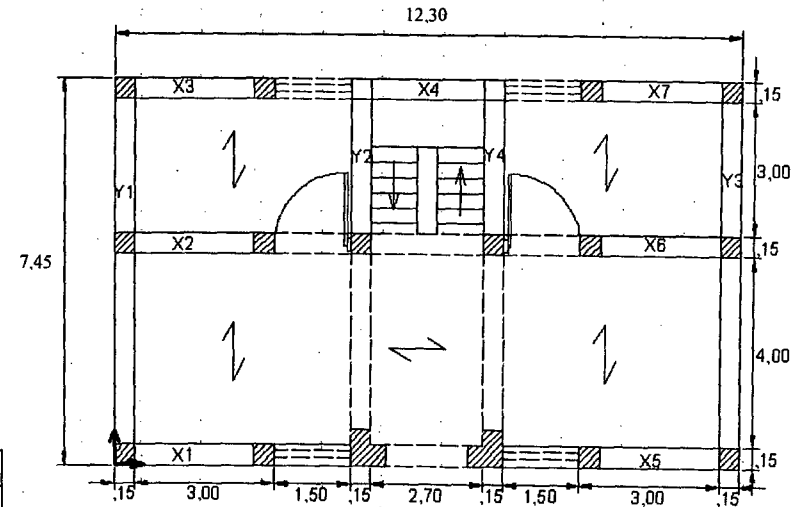
x= coordenada x del centroide del muro respecto a un origen común

y= coordenada y del centroide del muro respecto a un origen común

Nota: se consideran a los alfeizers aislados de la estructura principal

Columnas en sistema aporticado:

	Área (m ²)	Altura				Centroide	
		1° piso	2° piso	3° piso	4° piso	x	y
C1	0,0900	2,8	2,8	0	0	0,15	4,00
C2	0,0900	2,8	2,8	0	0	5,05	4,00
C3	0,0900	2,8	2,8	0	0	9,96	4,00
C4	0,0900	2,8	2,8	0	0	5,05	5,88
C5	0,0625	2,8	2,8	0	0	5,06	0,15



Planta del ejemplo del libro Albañilería estructural

PISO :1 DATOS DE ESE NIVEL					
#	h	e	l	x	y
X1	2,83	0,15	4,68	2,34	7,93
X2	2,83	0,15	4,60	12,25	7,93
X3	2,83	0,15	4,60	12,25	4,08
X4	2,83	0,15	4,80	12,35	0,08
X5	2,83	0,15	4,65	2,33	0,08
Y1	2,83	0,15	2,60	0,08	6,45
Y2	2,83	0,15	2,60	9,88	6,45
Y3	2,83	0,15	3,60	7,06	2,10
Y4	2,83	0,15	2,75	9,89	1,53
Y5					
Y6					
Y7					
Y8					
Y9					
Y10					
Y11					
Y12					
			b	h	
Sección de vigas y dinteles (bxh) (cm)			15,00	30,00	
Altura de alfeizer (promedio) (m)				1,00	
Espesor de aligerado (cm)				20,00	
Altura de ventana (promedio) (m)				1,40	

Fuente: Elaboración propia.

PISO :2 DATOS DE ESE NIVEL					
#	h	e	l	x	y
X1	2,83	0,15	5,25	2,78	7,93
X2	2,83	0,15	4,60	12,83	7,93
X3	2,83	0,15	4,60	12,83	4,08
X4	2,83	0,15	4,65	12,86	0,08
X5	2,83	0,15	5,23	2,62	0,08
Y1	2,83	0,15	1,25	0,08	7,23
Y2	2,83	0,15	2,60	10,46	6,67
Y3	2,83	0,15	3,55	5,56	2,08
Y4	2,83	0,15	2,95	8,86	1,63
Y5					
Y6					
Y7					
Y8					
Y9					
Y10					
Y11					
Y12					
			b	h	
Sección de vigas y dinteles (bxh) (cm)			15,00	30,00	
Altura de alfeizer (promedio) (m)				1,00	
Espesor de aligerado (cm)				20,00	
Altura de ventana (promedio) (m)				1,40	

1° piso	
XX	YY
0,61	0,34
0,60	0,34
0,60	0,47
0,62	0,36
0,60	0,00
3,03	1,50
2° piso	
XX	YY
0,68	0,16
0,60	0,34
0,60	0,46
0,60	0,38
0,68	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
3,16	1,35

B. Características de los materiales

Concreto $f'c=$	210 kg/cm ²
Módulo elasticidad =	217 317,00 kg/cm ²
Acero $f'y=$	4200 kg/cm ²
Albañilería ▶	
$f'm=$	45 kg/cm ²
$v'm=$	6,7 kg/cm ²
Módulo elasticidad =	22 500 kg/cm ²
Ladrillo :	sólido de arcilla Tipo V, máximo 30% de perforaciones
Mortero :	1:4 (cemento : arena gruesa)

C. Cargas unitarias

Concreto armado =	2400 kg/m ³
Aligerado =	0,28 t/m ²
Acabados=	0,1 t/m ²
Sobrecarga piso típico	
=	0,2 t/m ²
Sobrecarga azotea =	0,1 t/m ²
Sobrecarga escalera-	
Corredor =	0,4 t/m ²
Muros tarrajeados=	1,9 t/m ³
Alfeizer y parapetos=	1,4 t/m ³
Ventanas =	0,02 t/m ²

2. Estructuración y predimensionamiento

Se asumirá que todos los muros están confinados por columnas mínimas (15cmx15cm) y se verificará:

1. La compresión del muro más cargado.
2. La densidad de muros reforzados en cada dirección.

Fuente: Elaboración propia.

D. Dimensiones de planta

Longitudes de planta dx y dy

	dx	dy
1° piso	14,7	7,7
2° piso	14,7	7,7
3° piso		
4° piso		

A. Revisión por compresión de muros del primer piso

PISO :1 Revisión por compresión							<0,15F'm	
#	Peso Propio	Viga	Ancho tributario	Losa	SC	Em	Øm	67,5
X1	1,61	0,17	2,50	1,90	0,75	4,43	34,06	OK
X2	1,61	0,17	2,50	1,90	0,75	4,43	34,06	OK
X3	1,61	0,17	2,50	1,90	0,75	4,43	34,06	OK
X4	1,61	0,17	2,50	1,90	0,75	4,43	34,06	OK
X5	1,61	0,17	0,00	0,00	0,00	1,78	13,67	OK
X6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
X7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
X8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
X9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
X10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
X11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
X12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
Y1	1,61	0,17	1,60	1,22	0,48	3,47	26,72	OK
Y2	1,61	0,17	3,35	2,55	1,01	5,33	40,99	OK
Y3	1,61	0,17	1,40	1,06	0,42	3,26	25,09	OK
Y4	1,61	0,17	0,00	0,00	0,00	1,78	13,67	OK
Y5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
Y6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
Y7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
Y8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
Y9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
Y10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
Y11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK

Prosigue en la pág. 345 →

B. Revisión de la densidad mínima de muros reforzados en cada dirección

$$\sum \frac{L_t}{A_p} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

Z = factor de zona = 0,4
 U = factor de uso = 1
 S = Factor de suelo = 1
 N = N° de pisos = 2

ZUSN / 56 ▶
 1° piso 0,014
 2° piso 0,007

Ap. = área del piso en verificación

Planta 1° piso = 113,19

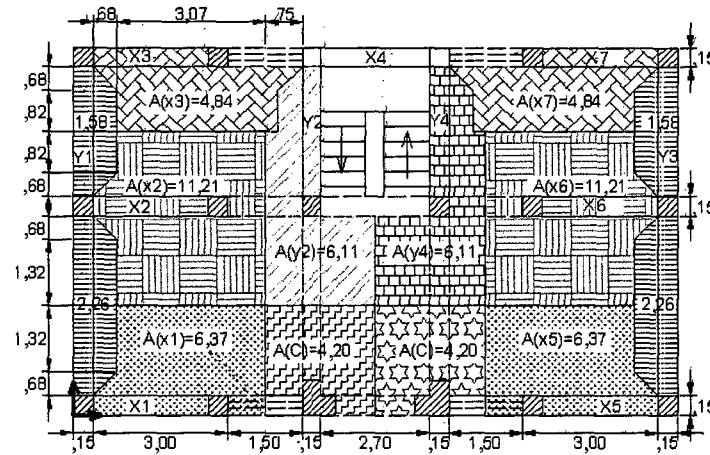
Planta 2° piso = 113,19

L = longitud total del muro confinado

t = espesor efectivo del muro

1° piso				
Según XX:	0,027	>	0,014	Ok
Según YY:	0,015	>	0,014	Ok
2° piso				
Según XX:	0,028	>	0,007	Ok
Según YY:	0,012	>	0,007	Ok

Fuente: Elaboración propia.



Áreas tributarias del ejemplo del libro Albañilería confinada

3. Medrado de cargas

A) Cargas directas en piso 1° piso (no acumulado)

Alféizar con ventana =	0,33 t/m
Vigas Peraltadas =	0,10 t/m
Muros =	0,89 t/m

B) Cargas directas en piso 2° piso (no acumulado)

Alféizar con ventana =	0,24 t/m
Vigas peraltadas =	0,10 t/m
Muros =	0,89 t/m

C) Cargas indirectas

a) Escalera

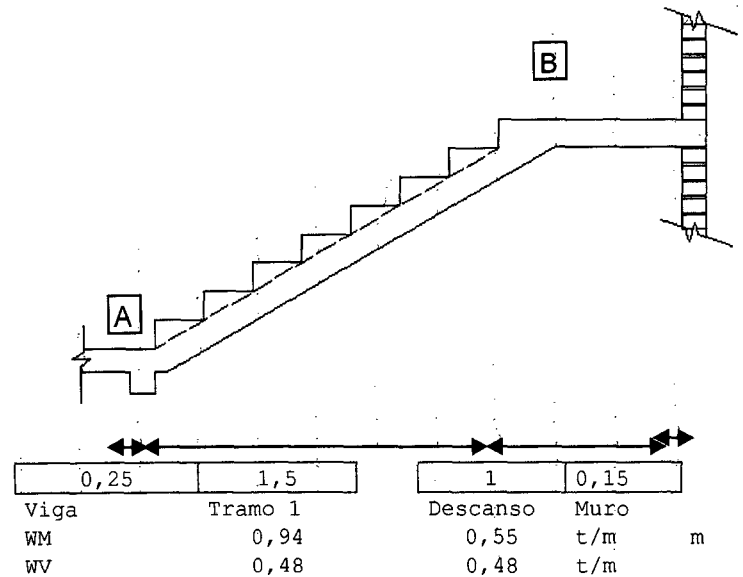
Cargas directas en piso 3° piso (no acumulado)

Alfeizer con ventana =	0,01 t/m
Vigas peraltadas =	0,10 t/m
Muros =	0,00 t/m

Cargas directas en piso 4° piso (no acumulado)

Vigas peraltadas =	0,00 t/m
Muros =	0,00 t/m

parapeto en azotea
Parapeto = 0,01 t/m



Acabados = 0,1 t/m²

Sobrecarga = 0,4 t/m²

Peldaños = 2,4 t/m³

Ancho del tramo = 1,2 m

Espesor escalera = 0,2 m

Fuente: Elaboración propia.

Suma Mad =	$-2,16 + R_b \times$	$2,5$	
	Rbd =	0,86	t
	Rad =	1,10	t
Suma Fyl =	$-1,20 + R_a + R_b$		
Suma Mad =	$-1,50 + R_b \times$	$2,5$	
	Rbl =	0,60	t
	Ral =	0,60	t

b) Losa

Wd (peso propio+acabados)	0,38 t/m ²
Wl (piso típico)	0,2 t/m ²
Wl (azotea)	0,1 t/m ²

Áreas tributarias en m²

Se ha considerado un ancho efectivo de losa para los muros no portantes, igual a 4 veces el espesor del aligerado

Fuente: Elaboración propia.

PISO :1 DATOS DE ESE NIVEL			
#	Área tribut.	Pmuertalosa	Pvivalosa
X1	6,26	2,38	1,25
X2	6,25	2,38	1,25
X3	11,70	4,45	2,34
X4	5,50	2,09	1,10
X5	5,75	2,19	1,15
Y1	2,82	1,07	0,56
Y2	2,82	1,07	0,56
Y3	7,50	2,85	1,50
Y4	5,50	2,09	1,10
Y5		0,00	0,00
C1	8,44	3,21	1,69
C2	16,13	6,13	3,23
C3	16,84	6,40	3,37
C4	9,30	3,53	1,86
C5	9,30	3,53	1,86

Fuente: Elaboración propia.

PISO :2 DATOS DE ESE NIVEL			
#	Area tribut.	Pmuertalosa	Pvivalosa
X1	6,60	2,51	0,66
X2	5,50	2,09	0,55
X3	11,80	4,48	1,18
X4	7,30	2,77	0,73
X5	9,25	3,52	0,93
Y1	1,70	0,65	0,17
Y2	3,30	1,25	0,33
Y3	7,50	2,85	0,75
Y4	3,60	1,37	0,36
Y5		0,00	0,00
C1	8,44	3,21	0,84
C2	16,13	6,13	1,61
C3	16,84	6,40	1,68
C4	9,30	3,53	0,93
C5	9,30	3,53	0,93

Fuente: Elaboración propia.

D) Cargas gravitacionales por nivel

CARGA MUERTA GRAVITACIONAL PISO 1								
#	Losas	Muro	viga peraltada		Alféizar o parapeto			Escalera
			Suma Long	Pviga	L. Alféizar	L. Parapeto	P	
X1	2,38	4,16	2,71	0,26		2,71	0,02	
X2	2,38	4,09	3,40	0,32		3,40	0,02	
X3	4,45	4,09	4,00	0,38		4,00	0,03	
X4	2,09	4,27	4,00	0,38		4,00	0,03	
X5	2,19	4,13	4,00	0,38		4,00	0,03	
Y1	1,07	2,31	4,70	0,45			0,00	
Y2	1,07	2,31	4,70	0,45			0,00	
Y3	2,85	3,20	4,50	0,43			0,00	1
Y4	2,09	2,44	4,50	0,43			0,00	1
C1	3,21	0,47		0,00			0,00	
C2	6,13	0,47		0,00			0,00	
C3	6,40	0,47		0,00			0,00	
C4	3,53	0,47		0,00			0,00	
C5	3,53	0,32		0,00			0,00	

CARGA VIVA GRAVITACIONAL PISO 1				
#	Losas	viga peraltada		
		Suma Long	Pviga	Escalera
X1	1,25	2,71	0,08	
X2	1,25	3,40	0,10	
X3	2,34	4,00	0,12	
X4	1,10	4,00	0,12	
X5	1,15	4,00	0,12	
Y1	0,56	4,70	0,14	
Y2	0,56	4,70	0,14	
Y3	1,50	4,50	0,14	0,6
Y4	1,10	4,50	0,14	0,6
C1	1,688	0,00	0,00	
C2	3,226	0,00	0,00	
C3	3,368	0,00	0,00	
C4	1,86	0,00	0,00	
C5	1,86	0,00	0,00	

Fuente: Elaboración propia.

CARGA MUERTA GRAVITACIONAL PISO 2								
#	Losa	Muro	viga peraltada		Alféizar o parapeto			Escalera
			Suma Long	Pviga	L. Alféizar	L. Parapeto	P	
X1	2,51	4,67	2,71	0,26		2,71	0,02	
X2	2,09	4,09	3,40	0,32		3,40	0,02	
X3	4,48	4,09	4,00	0,38		4,00	0,03	
X4	2,77	4,13	4,00	0,38		4,00	0,03	
X5	3,52	4,65	4,00	0,38		4,00	0,03	
Y1	0,65	1,11	4,70	0,45			0,00	
Y2	1,25	2,31	4,50	0,43			0,00	
Y3	2,85	3,15	4,70	0,45			0,00	1
Y4	1,37	2,62	4,50	0,43			0,00	1
C1	3,21	0,47		0,00			0,00	
C2	6,13	0,47		0,00			0,00	
C3	6,40	0,47		0,00			0,00	
C4	3,53	0,47		0,00			0,00	
C5	3,53	0,32		0,00			0,00	

CARGA VIVA GRAVITACIONAL PISO 2				
#	Losa	viga peraltada		
		Suma Long	Pviga	Escalera
X1	0,66	2,71	0,04	
X2	0,55	3,40	0,10	
X3	1,18	4,00	0,12	
X4	0,73	4,00	0,12	
X5	0,93	4,00	0,12	
Y1	0,17	4,70	0,14	
Y2	0,33	4,50	0,14	
Y3	0,75	4,70	0,14	0,6
Y4	0,36	4,50	0,14	0,6
C1	0,84	0,00	0,00	
C2	1,61	0,00	0,00	
C3	1,68	0,00	0,00	
C4	0,93	1,00	0,03	
C5	0,93	0,00	0,00	

Fuente: Elaboración propia.

4. Análisis estructural ante el sismo moderado

a) Fuerza cortante basal

Norma Sismorresistente
E030-2003.doc

Cortante basal = $H = \frac{1}{2} [ZUSCP/R]$

Fuerza de inercia (sismo moderado) = $F_i = P_i h_i H / \sum P_i h_i$

Cortante de entrepiso = $H_i = \sum F_i$

Peso de la edificación = 158,30 t

Z = 0,4

U = 1

S = 1,2

Altura = 2,8 (Altura del edificio en metros)

$C_T = 60$

T = 0,04666667 seg

$T_p = 0,4$

C = 2,5 (asumir este valor siempre que $T_p > T$)

R = 3 (factor de reducción albañilería confinada)

$V_{ei} =$ fuerza cortante de entrepiso en el edificio ante sismo severo = $2H_i$

H = 63.32 t

Nivel	h_i (m)	P_i (t)	$P_i h_i$ (t.m)	F_i (t)	H_i (t)	V_{ei} (t)
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5,65	69,88	394,81	38,78	38,78	38,78
1	2,825	88,42	249,80	24,54	63,32	63,32
		Σ	644,60	63,32		

Nota : estas fuerzas son iguales en X-X y Y-Y, ya que el edificio es rígido en ambas direcciones; asimismo "Fi" actúa en el centro de masas de cada nivel.

Fuente: Elaboración propia.

b. Verificación de los esfuerzos axiales en el primer piso

PISO :1 Verificación de los esfuerzos axiales						<0,15f'm
#	$\Sigma Pd+Pl$	L	δm	Verificación	Refuerzo	67.5
X1	16,30	4,68	23,21	OK	0,1%	
X2	15,34	4,60	22,23	OK	—	
X3	21,68	4,60	31,42	OK	0,1%	
X4	16,15	4,80	22,43	OK	—	
X5	17,61	4,65	25,25	OK	0,1%	
Y1	7,05	2,60	18,07	OK	—	
Y2	10,59	2,60	27,16	OK	0,1%	
Y3	18,65	3,60	34,54	OK	0,1%	
Y4	14,31	2,75	34,69	OK	0,1%	
Y5	0,00	0,00	0,00	OK	—	

c. Cálculo de alturas de brazo para momento

1° piso	2° piso
6,29	5,65

Fuente: Elaboración propia.

Factor de proporción módulos de elasticidad $E_c/E_{alba} =$

31,34328

 $E'_m =$ 2,25E+08 kg/m²

R =

3

PISO :1 DATOS DE ESE NIVEL					
#	h	e	l	x	y
X1	2,83	0,15	4,68	2,34	7,93
X2	2,83	0,15	4,60	12,25	7,93
X3	2,83	0,15	4,60	12,25	4,08
X4	2,83	0,15	4,80	12,35	0,08
X5	2,83	0,15	4,65	2,33	0,08
Y1	2,83	0,15	2,60	0,08	6,45
Y2	2,83	0,15	2,60	9,88	6,45
Y3	2,83	0,15	3,60	7,06	2,10
Y4	2,83	0,15	2,75	9,89	1,53
Y5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C1	2,8	0,0900		0,15	4,00
C2	2,8	0,0900		5,05	4,00
C3	2,8	0,0900		9,96	4,00
C4	2,8	0,0900		5,05	5,88
C5	2,8	0,0625		5,06	0,15

Fuente: Elaboración propia.

PISO :2 DATOS DE ESE NIVEL					
#	h	e	l	x	y
X1	2,83	0,15	5,25	2,78	7,93
X2	2,83	0,15	4,60	12,83	7,93
X3	2,83	0,15	4,60	12,83	4,08
X4	2,83	0,15	4,65	12,86	0,08
X5	2,83	0,15	5,23	2,62	0,08
Y1	2,83	0,15	1,25	0,08	7,23
Y2	2,83	0,15	2,60	10,46	6,67
Y3	2,83	0,15	3,55	5,56	2,08
Y4	2,83	0,15	2,95	8,86	1,63
Y5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C1	2,8	0,0900		0,15	4,00
C2	2,8	0,0900		5,05	4,00
C3	2,8	0,0900		9,96	4,00
C4	2,8	0,0900		5,05	5,88
C5	2,8	0,0625		5,06	0,15

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DE FUERZAS CORTANTES.-

PISO 1: CUADRO DEL CENTRO DE RIGIDEZ				
#	Kx/E	Ky/E	y*Kx/E	x*Ky/E
X1	0,0557	0,0002	0,4418	0,0004
X2	0,0542	0,0002	0,4293	0,0021
X3	0,0542	0,0002	0,2208	0,0021
X4	0,0581	0,0002	0,0044	0,0022
X5	0,0552	0,0002	0,0041	0,0004
Y1	0,0179	0,0001	0,1153	0,0000
Y2	0,0179	0,0001	0,1153	0,0010
Y3	0,0350	0,0001	0,0735	0,0009
Y4	0,0202	0,0001	0,0308	0,0010
C1	0,0116	0,0116	0,0463	0,0017
C2	0,0116	0,0116	0,0463	0,0584
C3	0,0116	0,0116	0,0463	0,1152
C4	0,0116	0,0116	0,0680	0,0584
C5	0,0056	0,0056	0,0008	0,0282

Suma (x*Ky/E) = 0,272121
 Suma Ky/E = 0,053141
 Suma (y*Kx/E) = 1,642933
 Suma Kx/E = 0,420170

xcr= 5,12074
 ycr= 3,91016

Fuente: Elaboración propia.

PISO 2: CUADRO DEL CENTRO DE RIGIDEZ				
#	Kx/E	Ky/E	y*Kx/E	x*Ky/E
X1	0,0670	0,0002	0,5316	0,0005
X2	0,0542	0,0002	0,4296	0,0022
X3	0,0542	0,0002	0,2210	0,0022
X4	0,0552	0,0002	0,0041	0,0022
X5	0,0666	0,0002	0,0050	0,0005
Y1	0,0028	0,0000	0,0205	0,0000
Y2	0,0179	0,0001	0,1192	0,0010
Y3	0,0341	0,0001	0,0707	0,0007
Y4	0,0235	0,0001	0,0382	0,0010
C1	0,0116	0,0116	0,0463	0,0017
C2	0,0116	0,0116	0,0463	0,0584
C3	0,0116	0,0116	0,0463	0,1152
C4	0,0116	0,0116	0,0680	0,0584
C5	0,0056	0,0056	0,0008	0,0282

Suma (x*Ky/E) = 0,272382
 Suma Ky/E = 0,053134
 Suma (y*Kx/E) = 1,647571
 Suma Kx/E = 0,427291

xcr= 5,12637
 ycr= 3,85586

PISO 1: CUADRO DEL CENTRO DE MASA			
#	PESO	py	px
X1	7,1469	56,6388	16,7236
X2	7,1469	56,6395	87,5500
X3	9,5561	38,9409	117,0617
X4	7,0678	0,5301	87,2871
X5	7,0420	0,5281	16,3726
Y1	4,0049	25,8319	0,3004
Y2	4,0049	25,8319	39,5488
Y3	8,0354	16,8744	56,6900
Y4	6,4201	9,7907	63,4950
C1	4,0967	16,3866	0,6145
C2	7,4034	29,6134	37,3870
C3	7,7087	30,8346	76,7783
C4	4,4665	26,2628	22,5556
C5	4,3236	0,6485	21,8775

Suma (px) 644,2422
 Suma (py) 335,3524
 Suma peso 88,4238
 xcm= 7,2858
 ycm= 3,7926

PISO 2: CUADRO DEL CENTRO DE MASA			
#	PESO	py	px
X1	5,2918	41,9641	14,7007
X2	4,6432	36,8202	59,5717
X3	7,2603	29,6219	93,1494
X4	5,4600	0,4095	70,1882
X5	6,5074	0,4881	17,0170
Y1	1,7259	12,4693	0,1294
Y2	4,1032	27,3680	42,8985
Y3	6,2468	12,9620	34,7007
Y4	3,2302	5,2490	28,6031
C1	3,6519	14,6077	0,5478
C2	6,7664	27,0655	34,1702
C3	7,0539	28,2157	70,2571
C4	4,0077	23,5655	20,2390
C5	3,9288	0,5893	19,8798

Suma (px) 506,0527
 Suma (py) 261,3960
 Suma peso 69,8774
 xcm= 7,2420
 ycm= 3,7408

Fuente: Elaboración propia.

PISO 1: RESULTADOS GLOBALES DE ESTE NIVEL

HX[1]=	63 320,5000
HY[1]=	63 320,5000
FX[1]=	24 537,9700
FY[1]=	24 537,9700
xc m=	7,2858
yc m=	3,7926
xc r=	5,1207
yc r=	3,9102
dx	14,7000
dy	7,7000
J[1]	4,6175
PESO NIVEL	88 423,8400
mtx 1=	13 208,3100
mtx 2=	-31 825,1100
mtx 1=	252 183,9900
mtx 2=	90 555,0500
ex=	2,1651
ey=	-0,1176

Fuente: Elaboración propia.

PISO 2: RESULTADOS GLOBALES DE ESTE NIVEL

HX[2]=	38 782,5200
HY[2]=	38 782,5200
FX[2]=	38 782,5200
FY[2]=	38 782,5200
xc m=	7,2420
yc m=	3,7408
xc r=	5,1264
yc r=	3,8559
dx	14,7000
dy	7,7000
J[2]	4.3177
PESO NIVEL	69 877,4000
mtx 1=	8 236,8600
mtx 2=	-19 394,2100
mtx 1=	151 580,0700
mtx 2=	53 544,7900
ex=	2,1156
ey=	-0,1151

PISO 1: CUADRO DE CORTANTES EN LA DIRECCIÓN X					
#	Vtras.	$\delta Vx1$	$\delta Vx2$	v_x (kg)	%Hx
X1	8 401	640	-1 543	9 042	14,28%
X2	8 164	622	-1 499	8 786	13,88%
X3	8 164	26	-62	8 190	12,93%
X4	8 758	-638	1 536	10 294	16,26%
X5	8 312	-605	1 458	9 770	15,43%
Y1	2 694	130	-313	2 824	4,46%
Y2	2 694	130	-313	2 824	4,46%
Y3	5 273	-181	437	5 709	9,02%
Y4	3 047	-138	332	3 380	5,34%
C1	1 743	3	-7	1 746	2,76%
C2	1 743	3	-7	1 746	2,76%
C3	1 743	3	-7	1 746	2,76%
C4	1 743	65	-157	1 808	2,86%
C5	841	-60	145	985	1,56%

108,73%

Fuente: Elaboración propia.

PISO 2: CUADRO DE CORTANTES EN LA DIRECCIÓN X					
#	Vtras.	$\delta Vx1$	$\delta Vx2$	v_x (kg)	%Hx
X1	6 085	521	-1 227	6 606	17,03%
X2	4 917	421	-991	5 338	13,76%
X3	4 917	23	-55	4 940	12,74%
X4	5 006	-398	937	5 943	15,32%
X5	6 049	-481	1 132	7 180	18,51%
Y1	257	18	-43	275	0,71%
Y2	1 623	96	-226	1 719	4,43%
Y3	3 092	-116	273	3 365	8,68%
Y4	2 132	-100	235	2 367	6,10%
C1	1 050	3	-7	1 053	2,71%
C2	1 050	3	-7	1 053	2,71%
C3	1 050	3	-7	1 053	2,71%
C4	1 050	45	-105	1 094	2,82%
C5	506	-39	93	599	1,54%

109,81%

PISO 1: CUADRO DE CORTANTES EN LA DIRECCIÓN Y					
#	Vtras.	δv_{y1}	δv_{y2}	vy (kg)	%Hy
X1	208	-27	-10	208	0,33%
X2	205	67	24	272	0,43%
X3	205	67	24	272	0,43%
X4	214	71	25	284	0,45%
X5	207	-27	-10	207	0,33%
Y1	116	-27	-10	116	0,18%
Y2	116	25	9	141	0,22%
Y3	160	14	5	174	0,28%
Y4	122	27	10	149	0,24%
C1	13 781	-3 140	-1 127	13 781	21,76%
C2	13 781	-45	-16	13 781	21,76%
C3	13 781	3 057	1 098	16 837	26,59%
C4	13 781	-45	-16	13 781	21,76%
C5	6 646	-19	-7	6 646	10,50%

105,25%

Fuente: Elaboración propia.

PISO 2: CUADRO DE CORTANTES EN LA DIRECCIÓN Y					
#	Vtras.	δv_{y1}	δv_{y2}	vy (kg)	%Hy
X1	143	-16	-6	143	0,37%
X2	125	46	16	172	0,44%
X3	125	46	16	172	0,44%
X4	127	47	17	174	0,45%
X5	143	-17	-6	143	0,37%
Y1	34	-8	-3	34	0,09%
Y2	71	18	6	89	0,23%
Y3	97	2	1	99	0,25%
Y4	80	14	5	95	0,24%
C1	8 442	-2 020	-714	8 442	21,77%
C2	8 442	-31	-11	8 442	21,77%
C3	8 442	1 963	693	10 404	26,83%
C4	8 442	-31	-11	8 442	21,77%
C5	4 071	-13	-5	4 071	10,50%

105,51%

PISO 1: CUADRO DE CÁLCULO DE MOMENTOS						▲ (cm)	
#	hi	Vx	Vy	Mx	My	¥ x	¥ y
X1	6,05	9 042	208	54 714	1 260	0,2941	
X2	6,05	8 786	272	53 169	1 643	0,2941	
X3	6,05	8 190	272	49 559	1 643	0,2794	
X4	6,05	10 294	284	62 295	1 721	0,3140	
X5	6,05	9 770	207	59 124	1 252	0,3140	
Y1	6,05	2 824	116	17 089	700		2,2044
Y2	6,05	2 824	141	17 089	853		2,5506
Y3	6,05	5 709	174	34 550	1 055		2,3453
Y4	6,05	3 380	149	20 452	902		2,5517
C1	6,05	1 746	13 781	10 565	83 392	Distorsión	
C2	6,05	1 746	13 781	10 565	83 392	0,0010	0,0082
C3	6,05	1 746	16 837	10 565	101 890	Dist. máx. = 0,005	
C4	6,05	1 808	13 781	10 941	83 392		
C5	6,05	985	6 646	5 961	40 216	correcto	correcto

Fuente: Elaboración propia.

403 314

PISO 2: CUADRO DE CÁLCULO DE MOMENTOS						▲ (cm)	
#	hi	Vx	Vy	Mx	My	¥ x	¥ y
X1	5,60	6 606	143	36 992	801	0,3786	
X2	5,60	5 338	172	29 893	962	0,3786	
X3	5,60	4 940	172	27 665	962	0,3639	
X4	5,60	5 943	174	33 281	974	0,3970	
X5	5,60	7 180	143	40 210	798	0,3970	
Y1	5,60	275	34	1 542	191		2,9196
Y2	5,60	1 719	89	9 624	499		3,2938
Y3	5,60	3 365	99	18 842	553		2,9497
Y4	5,60	2 367	95	13 258	531		3,1814
C1	5,60	1 053	8 442	5 896	47 273	Distorsión	
C2	5,60	1 053	8 442	5 896	47 273	0,0007	0,0213
C3	5,60	1 053	10 404	5 896	58 263	Dist. máx. = 0,005	
C4	5,60	1 094	8 442	6 128	47 273		
C5	5,60	599	4 071	3 355	22 797	correcto	correcto

Fuente: Elaboración propia.

229 150

5.A Diseño de los muros del primer piso en X ante sismo severo

	$\emptyset =$	0,9
h =	2,80 m	f'y= 4 200 kg/cm ²

	MURO	X1		X2		X3		X4		X5		X6		X7		X8	
		COLUMNA	CX1	CX1	CX2	CX2	CX3	CX3	CX4	CX4	CX5	CX5	CX6	CX6	CX7	CX7	CX8
	UBICACIÓN	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter
1)	Pg (kg)		12 438,67		11 790,09		16 816,34		12 527,78		13 549,43		0,00		0,00		0,00
2)	VR (kg)		21 048,31		20 282,66		21 438,70		22 013,45		21 071,36						
3)	Mu (kg.m)		127 372,02		122 738,74		129 734,40		133 212,47		127 511,50						
4)	L (m)		4,68		4,60		4,60		4,80		4,65		0,00		0,00		0,00
5)	Lm (m)		4,50		4,50		4,50		4,50		4,50		0,00		0,00		0,00
6)	Nc		3,00		3,00		3,00		3,00		3,00						
7)	M (kg/m)		97 904,38		94 343,02		99 720,23		102 393,64		98 011,60						
8)	F (kg)		20 919,74		20 509,35		21 678,31		21 332,01		21 077,76						
9)	Pc (kg)		4 146,22		3 930,03		5 605,45		4 175,93		4 516,48						
10)	T (kg)	16 774,0	8 447	16 579	8 416	16 073	7 444	17 156	8 665	16 561	8 172						
11)	C (kg)	25 066,0	0	24 439	0	27 284	0	25 508	0	25 594	0						
12)	Vc (kg)	7 589,5	5 060	7 441	4 960	7 865	5 243	7 739	5 159	7 647	5 098						
13)	As (cm ²)	6,45	3,57	6,35	3,54	6,33	3,36	6,59	3,66	6,40	3,51						
14)	Usar		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"
			Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"
			Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"
		4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"
		7,96	OK	7,96	OK	7,96	OK	7,96	OK	7,96	OK	0		0		0	
15)	Factor conf.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Prosigue en la pág. 361 →

16)	An (cm2)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250						
17)	Acf (cm2)	240,94	225	236,2	225	249,7	225	245,7	225	242,8	225						
18)	Sección cm	17,00	15,00	16,00	15,00	17,00	15,00	17,00	15,00	17,00	15,00						
	t →	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	b final →	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00						
19)	Área final	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	0	0	0	0	0	0
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK						
20)	Área núcleo	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324						
21)	As mín (cm2)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84						
22)	S1 (cm)	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63						
23)	S2 (cm)	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333						
24)	S3 (cm)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5						
25)	Zona confin.	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45						
26)	Estribaje	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6						
	1 @0,05 +	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@
	Est. Ø 1/4"	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SOLERAS	X1		X2		X3		X4		X5		X6		X7		X8	
27)	Ts (kg)	10 119,38		9 920,87		10 486,32		10 318,80		10 195,82							
28)	As mín. (cm2)	2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84	
29)	As (cm2)	2,84		2,84		2,84		2,84		2,84							

Fuente: Elaboración propia.

Av	cm2
2Ø1/4"	0,62
2Ø3/8"	1,42
Asumimos	0,62
+ Resto @	20 cm
Sección Solera	
b = 15	
h = 30	

Fuente: Elaboración propia.

5.B, Diseño de los muros del primer piso en Y ante sismo severo

	$\emptyset = 0,9$
$h = 2,80 \text{ m}$	$f' y = 4\ 200 \text{ kg/cm}^2$

	MURO	Y1		Y2		Y3		Y4		Y5		Y6		Y7		Y8	
		CY1		CY2		CY3		CY4		CY5		CY6		CY7		CY8	
		Extr.	Extr	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Ext.	Inte	Ext.	Inte	Ext.	Inte	Ext.	Inte
1)	Pg (kg)	5 730,81		8 108,10		14 282,19		9 650,29		0,00		0,00		0,00		0,00	
2)	VR (kg)	6 931,49		7 478,26		14 046,69		8 499,35									
3)	Mu (kg.m)	41 945,28		45 254,06		85 002,30		51 433,07									
4)	L (m)	2,60		2,60		3,60		2,75		0,00		0,00		0,00		0,00	
5)	Lm (m)	2,60		2,60		3,60		2,75		0,00		0,00		0,00		0,00	
6)	Nc	2		2		2		2									
7)	M (kg/m)	32 241,20		34 784,49		65 336,94		39 533,98									
8)	F (kg)	12 400,46		13 378,65		18 149,15		14 375,99									
9)	Pc (kg)	2 865,40		4 054,05		7 141,09		4 825,14									
10)	T (kg)	9 535	9 535,06	9 325	9 325	11 008	11 008	9 551	9 550,9								
11)	C (kg)	15 266	15 265,90	17 433	17 433	25 290	25 290	19 201	19 201								
12)	Vc (kg)	3 466	3 465,74	3 739,1	3 739	7 023,3	7 023,3	4 249,7	4 249,7								
13)	As (cm2)	3,44	3,44	3,46	3,46	4,77	4,77	3,65	3,65								
14)	Usar		$\emptyset 1/4''$		$\emptyset 1/4''$		$\emptyset 1/4''$		$\emptyset 1/4''$	$\emptyset 1/4''$		$\emptyset 1/4$		$\emptyset 1/4$		$\emptyset 1/4$	

Prosigue en la pág. 363 →

			Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"
		2	Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"
		4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"
		10,5	OK	7,96	OK	7,96	OK	7,96	OK	0		0		0		0	
15)	Factor conf.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
16)	An (cm2)	250	250	250	250	250	250	250	250								
17)	Acf (cm2)	225	225	225	225	225	225	225	225								
18)	Sección cm	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00								
	t →	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	b final →	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00								
19)	Área final	450	450	450	450	450	450	450	450	0	0	0	0	0	0	0	0
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK								
20)	Área núcleo	324	324	324	324	324	324	324	324								
21)	As mín. (cm2)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84								
22)	S1 (cm)	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63								
23)	S2 (cm)	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33								
24)	S3 (cm)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5								
25)	Zona confin.	45	45	45	45	45	45	45	45								
26)	Estribaje	6	6	6	6	6	6	6	6								
	1 @0.05 +	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@
	Est. Ø 1/4"	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SOLERAS	Y1		Y2		Y3		Y4		Y5		Y6		Y7		Y8	
27)	Ts (kg)	3 465,74		3 739,13		7023,34		4 249,67									
28)	As mín. (cm2)	2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84	
29)	As (cm2)	2,84		2,84		2,84		2,84									

Av	cm2	Sección Solera	
2Ø1/4"	0,62	b =	15
2Ø3/8"	1,42	h =	30
Asumimos	0,62		
+ Resto @	20 cm		

Fuente: Elaboración propia

5.C. Diseño de los muros del segundo piso en X ante sismo severo

$\phi =$	0,9
$h =$	2,80 m
$f'_{y\phi}$	4 200 kg/cm ²

	MURO	X1		X2		X3		X4		X5		X6		X7		X8	
		CX1	CX1	CX2	CX2	CX3	CX3	CX4	CX4	CX5	CX5	CX6	CX6	CX7	CX7	CX8	CX8
	UBICACIÓN	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter
1)	Pg (kg)	5 291,82		4 643,16		7 260,28		5 460,00		6 507,44		0,00		0,00		0,00	
2)	Vu (kg)	15 377,91		12 322,68		12 932,33		12 708,53		15 485,83							
3)	Mu (kg.m)	86 116,29		69 007,00		72 421,02		71 167,75		86 720,63							
4)	L (m)	5,25		4,60		4,60		4,65		5,23		0,00		0,00		0,00	
5)	Lm (m)	4,50		4,50		4,50		4,50		4,50		0,00		0,00		0,00	
6)	Nc	3		3		3		3		3							
7)	M (kg/m)	86 116,29		69 007,00		72 421,02		71 167,75		86 720,63							
8)	F (kg)	16 403,10		15 001,52		15 743,70		15 304,89		16 581,38							
9)	Pc (kg)	1 763,94		1 547,72		2 420,09		1 820,00		2 169,15							
10)	T (kg)	14 639	6 438	13 454	5 953	13 324	5 452	13 485	5 832	14 412	6 122						
11)	C (kg)	18 167	0	16 549	0	18 164	0	17 125	0	18 751	0						
13)	As (cm ²)	3,87	1,70	3,56	1,57	3,52	1,44	3,57	1,54	3,81	1,62						
14)	Usar		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"
			Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"
		4	Ø 1/2"	4	Ø 1/2"	4	Ø 1/2"	4	Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"
			Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"
		5,08	OK	5,08	OK	5,08	OK	5,08	OK	0	MAL	0		0		0	
15)	Factor conf.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
16)	An (cm ²)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250						
17)	Acf (cm ²)	225	225	225	225	225	225	225	225								

Prosigue en la pág. 365 →

18)	Sección cm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00						
	t →	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	b final →	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00								
19)	Área final	525	525	525	525	525	525	525	525	0	0	0	0	0	0	0	0
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK						
20)	Área núcleo	384	384	384	384	384	384	384	384	-36	-36						
21)	As mín. (cm ²)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84						
22)	S1 (cm)	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	-4,13	-4,13						
23)	S2 (cm)	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,33	10,33						
24)	S3 (cm)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	0	0						
25)	Zona confin.	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	45	45						
26)	Estribaje	6	6	6	6	6	6	6	6	-10	-10						
	1 @0.05 +	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@
	Est. Ø 1/4"	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	-5,00	-5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SOLERAS	X1		X2		X3		X4		X5		X6		X7		X8	
27)	Ts (kg)	6 590,53		6 027,40		6 325,59		6 149,29		6 662,16							
28)	As mín. (cm ²)	2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84	
29)	As (cm ²)	2,84		2,84		2,84		2,84		2,84							

Fuente: elaboración propia.

Av	cm ²	Sección Solera	
2Ø1/4"	0,62	b =	15
2Ø3/8"	1,42	h =	30
Asumimos	0,62		
+ Resto @ 20 cm			

Fuente: elaboración propia.

$$\emptyset = 0,9$$

$$h = 2,80 \text{ m}$$

$$f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

5.D Diseño de los muros del segundo piso en Y ante sismo severo

	MURO	Y1		Y2		Y3		Y4		Y5		Y6		Y7		Y8	
		COLUMNA	CY1	CY1	CY2	CY2	CY3	CY3	CY4	CY4	CY5	CY5	CY6	CY6	CY7	CY7	CY8
	UBICACIÓN	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter
1)	Pg (kg)	1 725,86		4 103,16		6 246,75		3 230,16		0,00		0,00		0,00		0,00	
2)	Vu (kg)	2 041,34		4 725,28		7 954,70		5 405,11									
3)	Mu (kg.m)	11 431,52		26 461,59		44 546,32		30 268,60									
4)	L (m)	1,25		2,60		3,55		2,95		0,00		0,00		0,00		0,00	
5)	Lm(m)	1,25		2,60		3,55		2,95		0,00		0,00		0,00		0,00	
6)	Nc	2		2		2		2									
7)	M (kg/m)	11 431,52		26 461,59		44 546,32		30 268,60									
8)	F (kg)	9 145,21		10 177,54		12 548,26		10 260,54									
9)	Pc (kg)	862,93		2 051,58		3 123,38		1 615,08									
10)	T (kg)	8 282	8 282	8 126	8 126	9 425	9 424,9	8 645	8 645								
11)	C (kg)	10 008	10 008	12 229	12 229	15 672	15 672	11 876	11 876								
13)	As (cm ²)	2,65	2,65	3,24	3,24	4,15	4,15	3,14	3,14								
14)	Usar		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"
			Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"	2	Ø 3/8"
		4	Ø 1/2"	4	Ø 1/2"	4	Ø 1/2"	4	Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"	4	Ø 1/2"
			Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"
		5,08	OK	5,08	OK	5,08	OK	5,08	OK	0		0		0		6,5	

Prosigue en la pág. 367 →

15)	Factor conf.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
16)	An (cm ²)	250	250	250	250	250	250	250	250								
17)	Acf (cm ²)	225	225	225	225	225	225	225	225								
18)	Sección cm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00								
	t →	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	b final →	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00										
19)	Área final	525	525	525	525	525	525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK								
20)	Área núcleo	384	384	384	384	384	384	-36	-36								
21)	As mín. (cm ²)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84								
22)	S1 (cm)	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	-4,13	-4,13								
23)	S2 (cm)	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33								
24)	S3 (cm)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	0	0								
25)	Zona confin.	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	45	45								
26)	Estribaje	6	6	6	6	6	6	-10	-10								
	1 @0.05 +	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@
	Est. Ø 1/4"	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	-5,00	-5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SOLERAS	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8								
27)	Ts (kg)	1 020,67	2 362,64	3 977,35	2 702,55												
28)	As mín. (cm ²)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84								
29)	As (cm ²)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84										

Av	cm ²	Sección Solera	
2Ø1/4"	0,62	b =	15
2Ø3/8"	1,42	h =	30
Asumimos	0,62		

Fuente: Elaboración propia.

5.5.2. DISEÑO A LA ROTURA PARA UNA VIVIENDA CON CONCRETO CELULAR DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

El presente programa permite diseñar los elementos resistentes para una vivienda de mediana altura, según la última

Norma de albañilería E-070

1. Características del edificio

A. Características geométricas

Número de pisos

2

h =altura libre de la albañilería

e = espesor efectivo de los muros

l =longitud del muro

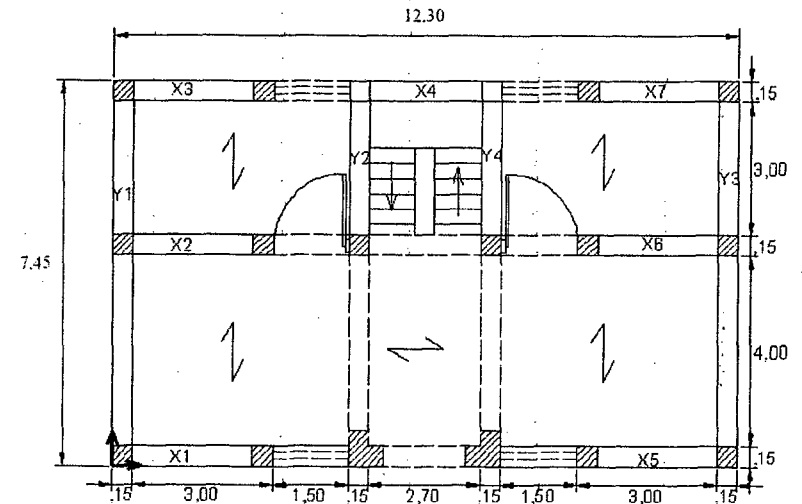
x = coordenada x del centroide del muro respecto a un origen común

y = coordenada y del centroide del muro respecto a un origen común

Nota: se consideran a los alfeizers aislados de la estructura principal.

Columnas en sistema aporticado:

	Área (m ²)	Altura				Centroide	
		1° piso	2° piso	3° piso	4° piso	x	y
C1	0,0900	2,8	2,8	0	0	0,15	4,00
C2	0,0900	2,8	2,8	0	0	5,05	4,00
C3	0,0900	2,8	2,8	0	0	9,96	4,00
C4	0,0900	2,8	2,8	0	0	5,05	5,88
C5	0,0625	2,8	2,8	0	0	5,06	0,15



Planta del ejemplo del libro
Albañilería estructural

PISO :1 DATOS DE ESE NIVEL					
#	h	e	l	x	y
X1	2,83	0,15	4,68	2,34	7,93
X2	2,83	0,15	4,60	12,25	7,93
X3	2,83	0,15	4,60	12,25	4,08
X4	2,83	0,15	4,80	12,35	0,08
X5	2,83	0,15	4,65	2,33	0,08
Y1	2,83	0,15	2,60	0,08	6,45
Y2	2,83	0,15	2,60	9,88	6,45
Y3	2,83	0,15	3,60	7,06	2,10
Y4	2,83	0,15	2,75	9,89	1,53
Y5					
Y6					
Y7					
Y8					
Y9					
Y10					
Y11					
Y12					
			b	h	
Sección de vigas y dinteles (bxh) (cm)			15,00	30,00	
Altura de alféizar (promedio) (m)				1,00	
Espesor de aligerado (cm)				20,00	
Altura de ventana (promedio) (m)				1,40	

PISO :2 DATOS DE ESE NIVEL					
#	h	e	l	x	y
X1	2,83	0,15	5,25	2,78	7,93
X2	2,83	0,15	4,60	12,83	7,93
X3	2,83	0,15	4,60	12,83	4,08
X4	2,83	0,15	4,65	12,86	0,08
X5	2,83	0,15	5,23	2,62	0,08
Y1	2,83	0,15	1,25	0,08	7,23
Y2	2,83	0,15	2,60	10,46	6,67
Y3	2,83	0,15	3,55	5,56	2,08
Y4	2,83	0,15	2,95	8,86	1,63
Y5					
Y6					
Y7					
Y8					
Y9					
Y10					
Y11					
Y12					
			b	h	
Sección de vigas y dinteles (bxh) (cm)			15,00	30,00	
Altura de alféizar (promedio) (m)				1,00	
Espesor de aligerado (cm)				20,00	
Altura de ventana (promedio) (m)				1,40	

1º piso	
XX	YY
0,61	0,34
0,60	0,34
0,60	0,47
0,62	0,36
0,60	0,00
3,03	1,50
2º piso	
XX	YY
0,68	0,16
0,60	0,34
0,60	0,46
0,60	0,38
0,68	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
3,16	1,35

Fuente: Elaboración propia.

B. Características de los materiales

Concreto $f'c=$	210 kg/cm ²
Mod. elasticidad =	179 551 kg/cm ²
Acero $f'y=$	4 200 kg/cm ²
Albañilería ▶	
$f'm=$	45 kg/cm ²
$v'm=$	6,7 kg/cm ²
Mod. Elasticidad =	22 500 kg/cm ²
Ladrillo :	sólido de arcilla Tipo V, máximo 30% de perforaciones
Mortero :	1:4 (cemento : arena gruesa)

C. Cargas unitarias

Concreto armado =	1855 kg/m ³
Aligerado =	0,28 t/m ²
Acabados =	0,1 t/m ²
Sobrecarga piso típico =	0,2 t/m ²
Sobrecarga azotea =	0,1 t/m ²
Sobrecarga escalera-corredor =	0,4 t/m ²
Muros tarrajeados =	1,9 t/m ³
Alféizar y parapetos =	1,4 t/m ³
Ventanas =	0,02 t/m ²

2. Estructuración y predimensionamiento

Se asumirá que todos los muros están confinados por columnas mínimas (15cmx15cm) y se verificará:

1. La compresión del muro más cargado.
2. La densidad de muros reforzados en cada dirección.

Fuente: Elaboración propia.

D. Dimensiones de planta

Longitudes de planta dx
y dy

	dx	dy
1° piso	14,7	7,7
2° piso	14,7	7,7

A. Revisión por compresión de muros del primer piso

PISO :1 Revisión por compresión								<0,15f'm
#	Propio	Viga	Ancho trib.	Losa	SC	Pm	Øm	67,5
X1	1,61	0,17	2,50	1,90	0,75	4,43	34,06	OK
X2	1,61	0,17	2,50	1,90	0,75	4,43	34,06	OK
X3	1,61	0,17	2,50	1,90	0,75	4,43	34,06	OK
X4	1,61	0,17	2,50	1,90	0,75	4,43	34,06	OK
X5	1,61	0,17	0,00	0,00	0,00	1,78	13,67	OK
Y1	1,61	0,17	1,60	1,22	0,48	3,47	26,72	OK
Y2	1,61	0,17	3,35	2,55	1,01	5,33	40,99	OK
Y3	1,61	0,17	1,40	1,06	0,42	3,26	25,09	OK
Y4	1,61	0,17	0,00	0,00	0,00	1,78	13,67	OK
Y5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK
Y8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	OK

Fuente: Elaboración propia.

B. Revisión de la densidad mínima de muros reforzados en cada dirección

$$\sum \frac{Lt}{Ap} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

Z = factor de zona = 0,4
 U = factor de uso = 1
 S = Factor de suelo = 1
 N = N° de pisos = 2

ZUSN / 56 ▶
 1° piso 0,014
 2° piso 0,007

Ap. = área del piso en verificación

Planta 1° piso = 113,19

Planta 2° piso = 113,19

L = longitud total del muro confinado

t = espesor efectivo del muro

1° piso				
Según XX:	0,027	>	0,014	Ok
Según YY:	0,015	>	0,014	Ok
2° piso				
Según XX:	0,028	>	0,007	Ok
Según YY:	0,012	>	0,007	Ok

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DE FUERZAS CORTANTES. -

PISO 1: CUADRO DEL CENTRO DE RIGIDEZ				
#	Kx/E	Ky/E	y*Kx/E	x*Ky/E
X1	0,0557	0,0002	0,4418	0,0004
X2	0,0542	0,0002	0,4293	0,0021
X3	0,0542	0,0002	0,2208	0,0021
X4	0,0581	0,0002	0,0044	0,0022
X5	0,0552	0,0002	0,0041	0,0004
Y1	0,0179	0,0001	0,1153	0,0000
Y2	0,0179	0,0001	0,1153	0,0010
Y3	0,0350	0,0001	0,0735	0,0009
Y4	0,0202	0,0001	0,0308	0,0010
C1	0,0116	0,0116	0,0463	0,0017
C2	0,0116	0,0116	0,0463	0,0584
C3	0,0116	0,0116	0,0463	0,1152
C4	0,0116	0,0116	0,0680	0,0584
C5	0,0056	0,0056	0,0008	0,0282

Suma (x*Ky/E) = 0,272121
 Suma Ky/E = 0,053141
 Suma (y*Kx/E) = 1,642933
 Suma Kx/E = 0,420170

xcr= 5,12074
 ycr= 3,91016

PISO 2: CUADRO DEL CENTRO DE RIGIDEZ				
#	Kx/E	Ky/E	y*Kx/E	x*Ky/E
X1	0,0670	0,0002	0,5316	0,0005
X2	0,0542	0,0002	0,4296	0,0022
X3	0,0542	0,0002	0,2210	0,0022
X4	0,0552	0,0002	0,0041	0,0022
X5	0,0666	0,0002	0,0050	0,0005
Y1	0,0028	0,0000	0,0205	0,0000
Y2	0,0179	0,0001	0,1192	0,0010
Y3	0,0341	0,0001	0,0707	0,0007
Y4	0,0235	0,0001	0,0382	0,0010
C1	0,0116	0,0116	0,0463	0,0017
C2	0,0116	0,0116	0,0463	0,0584
C3	0,0116	0,0116	0,0463	0,1152
C4	0,0116	0,0116	0,0680	0,0584
C5	0,0056	0,0056	0,0008	0,0282

Suma (x*Ky/E) = 0,272382
 Suma Ky/E = 0,053134
 Suma (y*Kx/E) = 1,647571
 Suma Kx/E = 0,427291

xcr= 5,12637
 ycr= 3,85586

Fuente: Elaboración propia.

PISO 1: CUADRO DEL CENTRO DE MASA			
#	PESO	py	px
X1	7,1469	56,6388	16,7236
X2	7,1469	56,6395	87,5500
X3	9,5561	38,9409	117,0617
X4	7,0678	0,5301	87,2871
X5	7,0420	0,5281	16,3726
Y1	4,0049	25,8319	0,3004
Y2	4,0049	25,8319	39,5488
Y3	8,0354	16,8744	56,6900
Y4	6,4201	9,7907	63,4950
C1	4,0967	16,3866	0,6145
C2	7,4034	29,6134	37,3870
C3	7,7087	30,8346	76,7783
C4	4,4665	26,2628	22,5556
C5	4,3236	0,6485	21,8775

Suma (px) 644,2422
 Suma (py) 335,3524
 Suma peso 88,4238
xcm= 7,2858
ycm= 3,7926

PISO 2: CUADRO DEL CENTRO DE MASA			
#	PESO	py	px
X1	5,2918	41,9641	14,7007
X2	4,6432	36,8202	59,5717
X3	7,2603	29,6219	93,1494
X4	5,4600	0,4095	70,1882
X5	6,5074	0,4881	17,0170
Y1	1,7259	12,4693	0,1294
Y2	4,1032	27,3680	42,8985
Y3	6,2468	12,9620	34,7007
Y4	3,2302	5,2490	28,6031
C1	3,6519	14,6077	0,5478
C2	6,7664	27,0655	34,1702
C3	7,0539	28,2157	70,2571
C4	4,0077	23,5655	20,2390
C5	3,9288	0,5893	19,8798

Suma (px) 506,0527
 Suma (py) 261,3960
 Suma peso 69,8774
xcm= 7,2420
ycm= 3,7408

Fuente: Elaboración propia.

PISO 1: RESULTADOS GLOBALES DE ESTE NIVEL

HX[1]=	63 320,5000
HY[1]=	63 320,5000
FX[1]=	24 537,9700
FY[1]=	24 537,9700
xc m=	7,2858
yc m=	3,7926
xc r=	5,1207
yc r=	3,9102
dx	14,7000
dy	7,7000
J[1]	4,6175
PESO NIVEL	88 423,8400
mtx 1=	13 208,3100
mtx 2=	-31 825,1100
mtx 1=	252 183,9900
mtx 2=	90 555,0500
ex=	2,1651
ey=	-0,1176

PISO 2: RESULTADOS GLOBALES DE ESTE NIVEL

HX[2]=	38 782,5200
HY[2]=	38 782,5200
FX[2]=	38 782,5200
FY[2]=	38 782,5200
xc m=	7,2420
yc m=	3,7408
xc r=	5,1264
yc r=	3,8559
dx	14,7000
dy	7,7000
J[2]	4,3177
PESO NIVEL	69 877,4000
mtx 1=	8 236,8600
mtx 2=	-19 394,2100
mtx 1=	151 580,0700
mtx 2=	53 544,7900
ex=	2,1156
ey=	-0,1151

Fuente: Elaboración propia.

PISO 1: CUADRO DE CORTANTES EN LA DIRECCIÓN X					
#	Vtras.	δV_{x1}	δV_{x2}	v_x (kg)	%Hx
X1	8 401	640	-1 543	9 042	14,28%
X2	8 164	622	-1 499	8 786	13,88%
X3	8 164	26	-62	8 190	12,93%
X4	8 758	-638	1 536	10 294	16,26%
X5	8 312	-605	1 458	9 770	15,43%
Y1	2 694	130	-313	2 824	4,46%
Y2	2 694	130	-313	2 824	4,46%
Y3	5 273	-181	437	5 709	9,02%
Y4	3 047	-138	332	3 380	5,34%
C1	1 743	3	-7	1 746	2,76%
C2	1 743	3	-7	1 746	2,76%
C3	1 743	3	-7	1 746	2,76%
C4	1 743	65	-157	1 808	2,86%
C5	841	-60	145	985	1,56%

108,73%

Fuente: Elaboración propia.

PISO 2: CUADRO DE CORTANTES EN LA DIRECCIÓN X					
#	Vtras.	δV_{x1}	δV_{x2}	v_x (kg)	%Hx
X1	6 085	521	-1 227	6 606	17,03%
X2	4 917	421	-991	5 338	13,76%
X3	4 917	23	-55	4 940	12,74%
X4	5 006	-398	937	5 943	15,32%
X5	6 049	-481	1 132	7 180	18,51%
Y1	257	18	-43	275	0,71%
Y2	1 623	96	-226	1 719	4,43%
Y3	3 092	-116	273	3 365	8,68%
Y4	2 132	-100	235	2 367	6,10%
C1	1 050	3	-7	1 053	2,71%
C2	1 050	3	-7	1 053	2,71%
C3	1 050	3	-7	1 053	2,71%
C4	1 050	45	-105	1 094	2,82%
C5	506	-39	93	599	1,54%

109,81%

PISO 1: CUADRO DE CORTANTES EN LA DIRECCIÓN Y					
#	Vtras.	δV_y1	δV_y2	v_y (kg)	%Hy
X1	208	-27	-10	208	0,33%
X2	205	67	24	272	0,43%
X3	205	67	24	272	0,43%
X4	214	71	25	284	0,45%
X5	207	-27	-10	207	0,33%
Y1	116	-27	-10	116	0,18%
Y2	116	25	9	141	0,22%
Y3	160	14	5	174	0,28%
Y4	122	27	10	149	0,24%
C1	13 781	-3 140	-1 127	13 781	21,76%
C2	13 781	-45	-16	13 781	21,76%
C3	13 781	3 057	1 098	16 837	26,59%
C4	13 781	-45	-16	13 781	21,76%
C5	6 646	-19	-7	6 646	10,50%

105,25%

Fuente: Elaboración propia.

PISO 2: CUADRO DE CORTANTES EN LA DIRECCIÓN Y					
#	Vtras.	δV_y1	δV_y2	v_y (kg)	%Hy
X1	143	-16	-6	143	0,37%
X2	125	46	16	172	0,44%
X3	125	46	16	172	0,44%
X4	127	47	17	174	0,45%
X5	143	-17	-6	143	0,37%
Y1	34	-8	-3	34	0,09%
Y2	71	18	6	89	0,23%
Y3	97	2	1	99	0,25%
Y4	80	14	5	95	0,24%
C1	8 442	-2 020	-714	8 442	21,77%
C2	8 442	-31	-11	8 442	21,77%
C3	8 442	1 963	693	10 404	26,83%
C4	8 442	-31	-11	8 442	21,77%
C5	4 071	-13	-5	4 071	10,50%

105,51%

PISO 1: CUADRO DE CÁLCULO DE MOMENTOS						▲ (cm)	
#	hi	Vx	Vy	Mx	My	¥ x	¥ y
X1	6,05	9 042	208	54 714	1 260	0,2941	
X2	6,05	8 786	272	53 169	1 643	0,2941	
X3	6,05	8 190	272	49 559	1 643	0,2794	
X4	6,05	10 294	284	62 295	1 721	0,3140	
X5	6,05	9 770	207	59 124	1 252	0,3140	
Y1	6,05	2 824	116	17 089	700		2,2044
Y2	6,05	2 824	141	17 089	853		2,5506
Y3	6,05	5 709	174	34 550	1 055		2,3453
Y4	6,05	3 380	149	20 452	902		2,5517
C1	6,05	1 746	13 781	10 565	83 392	Distorsión	
C2	6,05	1 746	13 781	10 565	83 392	0,0010	0,0082
C3	6,05	1 746	16 837	10 565	101 890	Dist. máx. = 0,005	
C4	6,05	1 808	13 781	10 941	83 392		
C5	6,05	985	6 646	5 961	40 216	correcto	correcto

Fuente: Elaboración propia.

403 314

PISO 2: CUADRO DE CÁLCULO DE MOMENTOS						▲ (cm)	
#	hi	Vx	Vy	Mx	My	¥ x	¥ y
X1	5,60	6 606	143	36 992	801	0,3786	
X2	5,60	5 338	172	29 893	962	0,3786	
X3	5,60	4 940	172	27 665	962	0,3639	
X4	5,60	5 943	174	33 281	974	0,3970	
X5	5,60	7 180	143	40 210	798	0,3970	
Y1	5,60	275	34	1 542	191		2,9196
Y2	5,60	1 719	89	9 624	499		3,2938
Y3	5,60	3 365	99	18 842	553		2,9497
Y4	5,60	2 367	95	13 258	531		3,1814
C1	5,60	1 053	8 442	5 896	47 273	Distorsión	
C2	5,60	1 053	8 442	5 896	47 273	0,0007	0,0213
C3	5,60	1 053	10 404	5 896	58 263	Dist. máx. = 0,005	
C4	5,60	1 094	8 442	6 128	47 273		
C5	5,60	599	4 071	3 355	22 797	correcto	correcto

Fuente: Elaboración propia.

229 150

3. Análisis estructural ante el sismo moderado.-

PISO 1	VE1 =	70 412,63 kg	V'm=	67 000 kg/m ²
--------	-------	--------------	------	--------------------------

Muro	Pg	Ve	Me	L	ϕ	espesor
X1	12 438,67	9 041,55	54 714	4,68	0,77	0,15
X2	11 790,09	8 786,20	53 169	4,60	0,76	0,15
X3	16 816,34	8 189,59	49 559	4,60	0,76	0,15
X4	12 527,78	10 294,31	62 295	4,80	0,79	0,15
X5	13 549,43	9 770,26	59 124	4,65	0,77	0,15
Y1	5 730,81	115,70	700	2,60	0,43	0,15
Y2	8 108,10	140,91	853	2,60	0,43	0,15
Y3	14 282,19	174,40	1 055	3,60	0,59	0,15
Y4	9 650,29	149,12	902	2,75	0,45	0,15
C1	7 748,59	8 049,33	48 710	0,3		0,3
C2	14 169,74	8 049,33	48 710	0,3		0,3
C3	14 762,59	8 049,33	48 710	0,3		0,3
C4	8 474,19	10 124,78	61 269	0,25		0,25
C5	8 252,44	6 070,69	36 736	0,3		0,3

Verificación Sismo Severo

$\Sigma VR (X-X) =$

141 549,27

>

70 412,63

Verificación Sismo Severo

$\Sigma VR (Y-Y) =$

72 650,58

>

70 412,63

Fuente: Elaboración propia.

Verificación de esfuerzos

F'c=	210		kg/cm ²	f'm =	45
VR	VR/2	Verificación	VR1/Ve1	Vu	Mu
		Ve/2 < VR/2			
21 048,31	10 524,16	correcto	2,33	21 048,31	127 372,02
20 282,66	10 141,33	correcto	2,31	20 282,66	122 738,74
21 438,70	10 719,35	correcto	2,62	21 438,70	129 734,40
22 013,45	11 006,72	correcto	2,14	22 013,45	133 212,47
21 071,36	10 535,68	correcto	2,16	21 071,36	127 511,50
6 931,49	3 465,74	correcto	59,91	6 931,49	41 945,28
7 478,26	3 739,13	correcto	53,07	7 478,26	45 254,06
14 046,69	7 023,34	correcto	80,54	14 046,69	85 002,30
8 499,35	4 249,67	correcto	56,99	8 499,35	51 433,07
7 603,63	3 801,81	colocar estribos			
7 603,63	3 801,81	colocar estribos			
7 603,63	3 801,81	colocar estribos			
5 280,30	2 640,15	colocar estribos			
7 603,63	3 801,81	colocar estribos			

Fuente: Elaboración propia.

PISO 2	VE2 =	40 882,24 kg	V'm=	67 000 kg/m ²
--------	-------	--------------	------	--------------------------

Muro	Pg	Ve	Me	L	ϕ	espesor
X1	5 291,82	6 605,76	36 992	5,25	0,94	0,15
X2	4 643,16	5 338,03	29 893	4,60	0,82	0,15
X3	7 260,28	4 940,15	27 665	4,60	0,82	0,15
X4	5 460,00	5 942,98	33 281	4,65	0,83	0,15
X5	6 507,44	7 180,39	40 210	5,23	0,93	0,15
Y1	1 725,86	34,07	191	1,25	0,33	0,15
Y2	4 103,16	89,04	499	2,60	0,46	0,15
Y3	6 246,75	98,76	553	3,55	0,63	0,15
Y4	3 230,16	94,83	531	2,95	0,53	0,15
C1	3 651,93	8 441,55	47 273	0,3		0,3
C2	6 766,38	8 441,55	47 273	0,3		0,3
C3	7 053,93	10 404,08	58 263	0,3		0,3
C4	4 007,73	8 441,55	47 273	0,25		0,3
C5	3 928,81	4 070,97	22 797	0,3		0,3

Verificación Sismo Severo $\Sigma VR (X-X) =$ 150 112,02 > 40 882,24

Verificación Sismo Severo $\Sigma VR (Y-Y) =$ 67 527,36 > 40 882,24

Fuente: Elaboración propia.

Verificación de esfuerzos

	F'c=	210		kg/cm ²		
VR	VR/2		Verificación	VR1/Ve1	Vu	Mu
			Ve/2 < VR/2			
25 949,54	12 974,77		correcto	2,33	15 377,91	86 116,29
20 055,25	10 027,62		correcto	2,31	12 322,68	69 007,00
20 657,19	10 328,59		correcto	2,62	12 932,33	72 421,02
20 658,13	10 329,07		correcto	2,14	12 708,53	71 167,75
26 041,05	13 020,53		correcto	2,16	15 485,83	86 720,63
2 469,76	1 234,88		correcto	59,91	2 041,34	11 431,52
7 009,62	3 504,81		correcto	53,07	4 725,28	26 461,59
12 745,25	6 372,62		correcto	80,54	7 954,70	44 546,32
8 551,88	4 275,94		correcto	56,99	5 405,11	30 268,60
7 603,63	3 801,81		colocar estribos			
7 603,63	3 801,81		colocar estribos			
7 603,63	3 801,81		colocar estribos			
6 336,35	3 168,18		colocar estribos			
7 603,63	3 801,81		colocar estribos			

Fuente: Elaboración propia.

$$\phi = 0,9$$

$$h = 2,80 \text{ m}$$

$$f'_{y} = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

4.A Diseño de los muros del primer piso en X ante sismo severo

	MURO	X1		X2		X3		X4		X5		X6		X7		X8			
		COLUMNA		CX1	CX1	CX2	CX2	CX3	CX3	CX4	CX4	CX5	CX5	CX6	CX6	CX7	CX7	CX8	CX8
		UBICACIÓN		Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter
1)	Pg (kg)	12 438,67		11 790,09		16 816,34		12 527,78		13 549,43		0,00		0,00		0,00			
2)	VR (kg)	21 048,31		20 282,66		21 438,70		22 013,45		21 071,36									
3)	Mu (kg.m)	127 372,02		122 738,74		129 734,40		133 212,47		127 511,50									
4)	L (m)	4,68		4,60		4,60		4,80		4,65		0,00		0,00		0,00			
5)	Lm(m)	4,50		4,50		4,50		4,50		4,50		0,00		0,00		0,00			
6)	Nc	3,00		3,00		3,00		3,00		3,00									
7)	M (kg/m)	97 904,38		94 343,02		99 720,23		102 393,64		98 011,60									
8)	F (kg)	20 919,74		20 509,35		21 678,31		21 332,01		21 077,76									
9)	Pc (kg)	4 146,22		3 930,03		5 605,45		4 175,93		4 516,48									
10)	T (kg)	16 774,0	8 447	16 579	8 416	16 073	7 444	17 156	8 665	16 561	8 172								
11)	C (kg)	25 066,0	0	24 439	0	27 284	0	25 508	0	25 594	0								
12)	Vc (kg)	7 589,5	5 060	7 441	4 960	7 865	5 243	7 739	5 159	7 647	5 098								
13)	As (cm2)	6,45	3,57	6,35	3,54	6,33	3,36	6,59	3,66	6,40	3,51								
14)	Usar		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		
			Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		
			Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		
		4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"	4	Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		
		7,96	OK	7,96	OK	7,96	OK	7,96	OK	7,96	OK	0		0		0			
15)	Factor conf.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8		

Prosigue en la pág. 384 →

16)	An (cm ²)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250						
17)	Acf (cm ²)	240,94	225	236,2	225	249,7	225	245,7	225	242,8	225						
18)	Sección cm	17,00	15,00	16,00	15,00	17,00	15,00	17,00	15,00	17,00	15,00						
	t →	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	b final →	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00						
19)	Área final	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	0	0	0	0	0	0
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK						
20)	Área núcleo	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324						
21)	As mín. (cm ²)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84						
22)	S1 (cm)	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63						
23)	S2 (cm)	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333						
24)	S3 (cm)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5						
25)	Zona confin.	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45						
26)	Estribaje	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6						
	l @0,05 +	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@
	Est. Ø 1/4"	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SOLERAS	X1		X2		X3		X4		X5		X6		X7		X8	
27)	Ts (kg)	10 119,38		9 920,87		10 486,32		10 318,80		10 195,82							
28)	As mín. (cm ²)	2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84	
29)	As (cm ²)	2,84		2,84		2,84		2,84		2,84							

Fuente: Elaboración propia.

Av	cm ²
2Ø1/4"	0,62
2Ø3/8"	1,42
Asumimos	0,62
+ Resto @	20 cm
Sección Solera	
b = 15	
h = 30	

4.B Diseño de los muros del primer piso en Y ante sismo severo

h = 2,80 m

 $\phi = 0,9$ $f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$

	MURO	Y1		Y2		Y3		Y4		Y5		Y6		Y7		Y8	
		CY1	CY1	CY2	CY2	CY3	CY3	CY4	CY4	CY5	CY5	CY6	CY6	CY7	CY7	CY8	CY8
	UBICACIÓN	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Ext.	Inte	Ext.	Inte	Ext.	Inte	Ext.	Inte
1)	Pg (kg)	5 730,81		8 108,10		14 282,19		9 650,29		0,00		0,00		0,00		0,00	
2)	VR (kg)	6 931,49		7 478,26		14 046,69		8 499,35									
3)	Mu (kg.m)	41 945,28		45 254,06		85 002,30		51 433,07									
4)	L (m)	2,60		2,60		3,60		2,75		0,00		0,00		0,00		0,00	
5)	Lm (m)	2,60		2,60		3,60		2,75		0,00		0,00		0,00		0,00	
6)	Nc	2		2		2		2									
7)	M (kg/m)	32 241,20		34 784,49		65 336,94		39 533,98									
8)	F (kg)	12 400,46		13 378,65		18 149,15		14 375,99									
9)	Pc (kg)	2 865,40		4 054,05		7 141,09		4 825,14									
10)	T (kg)	9 535	9 535,06	9 325	9 325	11 008	11 008	9 551	9 550,9								
11)	C (kg)	15 266	15 265,90	17 433	17 433	25 290	25 290	19 201	19 201								
12)	Vc (kg)	3 466	3 465,74	3 739,1	3 739	7 023,3	7 023,3	4 249,7	4 249,7								
13)	As (cm ²)	3,44	3,44	3,46	3,46	4,77	4,77	3,65	3,65								
14)	Usar		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"

Prosigue en la pág. 386



		Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"	Ø 3/8"
		2 Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"	Ø 1/2"
		4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"	4 Ø 5/8"
		10,5 OK	7,96 OK	7,96 OK	7,96 OK	7,96 OK	7,96 OK	7,96 OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15)	Factor conf.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
16)	An (cm2)	250	250	250	250	250	250	250	250								
17)	Acf (cm2)	225	225	225	225	225	225	225	225								
18)	Sección cm	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00								
	t →	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
	b final →	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00								
19)	Área final	450	450	450	450	450	450	450	450	0	0	0	0	0	0	0	0
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK								
20)	Área núcleo	324	324	324	324	324	324	324	324								
21)	As mín. (cm2)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84								
22)	S1 (cm)	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63	10,63								
23)	S2 (cm)	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33								
24)	S3 (cm)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5								
25)	Zona confin.	45	45	45	45	45	45	45	45								
26)	Estribaje	6	6	6	6	6	6	6	6								
	1 @0.05 +	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@
	Est. Ø 1/4"	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
	SOLERAS	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8								
27)	Ts (kg)	3 465,74	3 739,13	7023,34	4 249,67												
28)	As mín. (cm2)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84								
29)	As (cm2)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84								

Av	cm2	Sección Solera	
2Ø1/4"	0,62	b =	15
2Ø3/8"	1,42	h =	30
Asumimos	0,62		
+ Resto @	20 cm		

Fuente: Elaboración propia.

4.C. Diseño de los muros del segundo piso en X ante sismo severo

	$\emptyset =$	0,9
h =	2,80 m	f'y= 4 200 kg/cm ²

	MURO	X1		X2		X3		X4		X5		X6		X7		X8	
		CX1	CX1	CX2	CX2	CX3	CX3	CX4	CX4	CX5	CX5	CX6	CX6	CX7	CX7	CX8	CX8
	UBICACIÓN	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter
1)	Pg (kg)	5 291,82		4 643,16		7 260,28		5 460,00		6 507,44		0,00		0,00		0,00	
2)	Vu (kg)	15 377,91		12 322,68		12 932,33		12 708,53		15 485,83							
3)	Mu (kg.m)	86 116,29		69 007,00		72 421,02		71 167,75		86 720,63							
4)	L (m)	5,25		4,60		4,60		4,65		5,23		0,00		0,00		0,00	
5)	Lm (m)	4,50		4,50		4,50		4,50		4,50		0,00		0,00		0,00	
6)	Nc	3		3		3		3		3							
7)	M (kg/m)	86 116,29		69 007,00		72 421,02		71 167,75		86 720,63							
8)	F (kg)	16 403,10		15 001,52		15 743,70		15 304,89		16 581,38							
9)	Pc (kg)	1 763,94		1 547,72		2 420,09		1 820,00		2 169,15							
10)	T (kg)	14 639	6 438	13 454	5 953	13 324	5 452	13 485	5 832	14 412	6 122						
11)	C (kg)	18 167	0	16 549	0	18 164	0	17 125	0	18 751	0						
13)	As (cm ²)	3,87	1,70	3,56	1,57	3,52	1,44	3,57	1,54	3,81	1,62						
14)	Usar		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"
			Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"
		4	Ø 1/2"	4	Ø 1/2"	4	Ø 1/2"	4	Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"
			Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"
		5.08	OK	5.08	OK	5.08	OK	5.08	OK	0	MAL	0		0		0	
15)	Factor conf.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
16)	An (cm ²)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250						
17)	Acf (cm ²)	240,94	225	236,2	225	249,7	225	245,7	225	242,8	225						

18)	Sección cm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00						
	t →	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	b final →	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00								
19)	Área final	525	525	525	525	525	525	525	525	0	0	0	0	0	0	0	0
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK						
20)	Área núcleo	384	384	384	384	384	384	384	384	-36	-36						
21)	As mín. (cm2)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84						
22)	S1 (cm)	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	-4,13	-4,13						
23)	S2 (cm)	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,333	10,33	10,33						
24)	S3 (cm)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	0	0						
25)	Zona confin.	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	45	45						
26)	Estribaje	6	6	6	6	6	6	6	6	-10	-10						
	1 @0.05 +	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@
	Est. Ø 1/4"	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	-5,00	-5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SOLERAS	X1		X2		X3		X4		X5		X6		X7		X8	
27)	Ts (kg)	6 590,53		6 027,40		6 325,59		6 149,29		6 662,16							
28)	As mín. (cm2)	2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84	
29)	As (cm2)	2,84		2,84		2,84		2,84		2,84							

Fuente: Elaboración propia.

Av	cm2	Sección Solera	
2Ø1/4"	0,62	b =	15
2Ø3/8"	1,42	h =	30
Asumimos	0,62		
+ Resto @ 20 cm			

Fuente: Elaboración propia.

4.D. Diseño de los muros del segundo piso en Y ante sismo severo

$\phi =$	0,9
$h =$	2,80 m
$f' y =$	4 200 kg/cm ²

MURO	Y1		Y2		Y3		Y4		Y5		Y6		Y7		Y8		
	COLUMNA	CY1	CY1	CY2	CY2	CY3	CY3	CY4	CY4	CY5	CY5	CY6	CY6	CY7	CY7	CY8	CY8
	UBICACIÓN	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Extr.	Extr	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter	Extr.	Inter
1) Pg (kg)		1 725,86		4 103,16		6 246,75		3 230,16		0,00		0,00		0,00		0,00	
2) Vu (kg)		2 041,34		4 725,28		7 954,70		5 405,11									
3) Mu (kg.m)		11 431,52		26 461,59		44 546,32		30 268,60									
4) L (m)		1,25		2,60		3,55		2,95		0,00		0,00		0,00		0,00	
5) Lm (m)		1,25		2,60		3,55		2,95		0,00		0,00		0,00		0,00	
6) Nc		2		2		2		2									
7) M (kg/m)		11 431,52		26 461,59		44 546,32		30 268,60									
8) F (kg)		9 145,21		10 177,54		12 548,26		10 260,54									
9) Pc (kg)		862,93		2 051,58		3 123,38		1 615,08									
10) T (kg)		8 282	8 282	8 126	8 126	9 425	9 424,9	8 645	8 645								
11) C (kg)		10 008	10 008	12 229	12 229	15 672	15 672	11 876	11 876								
13) As (cm ²)		2,65	2,65	3,24	3,24	4,15	4,15	3,14	3,14								
14) Usar			Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"		Ø 1/4"
			Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		Ø 3/8"		2 Ø 3/8"
		4	Ø 1/2"		4 Ø 1/2"		4 Ø 1/2"		4 Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		Ø 1/2"		4 Ø 1/2"
			Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"		Ø 5/8"
		5,08	OK		5,08	OK		5,08	OK		0		0		0		6,5

Prosigue en la pág. 390 →

15)	Factor conf.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
16)	An (cm ²)	250	250	250	250	250	250	250	250								
17)	Acf (cm ²)	245	225	256,8	235	259	235	245	235	262,8	235						
18)	Sección cm	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00								
	t →	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	b final →	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00										
19)	Área final	525	525	525	525	525	525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK								
20)	Área núcleo	384	384	384	384	384	384	-36	-36								
21)	As mín. (cm ²)	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84	2,84								
22)	S1 (cm)	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	11,26	-4,13	-4,13								
23)	S2 (cm)	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33	10,33								
24)	S3 (cm)	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	0	0								
25)	Zona confin.	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	45	45								
26)	Estribaje	6	6	6	6	6	6	-10	-10								
	1 @0.05 +	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@	@
	Est. Ø 1/4"	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	-5,00	-5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SOLERAS	Y1		Y2		Y3		Y4		Y5		Y6		Y7		Y8	
27)	Ts (kg)	1 020,67		2 362,64		3 977,35		2 702,55									
28)	As mín. (cm ²)	2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84		2,84	
29)	As (cm ²)	2,84		2,84		2,84		2,84									

Fuente: Elaboración propia.

Av	cm ²	Sección Solera	
2Ø1/4"	0,62	b =	15
2Ø3/8"	1,42	h =	30
Asumimos	0,62		

Fuente: Elaboración propia.

5.5.3. Análisis sísmico en pórticos de concreto armado

Para el análisis sísmico en los pórticos de concreto armado se consideró los siguientes parámetros: (Ver cuadro 5).

a) Zonificación

A cada zona se asigna un factor Z . Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

Para nuestro caso, la edificación estará ubicada en la costa, en el departamento de Tacna, tendrá un factor de zona de 0,4.

b) Condiciones geotécnicas

Perfil tipo S1: Roca o suelos muy rígidos, por lo que el T_p será 0,4 y $S = 1,0$

c) Factor de amplificación sísmica

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica C por la siguiente expresión:

$$C = 2,5x\left(\frac{T_p}{T}\right), C \leq 2,5$$

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto a la aceleración en el suelo.

Toda la edificación y cada una de sus partes será diseñada y construida para resistir las sollicitaciones sísmicas evitando el colapso como filosofía de diseño.

Se considera que las sollicitaciones sísmicas horizontales actúan según las direcciones principales de la estructura.

d) Categoría de la edificación

Nuestra edificación es para uso de vivienda, definida como una edificación común, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia, cuya falla no ocasionaría peligros adicionales de incendio, fugas de contaminantes etc. Por lo que está dentro de la categoría "C" (edificaciones comunes) - Norma Técnica E.030 Diseño Sismo

Resistente⁴ de aquí que el factor de uso U será igual a 1,0.

e) Sistema estructural

Sistema de pórticos de concreto armado, en el que las cargas verticales y horizontales son resistidas únicamente por pórticos de concreto armado. El coeficiente de reducción será 8.

El análisis empleado fue un análisis dinámico mediante procedimientos de superposición espectral. Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizara un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$Sa = \frac{ZUCS}{R} xg$$

El espectro de aceleraciones obtenidos en ambas viviendas es el mostrado en la gráfica 14.

⁴ Página web de enlace :

<http://blog.pucp.edu.pe/media/1237/20080826-E.030.pdf>

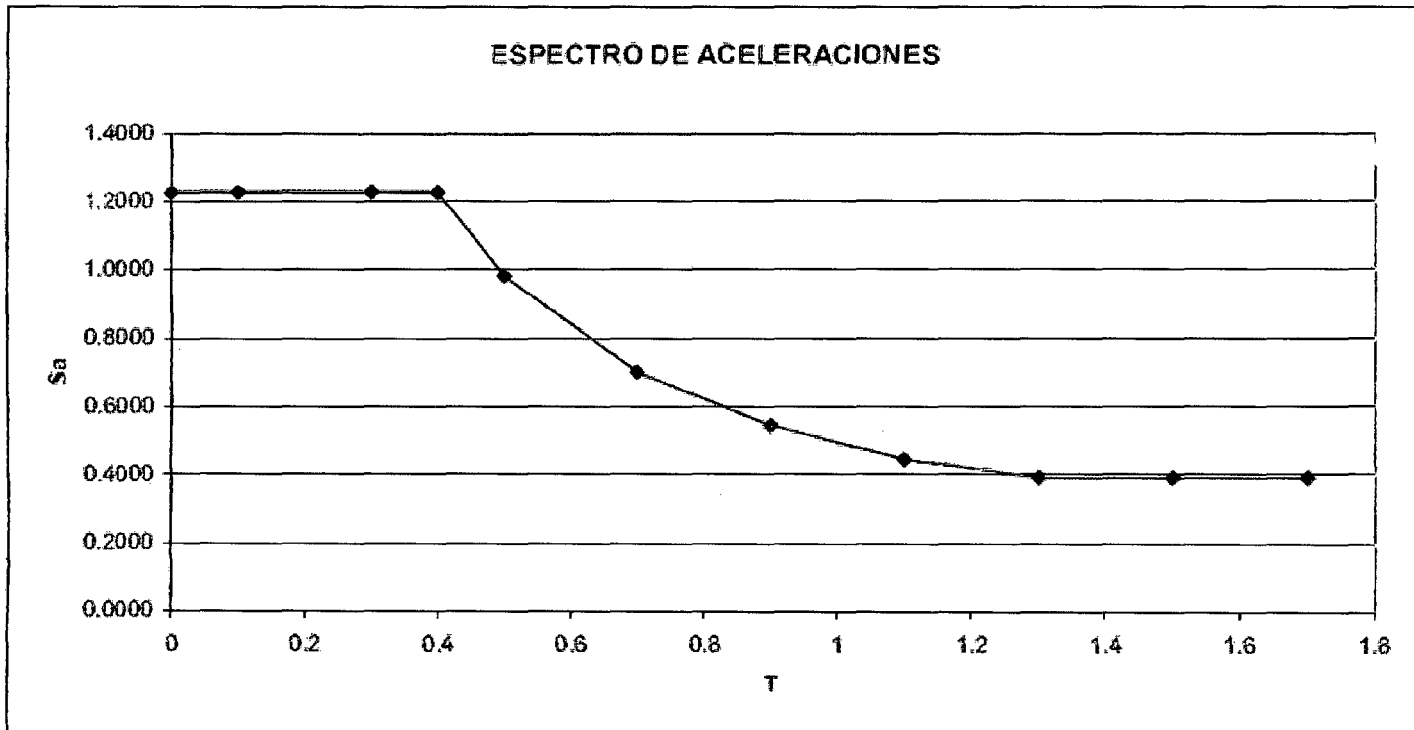
Cuadro 5	Vivienda concreto convencional	Vivienda concreto celular
Norma sísmica	NTE. E030 2006	NTE. E030 2006
Factor de zona (Z)	0,4	0,4
Factor de suelo (S)	1,0	1,0
Periodo (Tp)	0,4	0,4
Factor de uso (U)	1,0	1,0
Coef. de reducción	6	6
(R) ⁵		

Fuente: Elaboración propia.

El esquema para ambas viviendas se muestran en el **Anexo 2** - lámina A-01, así como la elevación de la misma.

⁵ R=6, en sistemas donde se combina sistema de pórticos y albañilería confinada.

Gráfico 14



Fuente: Elaboración propia.

5.5.3.1 Resultados del análisis sísmico en la vivienda unifamiliar de concreto convencional

A) Periodos

Dirección	Periodo
x	0,66
y	0,60

B) Desplazamientos**Desplazamientos en la dirección X**

Los desplazamientos obtenidos en la dirección del eje X son los siguientes:

Piso	Δ (m)
2	0,00660
1	0,00325

Desplazamientos en la dirección Y

Los desplazamientos obtenidos en la dirección del eje Y son los siguientes:

Piso	Δ (m)
2	0,00640
1	0,0033

C) Cortantes**Cortantes en la dirección X**

El cortante en la base obtenido en la dirección del eje X es el siguiente:

Piso	V (t)
1	36,50

Cortantes en la dirección Y

El cortante en la base obtenido en la dirección del eje Y es el siguiente:

Piso	V (t)
1	39,40

VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES MÍNIMAS REGLAMENTARIAS

A) Desplazamientos

Según la norma NTE E.030 - Diseño sismorresistente, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso no deberá exceder, para concreto armado, la fracción de la altura de entrepiso que se indica a continuación:

$$\delta_{ri} / h_{e_i} = 0,0070$$

En nuestra vivienda todas las alturas de entrepiso son iguales:

$$h_{e_i} = 2,825$$

Las distorsiones (δ_{ri}/h) obtenidas son las siguientes:

Para la dirección del eje X

Piso	δ_{ri}/h_{e_i}	δ_{ri}/h_{e_i} máximo
2	0,00610	0,007
1	0,00648	0,007

Para la dirección del eje Y

Piso	δ_{ri}/h_{e_i}	δ_{ri}/h_{e_i} máximo
2	0,00571	0,007
1	0,00609	0,007

Se puede observar que todas las distorsiones de entrepiso son menores que el máximo permisible por la norma peruana.

B) Control de giros en planta

Según la norma NTE. E.030 - Diseño sismorresistente, en cada una de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, no debe ser mayor que 1,75 veces el desplazamiento relativo de los centros de masa.

Para la dirección del eje X

Piso	δ_{ri}/h (m)	δ_{ri} CM/h (m)	δ_{ri} CM/h (m)*1,75
2	0,00610	0,00570	0,00998
1	0,00648	0,00598	0,01046

Para la dirección del eje Y

Piso	δ_{ri}/h (m)	δ_{ri} CM/h (m)	δ_{ri} CM/h (m)*1,75
2	0,00571	0,00531	0,00929
1	0,00609	0,00559	0,00978

Se puede ver que se cumple el reglamento ya que el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos no es mayor que 1,75 veces el desplazamiento relativo del centro de masa, y esto en ambas direcciones.

C) Cortantes

Según la Norma NTE E.030 - Diseño sismorresistente, para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base de la vivienda no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el análisis estático para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares. Para nuestra vivienda, por tratarse de una estructura regular, se tomará el 80% como cortante mínimo.

Cortante en la base en la dirección del eje X

A. Dinámico		A. Estático
Piso	V(t)	80% V. estático (t)
1	36,50	30,94

Cortante en la base en la dirección del eje Y

A. Dinámico		A. Estático
Piso	V(t)	80% V. estático (t)
1	39,40	33,74

Como el cortante obtenido del análisis dinámico es mayor lo usaremos en el diseño.

Cortante en la base en la dirección del eje X

A. Dinámico

A. Dinámico	
Piso	V(t)
1	36,50

Cortante en la base en la dirección del eje Y

A. Dinámico

A. Dinámico	
Piso	V(t)
1	39,40

5.5.3.2 Resultados del análisis sísmico en la vivienda unifamiliar de concreto celular

A) Periodos

Dirección	Periodo
x	0,64
y	0,60

B) Desplazamientos**Desplazamientos en la dirección X**

Los desplazamientos obtenidos en la dirección del eje X son los siguientes:

Piso	Δ (m)
2	0,00640
1	0,00315

Desplazamientos en la dirección Y

Los desplazamientos obtenidos en la dirección del eje Y son los siguientes:

Piso	Δ (m)
2	0,00610
1	0,00307

C) Cortantes**Cortantes en la dirección X**

El cortante en la base obtenido en la dirección del eje X son los siguientes:

Piso	V(t)
1	28,90

Cortantes en la dirección Y

El cortante en la base obtenido en la dirección del eje Y son los siguientes:

Piso	V(t)
1	31,30

VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES MÍNIMAS
REGLAMENTARIAS

A) Desplazamientos

Según la norma NTE E.030 - Diseño sismorresistente, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso no deberá exceder, para concreto armado, la fracción de la altura de entrepiso que se indica a continuación:

$$d_{ri} / h_{e_i} = 0,0070$$

En nuestra vivienda todas las alturas de entrepiso son iguales:

$$h_{e_i} = 2,825$$

Las distorsiones (δ_{ri}/h) obtenidas son las siguientes:

Para la dirección del eje X

Piso	δ_{ri}/h_{e_i}	δ_{ri}/h_{e_i} máximo
2	0,00590	0,007
1	0,00628	0,007

Para la dirección del eje Y

Piso	δ_{ri}/h_{e_i}	δ_{ri}/h_{e_i} máximo
2	0,00551	0,007
1	0,00589	0,007

Se puede observar que todas las distorsiones de entrepiso son menores que el máximo permisible por la norma peruana.

B) Control de giros en planta

Según la norma NTE E.030 - Diseño sismorresistente, en cada una de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, no debe ser mayor que 1,75 veces el desplazamiento relativo de los centros de masa.

Para la dirección del eje X

Piso	δ_{ri}/h (m)	δ_{ri} CM/h (m)	δ_{ri} CM/h (m)*1,75
2	0,00590	0,00580	0,01020
1	0,00628	0,00618	0,01080

Para la dirección del eje Y

Piso	δ_{ri}/h (m)	δ_{ri} CM/h (m)	δ_{ri} CM/h (m)*1,75
2	0,00551	0,00501	0,00877
1	0,00589	0,00539	0,00943

Se puede ver que se cumple el reglamento ya que el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos no es mayor que 1,75 veces el

desplazamiento relativo del centro de masa, y esto en ambas direcciones.

C) Cortantes

Según la Norma NTE E.030 - Diseño sismorresistente, para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en la base de la vivienda no podrá ser menor que el 80% del valor calculado según el análisis estático para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Para nuestra vivienda, por tratarse de una estructura regular, se tomará el 80% como cortante mínimo.

Cortante en la base en la dirección del eje X

A. Dinámico		A. Estático
Piso	V(t)	80% V. estático (t)
1	28,90	24,54

Cortante en la base en la dirección del eje Y

A. Dinámico		A. Estático
Piso	V(t)	80% V. estático (t)

1	31,30	26,94
---	-------	-------

Como el cortante obtenido del análisis dinámico es mayor lo usaremos en el diseño.

Cortante en la base en la dirección del eje X

A. Dinámico	
Piso	V(t)
1	28,90

Cortante en la base en la dirección del eje Y

A. Dinámico	
Piso	V(t)
1	31.30

5.6 Diseño estructural de la vivienda unifamiliar de concreto convencional

El diseño estructural consistió en determinar el refuerzo longitudinal y transversal de las secciones de concreto armado, como la losa, vigas y columnas. Además las dimensiones y refuerzo de la cimentación.

5.6.1 Diseño de la losa

El espesor de la losa se estimó en 0,20 m procurando, en principio, satisfacer los requisitos mínimos, para el control de deflexiones. Además, el espesor también se estima de modo que el concreto esté en capacidad de resistir por sí solo los esfuerzos de corte pues en este tipo de losas no se emplea refuerzo transversal.

Para el cálculo de los momentos a los que estaría sometida la losa se empleó el programa SAP 2000.

Para el cálculo del área de acero se usaron las siguientes expresiones

Área de acero en una sección cualquiera

$$A_s = \frac{M_u}{\phi x f_y x (d - \frac{a}{2})} \dots\dots\dots(1)$$

$$a = \frac{A_s x f_y}{0,85 x f'_{c} x b} \dots\dots\dots(2)$$

$$A_s \text{ min} = 0,0018 x b x d \dots\dots(3)$$

Haciendo uso de las ecuaciones (1) y (2) y el momento obtenido del análisis obtenemos el área de acero requerida, que no debe ser menor a la obtenida por la ecuación (3).

ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA LA OBTENCIÓN DE LOS MOMENTOS MAXIMOS EN LA LOSA ALIGERADA

LOSA ALIGERADA TIPICA

El análisis estructural de la losa aligerada se hizo utilizando el método aproximado de los Coeficientes del ACI, para lo cual cumple con las siguientes condiciones:

Las longitudes de sus tramos estan dentro del rango que dispone el ACI.

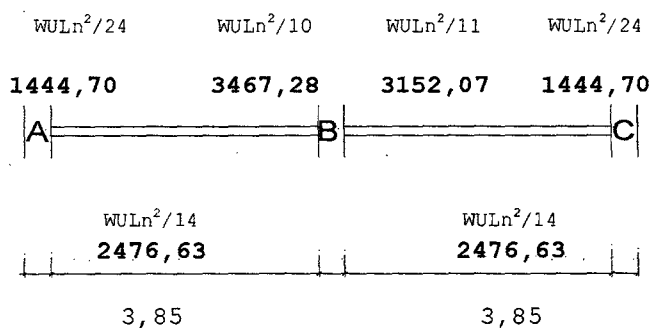
Las cargas son uniformemente distribuidas.

La carga viva es menor que 3 veces la carga muerta.

La losa aligerada es un elemento prismático.

Los momentos se tomarán a la cara del apoyo:

$$W_u = 2339,20 \quad \text{kg / ml}$$



M(-) A =	1444,70	kg-m
M(+) A-B =	2476,63	kg-m
M(-) B =	3467,28	kg-m
M(+) B-C =	2476,63	kg-m
M(-) C =	1444,70	kg-m

Se consideró el mayor valor en el apoyo
Se consideró el mayor valor en el apoyo

DISEÑO DEL REFUERZO DE LA LOSA POR FLEXIÓN

LOSA ALIGERADA TÍPICA

1) Apoyo A:

$$\begin{aligned} \mu &= 1444,70 \text{ kg-m} \\ b &= 100,00 \text{ cm} \\ d &= 17,50 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - r - 1/2 \varnothing \text{ (cm)} \\ d &= 20 - 2 - 0,5 = 17,5 \\ h &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$As = \frac{\mu}{\phi \cdot fy \cdot (d - a/2)}$$

$$a = 0,522 \text{ cm}$$

$$As = 2,22 \text{ cm}^2$$

Verificar: $As_{\min.} = 0,0018bh$
 $As_{\min.} = 3,6 \text{ cm}$

Se debe colocar el acero mínimo: $As = 3,60 \text{ cm}^2$

Se usará $\emptyset = 1/2''$ $Ab = 1,27 \text{ cm}^2$

2) Tramo A-B:

$Mu = 2476,63 \text{ kg-m}$ $d = h - r - 1/2 \emptyset \text{ (cm)}$
 $b = 100,00 \text{ cm}$ $d = 20 - 2 - 0,5 = 17,5$
 $d = 17,50 \text{ cm}$ $h = 20 \text{ cm}$

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot fy \cdot (d - a/2)}$$

$a = 0,904 \text{ cm}$

$As = 3,84 \text{ cm}^2$

Verificar: $As_{\min} = 0,0018bh$
 $As_{\min} = 3,6 \text{ cm}$

Se debe colocar el acero calculado: $As = 3,84 \text{ cm}^2$

Se usará $\emptyset = 5/8''$ $Ab = 1,99 \text{ cm}^2$

3) Apoyo B:

$Mu = 3467,28 \text{ kg-m}$ $d = h - r - 1/2 \emptyset \text{ (cm)}$
 $b = 100,00 \text{ cm}$ $d = 20 - 2 - 0,5 = 17,5$
 $d = 17,50 \text{ cm}$ $h = 20 \text{ cm}$

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot fy \cdot (d - a/2)}$$

$a = 1,280 \text{ cm}$

$As = 5,44 \text{ cm}^2$

Verificar: $As_{min} = 0,0018bh$
 $As_{min} = 3,6 \text{ cm}$

Se debe colocar el acero calculado: $As = 5,44 \text{ cm}^2$

Se usará $\emptyset = 1/2"$ $Ab = 1,27 \text{ cm}^2$

4) Tramo B-C:

$Mu = 2476,63 \text{ kg-m}$ $d = h - r - 1/2 \emptyset \text{ (cm)}$
 $b = 100,00 \text{ cm}$ $d = 20 - 2 - 0,5 = 17,5$
 $d = 17,50 \text{ cm}$ $h = 20 \text{ cm}$

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot fy \cdot (d - a/2)}$$

$a = 0,904 \text{ cm}$

$As = 3,84 \text{ cm}^2$

Verificar: $As_{min.} = 0,0018bh$
 $As_{min.} = 3,6 \text{ cm}$

Se debe colocar el acero mínimo: $As = 3,60 \text{ cm}^2$

Se usará $\emptyset 1/2"$

$Ab = 1,27 \text{ cm}^2$

5) Apoyo C:

$Mu = 1444,70 \text{ kg-m}$ $d = h - r - 1/2 \emptyset \text{ (cm)}$
 $b = 100,00 \text{ cm}$ $d = 20 - 2 - 0,5 = 17,5$
 $d = 17,50 \text{ cm}$ $h = 20 \text{ cm}$

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$As = \frac{Mu}{\phi \cdot fy \cdot (d - a/2)}$$

$a = 0,522 \text{ cm}$

$As = 2,22 \text{ cm}^2$

Verificar: $A_s \text{ mín.} = 0,0018bh$
 $A_s \text{ mín.} = 3,6 \text{ cm}$

Se debe colocar el acero calculado: $A_s = 5,44 \text{ cm}^2$

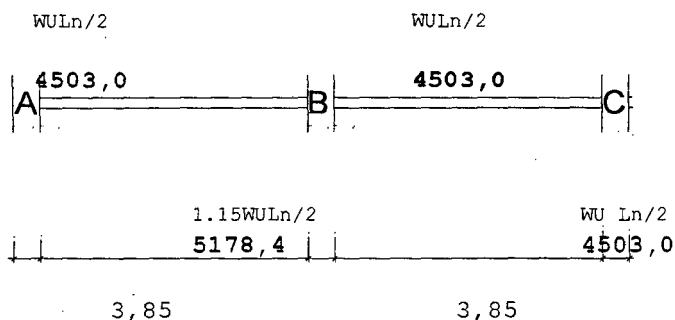
Se usará $\emptyset = 1/2"$ $A_b = 1,27 \text{ cm}^2$

RESUMEN

Apoyo A = $\emptyset 1/2"$
 Tramo A-B = $\emptyset 1/2"$
 Apoyo B = $\emptyset 1/2"$
 Tramo B-C = $\emptyset 1/2"$
 Apoyo C = $\emptyset 1/2"$

VERIFICACIÓN A LA FUERZA CORTANTE

$W_u = 2339,20 \text{ kg/ml}$
 Se utilizará los coeficientes ACI



$V_u \text{ max} = 5178,4 \text{ kg}$
 $V_n \text{ max} = V_u \text{ máx} / 0,85 = 6092,24 \text{ kg}$

Fuerza de corte
 nominal:

$V_{cn} = 0,53 (210)^{1/2} b d \quad b = 100,00$
 $13056,7$
 $V_{cn} = 3 \text{ kg} \quad d = 17$

$V_{cn} > V_{u \text{ max}}$ NO FALLA, el análisis es
 correcto.

REFUERZO POR CONTRACCIÓN DE FRAGUA Y POR TEMPERATURA

$$\begin{aligned} A_{st} &= 0,0018bh & b &= 100 \text{ cm} \\ A_{st} &= 0,9 \text{ cm}^2 & h &= 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Se usará } \emptyset = 1/4" \quad A_b = 0,32 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Separación entre} & & b * A_b \\ \text{barras:} & & S = \frac{\quad}{A_s} \\ & & S = 35,56 \text{ cm} \end{aligned}$$

Verificación del espaciam.
máximo:

$$S \text{ max} = .45 = 45 \text{ cm}$$

$$S \text{ max} = 5 * h = 25 \text{ cm}$$

Se toma el menor de los
valores:

$$S \text{ max} = 25 \text{ cm}$$

Entonces la separación es la calculada
anteriormente:

(por razón
constructiva)

$$S = 25,00 \text{ cm}$$

Se
colocará

$$\begin{aligned} A_{st} &= \emptyset \\ &1/4" @ 25,00 \text{ cm} \end{aligned}$$

5.6.2 Diseño de vigas

Se empleó el programa RCBE 5.0 para el análisis de la estructura.



Las vigas más esforzadas fueron las de los ejes internos 2-2, B-B y C-C, cuya longitud entre ejes de apoyos es de 3,85 y 4,90 metros.

Ejemplo de cálculo del refuerzo longitudinal

Primer Piso Viga Pórtico B-B entre eje 1-1 y 2-

2

Momentos obtenidos del análisis

M (-) en la cara del apoyo i	= -12,3 t x m
M (-) en la cara del apoyo j	= -15,25 t x m
M (+) en el tramo central	= +08,59 t x m

$$R_u = \frac{M_u}{bxd^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$R_u = \phi \rho x f_y x \left(1 - 0,59 x \rho x \frac{f_y}{f'_c} \right) \dots\dots\dots(2)$$

$$A_s = \rho x b x d \dots\dots\dots(3)$$

$$A_{s \min} = \frac{0,8 x \sqrt{f'_c}}{f_y x b x d} \dots\dots\dots(4)$$

$$A_{s \min} \geq \frac{14,1}{f_y x b x d} \dots\dots\dots(5)$$

Haciendo uso de las ecuaciones (1) y (2) determinamos la cuantía, y mediante (3) el área de acero requerida, teniendo esta que ser mayor al área de acero obtenida por las ecuaciones (4) y (5)

En este ejemplo obtenemos:

Área de acero en extremo i, j y tramo central
 = 10,19 cm², 4ϕ5/8" y 2ϕ1/2"

Pórtico 2-2

Área de acero en extremo i, j y tramo central
 = 7,38 cm², 6ϕ1/2"

Diseño del refuerzo a la fuerza cortante en las vigas

Las vigas con la mayor fuerza cortante son las vigas de los extremos del primer nivel.

Ejemplo de cálculo del refuerzo transversal

Primer piso viga pórtico B-B entre eje 1-1 y 2-2

La fuerza cortante última de la viga en el apoyo j es de 13,9 t, la fuerza cortante en una sección ubicada a una distancia igual al peralte efectivo de la viga, desde el apoyo del extremo j se calculó igual a 9,81 t.

La resistencia al corte del concreto es:

$$V_c = 0,53x\sqrt{f'c}xb_wxd$$

$$= 0,53x14,5x20x36 = 5533,20.kg = 5,5t$$

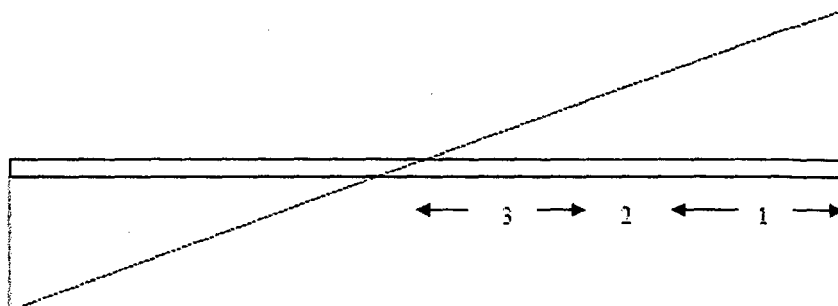
minorando la resistencia del concreto tenemos

$$\phi V_c = 0,85 \times 5,5t = 4,68t$$

La fuerza cortante última igual a 4,68 t se presenta a 1,10m de la cara del apoyo. La viga se diseñara en tres tramos; el primer tramo (tramo 1 en el dibujo) corresponde al tramo desde la cara del apoyo hasta una distancia de 0,80 m, en donde el cortante sea 4,68 t, y este tramo se diseñara para resistir un esfuerzo de corte de 9,81 t.

El segundo tramo (tramo 2 del dibujo) corresponde a las secciones en donde el cortante es menor que ϕV_c pero mayor que $\phi V_c/2 = 2,34 t$, y esto ocurre hasta una distancia de 2,30 m.

El tercer tramo (tramo 3 del dibujo) donde el cortante es menor que $\phi V_c/2$ no necesitará refuerzo transversal sin embargo llevara estribos mínimos para cumplir con la norma.



Tramo 1:

La fuerza cortante última de diseño es 9,81 t.
El corte que debe ser resistido por el acero es igual a:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= (9,81 / 0,85) - 4,68 = 6,86 \text{ t}$$

Se debe verificar que el aporte del acero sea menor que el máximo, el cual se determina a través de la expresión:

$$V_s = 2,1x\sqrt{f'c}xbxd = 2,1x14,5x20x36 = 21924 ,00 \text{ kg ...que ..es ..mayor .}$$

Se utilizarán estribos de 3/8" y el área A_v será igual a:

$$A_v = 2 \times 0,71 = 1,42 \text{ cm}^2$$

El espaciamiento de los estribos se determina a través de la siguiente expresión:

$$s = \frac{A_v x f_y x d}{V_s}$$

$$s = 1,42 \times 4200 \times 36 / 6860 = 31,30 \text{ cm}$$

no obstante de acuerdo a la norma el espaciamiento no podrá ser mayor que 30cm o $d/4$, el que sea menor. En nuestro caso $d/4 = 9,00$ cm. Por lo que el espaciamiento será de 10 cm.

Tramo 2:

Corresponde al tramo de la viga sometido a fuerza cortante mayor que $\phi V_c/2$ y menor que ϕV_c . En él, se distribuirá refuerzo transversal mínimo. Considerando estribos de 3/8", el espaciamiento se determina a través de la siguiente expresión:

$$s = \frac{(A_v x f_y)}{(3,5 x b)}$$

$$s = 1,42 \times 4200 / 3,5 \times 20 = 85,20 \text{ cm}$$

que es mayor que el espaciamiento máximo, por lo que se espaciara a $d / 2$, $36/2 = 18$, por facilidad constructiva será de 20cm.

Tramo 3:

La fuerza cortante última es menor que $\phi V_c/2$ por lo tanto no se requiere refuerzo transversal sin embargo, por encontrarse la vivienda en zona sísmica el espaciamiento será el mínimo, es decir, 20cm.

Finalmente la viga se reforzará por corte de la siguiente manera:

2 @ 5cm, 6 @ 10 cm resto a 20 cm en ambos extremos.

5.6.3 Diseño de columnas

Del análisis de la estructura obtuvimos los momentos de diseño y la carga axial para diseñar las columnas a flexocompresión. Se obtuvo la cuantía mínima de 1% para las columnas excepto para las columnas ubicadas en

los extremos de los muros que trabajan en albañilería confinada, en ella la cuantía fue de 1,1 %.

Sin embargo todas las columnas llevaron 4 ϕ 5/8" y 2 ϕ 3/4" al ser esta la distribución más óptima.

Diseño del refuerzo a la fuerza cortante en las columnas

El refuerzo transversal consistirá en refuerzo mínimo de estribos rectangulares de diámetro 3/8", espaciados según la norma.

5.6.4 Diseño de la cimentación

La cimentación de la vivienda consistió en zapatas conectadas mediante cimientos corridos. Las zapatas se diseñaron como aisladas y eran las encargadas de transmitir las cargas verticales al terreno. La capacidad de carga del suelo es de 2,5 kg/cm².

5.6.5 Relación de Planos - Ver Anexo 2

A01 - Concreto convencional - arquitectura
C/E01 - Concreto convencional - cortes y elevaciones

5.7 Diseño estructural de la vivienda unifamiliar de concreto celular

El diseño estructural consistió en determinar el refuerzo longitudinal y transversal de las secciones de concreto armado, como la losa, vigas y columnas. Además las dimensiones y refuerzo de la cimentación.

5.7.1 Diseño de la losa

El espesor de la losa se estimó en 0.20 m procurando, en principio, satisfacer los requisitos mínimos, para el control de deflexiones.

Es importante volver a señalar que para concreto celular la resistencia al corte viene dada por la siguiente expresión:

$$V_c = 0,53 \times \frac{f_{ct}}{1,77} \times b_w \times d \quad ;$$

Donde f_{ct} es la resistencia a la tracción de la prueba de tracción por compresión diametral.

Para el cálculo de los momentos a los que estaría sometida la losa se empleo el programa SAP 2000.

Para el cálculo del área de acero se usaron las siguientes expresiones

Área de acero en una sección cualquiera

$$A_s = \frac{M_u}{\phi \times f_y \times x \left(d - \frac{a}{2} \right)} \dots\dots\dots (1)$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \dots\dots\dots (2)$$

$$A_s \text{ min} = 0,0018 \times b \times d \dots\dots (3)$$

Haciendo uso de las ecuaciones (1) y (2) y el momento obtenido del análisis obtenemos el área de acero requerida, que no debe ser menor a la obtenida por la ecuación (3).

El refuerzo obtenido y la distribución del mismo se aprecia en el plano E-01, del **Anexo 3** correspondiente a los pisos 1 y 2 respectivamente.

Verificación de la losa al esfuerzo de corte

El concreto resiste:

$$V_c = 0,53 \times \frac{f_{ct}}{1,77} \times b \times d = 0,53 \times 21,15 / 1,77 \times 100 \times 20 = 12666,10 \text{ kg} = 12,66 \text{ t}$$

5.7.2.

Diseño de las vigas de concreto celular

Se empleó el programa RCBE 5.0 para el análisis de la estructura.



Las vigas más esforzadas fueron las de los ejes internos 2-2, B-B y C-C, cuya longitud entre ejes de apoyos era de 4,90 metros.

Ejemplo de cálculo del refuerzo longitudinal

Primer piso viga pórtico B-B entre eje 1-1 y 2-2

Momentos obtenidos del análisis

M (-) en la cara del apoyo i = -11,26 t x m

M (-) en la cara del apoyo j = -14,85 t x m

M (+) en el tramo central = +09,11 t x m

$$R_u = \frac{M_u}{bxd^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$R_u = \phi \rho x f_y x \left(1 - 0,59 x \rho x \frac{f_y}{f'c} \right) \dots \dots \dots (2)$$

$$A_s = \rho x b x d \dots \dots \dots (3)$$

$$A_{s \min} = \frac{0,8 x \sqrt{f'c}}{f_y x b x d} \dots \dots \dots (4)$$

$$A_{s \min} \geq \frac{14,1}{f_y x b x d} \dots \dots \dots (5)$$

Haciendo uso de las ecuaciones (1) y (2) determinamos la cuantía, y mediante (3) el área de acero requerida, teniendo esta que ser mayor al área de acero obtenida por las ecuaciones (4) y (5)

En este ejemplo obtenemos:

Área de acero en extremo i, j y tramo central
 = 9,67 cm², 3φ5/8" ..y.. 3φ1/2"

Pórtico 2-2

Área de acero en extremo i, j y tramo central
 = 7,38 cm², 6φ1/2"

El detalle del refuerzo longitudinal de todas las vigas se presentan en el plano E-01 del Anexo 3.

Diseño del refuerzo a la fuerza cortante en las vigas

Las vigas con la mayor fuerza cortante son las vigas de los extremos del primer nivel.

Ejemplo de cálculo del refuerzo transversal

Primer piso viga pórtico B-B entre eje 1-1 y 2-2

La fuerza cortante última de la viga en el apoyo j es de 13,9 t, la fuerza cortante en una sección ubicada a una distancia igual al peralte efectivo de la viga, desde el apoyo del extremo j se calculó igual a 9,81 t.

La resistencia al corte del concreto es:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,53x\sqrt{f'c}xb_wxd \\ &= 0,53x14,5x20x36 = 5533,20kg = 5,5t \\ \phi V_c &= 0,85x5,5t = 4,68t \end{aligned}$$

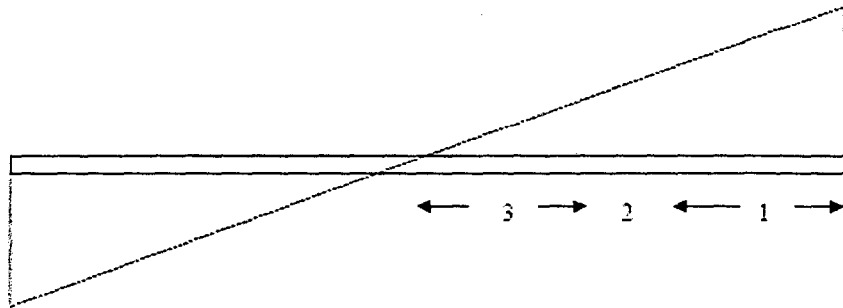
minorando la resistencia del concreto tenemos

La fuerza cortante última igual a 4,68 t se presenta a 1,10m de la cara del apoyo. La viga se diseñara en tres tramos; el primer tramo (tramo 1 en el dibujo) corresponde al tramo desde la cara del apoyo hasta una distancia de 0,80 m, en donde el cortante sea 4,68 t, y este tramo se diseñara para resistir un esfuerzo de corte de 9,81 t.

El segundo tramo (tramo 2 del dibujo) corresponde a las secciones en donde el cortante es menor que ϕV_c pero mayor que $\phi V_c/2 = 2,34$ t, y esto ocurre hasta una distancia de 2,30 m.

El tercer tramo (tramo 3 del dibujo) donde el cortante es menor que $\phi V_c/2$ no necesitará

refuerzo transversal sin embargo llevara estribos mínimos para cumplir con la norma.



Tramo 1:

La fuerza cortante última de diseño es 9,81 t.

El corte que debe ser resistido por el acero es igual a:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= (9,81 / 0,85) - 4,68 = 6,86 \text{ t}$$

Se debe verificar que el aporte del acero sea menor que el máximo, el cual se determina a través de la expresión:

$$V_s = 2,1x\sqrt{f'c}xbxd = 2,1x14,5x20x36 = 21924,00 \text{ kg ...que ..es..mayor .}$$

Se utilizarán estribos de 3/8" y el área A_v será igual a:

$$A_v = 2 \times 0,71 = 1,42 \text{ cm}^2$$

El espaciamiento de los estribos se determina a través de la siguiente expresión:

$$s = \frac{A_v x f_y x d}{V_s}$$

$$s = 1,42 \times 4200 \times 36 / 6860 = 31,30 \text{ cm}$$

no obstante de acuerdo a la norma el espaciamiento no podrá ser mayor que 30cm o $d/4$, el que sea menor. En nuestro caso $d/4 = 9,00$ cm. Por lo que el espaciamiento será de 10 cm.

Tramo 2:

Corresponde al tramo de la viga sometido a fuerza cortante mayor que $\phi V_c/2$ y menor que ϕV_c . En él, se distribuirá refuerzo transversal mínimo. Considerando estribos de 3/8", el espaciamiento se determina a través de la siguiente expresión:

$$s = \frac{(A_v x f_v)}{(3,5 x b)}$$

$$s = 1,42 \times 4200 / 3,5 \times 20 = 85,20 \text{ cm}$$

que es mayor que el espaciamiento máximo, por lo que se espaciara a $d / 2$, $36/2 = 18$, por facilidad constructiva será de 20cm.

Tramo 3:

La fuerza cortante última es menor que $\phi V_c/2$ por lo tanto no se requiere refuerzo transversal sin embargo, por encontrarse la vivienda en zona sísmica el espaciamiento será el mínimo, es decir, 20cm.

Finalmente la viga se reforzará por corte de la siguiente manera:

2 @ 5cm, 6 @ 10 cm resto a 20 cm en ambos extremos.

El detalle del refuerzo transversal de todas las vigas se presentan también en el plano E-01 del **Anexo 3**.

5.7.3 Diseño de Columnas

Del análisis de la estructura obtuvimos los momentos de diseño y la carga axial para diseñar las columnas a flexocompresión. Se obtuvo la cuantía mínima de 1% para las columnas excepto para las columnas ubicadas en los extremos de los muros que trabajan en albañilería confinada, en ella la cuantía fue de 1,1 %

Sin embargo todas las columnas llevaron 4 ϕ 5/8" y 2 ϕ 3/4" al ser esta la distribución más óptima. (Ver plano E-02 del **Anexo 3**)

Diseño del refuerzo a la fuerza cortante en las columnas

El refuerzo transversal consistirá en refuerzo mínimo de estribos rectangulares de diámetro 3/8", espaciados según la norma. (Ver plano E-02 del **Anexo 3**)

5.7.4 Diseño de la cimentación

La cimentación de la vivienda consistió en zapatas conectadas mediante cimientos corridos. Las zapatas se diseñaron como zapatas aisladas y eran las encargadas de transmitir las cargas verticales al terreno. La capacidad de carga del suelo es de 2,5 kg/cm².

Se presentan en el plano E-02 del **Anexo 3**, la planta de cimentación, el detalle de los cimientos y el detalle de las zapatas respectivamente.

5.7.5 Relación de planos - Ver anexo 3

E01 - Concreto celular - aligerado

E02 - Concreto celular - cimentación, zapatas
y columnas

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS COMPARATIVO

6.1. Comparación entre la vivienda unifamiliar de concreto convencional y la de concreto celular

Finalmente en este capítulo se hará una comparación entre los dos diseños realizados, es decir el diseño de la vivienda de concreto convencional y de la vivienda de concreto celular. Compararemos los resultados obtenidos en el análisis sísmico, mostraremos las diferencias en las cantidades de refuerzo de las vigas, columnas, losa, y en la cimentación, así como también las diferencias en los volúmenes de concreto de las zapatas, y los volúmenes de excavación, relleno y eliminación de tierra producto de los trabajos de movimiento de tierras.

También presentamos en este capítulo el metrado de ambas viviendas para poder distinguir con

mayor facilidad las diferencias entre ambos diseños.

6.1.1 Cortantes debido a la fuerza sísmica

Se sabía que la principal diferencia que se iba a obtener en el análisis sísmico de la estructura era que debido al menor peso de la vivienda de concreto celular este iba a presentar menor fuerza cortante producida por efectos sísmicos. Lo cual fue cierto, la vivienda de concreto celular estaba sometido a una fuerza cortante aproximadamente 21% menor en ambas direcciones.

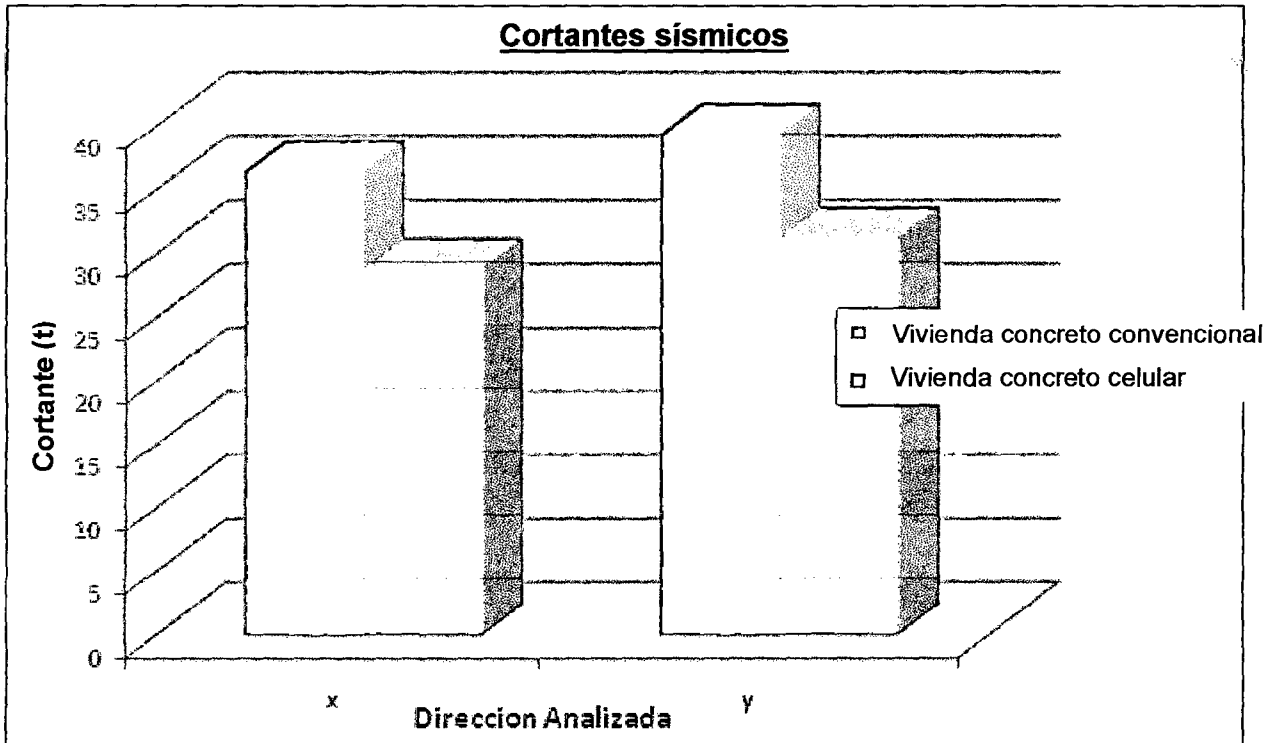
A continuación mostramos los resultados de fuerza cortante en la base obtenidos en ambos diseños para el sistema aporticado; ya que en la evaluación del diseño a la rotura para los muros en albañilería confinada no se presentaron elevados márgenes de diferencia; y

en la página siguiente se gráfica estos resultados.

Vivienda de concreto convencional		Vivienda de concreto celular	
Cortante en la base en X		Cortante en la base X	
Piso	V (kg)	Piso	V (kg)
1	36 500,00	1	28,900,00

Cortante en la base en Y		Cortante en la base en Y	
Piso	V (kg)	Piso	V (kg)
1	39 400,00	1	31 300,00

La disminución de la fuerza cortante fue de alrededor 21%.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Deformaciones

6.1.2.1 Deformaciones sísmicas

Por otro lado, los desplazamientos obtenidos del análisis sísmico eran similares en ambos diseños con las mismas secciones de los elementos estructurales, debido a la menor rigidez lateral del concreto celular.

Mostramos los desplazamientos de entrepiso obtenidos en el análisis sísmico de la vivienda de concreto convencional y la de concreto celular.

Vivienda concreto
convencional

Desplazamientos en X

Piso	Δ (m)
2	0,00660
1	0,00325

Desplazamientos en Y

Piso	Δ (m)
2	0,00640
1	0,00330

Vivienda concreto
celular

Desplazamientos en X

Piso	Δ (m)
2	0,00640
1	0,00325

Desplazamientos en Y

Piso	Δ (m)
2	0,00610
1	0,00307

Y claramente se observa que los desplazamientos son similares.

Si expresamos los desplazamientos en términos de distorsiones notamos que en ambas viviendas estas son casi iguales:

Vivienda concreto
convencional

Distorsión en X

Piso	$\delta r_i / h e_i$
2	0,00610
1	0,00648

Distorsión en Y

Piso	$\delta r_i / h e_i$
2	0,00571
1	0,00609

Vivienda concreto
celular

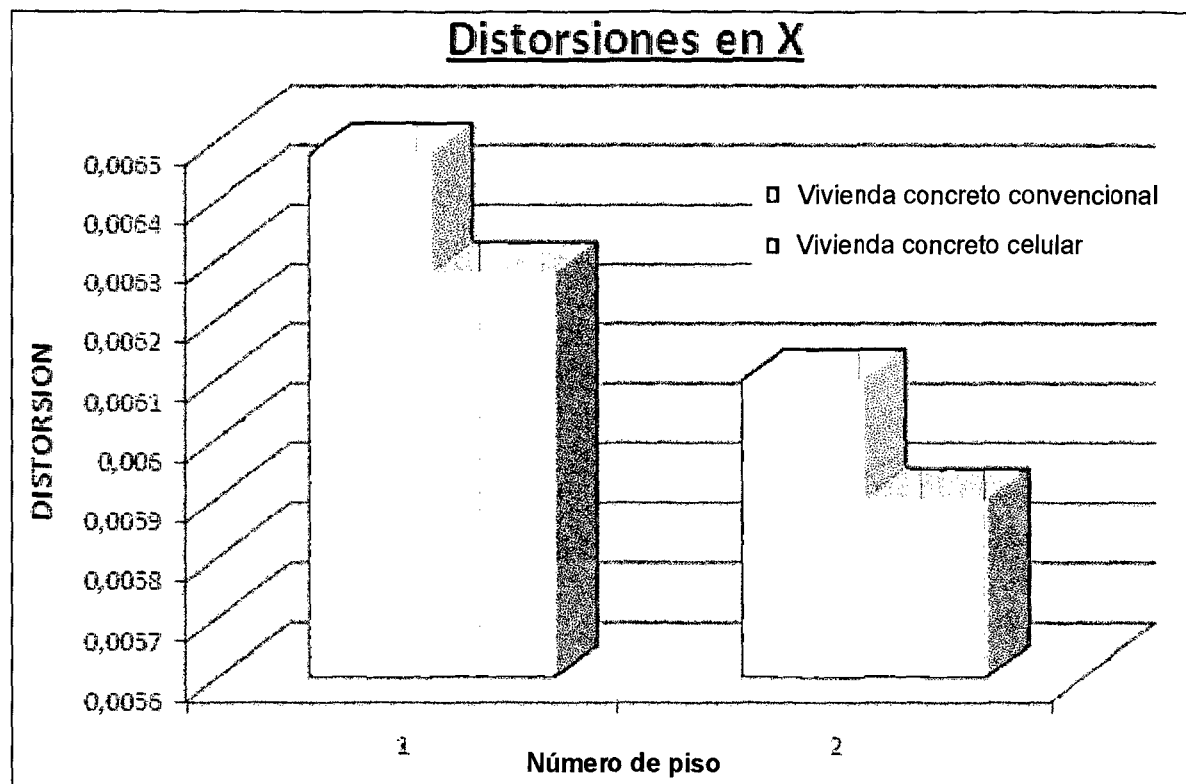
Distorsión en X

Piso	$\delta r_i / h e_i$
2	0,00590
1	0,00628

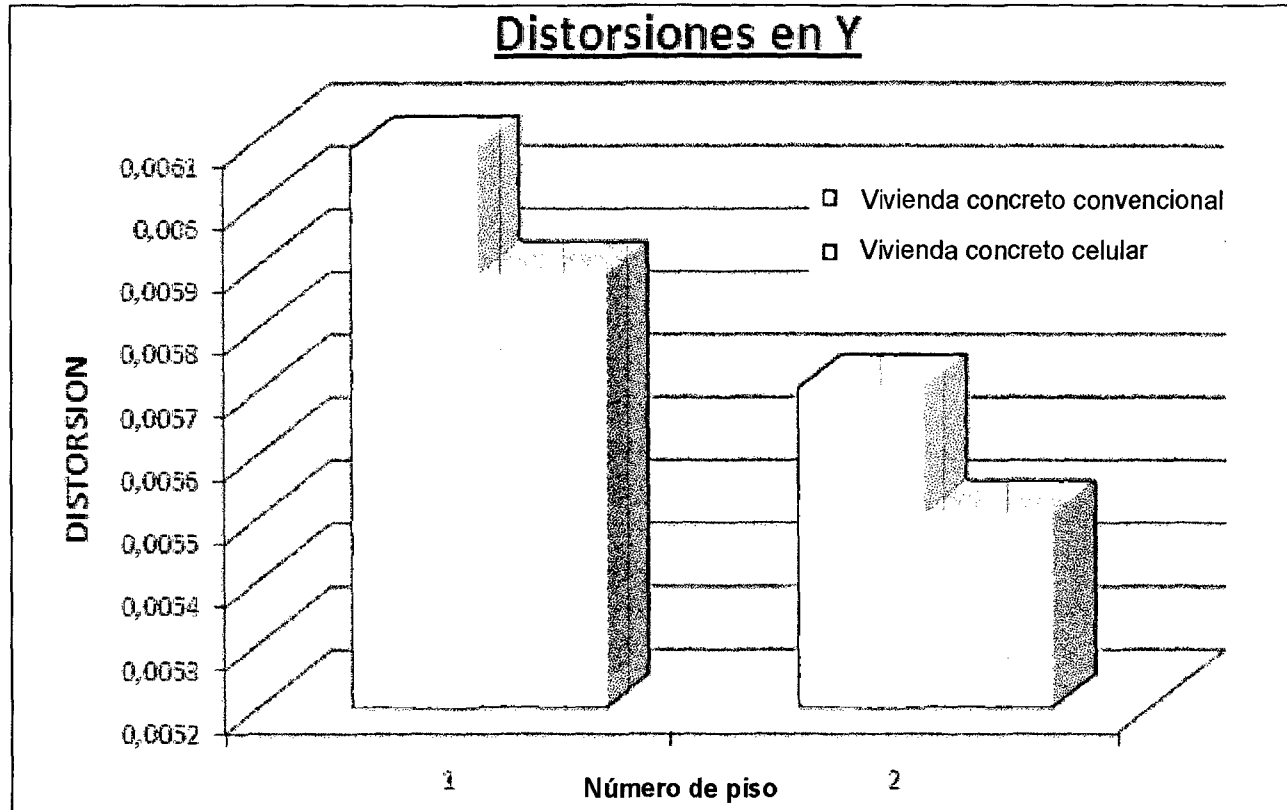
Distorsión en Y

Piso	$\delta r_i / h e_i$
2	0,00551
1	0,00589

Estos resultados se muestran en el siguiente gráfico.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

6.1.2.2 Deformaciones de losas y vigas

La deformación en la losa fue la siguiente:

Concreto convencional : 2,17mm

Concreto celular : 3,11mm

La deformación en las vigas fue la siguiente:

La deformación máxima que presentaban las vigas de 4,90 m del pórtico del eje B-B fue:

Concreto convencional : 3,91mm

Concreto celular : 4,67mm

6.2 Diferencias en los metrados

6.2.1 Losa

El área de acero requerido en la losa de concreto celular fue 5% menor en comparación con la losa de la vivienda de concreto convencional. La losa de la vivienda de concreto celular estaba sometida a menores

esfuerzos sin embargo por norma se colocaba la cuantía mínima.

En el siguiente cuadro notamos la diferencia entre las cantidades de refuerzo de ambas viviendas.

Vivienda	Acero de refuerzo (kg)	Acero de refuerzo (kg/m ²)
Concreto convencional	1 228,02	5,12
Concreto celular	1 202,02	5,01

6.2.2 Vigas

En las vigas analizadas y diseñadas de la vivienda de concreto convencional se obtuvo una ligera reducción en la cantidad de refuerzo longitudinal con respecto al diseño de concreto convencional. En el primer piso la reducción de acero fue del orden de un 3,21%, en el segundo piso 1,33%. Esto debido principalmente a que no obstante se obtenía menor área de refuerzo en

las vigas de concreto celular se tenía que colocar por norma una cantidad mínima.

En el refuerzo transversal no se apreció mayor efecto en el caso de la vivienda de concreto celular, puesto que si bien es cierto la fuerza cortante era menor, la resistencia del concreto a corte también era menor.

Del metrado en ambas viviendas mostramos los resultados en un cuadro comparativo entre las áreas de acero requeridas en las vigas.

Edificio	Acero de refuerzo (kg)
Concreto convencional	2 507,47
Concreto celular	2 243,52

6.2.3 Columnas

En un principio se analizó la estructura de concreto convencional con columnas de 30cm x 30cm, correspondiendo adecuadamente los desplazamientos obtenidos del análisis sísmico,

permitidos por la norma de diseño sismo resistente, así mismo se evaluó el diseño a la rotura para los muros en albañilería confinada, obteniéndose los desplazamientos al corte en ambos diseños.

Al realizar el análisis de la estructura de concreto celular definimos como invariable a los desplazamientos sísmicos, dimensionando las secciones para obtener en ambas viviendas las mismas distorsiones de los entrepisos, esto nos dio las mismas dimensiones de elementos en ambos diseños. Y por consecuencia, a pesar de que el concreto celular al ser más ligero transmitía cargas menores en la estructura este presentaba una menor rigidez lateral y como consecuencia una menor resistencia al desplazamiento lateral. Por esta razón las secciones de las columnas para esta vivienda aporticada no podían ser menores.

Respecto a las áreas de acero tenemos:

a) Vivienda concreto convencional: 13,50 cm² de acero por columna, excepto en las columnas interiores que se calculó otra área para cada una de ellas debido a su escasa función estructural en los pórticos.

b) Vivienda concreto celular: 13,50 cm² de acero por columna en todas las columnas.

Cuyo diseño de esas columnas es 4 ϕ 5/8" y 2 ϕ 3/4" por ser la distribución más óptima.

6.2.4 Cimentación

En la cimentación se obtuvo la misma cantidad de refuerzo en las zapatas de la vivienda de concreto celular en comparación con las zapatas de la vivienda de concreto convencional, así también la misma cantidad de concreto para los cimientos cambiando su costo unitario por tipo de diseño de mezcla, como se aprecia en el presupuesto en las páginas siguientes.

Mostramos un cuadro comparativo de movimiento de tierras, concreto, acero en cimentación:

Cuadro: Movimiento de tierras, volumen de concreto, cantidad de acero en cimentación:

Partida	Unidad	Vivienda	
		Conc. convencional	Conc. celular
Excavación de zapatas, cimientos corridos	m3	66,15	66,15
Relleno con material propio c/equipo liviano	m3	23,46	23,46
Nivelación y compactado	m3	103,23	103,23
Acarreo de material excedente d=30m	m3	46,17	46,17
Eliminación de material exced. c/equipo d=5km	m3	60,01	60,01
Acero en zapatas	Kg	384,70	384,70
Concreto en zapatas	m3	13,04	13,04
Cimientos corridos f'c=100kg/cm2	m3	27,62	27,62
Sobrecimiento: f'c=140kg/cm2	m3	2,42	2,42
Sobrecimiento: encofrado y desenc. normal	m2	32,34	32,34
Falso piso de E=4", concreto 1:10	m2	114,45	114,45

6.3. Diferencias de costos y presupuesto

Expresamos la diferencia entre los costos de ambas viviendas, el de concreto convencional y el concreto celular mediante un presupuesto considerando los metrados reales de las viviendas y los precios unitarios de las diferentes partidas consideradas.

VIVIENDA = **VIVIENDA DE CONCRETO CONVENCIONAL**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (\$.)	Parcial (\$.)
1	ESTRUCTURAS				
1.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
01.01.01	EXCAVACIÓN DE ZAPATAS	m3	66,15	6,99	462,3780
01.01.02	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	23,46	6,99	163,9854
01.01.03	NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN	m3	103,23	5,84	602,8632
01.01.04	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE D=30m	m3	46,17	3,85	177,7545
01.01.05	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE C/EQUIPO LIVIANO D=5km	m3	60,01	3,36	201,6336
1.02	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE				0
01.02.01	CONCRETO 100kg/cm2. PARA CIMENTACIÓN	m3	27,62	59,23	1 636,2584

Prosigue en la pág. 448 →

01.02.02	SOLADO DE 4" MEZCLA 1:10 CEMENTO-HORMIGÓN	m2	114,45	8,05	921,3225
01.02.03	SOBRECIMIENTOS				0
01.02.03.01	SOBRECIMIENTO: CONCRETO F'C= 140 kg/cm2	m3	2,42	92,31	223,8979
01.02.03.02	SOBRECIMIENTO: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	32,34	10,61	343,1274
1.03	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				0
01.03.01	ZAPATAS				0
01.03.01.01	ACERO DE REFUERZO	kg	384,70	2,18	838,6372
01.03.01.02	CONCRETO F'c=210 kg/cm2	m3	13,04	94,92	1 237,8220
01.03.02	COLUMNAS				0
01.03.02.01	ACERO DE REFUERZO	kg	2 584,44	2,18	5 634,0727
01.03.02.02	CONCRETO F'c=210 kg/cm2	m3	6,67	135,31	902,3824
01.03.02.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	86,04	13,90	1 195,9768
01.03.03	VIGAS				0
01.03.03.01	ACERO DE REFUERZO	kg	2 507,47	2,18	5 466,2802
01.03.03.02	CONCRETO F'c=210 kg/cm2	m3	20,87	115,91	2 418,6650
01.03.03.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	132,70	16,60	2 202,7378
01.03.04	LOSA ALIGERADA				0
01.03.04.01	ACERO DE REFUERZO	kg	1 228,02	2,18	2 677,0836
01.03.04.02	CONCRETO F'c=210 kg/cm2	m3	17,66	101,50	1 792,4900
01.03.04.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	209,58	12.,97	2 718,2007

01.03.04.04	LADRILLO LOSA ALIGERADA: LADRILLO HUECO DE ARCILLA 15X30X30 cm.	und	1 720,00	0,77	1 324,4000
01.03.05	ESCALERA				0
01.03.05.01	ESCALERA: CONCRETO F'C=210 kg/cm2	m3	2,40	126,22	302,9280
01.03.05.02	ESCALERA: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	8,85	20,03	177,2655
01.03.05.03	ESCALERA: ACERO F'Y=4200 kg/cm2	kg	138,65	2,18	302,2570
TOTAL SIN I.G.V. =					\$ 33 924,42

Fecha = Octubre 2008, (t.c.=S/.3,20*\$)

Fuente = Elaboración propia.

VIVIENDA = VIVIENDA DE CONCRETO CELULAR

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (\$.)	Parcial (\$.)
1	ESTRUCTURAS				
1.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
01.01.01	EXCAVACIÓN DE ZAPATAS	m3	66,15	6,99	462,3780
01.01.02	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	23,46	6,99	163,9854
01.01.03	NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN	m3	103,23	5,84	602,8632
01.01.04	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE D=30m	m3	46,17	3,85	177,7545
01.01.05	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE C/EQUIPO LIVIANO D=5km	m3	60,01	3,36	201,6336
1.02	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE				0
01.02.01	CONCRETO 100kg/cm2. PARA CIMENTACIÓN	m3	27,62	115,85	3 200,4142
01.02.02	SOLADO DE 4" MEZCLA 1:10 CEMENTO-HORMIGÓN	m2	114,45	7,35	841,2075
01.02.03	SOBRECIMIENTOS				0
01.02.03.01	SOBRECIMIENTO: CONCRETO F'C= 140 kg/cm2	m3	2,42	125,06	303,3330
01.02.03.02	SOBRECIMIENTO: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	32,34	22,47	726,6798
1.03	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				0
01.03.01	ZAPATAS				0
01.03.01.01	ACERO DE REFUERZO	kg	384,70	2,18	838,6373
01.03.01.02	CONCRETO f'c=210 kg/cm2	m3	13,04	127,10	1 657,3840

Prosigue en la pág. 451 →

01.03.02	COLUMNAS				0
01.03.02.01	ACERO DE REFUERZO	kg	2 312,39	2,18	5 041,0124
01.03.02.02	CONCRETO f'c=210 kg/cm2	m3	6,46	127,10	820,8626
01.03.02.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	81,51	15,15	1 234,9220
01.03.03	VIGAS				0
01.03.03.01	ACERO DE REFUERZO	kg	2 243,52	2,18	4 890,8823
01.03.03.02	CONCRETO f'c=210 kg/cm2	m3	18,67	109,37	2 041,9652
01.03.03.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	118,73	17,85	2 119,2796
01.03.04	LOSA ALIGERADA				0
01.03.04.01	ACERO DE REFUERZO	kg	1 202,02	2,18	2 620,4036
01.03.04.02	CONCRETO f'c=210 kg/cm2	m3	17,66	96,24	1 699,5984
01.03.04.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	209,58	14,22	2 980,1707
01.03.04.04	LOSA ALIGERADA: LADRILLO HUECO DE ARCILLA 15X30X30 cm.	und	1 720,00	0,77	1 324,4000
01.03.05	ESCALERA				0
01.03.05.01	ESCALERA: CONCRETO f'c=210 kg/cm2	m3	2,40	129,61	311,0640
01.03.05.02	ESCALERA: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	8,85	21,28	188,3280
01.03.05.03	ESCALERA: ACERO f'y=4200 kg/cm2	kg	138,65	2,18	302,2570
TOTAL SIN I.G.V. =					\$ 34 751,42

Fecha = Octubre 2008, (t.c.=S/.3,20*\$)

Fuente = Elaboración propia.

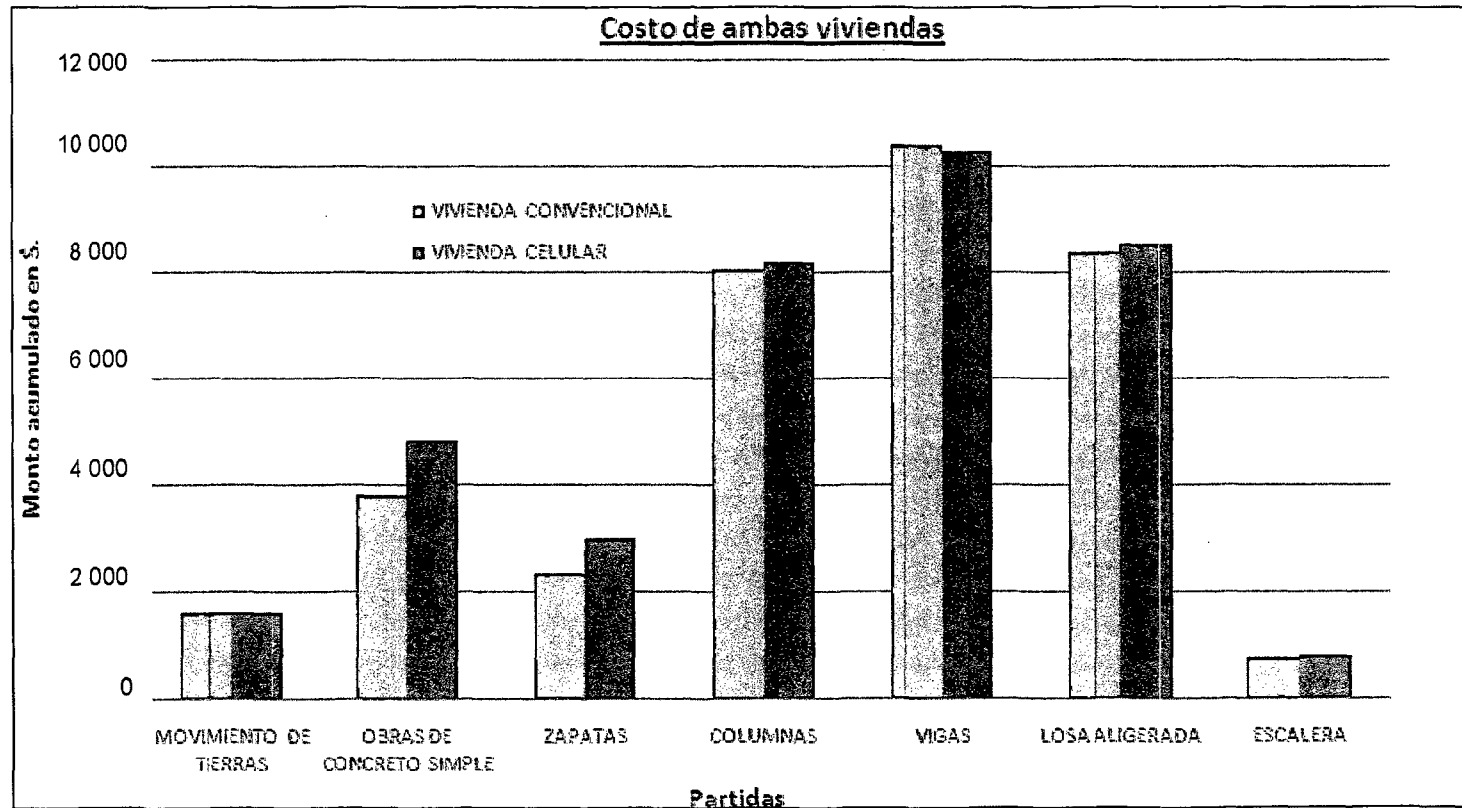
Interpretación.-

Del presupuesto que se presenta en las páginas anteriores para el caso de vivienda con concreto convencional y la otra con concreto celular los montos finales al mes de agosto del año 2008 son:

Vivienda con concreto convencional = \$ 33 924,42

Vivienda con concreto celular = \$ 34 751,42

Por lo tanto hay un incremento del **2,38%** en precio al construir elementos estructurales con concreto celular en comparación con las construcciones de concreto convencional, lo cual significa un gasto menor si tomamos en consideración todas las ventajas que nos brinda el concreto celular a largo plazo.



Fuente: Elaboración propia.

6.4 Costo y beneficio

Toda estructura debe resistir las cargas para las que fue diseñada, pero también la estructura debe ser lo más económica posible. Del diseño de la estructura en concreto celular observamos que si existe una reducción de refuerzo con respecto al diseño de concreto convencional, una reducción en el costo de obras en concreto simple, pero también es cierto que el costo de producir concreto celular es mayor.

Del metrado y presupuesto obtenemos que la vivienda de concreto celular es 2,38% más caro que la de concreto convencional. Por lo que el beneficio no se encuentra directamente relacionado con los elementos estructurales sino con las otras propiedades de este concreto.

Como ya se ha mencionado existen otras ventajas propias del concreto celular, como su absorción acústica, su aislamiento térmico, y su resistencia

al fuego. Las propiedades de aislamiento térmico hacen de este concreto muy favorable para reducir costos en equipos de calefacción o de refrigeración debido a que el calor o frío se conserva dentro del ambiente por un mayor espacio de tiempo.

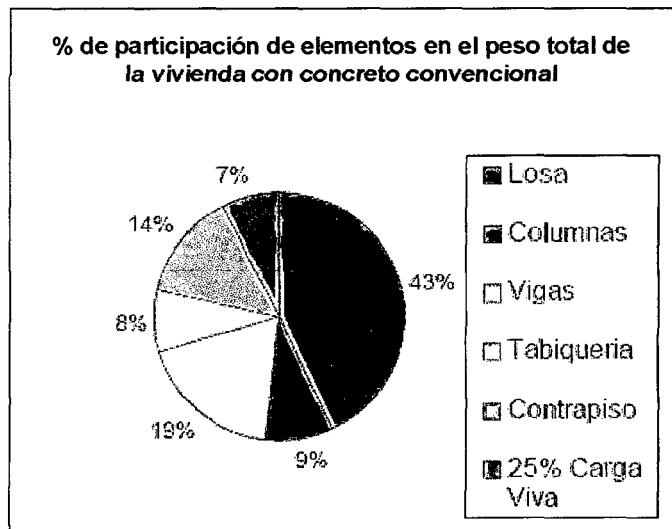
También, es posible combinar concreto convencional en la estructura con concreto celular en los elementos no portantes, donde la resistencia no es importante y se pueden emplear elementos de densidad mucho menor, entre 400kg/m^3 y 800 kg/m^3 con contenidos de cemento bajos. Así como también utilizar usar concreto convencional en elementos que no inciden significativamente en el peso total de la edificación, como en este caso en las columnas en donde la incidencia en el peso total de la vivienda fue de solo 8% esto se aprecia mejor en la gráfica de la página 458.

Sabemos que la baja densidad del concreto celular determina el peso del material, por lo que la manejabilidad en transporte de material, acarreos, organización y colocación de los elementos de albañilería determinan el tiempo de ejecución de las obras, un camión convencional puede transportar unidades de bloques de arcilla o de concreto hasta cierto punto, ya que se ve limitado por el peso y no por el volumen del material a transportar, con el concreto celular, en bloques convencionales de 400 a 800 kg/m³, se aplica la tercera parte del peso, por lo que el camión convencional que antes transportaba cierta cantidad de unidades, en concreto celular, transportará muchas más unidades

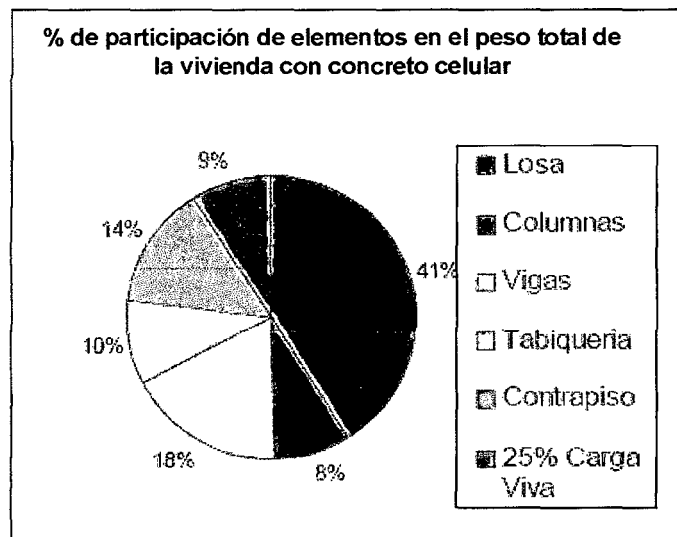
También, la ausencia de agregado grueso y el efecto de rodamiento producido por la espuma proporciona una buena consistencia al concreto celular. No es necesaria la vibración cuando se vacían columnas, o vigas ya que el concreto celular se distribuye

uniformemente y llena todos los espacios completamente con la misma densidad en el elemento, lo cual acelera considerablemente la velocidad de construcción.

Finalmente si bien es cierto que el concreto celular ayuda a reducir la cantidad de refuerzo en la estructura su principal beneficio no es este, sino las ventajas mencionadas en los párrafos anteriores y que deben ser materia de investigación en trabajos posteriores. En los gráficos siguientes se muestra el % de participación de elementos en el peso total de la vivienda.



Fuente= Elaboración propia.



Fuente= Elaboración propia.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- 1) El concreto celular es un material nuevo en nuestro medio y es importante continuar realizando investigaciones relacionados a este material, tratándose de un concepto "nuevo" de aplicaciones y mezclas de concretos NO TRADICIONALES; deberá considerarse que en la producción de un m³ deberá tenerse en cuenta el importantísimo factor de densidad por kg/m³; de masa al final de la mezcla. Las miles de burbujas incluidas, no solamente expanden la mezcla si no que también cambia las densidades radicalmente. La aplicación de las diferentes densidades del concreto celular; es un espacio reservado a la ingeniería, la imaginación; y; las pruebas en campo.

- 2) La principal dificultad en esta investigación fue controlar la cantidad de espuma que era ingresada a la mezcla pues en pequeñas tandas el tiempo de aplicación de espuma era de apenas segundos, pero empleando camiones mezcladores (Mixers). para producir concreto celular, esta dificultad se disminuye por lo tanto es importante que se empiecen a realizar pruebas utilizando dicho equipo, siendo viable su uso en obra considerado últimamente que la densidad es la característica más sobresaliente del concreto celular, sin tomar en cuenta sus propiedades térmicas, su trabajabilidad, etcétera, que generan grandes ventajas en la industria de la construcción. Otra gran cualidad es su factibilidad de diseño que, aunada a las anteriores, permite gran confort a quienes lo utilizan y disfrutan de él.
- 3) Para realizar las mezclas utilizamos arena con bajo contenido de humedad ya que era más fácil lograr una mezcla uniforme entre el cemento y la arena. Si la

arena tenía un alto contenido de humedad se empezaban a formar pelotitas.

Cuando ensayábamos las probetas en la etapa de prueba encontrábamos estas pelotitas dentro del concreto lo cual indicaba un mal mezclado, y una cantidad del cemento que no se había hidratado.

- 4) La resistencia a la compresión del concreto celular de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con una relación agua/cemento constante de 0,38 varía en función del porcentaje de vacíos del concreto en un 23%.

También a mayor porcentaje de vacíos o contenido de aire, menor será el peso unitario del concreto. De esta manera dos muestras de concreto celular que tengan la misma relación agua-cemento pero distintos pesos unitarios no tendrán la misma resistencia a la compresión.

- 5) Para alcanzar la resistencia a compresión deseada ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) se tuvo que utilizar cantidades mayores de cemento con respecto a diseños de concreto convencional, lo cual es un factor negativo

pues se incrementa el costo de producción del concreto celular.

- 6) El valor de módulo de elasticidad del concreto obtenido en los ensayos experimentales para un diseño de mezcla con $f'c=210$ kg/cm² - Diseño 4 se tuvo 175 498 kg/cm² que se aproxima bastante al valor de módulo de elasticidad obtenido teóricamente 171 332 mediante la aplicación de la expresión propuesta por el ACI con una relación de Poisson de 0,20.
- 7) Los resultados obtenidos en el ensayo de tracción por compresión diametral fueron similares a los presentados en la bibliografía consultadas según la Norma ASTM C496-96. Estos estuvieron entre un 8% y 10% de la resistencia a la compresión.

7.1.1. Conclusiones del modelo estructural con concreto celular

- 1) Después de calcular la masa para cada tipo de edificación se obtuvo que empleando concreto celular se reduce en un 8% en masa (kg-masa) con respecto a la de concreto convencional, por lo tanto el concreto celular es de peso ligero que viene a ser una modificación del concreto convencional y la diferencia entre ambos está en su grado de densidad y no en su calidad como material, representando un valor poco significativo cuando se trata de utilizar en las estructuras de una vivienda modelada en albañilería confinada, sin embargo debe ser tema de otra investigación el modelado de una vivienda empleando unidades de concreto celular en los muros así también en las estructuras con las dosificaciones que se han determinado en la presente tesis.

- 2) Del análisis en ambas viviendas se demostró que en la vivienda de concreto celular la fuerza cortante sísmica era significativamente menor que la fuerza cortante sísmica en la vivienda de concreto convencional en un 19%, solo en los pórticos B-B y 2-2, los cuales han sido tomados de la distribución interior de la vivienda, más bien el trabajo principal ante la fuerza sísmica la reciben los muros de albañilería, siendo este valor poco significativo cuando se trata de una vivienda en albañilería confinada con material convencional-ladrillo.
- 3) Los desplazamientos sísmicos en ambas viviendas eran similares para las mismas secciones de columnas y vigas, esto debido a que a pesar del menor peso de la vivienda de concreto celular con respecto a la de concreto convencional, este presentaba una menor rigidez lateral.
- 4) La consistencia del concreto celular y la ausencia del agregado grueso hace que su colocación en

elementos horizontales y verticales sea más fácil y rápida en comparación con el concreto convencional y no requiere de vibrado ahorrando tiempo en la construcción.

- 5) De los metrados finales resulta que el costo de la vivienda de concreto celular era solamente 2,38% mayor a la de concreto convencional, y esto no fue del todo desalentador considerando las otras propiedades del concreto celular, cuando este sea utilizado en edificaciones modeladas con sistemas aporticados, mas no se presenta ese caso en la presente tesis, sino una vivienda con las características constructivas aplicables en la ciudad de Tacna, de lo cual se concluye que es indistinto el uso del concreto celular con el convencional debido a la poca diferencia en costo.
- 6) Por lo tanto de la hipótesis general concluimos la H1 demostrándose que el uso del concreto celular en la construcción de viviendas unifamiliares dentro de la ciudad de Tacna desempeñaría un papel positivo,

si este fuese utilizado tanto en unidades como en el sistema estructural y después de haber comparado las cualidades que este ofrece en las construcciones de la bibliografía en estudio decimos que las limitaciones para el empleo del concreto celular están únicamente en nuestra imaginación porque es tan grande su versatilidad que permite a los elementos con él elaborados adaptarse a una gran variedad de formas, diseños y sistemas estructurales; además puede ser empleado sin límite en cualquier construcción, del tipo que sea, tanto en uso arquitectónico, estructural o como simple relleno.

7.2. RECOMENDACIONES

- 1) En lo que respecta a la evaluación de los testigos de concreto celular, se deberá tomar el número de muestras necesarias para tener un contraste de resultados, con los cuales se pueda promediar para encontrar un valor aproximado.

- 2) La absorción acústica, el aislamiento térmico, y la resistencia al fuego son características importantes del concreto celular que deben ser investigadas cuando se trate de edificaciones con sistema aporticado, puesto que otorga beneficios a lo largo de la vida útil de la estructura, siendo el 2,38% de sobrecosto inicial, que tenía la vivienda de concreto celular con respecto a la vivienda de concreto convencional, el cual sería justificado.
- 3) Específicamente en la etapa de construcción de una edificación es importante estudiar el efecto que tiene el uso de elementos de albañilería de menor peso en el tiempo que toma: el transporte externo, el acarreo interno en obra y la colocación de las unidades de albañilería.
- 4) Si tomamos en cuenta la baja de resistencia que se produce en el concreto aireado colado en sitio, según lo han determinado las pruebas de cilindros curados al aire, podemos añadir al diseño de nuestra mezcla agregados ligeros de resistencia estructural,

con lo cual tan sólo aumentamos resistencia sin disminuir densidad. Estos concretos fabricados con agregados ligeros y espuma dan propiedades especiales a la mezcla, ya que además de aumentar la resistencia, retienen el agua ayudado al curado en climas secos y logramos una reducción del costo del concreto.

- 5) Continuar con la investigación de concretos celulares como se menciona en los puntos anteriores, que viene a ser una nueva alternativa para su uso en construcción, buscando la simplicidad en el proceso que garantice durabilidad, resistencia entre otras características importantes que debe ofrecer una edificación mejorando la calidad de vida de los ciudadanos tacneños, así como una mejora en los ambientes y calidez de sus hogares.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABANTO CASTILLO, FLAVIO.2006.** Análisis y diseño de edificaciones de albañilería.312 pág.
2. **AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.1993.** Guide for Cellular concrete above 50 pcf, and for aggregate concretes above 50 pcf, with compressive strenghts less than 2500 psi". En: ACI 523.3R-93 Reported by ACI Committe. 128 pág.
3. **AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.1996.** Guide for precast Cellular concrete floor, roof and wall units. En: ACI 523.2R-96 Reported by ACI Committe.285 pág.
4. **BAGHERI, A. R y PARHISZKAR, T.1985.** An experimental study of physical and mechanical properties of foam concrete. Iran: University of Technology, Iran.450 pág.
5. **DUERTO, Antonio Ruis.1993.** El hormigón celular curado en autoclave", España.320 pág.

6. **HARMSSEN, Teodoro y MALLORCA, Paolo.2000.** Diseño de estructuras de concreto armado. 2da ed. Universidad Católica del Perú.487 pág.
7. **KEARSLEY Elizabeth, y MOSTERT H. F.1997.** The use of foamcrete in Southern Africa. En: ACI Special Publication SP. 128pág.
8. **MELI PIRALLA, ROBERTO.1995.** Diseño de Muros de Mampostería. 380 pág.
9. **NEVILLE A.M.1975.** Properties of Concrete. 3era ed. Nueva York Halsted Press.320 pág.
10. **PAN PACIFIC ENGINEERING PTY LTD.2000.** Información Técnica Sobre Concretos Aireados.352 pág.
11. **SOLIS, Manuel.1990.** Autoclaved cellular concrete for residential construction. En: Concrete International EEUU.213 pág.
12. **TADA, S .1986.** Material design of aerated concrete; an optimun performance design. En: Materiaux et construction. 109 pág.

13. **TAM C.T, y otros.1987.** Relationship between strenght and volumetric composition of moistcured cellular concrete. Singapore: University of Singapore Department of Civil Engineering.315 pág.
14. **VALORE, Rudolph.1954.** Cellular Concretes. Part 1 Composition and methods of preparation. En: ACI Journal of the American Concrete Institute, May 1954. EE.UU.128 pág.
15. **VALORE, Rudolph. 1954.**Part 2 Physical Properties. En: ACI Journal of the American Concrete Institute, June 1954 EE.UU.129 pág.

ANEXOS

ANEXOS

- ANEXO 1 = PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.
- ANEXO 2 = PLANOS - DISTRIBUCION ARQUITECTONICA DE VIVIENDA EN ESTUDIO
- ANEXO 3 = PLANOS DE VIVIENDA CON CONCRETO CELULAR
- ANEXO 4 = PLANOS DE VIVIENDA CONSTRUIDA CON UNIDADES DE CONCRETO CELULAR - C.P.M. BOCA DEL RIO.
- ANEXO 5 = CONSTANCIAS DE ESTUDIOS REALIZADOS

ANEXO 1

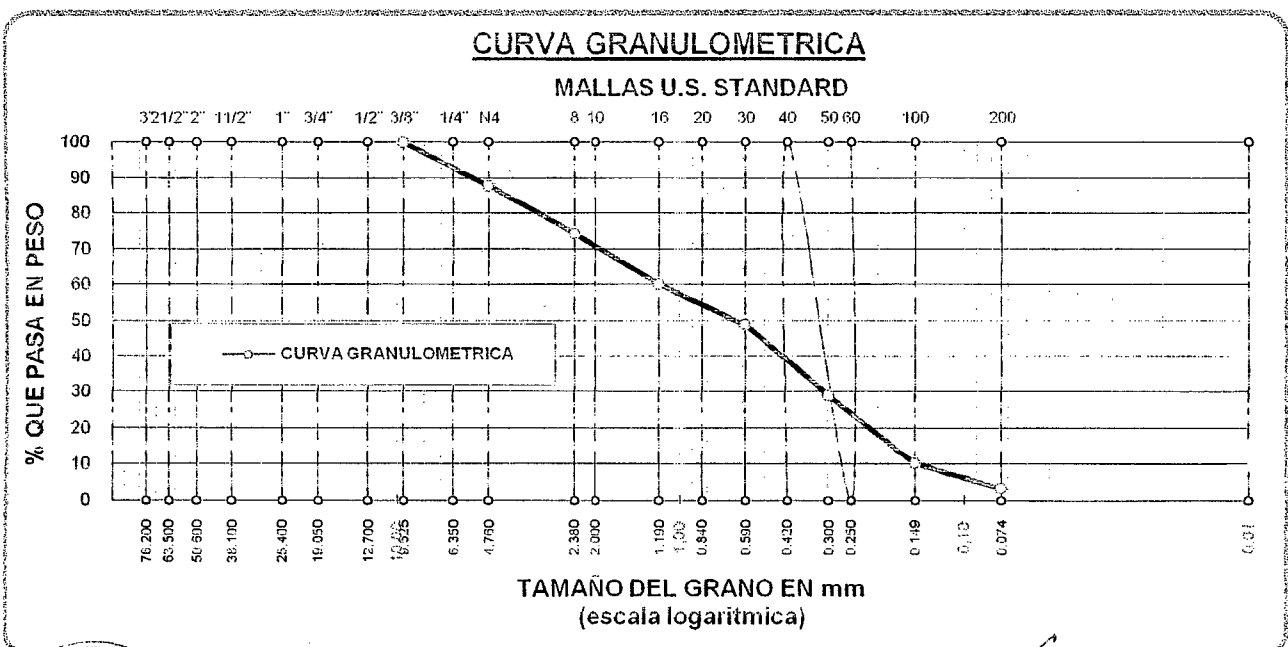


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

OBRA: : CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda.
UBICACIÓN: Parque Industrial Mz J. Lote 28
SOLICITA: Arq. Edgardo Vargas Cancino
CANTERA: Arunta
FECHA: Mayo del 2008

TAMICES	ABERTURA	PESO	%RETENIDO	%RETENIDO	% QUE	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
ASTM	mm	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	76,200						Muestra : Agregado Fino
2 1/2"	63,500						Cantera: Arunta
2"	50,800						L. Liquido N.P.
1 1/2"	38,100						L. Plástico N.P.
1"	25,400						I. Plásticidad N.P.
3/4"	19,050						
1/2"	12,700						
3/8"	9,525	0,00	0,00	0,00	100,00	100	
1/4"	6,350						
No4	4,760	90,20	12,18	12,18	87,82	95 100	
No8	2,380	99,40	13,42	25,60	74,40	80 100	
No10	2,000						
No16	1,190	105,00	14,18	39,78	60,22	50 85	
No20	0,840						
No30	0,590	83,60	11,29	51,07	48,93	25 60	Peso de la Muestra: 740,5 gr.
No40	0,420						Modulo de Fineza : 2,89
No 50	0,300	147,70	19,95	71,02	28,98	10 30	
No60	0,250						
No80							
No100	0,149	137,50	18,57	89,59	10,41	2 10	OBSERVACIONES:
No200	0,074	52,60	7,10	96,69	3,31	0 5	La muestra consiste de partículas sub angulares. y sub redondeadas, propor- cionadas por el solicitante.
BASE		24,50	3,31	100,00	0,00		
TOTAL		740,50	100,00				
% PERDIDA							



ING. OSCAR S. ANGULO SALAS
 Jefe de Laboratorio de
 Mecánica de Suelos

CLAROS FLORES CASTRO
 TCO. LABORATORISTA
 Suelos Concretos y Pavimentos



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE COMPACTACION
PROCTOR MODIFICADO NORMA ASTM D 1557

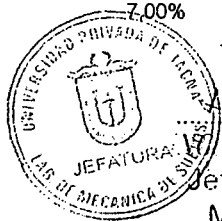
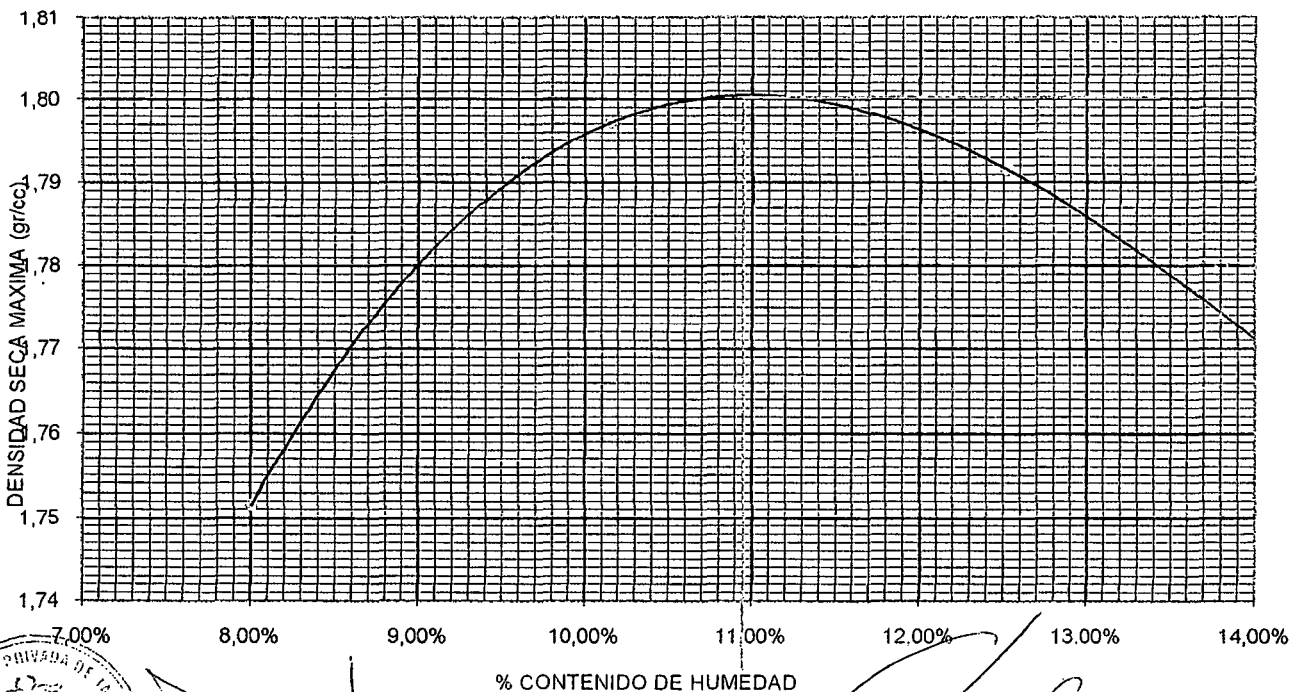
OBRA: : CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda.
 UBICACIÓN : Parque Industrial Mz J. Lote 28
 SOLICITA : Arq. Edgardo Vargas Cancino
 FECHA : Mayo del 2008

MOLDE No	1	VOLUMEN DEL MOLDE	2133 cc
No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9914	10102	10179	10183
Peso del Molde	gr.	5879	5879	5879	5879
Peso del Suelo Humedo	gr/cc	4035	4223	4300	4304
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	1,892	1,980	2,016	2,018

Capsula No	No	2	3	4	4
Suelo Humedo + Tara	gr.	607,30	603,10	601,20	604,40
Peso del Suelo Seco +Tara	gr.	569,70	556,70	545,40	538,60
Peso del Agua	gr.	37,60	46,40	55,80	65,80
Peso de la Tara	gr.	100,00	100,00	100,00	100,00
Peso del Suelo Seco	gr.	469,70	456,70	445,40	438,60
% de Humedad	%	8,01%	10,16%	12,53%	15,00%
Promedio de Humedad	%	8,01%	10,16%	12,53%	15,00%
Densidad del Suelo Seco	%	1,751	1,797	1,791	1,755

DENSIDAD SECA MAXIMA: 1,800 gr/cc - HUMEDAD OPTIMA 10.9 %



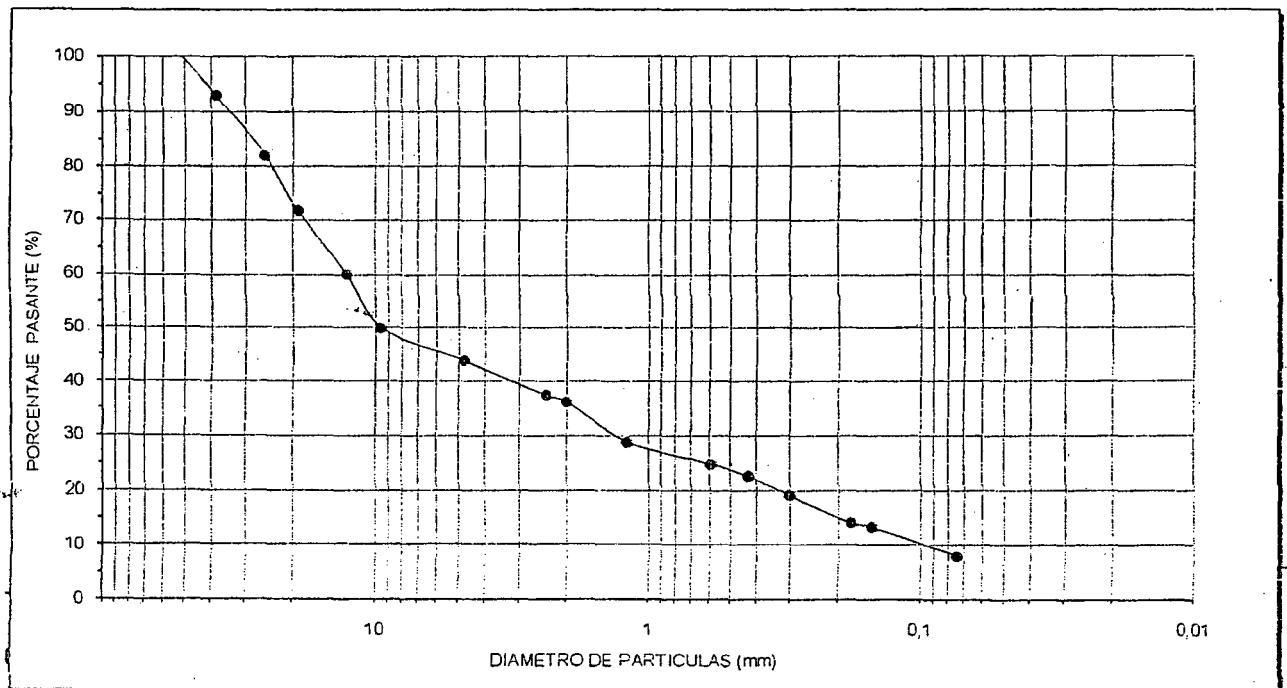
[Signature]
OSCAR S. ANGULO SALAS
 Jefe de Laboratorio de
 Mecánica de Suelos


[Signature]
CLAROS FLORES CASTRO
 TCO. LABORATORISTA
 Mecánica de Suelos Concretos y Pavimentos

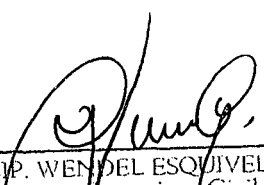
ANALISIS GRANULOMETRICO ARENA : ASTM C 136

PROYECTO : CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda.
 MUESTRA : I UBICACIÓN: ARIDO ARUNTA
 PROP. : Ing. Javier Sanabria ZONA : FECHA : 09/01/2008

TAMIZ	DIAMETRO	W RET	% RET.	% RET ACUM	% QUE PASA	Especificaciones ASTM C 33	COEFICIENTES	
3"	76,20	0,0	0,0	0,00	100,00		Cu	25,88
1 1/2"	38,10	4,0	0,75	0,75	100,00	95-100	Cc	1,01
3/4"	19,10	66,00	19,93	34,05	65,95	35-70		
3/8"	9,52	96,65	13,37	14,12	85,88	10-30		
4	4,760	50,00	9,06	43,11	56,89		CONSISTENCIA	
8	2,380	53,00	9,05	52,16	47,84		L LIQUIDO	NP
16	1,190	51,80	13,77	65,93	34,07		L PLASTICO	NP
30	0,590	76,55	10,04	75,97	24,03		I PLASTICIDAD	NP
50	0,300	51,65	13,15	89,12	10,88			
100	0,150	55,10	10,87	99,99	0,01			
Peso=		506,75	Modulo de fineza=		2,89	Tamaño Maximo=		3/8"



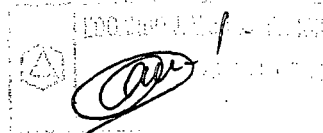

 INGENIERO EN
 ARQUITECTURA
 CIP. N.º

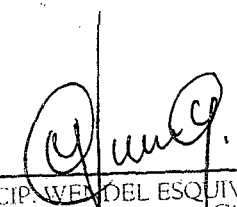

 Ing. CIP. WENDEL ESQUIVEL CABALLERO
 Ingeniero Civil
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 67455

DENSIDAD MAXIMA Y HUMEDAD OPTIMA

PROYECTO: CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda.
 MUESTRA: I UBICACIÓN: ARIDO ARUNTA
 PROP.: Ing. Javier Sanabria ZONA: FECHA: 09/01/2008

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	PESO DEL MOLDE (gr.) :				MOLDE Nro.	
2133	5879					
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	5	6
PESO SUELO + MOLDE	10490	10640	10920	10900		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4611	10640	10920	10900		
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	2,16	2,23	2,36	2,35		
CONTENIDO DE HUMEDAD						
RECIPIENTE Nro.	1	2	3	4	5	6
PESO SUELO HUMEDO + TARA	173,76	148,28	192,82	306,17		
PESO SUELOS SECO + TARA	169,9	143,81	184,36	288,94		
PESO DE LA TARA	42,8	39,24	40,69	42,63		
PESO DE AGUA	3,86	4,47	8,46	17,23		
PESO DE SUELO SECO	127,1	104,57	143,67	246,31		
CONTENIDO DE AGUA	0,58	0,58	0,57	0,59		
PESO VOLUMETRICO SECO	2,73	2,71	2,65	2,64		
DENSIDAD MAXIMA SECA:	2,65	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:		0,58	%

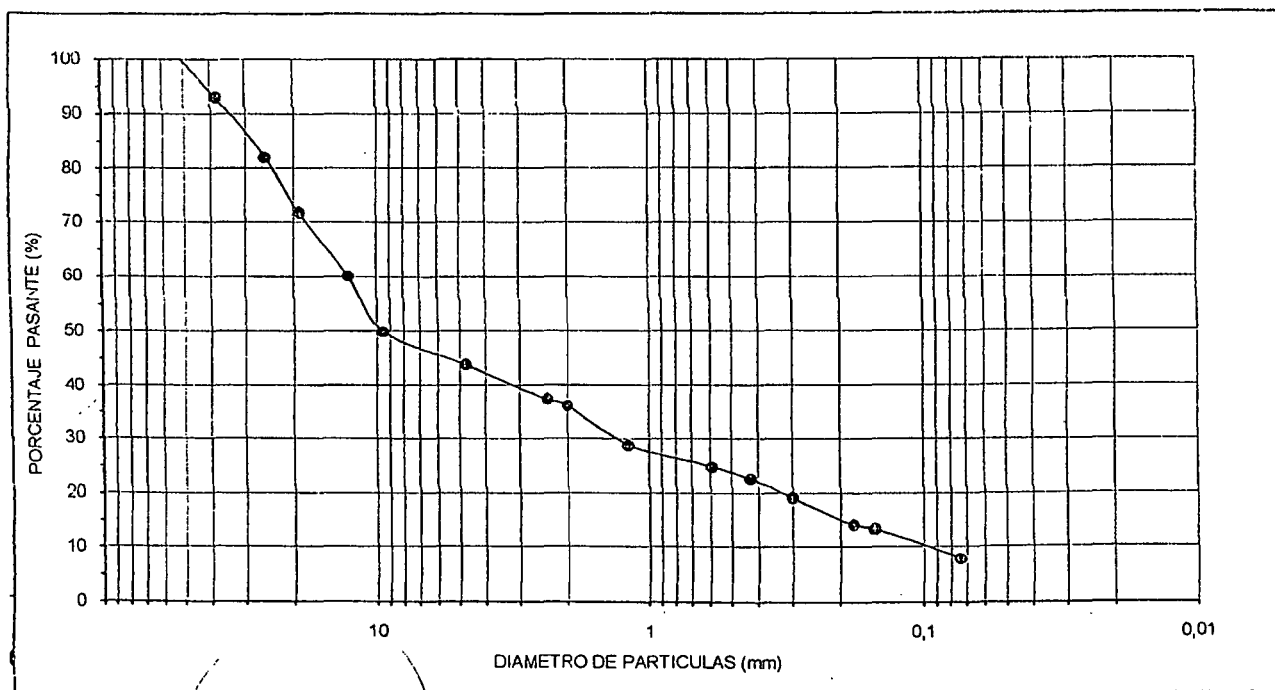

 LABORATORIO DE ENSAYOS
 Ing. Javier Sanabria


 Ing. CIPRIANO DEL ESQUIVEL CABALLERO
 Ingeniero Civil
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 67455

ANALISIS GRANULOMETRICO ARENA : ASTM C 136

PROYECTO : CONCRETOS CELULARES DEL SUR Ltda.
 MUESTRA : I UBICACIÓN: ARIDO ARUNTA
 PROP. : Ing. Javier Sanabria ZONA : _____ FECHA : 09/01/2008

TAMIZ	DIAMETRO	W RET	% RET.	% RET ACUM	% QUE PASA	Especificaciones ASTM C 33		
3"	76,20	0,0	0,0	0,00	100,00		COEFICIENTES	
1 1/2"	38,10	4,0	0,75	0,75	100,00	95-100	Cu	25,88
3/4"	19,10	66,00	19,93	34,05	65,95	35-70	Cc	1,01
3/8"	9,52	98,65	13,37	14,12	85,88	10-30		
4	4,760	50,00	9,06	43,11	56,89		CONSISTENCIA	
8	2,380	53,00	9,05	52,16	47,84		L LIQUIDO	NP
16	1,190	51,80	13,77	65,93	34,07		L PLASTICO	NP
30	0,590	76,55	10,04	75,97	24,03		I PLASTICIDAD	NP
50	0,300	51,65	13,15	89,12	10,88			
100	0,150	55,10	10,87	99,99	0,01			
Peso=		506,75	Modulo de fineza=		2,89	Tamaño Maximo=		3/8"



SUSERING S.A.C.
SUPERVISION SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

ING. FRANKLIN RAMOS VARGAS
GERENTE GENERAL

ANEXO 2