



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

**“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL CONCRETO LIGERO COMO CONCRETO ESTRUCTURAL USANDO COMO ADICIÓN CONTROLADA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS) APLICADO A UNA LOSA UNIDIRECCIONAL PARA FINES HABITACIONALES”**

TESISTAS:

- Bach. HEREDIA CISTERNA ERNESTO ALEXANDER
- Bach. PÉREZ PÉREZ JHEYSON SMITH

ASESOR:

- Ing. JULIO RIVAS PLATA DÍAZ

Nuevo Chimbote – Perú

2018



**“ANÁLISIS Y EVALUACION DEL CONCRETO LIGERO COMO CONCRETO ESTRUCTURAL USANDO COMO ADICIÓN CONTROLADA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS) APLICADO A UNA LOSA UNIDIRECCIONAL PARA FINES HABITACIONALES”**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

**“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL CONCRETO LIGERO COMO CONCRETO ESTRUCTURAL USANDO COMO ADICIÓN CONTROLADA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS) APLICADO A UNA LOSA UNIDIRECCIONAL PARA FINES HABITACIONALES”**

REVISADO Y APROBADO POR EL ASESOR:

---

Ms. JULIO RIVASPLATA DIAZ

ASESOR

---

*Bach. Heredia Cisterna Ernesto*

*Bach. Pérez Pérez Jheyson*



**“ANÁLISIS Y EVALUACION DEL CONCRETO LIGERO COMO CONCRETO ESTRUCTURAL USANDO COMO ADICIÓN CONTROLADA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS) APLICADO A UNA LOSA UNIDIRECCIONAL PARA FINES HABITACIONALES”**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

**“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL CONCRETO LIGERO COMO CONCRETO ESTRUCTURAL USANDO COMO ADICIÓN CONTROLADA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS) APLICADO A UNA LOSA UNIDIRECCIONAL PARA FINES HABITACIONALES”**

REVISADO Y APROBADO POR EL JURADO EVALUADOR:

\_\_\_\_\_  
Ms. FELIPE VILLAVICENCIO GONZALEZ  
PRESIDENTE

\_\_\_\_\_  
Ms. JULIO RIVASPLATA DIAZ  
SECRETARIO

\_\_\_\_\_  
ING. CIRILO LINO OLASCUAGA CRUZADO  
INTEGRANTE

***Bach. Heredia Cisterna Ernesto***

***Bach. Pérez Pérez Jheyson***



## DEDICATORIA

*A Dios que nos ha brindado el más maravilloso regalo: “la vida” y por estar siempre junto a nosotros; dándonos la fuerza para querer y hacer las cosas.*

*A mis padres, hermanos por el apoyo y comprensión para seguir adelante y a mis profesores que nos motivaron y guiaron.*

*Con todo mi amor y cariño para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños por motivarme a la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y agradecimiento. Papá y mamá*

**ERNESTO.**



## DEDICATORIA

*En primer lugar, y sobre todas las cosas, a Dios quien me da constantemente la fortaleza espiritual para seguir superándome.*

*A mi madre Sara quien estuvo conmigo brindándome su apoyo en los buenos momentos y en los no tan buenos, pero siempre alentándome para no caer ni titubear ante algunas decisiones, a ella que me enseñó a ser fuerte ante las circunstancias difíciles que la vida puede ofrecernos.*

*A mi padre Justo por su constante apoyo tanto en mi formación Profesional como personal y a mi hermana Jheslie por demostrarme cada día el lado positivo de lo malo.*

**JHEYSON.**



## **AGRADECIMIENTO**

*A DIOS nuestro señor ya que sin su guía y protección no habría sido posible alcanzar una de nuestras metas trazadas en el largo camino de nuestra superación. A nuestra alma mater “Universidad Nacional del Santa” por abrirnos las puertas y darnos los estudios necesarios para realizarnos en nuestra profesión.*

*Un agradecimiento especial al Ing. JULIO RIVASPLATA DÍAZ, asesor del presente informe.*

*A todos nuestros profesores, de la escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa, por su valiosa contribución en nuestra formación profesional, por habernos inculcado y brindado conocimientos, valores morales y experiencias.*

Ernesto A. Heredia C. & Jheyson S. Pérez P.



## INDICE

<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES</b> .....	<b>4</b>
1.1. ASPECTOS INFORMATIVOS .....	4
1.1.1. TÍTULO .....	4
1.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.1.3. UBICACIÓN.....	4
1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.2.1. ANTECEDENTES.....	4
1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
1.2.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	8
1.2.4. IMPORTANCIA.....	10
1.3. OBJETIVOS.....	10
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	10
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.4. HIPÓTESIS.....	11
1.5. VARIABLES.....	12
1.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE .....	12
1.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	12
1.6. TIPO DE DISEÑO .....	12
1.7. ESTRATEGIA DE TRABAJO.....	12
1.7.1. MÉTODO DE ESTUDIO .....	12
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1. TECNOLOGÍA DEL CONCRETO .....	14
2.1.1. GENERALIDADES .....	14
2.1.2. HISTORIA DE LA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO.....	15
2.2. CONCRETO .....	18
2.2.1. DEFINICIÓN .....	18
2.2.2. TIPOS DE CONCRETO.....	20
2.2.2.1. CONCRETO CONVENCIONAL.....	20
2.2.2.2. CONCRETO ARMADO.....	21
2.2.2.3. CONCRETO PRE-TENSADO.....	21
2.2.2.4. CONCRETO POST-TENSADO .....	21
2.2.2.5. CONCRETO CICLOPEO .....	21



2.2.2.6.	CONCRETO LIGERO.....	22
2.2.3.	ELEMENTOS DEL CONCRETO .....	23
2.2.3.1.	CEMENTO.....	24
2.2.3.1.1.	DEFINICIONES .....	24
2.2.3.1.2.	REQUISITOS DEL CEMENTO PORTLAND.....	25
2.2.3.1.2.1.	REQUISITOS QUÍMICOS .....	25
2.2.3.1.2.2.	REQUISITOS FÍSICOS.....	26
2.2.3.1.3.	CLASIFICACIÓN Y USO DE LOS CEMENTOS.....	26
2.2.3.2.	AGREGADOS.....	28
2.2.3.2.1.	DEFINICIONES .....	28
2.2.3.2.2.	REQUISITOS.....	28
2.2.3.2.2.1.	GRANULOMETRIA (NTP 400.011).....	28
2.2.3.2.2.1.1.	GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO .....	29
2.2.3.2.2.1.2.	GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO.....	31
2.2.3.3.	AGUA.....	32
2.2.3.3.1.	DEFINICIÓN .....	32
2.2.3.3.2.	REQUISITOS.....	32
2.2.3.4.	CONCRETO LIGERO.....	34
2.2.3.4.1.	APLICACIÓN DE CONCRETO LIGERO EN LA HISTORIA .	35
2.2.3.4.2.	CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO LIGERO.....	37
2.2.3.4.2.1.	ESTRUCUTRAL.....	38
2.2.3.4.2.2.	ESTRUCTURAL - AISLANTE .....	39
2.2.3.4.2.3.	AISLANTE .....	39
2.2.3.5.	AGREGADOS LIGEROS.....	40
2.2.3.5.1.	CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS LIGEROS .....	41
2.2.3.5.1.1.	AGREGADOS NATURALES NO ELABORADOS.....	41
2.2.3.5.1.2.	AGREGADOS ELABORADOS.....	41
2.2.3.5.1.3.	AGREGADOS INDUSTRIALES NO ELABORADOS .....	41
2.2.3.5.1.4.	AGREGADOS INDUSTRIALES ELABORADOS.....	41
2.2.3.5.1.5.	AGREGADOS ORGÁNICOS .....	41
2.2.3.6.	PROPIEDADES DEL CONCRETO LIGERO .....	42
2.2.3.6.1.	DENSIDAD .....	42
2.2.3.6.2.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DENSIDAD APARENTE.....	43



2.2.3.6.3.	FLUENCIA .....	44
2.2.3.6.4.	ABSORCIÓN DE AGUA E IMPERMEABILIDAD .....	45
2.2.3.6.5.	RESISTENCIA A LA CONGELACIÓN Y DESHIELO .....	46
2.2.3.6.6.	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	48
2.2.3.6.7.	RESISTENCIA CONTRA INCENDIOS .....	49
2.2.3.6.8.	PROTECCION ACUSTICA .....	51
2.3.	POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) .....	52
2.3.1.	CONCEPTO .....	52
2.3.2.	FABRICACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIBLE .....	52
2.3.2.1.	PROCESO DE FABRICACIÓN .....	54
2.3.2.1.1.	POLIMERIZACIÓN .....	54
2.3.2.1.2.	SECADO Y ACABADO .....	55
2.3.3.	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS .....	56
2.3.3.1.	GRANULOMETRIA .....	56
2.3.3.2.	POTENCIAL EXPANSIÓN .....	57
2.3.3.3.	CADENCIA PARA EL MOLDEO .....	57
2.3.3.4.	AGENTES IGNIFUGANTES .....	57
2.3.3.5.	BAJO CONTENIDO DE PENTANO .....	57
2.3.4.	PROPIEDADES Y APLICACIONES .....	58
2.3.5.	FORMAS DE UTILIZACION DEL POLIESTIRENO .....	59
2.3.5.1.	PRE-EXPANSION .....	60
2.3.5.2.	REPOSO INTERMEDIO Y ESTABILIZACION .....	60
2.3.5.3.	EXPANSIÓN Y MOLDEO FINAL .....	61
2.3.6.	PROCESO DE FABRICACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS) .....	62
2.3.6.1.	DISPONIBILIDAD DE LOS MEPS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO .....	72
2.4.	DISEÑO DE MEZCLAS .....	74
2.4.1.	CONCEPTO .....	74
2.4.2.	CONSIDERACIONES BÁSICAS .....	75
2.4.2.1.	ECONOMIA .....	75
2.4.2.2.	TRABAJABILIDAD .....	76
2.4.2.3.	RESISTENCIA Y DURABILIDAD .....	77



2.4.3.	INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS .....	78
2.4.3.1.	PASOS PARA EL PROPORCIONAMIENTO.....	78
2.4.3.2.	PASOS PARA DISEÑAR UNA MEZCLA DE CONCRETO ..	79
2.4.3.2.1.	SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO.....	79
2.4.3.2.2.	SECUENCIA DE DISEÑO DE MEZCLA, MÉTODO ACI 211	96
2.4.3.3.	PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL CONCRETO (MTC E702) .....	97
2.4.3.3.1.	MEZCLA DE CONCRETO:.....	97
2.4.3.3.2.	DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DEL CONCRETO (MTC E705, NTP 339.035, ASTM C 143)	99
2.4.3.3.3.	ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECIMENES DE HORMIGÓN (CONCRETO) EN EL LABORATORIO (MTC E 702, NTP 339.033, ASTM C 31) .....	103
2.4.3.4.	ENSAYO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO .....	108
2.4.3.4.1.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MTC E 704, NTP 339.034, ASTM C 39) .....	108
2.4.3.4.2.	RESISTENCIA A TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (MTC E 708, NTP 339.084) .....	112
2.4.3.4.3.	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS EN CONCRETO ENDURECIDO (NTP 339.187, UNE 12390 – 7:2000) .....	114
2.4.3.4.4.	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO (ASTM C469 y RNE E.060) .....	117
2.5.	LOSA ESTRUCTURAL.....	126
2.5.1.	DEFINICIÓN .....	126
2.5.2.	TIPOS DE LOSAS .....	127
2.5.2.1.	LOSAS MACIZAS .....	127
2.5.2.2.	LOSA ALIGERADA.....	129
2.5.2.3.	LOSA EN UNA DIRECCIÓN.....	130
2.5.2.4.	LOSA EN DOS DIRECCIONES.....	138
2.5.3.	PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LOSA UNIDIRECCIONAL .....	139
2.5.3.1.	DETERMINACIÓN DE ESPESOR DE LA LOSA (ACI 318S – 14).....	139



2.5.3.2.	REQUISITOS PARA RECUBRIMIENTO DEL ACERO EN EL CONCRETO (ACI 318S – 14).....	141
2.5.3.3.	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	141
2.5.3.4.	DISPOSICIÓN DE LA CARGA VIVA (RNE R.060).....	142
2.5.3.5.	RESISTENCIA REQUERIDA ( $R_u$ ).....	142
2.5.3.6.	RESISTENCIA DE DISEÑO .....	144
2.5.3.7.	LA CORTANTE ÚLTIMA DE DISEÑO .....	145
2.5.3.8.	DETERMINACIÓN DEL MOMENTO ÚLTIMO.....	145
2.5.3.9.	DETERMINACIÓN DE LA CUANTÍA BALANCEADA.....	145
2.5.3.10.	DETERMINACIÓN DE LA CUANTÍA MÁXIMA Y MÍNIMA .	148
2.5.3.11.	CÁLCULO DEL ÁREA DE ACERO POR FLEXION ( $A_s$ ) ....	149
2.5.3.11.1.	DETERMINACIÓN DE LA CUANTÍA DE DISEÑO .....	149
2.5.3.11.2.	VERIFICACIÓN DE MOMENTO NOMINAL.....	149
2.5.3.12.	CÁLCULO DE ACERO POR RETRACCIÓN Y TEMPERATURA ( $A_{sr}$ ) .....	150
2.5.3.13.	VERIFICACIÓN POR CORTANTE .....	151
2.5.3.14.	CONTROL DE DEFLEXIONES .....	152
2.5.3.14.1.	DEFORMACION TEORICA DE LOSA.....	152
2.5.3.14.2.	DEFORMACIÓN MÁXIMA ADMISIBLE DE LOSA Y VERIFICACIÓN .....	154
2.6.	TÉCNICA DE ESCALAMIENTO (UNI-FIC-SECCIÓN DE POSTGRADO)	156
2.6.1.	SEMEJANZA DE MODELOS.....	156
2.6.2.	LEYES DE SEMEJANZA.....	157
<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>160</b>
3.1.	PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS	160
3.1.1.	REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE CAMPO A TAMAÑOS DE ENSAYO: (MTC E 103) .....	160
3.1.2.	MÉTODO DE ENSAYO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DE LOS AGREGADOS POR SECADO (MTC E 215) .....	168
3.1.3.	MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO (NTP 400.012) .....	172



3.1.4.	PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS (MTC E 203).....	182
3.1.5.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (MTC E 205) .....	191
3.1.6.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (MTC E 206) .....	196
3.2.	ESTUDIO DEL CONCRETO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS).....	202
3.2.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	202
3.2.2.	GRANULOMETRÍA DEL MEPS.....	203
3.3.	MÉTODOLÓGIA DE FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS	203
3.3.1.	DOSIFICACIÓN DE LOS GRUPOS DE CONCRETOS.....	204
3.3.2.	NOMENCLATURA DE LAS PROBETAS.....	206
3.4.	ELABORACIÓN DEL CONCRETO CON MEPS PARA ENSAYOS DE LABORATORIO .....	207
3.4.1.	PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO .....	207
3.4.2.	PREPARACIÓN DE LOS MOLDES.....	208
3.4.3.	VERTIDO Y COMPACTACIÓN DEL CONCRETO .....	209
3.4.4.	CURADO INICIAL DEL CONCRETO.....	210
3.4.5.	DESMOLDE E INMERSIÓN DE LA MUESTRA EN AGUA.	211
3.5.	MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CÁLCULO DE LOSA UNIDIRECCIONAL.....	212
3.5.1.	CONSIDERACIONES INICIALES.....	212
3.6.	MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CÁLCULO DE LOSA UNIDIRECCIONAL A ESCALA REAL .....	221
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUCIONES.....</b>		<b>225</b>
4.1.	RESULTADOS.....	225
4.1.1.	POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS) .....	225
4.1.1.1.	GRANULOMETRÍA DEL MEPS.....	225
4.1.1.2.	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MEPS .....	227
4.1.2.	CONSISTENCIA (ASENTAMIENTO).....	227
4.1.3.	DENSIDAD, ABSORCIÓN Y POROSIDAD .....	229
4.1.4.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	231
4.1.5.	RESISTENCIA A TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL .....	235



4.1.6.	MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO .....	237
4.1.7.	ANÁLISIS DE PRECIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE LOS DISTINTOS PORCENTAJES DEL MEPS. ....	238
4.2.	DISCUSIÓN .....	239
4.2.1.	CONSISTENCIA .....	239
4.2.2.	INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE MEPS EN LA CONSISTENCIA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO. ....	239
4.2.3.	SEGREGACIÓN DE LA MEZCLA A DISTINTOS PORCENTAJES DEL MEPS .....	245
4.2.4.	DENSIDAD, ABSORCIÓN Y POROSIDAD .....	246
4.2.5.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	255
4.2.6.	RESISTENCIA A TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL .....	263
4.2.7.	MÓDULO DE ELASTICIDAD .....	266
4.2.8.	MICROESTRUCTURA .....	268
4.2.9.	ENSAYO DE LA LOSA UNIDIRECCIONAL A ROTURA ....	269
4.2.10.	DETERMINACIÓN DE EQUIVALENCIA ENTRE LOSA REAL Y LOSA ESCALADA .....	278
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>295</b>
5.1.	CONCLUSIONES .....	295
5.2.	RECOMENDACIONES .....	298
<b>CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>300</b>
6.1.	NORMAS .....	300
6.2.	LIBROS .....	302
6.3.	INFORMES DE INVESTIGACIÓN .....	303
6.4.	PÁGINAS DE INTERNET .....	305
<b>ANEXO Nº 01: PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS .....</b>		<b>308</b>
<b>ANEXO Nº 02: DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO .....</b>		<b>325</b>
<b>ANEXO Nº 03: RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS AL CONCRETO .....</b>		<b>329</b>
<b>ANEXO Nº 04: DOSIFICACIONES DE AGREGADOS POR METRO CÚBICO DE CONCRETO CON MEPS .....</b>		<b>333</b>
<b>PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>		<b>335</b>



## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1. Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.....	24
Figura N° 2.2. Proceso de Fabricación del Poliestireno Expandido .....	53
Figura N° 2.3. Proceso de Producción del Poliestireno Expandido.....	56
Figura N° 2.4. Poliestireno Expandido.....	56
Figura N° 2.5. Perlas de Poliestireno Expandido .....	58
Figura N° 2.6. Poliestireno Expandible visto desde un microscopio.....	59
Figura N° 2.7. Proceso de Producción de Poliestireno Expandido Modificado .....	65
Figura N° 2.8. (a) EPS Reciclado, (b) EPS Desmenuzado, (c) Placas MEPS Luego de pasar por el Horno.....	68
Figura N° 2.9. Formas deformadas de especímenes de espuma EPS, a diferentes tiempos y temperaturas.....	68
Figura N° 2.10. Reciclaje de EPS.....	72
Figura N° 2.11. Desintegración Mecánica de EPS Reciclado .....	73
Figura N° 2.12. Perlas de EPS Reciclado en el Horno antes de Tratamiento Térmico .....	74
Figura N° 2.13. Perlas de EPS Reciclado Luego del Tratamiento Térmico	74
Figura N° 2.14. Proporción de agregados. Método de Fuller.....	90
Figura N° 2.15. Cono de Abrams, material para el ensayo del asentamiento del concreto.....	99
Figura N° 2.16. Varilla compactadora .....	100
Figura N° 2.17. Procedimiento para medir el asentamiento del concreto	102
Figura N° 2.18. Procedimiento para la obtención de testigos de concreto .....	107
Figura N° 2.19. Esquema de bloque de carga típica con rótula .....	109
Figura N° 2.20. Muestra de la rotura correcta e incorrecta del testigo de concreto .....	110
Figura N° 2.21. Esquema de los tipos de falla .....	111
Figura N° 2.22. Representación esquemática de las deformaciones de un espécimen cilíndrico de concreto a compresión axial. ....	117
Figura N° 2.23. Representación gráfica característica de la correlación entre el esfuerzo y deformación del concreto sometido a un proceso de carga axial a compresión y descarga.....	118
Figura N° 2.24. Gráfica esfuerzo-deformación de los agregados, pasta del cemento y concreto .....	119
Figura N° 2.25. Declinación de la curva esfuerzo-deformación unitaria del concreto evoluciona el crecimiento de grietas.....	121



Figura N° 2.26. Criterio para definir el módulo de elasticidad estático a compresión del concreto.....	122
Figura N° 2. 27. Franja de Losa, Trabaja como Viga de 1.00 m de Ancho	130
Figura N° 2.28. Imagen de una losa en una dirección.....	131
Figura N° 2.29. Etapa de concreto no agrietado.....	133
Figura N° 2.30. Concreto agrietado: etapa de esfuerzos elásticos.....	135
Figura N° 2.31. Etapa de resistencia última.....	136
Figura N° 2.32. Diagrama de momento- curvatura para una viga de concreto reforzado con refuerzo de tensión solamente.....	136
Figura N° 2.33. Imagen de una losa dos direcciones.....	138
Figura N° 2.34. Esfuerzo en una Sección Rectangular con Refuerzo en Tensión Sometida a Flexión.....	146
Figura N° 2.35. Esfuerzo y Deformaciones en una Sección Rectangular con Falla Balanceada.....	147
Figura N° 3.1. Divisor Mecánico (Bifurcador).....	164
Figura N° 3.2. Cuarteo Sobre Superficie Dura, Limpia y Nivelada.....	165
Figura N° 3.3. Cuarteo Sobre Lona.....	167
Figura N° 3.4. Tamizador mecánico.....	179
Figura N° 3.5. Mezcladora de Concreto con MEPS.....	208
Figura N° 3.6. Moldes Preparados para el Vertimiento de Concreto.....	209
Figura N° 3.7. Vertido y Compactación de Concreto.....	210
Figura N° 3.8. Probetas Conservadas y Sumergidas en Agua.....	212
Figura N° 4.1. Microscopía Óptima de la Mezcla de Concreto (a) CP, (b) C% MEPS, (c)C>%MEPS.....	268
Figura N° 4.2. Deformímetro en el Centro de la Luz.....	270
Figura N° 4.3. Losa con Carga Máxima Impuesta.....	272
Figura N° 4.4. Fisura Vertical.....	273
Figura N° 4.5. Fisuras Generadas por el Ensayo a Rotura.....	273
Figura N° 4. 6. Losa Simplemente Apoyada.....	278
Figura N° 4.7. Definición de Materiales en SAP2000.....	282
Figura N° 4.8. Creación de Sección SAP2000.....	283
Figura N° 4.9. Modelado de Losa Escalada SAP2000.....	283
Figura N° 4.10. Cargas en la Losa en SAP 2000.....	284
Figura N° 4.11. Deformación en el Centro de la Losa en SAP 2000.....	284
Figura N° 4.12. Diagrama de corte y momento para la sollicitación de ensayo.....	291



## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1. Requisitos Químicos del Cemento Portland.....	25
Tabla N° 2.2. Requisitos Físicos del Cemento Portland .....	26
Tabla N° 2.3. Requisitos Granulométricos de Agregado Grueso .....	30
Tabla N° 2. 4. Requisito Granulométrico de Agregado Fino.....	32
Tabla N° 2.5. Requisito de los límites permisibles máximos del agua para concreto .....	33
Tabla N° 2.6. Clasificación de Concreto Ligero Según su utilidad y Propiedades Físicas.....	40
Tabla N° 2.7. Tabla comparativa de propiedades entre EPS y MEPS. ....	72
Tabla N° 2.8. Tabla Factores de Corrección.....	81
Tabla N° 2.9. Resistencia a la Compresión Promedio .....	82
Tabla N° 2.10. Consistencia y Asentamiento .....	82
Tabla N° 2.11. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.....	83
Tabla N° 2.12. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados .....	84
Tabla N° 2.13. Contenido de agua de mezcla.....	86
Tabla N° 2.14. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del cemento.....	87
Tabla N° 2.15. Máxima relación agua/cemento permisible para concreto sometido a condiciones especiales de exposición.....	88
Tabla N° 2.16. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto .....	92
Tabla N° 2.17. Cono de Abrams, material para el ensayo del asentamiento del concreto .....	102
Tabla N° 2.18. Número de capas requerida en la elaboración de la muestra .....	104
Tabla N° 2.19. Diámetro de carilla y número de golpes por capa .....	105
Tabla N° 2.20. Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes .....	108
Tabla N° 2.21. Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes .....	111
Tabla N° 2.22. Variación de resistencia permitida entre cilindros de concreto .....	112
Tabla N° 2.23. Espesor Mínimo de Losas en una Dirección Maciza no Pre-esforzadas.....	140
Tabla N° 2.24. Recubrimiento Especificado para Elementos de Concreto Construido en Sitio no Pre-esforzado .....	141
Tabla N° 2.25. Factores de Reducción de la Resistencia.....	144



Tabla N° 2.26. As, min para Losas en una Dirección no Pre esforzadas.	151
Tabla N° 2.27. Deflexión Máxima Admisible Calculada.....	155
Tabla N° 3.1. Tamaño de Muestra para Agregado Grueso.....	170
Tabla N° 3.2. Límite de Graduación del Agregado Fino .....	174
Tabla N° 3.3. Cantidad Mínima de la Muestra de Agregado Grueso .....	175
Tabla N° 3.4. Requisitos de Granulometría para Agregado Grueso .....	176
Tabla N° 3.5. Capacidad de Recipiente de Medida .....	184
Tabla N° 3.6. Capacidad de Recipiente de Medida .....	184
Tabla N° 3.7. Densidad de Agua.....	186
Tabla N° 3.8. Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo .....	199
Tabla N° 3.9. Dosificación de Concreto con MEPS .....	205
Tabla N° 3.10. Nomenclatura de las Probetas.....	206
Tabla N° 4.1. Granulometría MEPS .....	225
Tabla N° 4.2. Contenido de Humedad del MEPS.....	227
Tabla N° 4.3. Resultados de Ensayo de Consistencia .....	228
Tabla N° 4.4. Resultados de Ensayo de Densidad, Absorción y Porosidad .....	230
Tabla N° 4.5. Resultados de Ensayo de Resistencia a la Compresión ....	231
Tabla N° 4.6. Probetas Ensayadas a la Resistencia a la Compresión .....	233
Tabla N° 4.7. Probetas Ensayadas a la Resistencia de Tracción Indirecta .....	236
Tabla N° 4.8. Precios para el Diseño de Mezcla de los Distintos Porcentajes del MEPS.....	238
Tabla N° 4.9. Resultados de Ensayo de Carga a la Rotura de Losa.....	271
Tabla N° 4.10. Datos Obtenidos en Laboratorio de la Losa Escalada 1:2	275
Tabla N° 4.11. Deformaciones Teóricas Máximas en Losa Escalada 1:2	276
Tabla N° 4.12. Cuadro de Resumen del Ensayo de Carga a Rotura de la Losa 1:2.....	277
Tabla N° 4.13. Porcentaje de Variación entre Deformaciones Teóricas y Obtenidas en Laboratorio.....	285
Tabla N° 4.14. Cargas y Deformaciones Escaladas para Losa Real .....	287
Tabla N° 4.15. Cuadro de Resumen de la Losa a Escala Real.....	290



## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 2.1. Cambio del Volumen de EPS Reciclado a diferentes temperaturas en horno durante 15 min .....	69
Gráfico N° 2.2. Cambio de la Densidad de EPS Reciclado a diferentes temperaturas en horno durante 15 min .....	69
Gráfico N° 2.3. Cambio de Resistencia a la Compresión de EPS y MEPS.	70
Gráfico N° 2.4. Cambio de la Resistencia a la Compresión de MEPS con temperatura.....	71
Gráfico N° 4.1. Granulometría MEPS .....	226
Gráfico N° 4.2. Asentamiento de la Mezcla con Porcentaje de MEPS .....	240
Gráfico N° 4.3. Resultados del Ensayo de Densidad Seca con MEPS por Días de Ensayo.....	247
Gráfico N° 4.4. Promedio General de los Resultados del Ensayo de Densidad Seca con MEPS .....	248
Gráfico N° 4.5. Resultados del Ensayo de Absorción con MEPS por Días de Ensayo .....	249
Gráfico N° 4.6. Promedio General de los Resultados del Ensayo de Absorción con MEPS .....	249
Gráfico N° 4.7. Resultados del Ensayo de Porosidad con MEPS por Días de Ensayo .....	250
Gráfico N° 4.8. Promedio General de los Resultados del Ensayo de Porosidad con MEPS .....	251
Gráfico N° 4.9. Resultados de la Resistencia a la Compresión.....	256
Gráfico N° 4.10. Variación de Resistencia a la Compresión del Concreto – 28 días .....	257
Gráfico N° 4.11. Resistencia a la Tracción Indirecta del Concreto – 28 días .....	264
Gráfico N° 4.12. Variación de la Resistencia a la Tracción Indirecta – 28 días.....	265
Gráfico N° 4.13. Esfuerzo – Deformación.....	274



## **RESUMEN**

En el presente trabajo de investigación se desea llegar a obtener resultados óptimos de resistencia del concreto ligero, con la finalidad de poder aplicarlo en el diseño de losas unidireccionales, para lo cual se efectuarán ensayos de probetas de distintas proporciones adicionando el poliestireno expandido modificado (MEPS) en porcentajes controlados.

Realizándose al material de poliestireno expandido un tratamiento térmico ayudando a mejorar notablemente sus propiedades físicas resultando un material óptimo y de buena resistencia que recibe el nombre de poliestireno expandido modificado.

Se analizará su resistencia a la compresión, tracción indirecta y su adherencia para trabajar junto al concreto.

Dicho lo antes mencionado y luego de los ensayos a realizar se tomará la dosificación más adecuada para el diseño, fabricación y ensayo de la losa unidireccional a escala real, la cual tendrá como característica principal un peso inferior a la losa convencional debido a la adición controlada de poliestireno expandible modificado, con el fin de evaluar su deformación a través de ensayos de carga.



## **SUMMARY**

In the present work, it is desired to obtain optimum resistance results from lightweight concrete, in order to be able to apply it in the design of unidirectional slabs, for which tests of different proportions will be carried out by adding the modified expanded polystyrene (MEPS) in controlled percentages.

The expanded polystyrene material is provided with a heat treatment helping to remarkably improve its physical properties resulting in an optimum and good strength material which is called modified expanded polystyrene.

Its resistance to compression, traction and adhesion will be analyzed to work close to the concrete.

Having said the above mentioned and after the tests to be carried out will take the most suitable dosage for the design, manufacture and test of the unidirectional slab in real scale, which will have as main characteristic a weight inferior to the conventional slab due to the controlled addition of modified expandable polystyrene, in order to evaluate its deformation through load tests.



# **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES**



## **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. ASPECTOS INFORMATIVOS**

#### **1.1.1. TÍTULO**

“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL CONCRETO LIGERO COMO CONCRETO ESTRUCTURAL USANDO COMO ADICIÓN CONTROLADA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS) APLICADO A UNA LOSA UNIDIRECCIONAL PARA FINES HABITACIONALES”

#### **1.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

DESCRIPTIVA - EXPERIMENTAL

#### **1.1.3. UBICACIÓN**

REGIÓN : ANCASH  
DEPARTAMENTO : ANCASH  
PROVINCIA : SANTA  
DISTRITO : NUEVO CHIMBOTE

### **1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.2.1. ANTECEDENTES**

Los primeros usos que se le dio al concreto ligero, fue para construir edificaciones que surgieron en el Imperio Romano en los años 20 a.c.

Estos materiales eran resultados de la mezcla de materiales cementantes formados a partir de limos quemados con materiales de baja densidad como lo es la piedra pómez. Entre



las obras realizadas con este tipo de concreto destacan, la cúpula del Panteón de Agripa (25 años a.c.) y los arcos del Coliseo Romano (70 años a.c.), este último con luces mayores a 25 metros.

Los avances tecnológicos hasta la actualidad han permitido experimentar con agregados ricos en sílice como las cascarillas de arroz, agregados artificiales plásticos (poliestireno) y agregados livianos como arcillas, pizarras y escorias expansivas. Los primeros edificios construidos con concreto estructural liviano aparecieron luego de la Primera Guerra Mundial. En el año 1922 se construyó la ampliación del Gimnasio de la Escuela de Deportes Acuáticos de la ciudad de Kansas, estableciéndose así un hito como la primera obra de concreto liviano de la historia, esto sucedió debido a que el tipo de suelo donde se pensaba cimentar, poseía una capacidad de carga muy baja para el peso de una estructura hecha con concreto convencional, por lo que se pensó en la utilización del concreto liviano para su construcción el cual tendría un menor peso, aligerando así la carga que debía resistir el suelo generada por el peso propio de la estructura (Expanded Shale, Clay and Slate Institute, 1971).

Otro antecedente histórico en la utilización de concreto liviano en estructuras fue durante el año 1928 donde se realizó un estudio estructural con el fin de establecer cuanto sería la



capacidad máxima que se podía incrementar de pisos en un edificio de oficinas de la compañía de teléfonos Suothwestern Bell en la ciudad de Kansas, el cual contaba con 14 pisos. Luego de haber concluido la investigación de la estructura, se llegó a determinar que a dicha estructura se le podía adicionar 8 niveles utilizando un concreto convencional, no obstante, al utilizar como material de construcción al concreto liviano en base a arcillas expandidas, dicha estructura se pudo incrementar en 14 niveles.

Para los años de entre 1950 y 1960, se creaban las primeras plantas de agregados livianos. Para el año 1969 en Latinoamérica (Venezuela) se instala una planta sobre un yacimiento de arcilla que aun constituye su materia primera.

En el Perú se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre concreto ligero elaborado con materias primas locales que posee actualmente en su mercado como es la Piedra Pómez, además de poder contar con los desechos vegetales que son de fácil obtención en el país como la cascarilla de arroz para la fabricación de concreto ligero que poco a poco se ha convertido en una alternativa que no pasa desapercibida para la construcción en obras civiles.



### **1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Hoy en día se puede apreciar un gran cambio climático que está afectando a todos los seres vivos de la tierra, esto debido a la contaminación que estamos generando las personas sin darle mucha atención a este problema, de acuerdo al **“INFORME DEL ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL PERÚ”** (año 2010 – 2011) en el mundo se generan más de 100 mil millones de toneladas de basura al año, mientras que en el Perú se genera un aproximado de 20.000 toneladas al día, del cual el 47% es material orgánico, el 9.48% está conformado por plásticos y un 6.37% por residuos peligrosos, de estos porcentaje se pueden reciclar algunos materiales, como papel, cartón, plástico o metales; pero otros materiales no, como el poliestireno expandido, que siendo un material inorgánico no se descompone jamás, puesto que estudios realizados demostraron que luego de 500 años todavía seguía intacto en la naturaleza, este material es usado comúnmente como protectores anti-golpes de equipos electrónicos y como aislante térmico en vasos o platos que son usados mayormente en época de verano en las playas para llevar alimentos, y al no saber cómo reciclar estos materiales las personas lo desechan al mar donde se descompone en partículas pequeñas que llegan a ser confundidos como alimentos por especies marinas



afectando así su organismo como es el caso de las tortugas marinas que al consumir esto no les permite sumergirse en las profundidades del mar para poder alimentarse y por esto mueren de hambre, por lo que se desea encontrar alguna forma de solución para darle uso y poder reciclarlo.

### **Formulación del Problema**

¿Es factible la utilización de poliestireno expandido modificado reciclado en el concreto estructural para la construcción de una losa unidireccional que cumple las necesidades mínimas de diseño para fines habitacionales?

#### **1.2.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Los residuos sólidos son desechos orgánicos e inorgánicos que se generan tras el proceso de fabricación, transformación o utilización de bienes y servicios. Si estos residuos no se manejan adecuadamente, producen contaminación ambiental y riesgos para la salud de las personas. De acuerdo al **“INFORME DEL ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL PERÚ”** (año 2010 – 2011), se generan por día 20,000 toneladas de ellos. Los habitantes de la costa son los mayores productores de basura en el Perú. Solo en la ciudad de Lima, en la que viven más de ocho millones (8'000,000) de personas, se generan un promedio de 2'123,016 toneladas de residuos al año. Cada



persona en promedio genera 0.61 kg al día, lo cual supone un incremento significativo de los residuos sólidos.

Por su composición, estos residuos son, en mayor cantidad restos orgánicos, de cocina y alimentos (47%), plásticos (9.48%) y residuos peligrosos (6.37%), es decir, aquellos residuos que representan riesgos para la salud de las personas como relaves mineros y residuos industriales u hospitalarios. Continúan en la lista, pero en menor proporción: papel, residuos de construcción, vidrio, cartón, fierro, madera y residuos electrónicos, entre ellos el **poliestireno expandido (EPS)**.

Por eso es de gran importancia tratar de disminuir la contaminación del medio ambiente proponiendo una solución como la reutilización de los desechos sólidos no biodegradables como es el **poliestireno expandido (EPS)**, en la industria de la construcción, en lo que respecta a la aplicación de losas aligeradas empleadas en viviendas comunes.

El poliestireno expandido (EPS) de ser un material que junto con el cemento y agregados lleguen a tener un buen comportamiento de resistencia, sería de gran importancia y aporte en la industria de la construcción como material opcional importante para la preservación del medio ambiente.



#### **1.2.4. IMPORTANCIA**

Es de gran importancia para las personas tratar de reducir la contaminación que estamos generando en el medio ambiente brindando como alternativa de solución la reutilización de materiales inorgánicos y que no son biodegradables, como es el Tecnopor (poliestireno expandido), ya que este material podría ser reutilizado en la industria de la construcción, aplicándolo en losas aligeradas para viviendas, al utilizarlo en la mezcla de materiales para concreto como un material adicional, esto aumentara el volumen del concreto así como también reduciría el peso de la estructura y tendrá un comportamiento aceptable en las características físicas que son de gran importancia en el funcionamiento estructural.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Evaluar una losa unidireccional de peso menor al tradicional adicionando agregados livianos reciclados (MEPS), amigable con el medio ambiente y con características aceptables de resistencia y costo para edificaciones habitacionales.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Elaborar agregados reciclados utilizando como materia prima desechos de poliestireno expandido.



- ✓ Determinar un concreto con cierta dosificación, que asegure la resistencia requerida, pero a la vez sea calificado como concreto ligero.
- ✓ Desarrollar probetas de concreto liviano, con adición de poliestireno expandido modificado, realizando probetas con 5%, 10%, 15%, 20% y 30% de MEPS.
- ✓ Realizar ensayos de laboratorio acordes a la exigencia de la Normatividad Peruana, con el fin de determinar la cantidad de material adicionado (MEPS), y analizar su viabilidad en la adición del poliestireno expandido modificado.
- ✓ Diseñar una losa liviana unidireccional con apoyo simple, para una luz de 3.00 m con fines habitacionales, usando las recomendaciones y métodos especificados para elementos estructurales de peso normal.
- ✓ Cuantificar mediante ensayos de carga las resistencias máximas y las deformaciones que presente el sistema estructural diseñado.
- ✓ Comparar este tipo de losas con otras existentes en el mercado evaluando resistencia, costo y peso propio.

#### **1.4. HIPÓTESIS**

“Si se realiza un concreto ligero utilizando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS), este será capaz de tener características aceptables y cumplirá con requisitos de diseño para aplicación en una losa unidireccional que tendrá fines habitacionales”.



## 1.5. VARIABLES

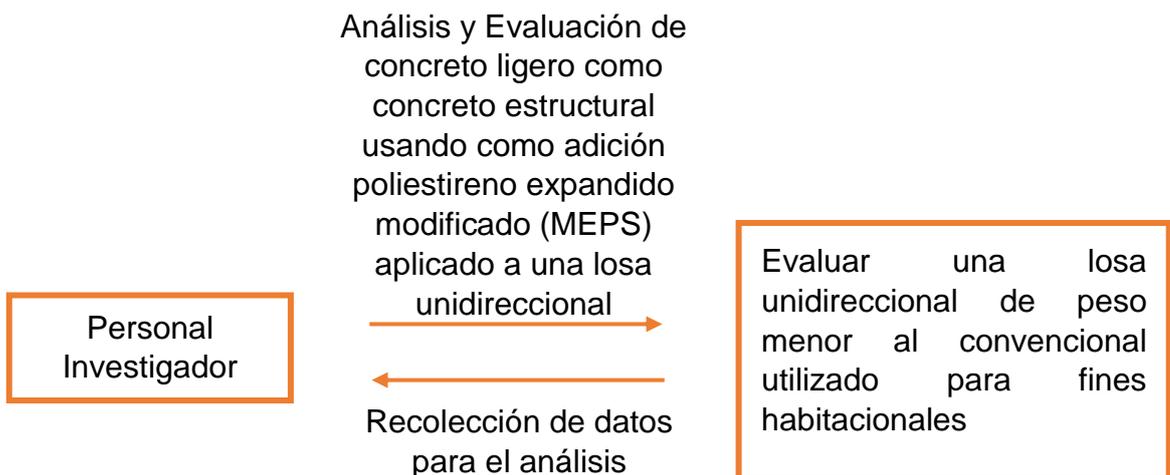
### 1.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- ✓ Comportamiento estructural de una losa liviana unidireccional de concreto ligero para uso habitacional.

### 1.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

- ✓ Calidad del concreto estructural con diferentes cantidades de adición de Poliestireno Expandido Modificado (MEPS).

## 1.6. TIPO DE DISEÑO



## 1.7. ESTRATEGIA DE TRABAJO

### 1.7.1. MÉTODO DE ESTUDIO

- ✓ Recopilación y análisis de información sobre estudios relacionados.
- ✓ Recolección de datos.
- ✓ Procesamiento de datos.
- ✓ Análisis e interpretación de resultados.



# **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**



## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**

#### **2.1.1. GENERALIDADES**

La tecnología del concreto es el área de la Ingeniería en la que se engloba conocimientos científicos guiados a la aplicación práctica y técnica eficientemente para la elaboración del concreto en las obras de construcción civiles.

Cabe indicar que a diferencia de las demás áreas de la ingeniería donde se puede controlar la mayoría de los parámetros que participan en el accionar de un fenómeno, en la Tecnología del Concreto cada uno de los elementos que interfieren en la elaboración del mismo, ya sea cemento, agregados, agua o aditivos y las técnicas utilizadas para producir, colocar, curar y mantener, son aspectos únicos que se estudian y trata de controlar de modo tal que pueda resultar un material eficiente al momento de aplicarlo en la práctica.

Normalmente existen muchas limitaciones para modificar las características de los elementos que intervienen en el diseño de mezclas, puesto que paradójicamente los mismos materiales utilizados para la elaboración de un concreto bueno son los mismo para elaborar un concreto malo, por lo que no es fácil elaborar un concreto de buena calidad.



Por lo que se puede decir que para obtener un concreto de buena calidad es necesario cumplir satisfactoriamente con la trabajabilidad, colocación, resistencia durabilidad y economía.

### **2.1.2. HISTORIA DE LA TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**

Desde el **Imperio Incaico** los peruanos obtuvieron grandes conocimientos de la astronomía y construcciones civiles como canales de irrigación, edificaciones tanto en piedra como adobe, pero de lo que no se tiene evidencia alguna es de la utilización de materiales ligantes que sirven de unión entre las piedras para las construcciones lo cual todavía no se logra entender puesto que realizaban las construcciones sin tener conocimiento de la rueda ni un sistema de escritura completo para las construcciones, sin embargo lograron alcanzar grandes adelantos en la agricultura, irrigación y edificación; posteriormente en la época **Colonial**, se tiene registro de los primeros materiales conglomerantes (siglo XVI), época en que los españoles trajeron sus conocimientos técnicos siendo también influenciados por los árabes. En la época Virreinal aumentan las edificaciones y el mejoramiento de la ciudad ya que se usaban nuevos materiales con técnicas más elaboradas que se obtenían mejores acabados.

Cuentan las tradiciones limeñas que para la construcción del puente de piedra sobre el Rio Rímac se tomaron alrededor de 2 años iniciando los trabajos en 1608, logrando culminar en el



año 1610, el cual todavía existe hasta la actualidad, en esta construcción se adicionó al mortero de cal y arena, huevos frescos en grandes cantidades logrando estos mejorar las propiedades resistentes del mortero.

En esta misma época se edificaron fortificaciones militares, iglesias y conventos que continúan existiendo hasta el día de hoy siendo estos usados como base para los criterios y procedimientos constructivos, ejemplo de esto es la Catedral de Lima que está construido de adobe.

En el siglo XIX, época de la **Republica**, en 1820 el Perú conservaba sus características arquitectónicas y los métodos constructivos de la época de la **Colonia**, lo que se mantuvo hasta luego de independencia del Perú, mientras tanto en la misma época se realizaron avances tecnológicos como la invención de la máquina de vapor con el uso del carbón y los ferrocarriles.

En esta misma época en Inglaterra por el año de 1824 Joseph Apsdin patenta el proceso de calcinación de la piedra caliza que es materia prima para la producción del cemento que luego de hidratarlo logra tener una resistencia solida similar a las de las piedras que se encuentran en la isla de Portland, posteriormente se utilizó este material para mejorar en las cimentaciones siendo usando en cimentaciones, así como



también para la mampostería y darle un mejor acabado en las construcciones de edificación, posteriormente se le complementa con el acero para la construcción de edificaciones con techos que presentan grandes luces, para puentes usados pro ferrocarriles, acueductos, y otras estructuras más que generaron mayor desarrollo en la interconexión de ciudades.

Posteriormente la ingeniería a nivel mundial se desarrolló aceleradamente aprovechando estos nuevos recursos constructivos estimulando con esto la investigación científica.

A mediados del siglo XIX se decide en el Perú trabajar en el desarrollo y la modernización de las construcciones publicas desarrolladas por el gobierno de ese entonces, realizando para esto contrataciones de ingeniero extranjeros como jefes de cada proyecto de construcción.

Después de la guerra del Pacifico, a finales del siglo XIX el Perú empieza a resurgir, mientras que en Estados Unidos y Europa continúa revolucionando la industria creando así el motor a explosión y la electricidad, así como también el uso del concreto armado en las construcciones.

Posteriormente en el siglo XX inician los proyectos para el servicio eléctrico, así como también obras de concreto armado, en 1915 llego la empresa Fundación Co. que edificó el terminal



marítimo del Callao y la pavimentación del tramo Lima – Callao, posteriormente se edifica el Palacio de Justicia, el Hotel Bolívar, Club Nacional, entre otros.

En los años 50 se crea la primera empresa peruana de concreto pre-mezclado así como también se ejecutan obras por peruanos como puentes, pistas, aeropuertos, canales de irrigación, etc.

Desde los años 80 se realizan tesis de investigación sobre la Tecnología de Concreto en algunas universidades que hasta ahora esto implica un gran reto en el desarrollo científico, ante los adelantos mundiales sobre las técnicas del control de calidad, elaboración, utilización de aditivos diversos, procedimiento constructivo, conocimientos científicos, etc.

## **2.2. CONCRETO**

### **2.2.1. DEFINICIÓN**

Es la mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. (***RNE E.060 Concreto Armado, 2009***)

Actualmente es el material de construcción de mayor uso en el país y el mundo, esto se debe a sus propiedades mecánicas que son capaces de aguantar o resistir grandes esfuerzos a la compresión gracias a la combinación entre arena y mezcla cementante.



Sus características hacen del concreto un material casi idóneo para construcción de grandes edificios, la ventaja que tiene sobre otros materiales como el acero, es que no se corroe si está expuesto a la intemperie, alta resistencia a compresión, construcción de estructuras uniformes, continuas y monolíticas, y facilidad de construcción ya que es el material más usado en la historia del hombre.

Aun siendo el material más utilizado en el mundo, este presenta sus desventajas con respecto a su resistencia a la tracción que es considerada nula en el diseño de estructuras, pero en realidad mediante ensayos y estudios realizados se sabe que tiene un valor aproximado al 10% de su resistencia a la compresión, el tiempo de fraguado, inestabilidad volumétrica, y la mayor desventaja que se podría considerar es su propio peso. Se puede considerar el peso específico promedio para un concreto común con resistencia regular es de 2400 kg/m<sup>3</sup>. El problema con esto es que, al hacer una modelación sobre una estructura, el valor de la carga muerta será muy elevado lo que aumentaría los costos en la construcción para los cimientos, columnas y vigas. Lo ideal sería que existiera un material que no comprometa sus propiedades mecánicas y sea de un peso mucho más bajo que del concreto convencional, y esto a su vez resulte económico. Lastimosamente solo se puede combinar 2 de estas 3 posibilidades, es decir, podemos



crear un concreto ligero, pero arriesgando sus propiedades mecánicas, o podemos hacer un concreto ligero con las mismas propiedades, pero elevaríamos los costos de manera sustancial.

La solución que hoy en día se está considerando es construir elementos estructuras principales de manera convencional, pero utilizando materiales más ligeros como elementos secundarios en la elaboración de paredes, fachadas, paneles, bloques, alcantarillado, y demás que no estén bajo cargas de grandes magnitudes.

### **2.2.2. TIPOS DE CONCRETO**

Existen diversos tipos de concreto de acuerdo al tipo de estructura a realizarse, características climáticas y forma de colocado, en el presente trabajo de investigación se mencionarán algunos tipos de concreto más usados.

#### **2.2.2.1. CONCRETO CONVENCIONAL**

También se suele llamar simplemente concreto; que es un material obtenido al mezclar cemento portland, agua y agregados de varios tamaños, superiores a 5 mm, es decir, con grava y arena.

El concreto convencional tiene una amplia utilización en las estructuras de concreto más comunes, disponible en diferentes resistencias (175 kg/cm<sup>2</sup> a 350 kg/cm<sup>2</sup>).



Dependiendo de las dimensiones y elemento que se va a vaciar se especifica el tipo de agregado requerido y sus proporciones para determinar la dosificación.

#### **2.2.2.2. CONCRETO ARMADO**

Es el concreto que en su interior tiene una armadura de acero, debidamente calculadas y situadas. En este tipo de concreto el acero es el que permite resistir esfuerzos a la tracción de las estructuras. Este tipo de concreto es el más usado habitualmente en el Perú y el mundo.

#### **2.2.2.3. CONCRETO PRE-TENSADO**

Este tipo de concreto tiene en su interior una armadura de acero especialmente tensionada a la tracción ante de la colocación del concreto fresco.

#### **2.2.2.4. CONCRETO POST-TENSADO**

Concreto que tiene en su interior una armadura de acero especialmente sometida a la tensión que se realiza posteriormente al fraguado y endurecido del concreto.

#### **2.2.2.5. CONCRETO CICLOPEO**

Es el concreto simple en cuya masa se coloca conjuntamente piedras que tienen un tamaño máximo nominal de 10" pudiendo cubrir hasta un 30% del volumen requerido por la estructura, y que no contienen armadura.



Se usa para muros de contención por gravedad, cimiento corrido, sobre-cimiento, calzadura y fundaciones masivas, entre otros.

El concreto ciclópeo no debe ser usado en estructuras en las que el espesor sea menor de 0.30 m.

#### **2.2.2.6. CONCRETO LIGERO**

Se considera concreto ligero a aquel que presenta una estructura porosa, agregados con peso específico inferior al convencional, con incorporación de aire o sin la presencia de agregado fino, por lo que la densidad de este tipo de concreto (*según RNE E.060*) está en el rango de 300 kg/m<sup>3</sup> a 1850 kg/m<sup>3</sup>, cabe indicar que debido al uso de los elementos antes mencionados el concreto presenta una disminución de su resistencia, casi de manera lineal a comparación con su densidad.

Este concreto es útil particularmente en estructuras de varios niveles, donde se requiere peraltes mínimos y la ubicación de las columnas está limitada, es usado también en puentes muy altos donde la carga muerta de la superestructura requiere columnas con estribos excesivamente grandes para resistir fuerzas sísmicas.

El peso reducido del concreto permite reducir la cantidad del acero en la super o sub estructura, generando así ahorro en



materiales, permitiendo disminuir más el peso y aligerar el costo de los agregados, resultando una estructura factible desde el punto de vista económico.

En cuanto a la resistencia, hay una relación directa y casi lineal entre porcentajes de elemento que se agrega a la mezcla y su resistencia a la compresión ( $f'c$ ). Entre más alto sea el porcentaje de cemento en la mezcla, mayor será su resistencia a la compresión, pero se pierde su característica de ser *liviano*, es decir la estructura se vuelve más pesada.

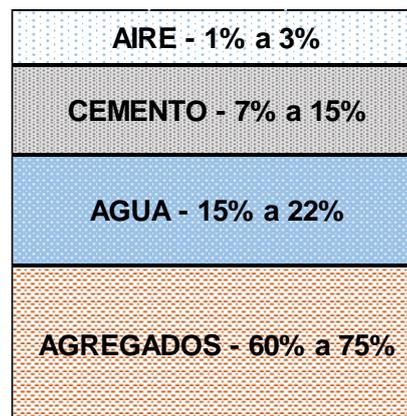
### **2.2.3. ELEMENTOS DEL CONCRETO**

Los componentes principales y fundamentales para la elaboración del concreto son: Cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo.

Si bien la definición tradicional consideraba a los aditivos como elemento opcional, en la práctica moderna estos constituyen un ingrediente normal, por cuanto está científicamente demostrada la conveniencia de su empleo en mejorar condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la larga una solución más económica si se toma en cuenta el ahorro en la mano de obra y equipo de colocación y compactación, mantenimiento y reparaciones.



Si analizamos la **Fig. 2.1.** en que se grafica las proporciones típicas en volumen de los componentes del concreto, concluiremos en que el cemento es el ingrediente activo que interviene en menor cantidad, pero sin embargo es el que define las tendencias del comportamiento.



**Figura N° 2.1. Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto**

Fuente: *Elaboración Propia*

### **2.2.3.1. CEMENTO**

#### **2.2.3.1.1. DEFINICIONES**

##### **CEMENTO NATURAL (NTP 334.001)**

Un cemento hidráulico producido mediante la calcinación de una caliza arcillosa a una temperatura de bajo del punto de sinterización y luego molido hasta polvo fino.

##### **CEMENTO HIDRAULICO (NTP 334.001)**

Cemento que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer, tanto en



el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos.

### **CEMENTO PORTLAND (NTP 334.001)**

Cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker de portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas se sulfatos de calcio como una adición durante la molienda.

#### **2.2.3.1.2. REQUISITOS DEL CEMENTO PORTLAND**

##### **2.2.3.1.2.1. REQUISITOS QUÍMICOS**

Todos los tipos de cemento portland deberán cumplir con los respectivos requisitos establecidos en la **Tabla N° 2.1.**

**Tabla N° 2.1. Requisitos Químicos del Cemento Portland**

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>DE ENSAYOS</b>
Dióxido de Silicio, (SiO <sub>2</sub> ), %, min	^	20.6
Óxido de Aluminio, (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %, máx	6.0 máx.	4.4
Óxido Férrico, (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %, máx	6.0 máx.	3.3
Óxido de Calcio (CaO), %	^	62.9
Oxido de Magnesio, (MgO), %, máx	6.0 máx.	2.20
Pérdida por Ignición, %, máx.	3.0 máx	2.70
Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O), %	^	0.19
Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O), %	^	0.50
Residuo Insoluble, %, máx.	0.75 máx.	0.27
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ), %	^	1.50
Calizas, %	5.0 máx	3.50
Carbonato de Calcio (CaCO <sub>3</sub> ) en caliza, %	70 min.	98.00
Potencial (%)		
C1S	^	50.00



C2S	^	21.00
C3S	8 máx.	6.00
C2AF	^	10.00
C2AF+2(C3A)	^	22.00
C3S+4.75C3A	100 máx.	78.50

Fuente: NTP 334.009

### 2.2.3.1.2.2. REQUISITOS FÍSICOS

Cada uno de los 5 tipos de cemento deberá cumplir los respectivos requisitos físicos prescritos en la **Tabla N° 2.2.**

**Tabla N° 2.2. Requisitos Físicos del Cemento Portland**

COMPOSICIÓN FISICA	LIMITE ESPECIFICACIÓN	RESULTADO DE ENSAYOS
Contenido de aire mortero (volumen %)	12 máx.	8.00
Fineza Blaine (m <sup>2</sup> /kg)	260 min.	377.00
	430 máx.	
Fineza Blaine promedio B (m <sup>2</sup> /kg)	280 min.	385.00
	420 máx.	
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.04
Resistencia a la compresión (MPa)		
1 día	^	
3 días	7.0 min.	23.40
7 días	12.0 min.	29.80
28 días	^	
Tiempo de fraguado (minutos) (vicat)		
Inicial no menor que	45	124.00
No mayor que	375	
Calor de Hidratación (KJ/Kg) 7 días	c	300.00

Fuente: NTP 334.009

### 2.2.3.1.3. CLASIFICACIÓN Y USO DE LOS CEMENTOS

De acuerdo a la **NTP 334.009** los tipos de cementos Portland están clasificados de acuerdo a sus propiedades específicas.



**Tipo I:** Para uso general que no requiera propiedades especiales de cualquier otro tipo.

**Tipo II:** Para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

**Tipo III:** Para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales.

**Tipo IV:** Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.

**Tipo V:** Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

La norma **ASTM-C-595-00** especifica las características de los cementos adicionados, los que contienen además de los compuestos mencionados, escoria y puzolanas, que modifican el comportamiento, entre los tipos de cementos y porcentaje añadido tenemos:

- a. **Tipo IS**, entre 25% y 70% en peso de escoria de alto horno.
- b. **Tipo ISM**, menos del 25% en peso de escoria de alto horno.
- c. **Tipo IP**, entre 15% y 40% en peso de puzolana.
- d. **Tipo IPM**, menos del 15% en peso de puzolana.

Puzolanas son materiales que, al reaccionar con los productos de hidratación del cemento como los hidróxidos de calcio, y el agua adquiere propiedades aglomerantes que no presentan individualmente.



En Perú se fabrican del Tipo I, Tipo II, tipo V, tipo IP y tipo IPM.

También se usa cemento que reduce la contracción de fragua.

## **2.2.3.2. AGREGADOS**

### **2.2.3.2.1. DEFINICIONES**

#### **AGREGADO PARA CONCRETO (NTP 400.011)**

Conjunto de partículas pétreas de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.037. se les llama también áridos.

#### **AGREGADO FINO (NTP 400.011)**

Es el agregado artificial de rocas o piedras proveniente de la desagregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos en la **NTP 400.037**.

#### **AGREGADO GRUESO (NTP 400.011)**

Agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (Nº 4) que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca.

### **2.2.3.2.2. REQUISITOS**

#### **2.2.3.2.2.1. GRANULOMETRIA (NTP 400.011)**

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La NTP 400.012 establece el procedimiento para su



distribución mediante el tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices, eventualmente se calcula la masa retenida y/o que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados.

#### **2.2.3.2.2.1.1. GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO**

**De acuerdo a la NTP 400.037** la granulometría deberá cumplir con los requisitos de la **Tabla Nº 2.3.**

**De acuerdo a la RNE E.060** el tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe ser superior a ninguna de las premisas.

- a.  $1/5$  de la menor separación entre los lados del encofrado.
- b.  $1/3$  de la altura de la losa, de ser el caso.
- c.  $3/4$  del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada. Sus partículas serán limpias, de perfil perfectamente angular o semi-angular, duras, compactas, resistentes y de textura preferentemente rugosa; deberá estar libre de partículas escamosas, materia orgánica u otras sustancias dañinas.



**Tabla N° 2.3. Requisitos Granulométricos de Agregado Grueso**

Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	CANTIDADES MENORES QUE PASAN CADA MALLA DE LABORATORIO (ABERTURAS CUADRADAS), % EN PESO												
	100 mm 4"	90 mm 3.54"	75 mm 3"	63 mm 2.5"	50 mm 2"	37.5 mm 1.5"	25 mm 1"	19 mm 3/4"	12.5 mm 1/2"	9.5 mm 3/8"	4.75 mm N° 4	2.36 mm N° 8	1.18 mm N° 16
3.5" a 1.5"	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2.5" a 1.5"	-	100	-	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2" a 1"	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
2" a N° 4	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
1.5" a 3/4"	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
1.5" a N° 4	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
1" a 1/2"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
1" a 3/8"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-
1" a N° 4	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
3/4" a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-
3/4" a N° 4	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	25 a 55	0 a 10	0 a 5	-
1/2" a N° 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
3/8" a N° 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: NTP 400.037



#### **2.2.3.2.2.1.2. GRANULOMETRIA DE AGREADO FINO**

Los límites de distribución para el agregado fino están establecidos en la NTP 400.037 **Tabla N° 2.4.**

**De acuerdo a la NTP 400.037** se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, mientras existan estudios calificados que sea de la satisfacción de las partes, y que asegure que el material producirá concreto de la calidad requerida.

El concreto con agregado fino cercano a los mínimos porcentajes de las mallas N° 50 (300um), y N°100 (um), pueden tener dificultades con la trabajabilidad, bombeado o excesiva exudación, lo que puede regularse con adiciones finas (filleres) o aditivos incorporadores de aire.

El módulo de fineza recomendable deberá estar entre 2,3 y 3,1.

**Según el RNE E. 060** el agregado fino podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfiles preferentemente angulares, duros, compactos y resistentes. Deberá estar libre de partículas escamosas, materia orgánica u otras sustancias dañinas.

**Tabla N° 2. 4. Requisito Granulométrico de Agregado Fino**

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que Pasa (%)</b>
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 um (N° 30)	25 a 60
300 um (N° 50)	05 a 30
150 um (N° 100)	0 a 10

Fuente: *NTP 400.037*

### **2.2.3.3. AGUA**

#### **2.2.3.3.1. DEFINICIÓN**

**De acuerdo a la NTP 339.088**, da la definición de agua potable, como el agua que es apta para el consumo humano.

El agua es un elemento fundamental para la elaboración del concreto, ya que es indispensable para la hidratación del cemento, le da trabajabilidad a la mezcla de concreto y el desarrollo de sus propiedades porque influye en la resistencia, trabajabilidad y las propiedades del concreto endurecido por lo que este elemento debe cumplir con requisitos indispensables propuestos por la **NTP 339.088**.

#### **2.2.3.3.2. REQUISITOS**

El agua utilizada en la elaboración del concreto tendrá que cumplir con los requisitos de la **NTP 339.088**, y ser de preferencia potable. Se considerará apta para el mezclado del

concreto el agua cuyas propiedades y contenido en sustancias disueltas estén comprendidos entre los límites de la tabla siguiente:

**Tabla N° 2.5. Requisito de los límites permisibles máximos del agua para concreto**

<b>Descripción</b>	<b>Límite permisible</b>
<i>Sólidos en suspensión</i>	<i>5 000 ppm. máximo</i>
<i>Materia Orgánica</i>	<i>3 ppm. máximo</i>
<i>Alcalinidad (NaHCO<sub>3</sub>)</i>	<i>1 000 ppm. máximo</i>
<i>Sulfato (Ión SO<sub>4</sub>)</i>	<i>600 ppm. máximo</i>
<i>Cloruros (Ión Cl)</i>	<i>1 000 ppm. máximo</i>
<i>pH</i>	<i>5 a 8</i>

Fuente: NTP 339.088

De utilizar agua no potable se deberá realizar ensayos a la compresión a los 7 y 28 días de curado, el cual para ser aceptado deberá tener por lo menos el 90% de la resistencia de un concreto elaborado con agua potable o destilada.

Las sales u otras sustancias nocivas presentes en los agregados y/o aditivos deberán sumarse a las que pueda optar el agua de mezclado para evaluar el contenido total de sustancias inconvenientes.

El agua de mar solo podrá emplearse en la preparación del concreto si se cuenta con la autorización del Ingeniero



Proyectista y de la Supervisión. No se utilizará en los siguientes casos:

- Concreto armado y pre-esforzado.
- Concreto con resistencia mayor a los 17 MPa a los 28 días.
- Concreto con elementos embebidos de fierro galvanizado o aluminio.
- Concreto con un acabado superficial de importancia.

No se utilizará en el curado del concreto ni en el lavado del equipo, aquellas aguas que no cumplan con los requisitos anteriores.

#### **2.2.3.4. CONCRETO LIGERO**

El concreto ligero es diferenciado por su peso específico y su alta capacidad en aislamiento térmico, sin embargo, estas no son las únicas características que presenta este tipo de concreto, ya que al usar agregados livianos produce variaciones en las propiedades del concreto, como la trabajabilidad, resistencia, módulo de deformación, retracción y fluencia.

El concreto ligero se produce por la utilización de distintos materiales como materia prima, como el uso de agentes gaseosos por ejemplo el polvo de aluminio o espumantes; el uso de agregados minerales ligeros como esquisto perlita, vermiculita expandida, piedra pómez, pizarra o arcilla; los



materiales plásticos como poliuretano, espuma de poliestireno expandido (EPS) u otros materiales polímeros se pueden usar como ingrediente en la creación del concreto ligero.

#### **2.2.3.4.1. APLICACIÓN DE CONCRETO LIGERO EN LA HISTORIA**

Las primeras muestras de haber usado concreto ligero, se remontan aproximadamente a los años 1100 a.c., encontradas en las construcciones de culturas precolombinas ubicadas en *El Tajín (México)*, donde se hacía uso de una mezcla hecha a base de aglomerantes de ceniza volcánica, piedra pómez y cal para la construcción de elementos estructurales. El concreto ligero también fue utilizando por los romanos para la construcción de importantes estructuras para ellos en ese entonces, como el *Panteón de Roma* el cual fue construido con cal y cenizas volcánicas

La utilización de concreto con cemento portland y agregados ligeros fue en la primera guerra mundial, cuando el American Emergency Fleet Building Corporation construyó embarcaciones con concreto ligero, obteniendo una resistencia a la compresión de 35 Mpa, y una densidad específica de 1700 kg/m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta que la resistencia a la compresión de concreto normal en ese entonces era de 15 Mpa (***Holm, Bremner 1994***).

Por el año de 1930, el concreto ligero fue utilizado en la pista superior del puente de San Francisco, lo que permitió el ahorro



de 3 millones de dólares con respecto al acero que se utilizó.  
***(Metha y Monteiro 1994).***

En el año de 1950 mientras que se introdujo a Inglaterra el concreto aireado para elementos de carga, hasta ese entonces se fabricaba concreto ligero con escoria de termoeléctricas a base de carbón, pero la aceptación del nuevo material hizo que la demanda creciera, acabando con la poca existencia que había de polvo de ceniza, a raíz de esto se implementó el concreto ligero a base de espuma jabonosa que permite el encapsulamiento del aire en el concreto, en Estados Unidos se desarrollaba más rápidamente el concreto de peso ligero, esto debido al enorme tamaño del país y los altos costos que origina el transporte de materiales pesados en grandes distancias para llegar a las obras.

En Latinoamérica el concreto celular a alcanzado un auge importante, como en Brasil que se construyeron estatuas y monumentos de gran tamaño, pero de poco peso, así mismo, es utilizado en viviendas de nivel social alto por sus propiedades acústicas y térmicas. En Argentina el concreto celular ha sido implementado por medio de bombas generadoras de espuma y en la construcción de boques de gran tamaño y poco peso, en Venezuela se usó el concreto celular para la construcción de viviendas industrializadas, losas de pavimentación y rellenos. En México las empresas de concreto prefabricado trabajan en el



concreto celular vendiéndolo como concreto móvil para ser colocados “in-situ” y es utilizado para aligerar la carga muerta en las estructuras, cuando las condiciones por el tipo de suelo así lo exijan.

En Colombia se realizaron distintas obras como viviendas del tipo social constituidas completamente de concreto celular, rellenos para acometidas de tuberías, soporte geotécnico, pavimentaciones, etc.

En el Perú se realizaron obras de concreto ligero importantes como la cobertura del techo en el aeropuerto Jorge Chávez en el Callao y el revestimiento de tubería de planta criogénica en la Planta de Licuefacción de Gas Natural Pampa Melchorita en Cañete.

#### **2.2.3.4.2. CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO LIGERO**

Como se mencionó anteriormente concreto ligero es obtenido por la sustitución total o parcial de los agregados normalmente usados para la fabricación del concreto tradicional, usualmente el concreto ligero es clasificado como tal debido a que presenta un peso específico que varía entre 300 kg/m<sup>3</sup> y 1850 kg/m<sup>3</sup> de acuerdo a lo indicado en el **Reglamento Nacional de Edificaciones E.060**.

Este tipo de concreto se divide en tres grupos de acuerdo al uso que se les da y según sus propiedades físicas: estructurales,



estructurales-aislantes, y aislantes. Los rangos de la densidad aparente, conductividad térmica y resistencia a la compresión, luego se presenta **La Tabla N° 2.6** indicando las características principales se detallan en la tabla siguiente:

#### **2.2.3.4.2.1. ESTRUCTURAL**

El concreto estructural de peso ligero tiene una densidad variable entre 1350 kg/m<sup>3</sup> y 1850 kg/m<sup>3</sup> en comparación al concreto de peso normal. Para aplicaciones estructurales, la resistencia del concreto deberá ser superior a los 17 MPa. La mezcla de concreto se elabora con agregado grueso ligero. En algunos casos, una porción o la totalidad del agregado fino puede ser un producto de peso ligero. Los agregados ligeros que se utilizan en el concreto estructural ligero son típicamente materiales expandidos de esquistos, arcilla o pizarra que se han expuesto al fuego en un horno rotativo de calcinado para que se desarrollen una estructura porosa. También se utilizan otros productos como escorias preparada en horno de fundición (*alto horno*). Existen otras clases de concretos no estructurales de peso ligero con menor densidad producidos con otros materiales de agregados y con mayores vacíos de aire en la matriz de pasta de cemento, tales como el concreto celular, los cuales se utilizan típicamente por sus propiedades de aislamiento. (***National Ready Mixed Concrete Association - NRMCA. (sin fecha). Estados Unidos.: CIP-36 Concreto Estructural de Peso***

*Liviano:* *Recuperado* *de*  
<https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP36es.pdf>

#### **2.2.3.4.2.2. ESTRUCTURAL - AISLANTE**

En la actualidad existen aplicaciones industriales en que se necesita de un relleno de concreto aislante que presente a la vez una resistencia a la compresión buena y la capacidad de aislamiento térmico. Estos concretos pueden ser producidos con alto contenido de aire e incluir áridos livianos estructurales, o mezclas de arena aislante y agregado liviano. La resistencia a la compresión característica debe de este tipo de concreto varía entre 3.4 MPa y 17 MPa (500 a 2500 psi). (**Lamond, 2006**)

#### **2.2.3.4.2.3. AISLANTE**

Los concretos con características aislantes son los más ligeros y no estructurales, debido a que presentan una gran capacidad de aislamiento térmico, baja densidad y poca resistencia, para su fabricación se utilizan agregados como la vermiculita y perlita. Este tipo de concreto rara vez presenta una densidad superior a los 800 kg/m<sup>3</sup>. Este tipo de concreto no está destinado a utilizarse en la intemperie y la resistencia a la compresión está en el rango de 0.69 MPa y 3.4 MPa (100 a 500 psi). (**Lamond, 2006**).

**Tabla N° 2.6. Clasificación de Concreto Liger Segun su utilidad y Propiedades Físicas**

Clasificación de Concreto Liger	Tipos de Agregados Livianos usando en el Concreto	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la Compresión (Mpa)
Estructural	Estructural Grado C30	1440 - 1840	Mayor a 17
Estructural - Aislante	Estructural Grado C30 o Aislante C332, o Combinación de ambas	800 - 1440	Mayor a 3.4 hasta 17
Aislante	Aislante Grado C332	240 - 800	Mayor a 0.69 hasta 3.4

Fuente: Lamond, 2006

### 2.2.3.5. AGREGADOS LIGEROS

Los concretos son materiales heterogéneos y tienen propiedades que dependen esencialmente de las características en sus componentes, así como la compatibilidad entre ellos. Las propiedades que se modifican en el concreto son la densidad, trabajabilidad, resistencia mecánica, módulo de elasticidad, propiedades térmicas, etc.

Para la dosificación y producción adecuada de los concretos ligeros estructurales, es fundamental conocer las propiedades de los agregados ligeros que se utilizará, que puede variar significativamente, en función de la materia prima utilizada y el proceso de fabricación, es aquí donde se desea marcar diferencia en el proyecto debido a que el poliestireno expandido sin modificación presenta una capacidad de resistencia casi nula. (Lamond, 2006).



### **2.2.3.5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS LIGEROS**

#### **2.2.3.5.1.1. AGREGADOS NATURALES NO ELABORADOS**

Puzolanas, travertinos, lapillo, escorias, tobas volcánicas, diatomitas, conchas machacadas, piedra pómez.

#### **2.2.3.5.1.2. AGREGADOS ELABORADOS**

Arcilla expandida, vidrio expandido, esquistos expandidos, pizarra expandida, vermiculita, perlita expandida, diatomita expandida, obsidiana expandida, arcilla sinterizada, esquistos sinterizados.

#### **2.2.3.5.1.3. AGREGADOS INDUSTRIALES NO ELABORADOS**

Escoria de alto horno, cenizas volantes.

#### **2.2.3.5.1.4. AGREGADOS INDUSTRIALES ELABORADOS**

Escoria expandida, espuma de escoria, ceniza expandida, ceniza sintetizada, poliestireno expandido.

#### **2.2.3.5.1.5. AGREGADOS ORGÁNICOS**

Partículas de plástico, cascara de cereales, virutas celulósicas.

**(CEMEX. 2012. México. Hormigón Ligero Aspectos Técnicos**

**y Estéticos.: Recuperado de:**

***<http://www.caatlleida.cat/Fitxers/CentreDocumentacio/Biblioteca/NBibliografiques/Index/BD-7627.pdf>***



## 2.2.3.6. PROPIEDADES DEL CONCRETO LIGERO

### 2.2.3.6.1. DENSIDAD

La densidad del concreto ligero puede variar entre está en el rango de 300 kg/m<sup>3</sup> a 1850 kg/m<sup>3</sup> (**según RNE E.060**) dependiendo de la dosificación. Sin embargo, normalmente solo se utilizan los concretos con densidades superiores a 1400 kg/m<sup>3</sup> para fines estructurales.

El bajo peso específico de sus partículas es debido a que poseen un sistema celular de poros, que a su vez es debido a las altas temperaturas que llegan a alcanzar en su proceso de formación, lo que provoca la aparición de gases por la reacción al calor de ciertos constituyentes de la materia prima. Esto provoca que la extensión de ese gas se quede atrapado en la masa viscosa y produzca los agregados ligeros, durables cuando su tamaño es pequeño, bien distribuido, sin interconexiones de los poros y se envuelven en una masa continua dentro de la denominada fase vitria. (**National Ready Mixed Concrete Association - NRMCA. (sin fecha). Estados Unidos.: CIP-36 Concreto Estructural de**  
**Peso Liviano: Recuperado de**  
**<https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP36es.pdf>**)



### **2.2.3.6.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DENSIDAD APARENTE**

El concreto ligero contiene aproximadamente un 70% en volumen de agregados, su densidad depende en primer lugar de los granos de los agregados de la mezcla, así como también del tipo de agregado a utilizar, y al contrario de lo que ocurre con los agregados normales, aquí es importante también la composición granulométrica, puesto que las densidades de los granos de los distintos tamaños presentan grandes diferencias entre sí. En algunos áridos la densidad aparente disminuye con el diámetro del grano.

Una curva granulométrica con riqueza en partes finas o un diámetro menor de los granos más grandes conducen en ambos casos a una mayor densidad del concreto y muchas veces también a una mayor resistencia.

Puesto que la adición de arena natural favorece a la docilidad del concreto fresco, la cantidad de agua para obtener la misma consistencia es menor, lo que produce en muchos casos una elevada resistencia a la compresión, pero si el uso de la misma cantidad de agua daría como resultado la misma resistencia que con agregados netamente ligeros. **(Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón – CIATH. (sin fecha). Córdoba, Argentina.: Composición del Hormigón**

**Liviano Estructural.: Recuperado de**



<http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hor milivi.pdf>).

### 2.2.3.6.3. FLUENCIA

La fluencia del concreto se debe a un determinado comportamiento de la masa del cemento, está relacionado estrechamente con la cantidad de agua utilizada.

Los agregados ligeros más utilizados para la conformación del concreto ligero como la pizarra expandida o arcilla no sufren algún daño cuando se determina la deformación por fluencia, por lo que ofrecen una resistencia similar a la de los agregados normales, esta resistencia puede ser inclusive mayor cuanto más rígidos son los granos que la conforman.

Los agregados ligeros tienen por lo general módulo de elasticidad más bajos que los agregados normales, por lo que debe contarse en el concreto una mayor deformación por fluencia que el concreto normal manteniendo la misma cantidad de cemento; a este efecto se le opone en la mayoría de los concretos ligeros una relación agua–cemento menor, por lo que así la menor cantidad de poros en la masa disminuye las deformaciones dependientes del tiempo.

En muchos casos la fluencia del concreto es una propiedad favorable, puesto que reduce deformaciones internas producidas por los cambios de la temperatura o por



asentamiento diferencial producidas en los apoyos, disminuyendo el peligro de fisuración.

Sin embargo, la fluencia también presenta efectos negativos en el concreto, ya que aumenta las deformaciones, como por ejemplo presenta mayores deformaciones en estructuras de grandes luces con el pasar del tiempo, y que crean dificultades en su utilización.

En estructuras pretensadas, la fluencia da origen a la pérdida de fuerza de pretensado, lo que hace que las estructuras aumenten el área de acero a utilizar. ***(Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón – CIATH. (sin fecha). Córdoba, Argentina.: Composición del Hormigón Liviano Estructural.: Recuperado de <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hormilivi.pdf>).***

#### **2.2.3.6.4. ABSORCIÓN DE AGUA E IMPERMEABILIDAD**

Los concretos ligeros contienen más poros que el normal debido a que sus agregados son más porosos, por lo tanto, estos absorben más la humedad y pueden quedar atrapados allí.

La absorción del agua puede llegar a saturar completa que llega a tener el concreto ligero ronda del 12% al 22% del volumen, mientras que en un concreto normal la saturación total puede ser hasta un 12% de su volumen.



Aunque los concretos ligeros tengan buena capacidad de absorción de agua, no significa que tengan un menor comportamiento que un concreto normal con referencia a la impermeabilidad. La resistencia a la compresión de un concreto en el que penetre agua depende principalmente de la calidad del mortero antes que la porosidad que presente.

La relación agua-cemento en los concretos ligeros es comúnmente menor a comparación del concreto normal, esto significa que la pasta de cemento y el mortero contienen menos poros capilares y por tanto son más impermeables, quedando así compensada la influencia desfavorable de los poros que presentan los agregados ligeros. *(Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón – CIATH. (sin fecha). Córdoba, Argentina.: Composición del Hormigón Liviano Estructural.: Recuperado de <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hormilivi.pdf>).*

#### **2.2.3.6.5. RESISTENCIA A LA CONGELACIÓN Y DESHIELO**

Si se utiliza concreto ligero para hacer estructuras que deban resistir las condiciones climatológicas, como por ejemplo tapas de alcantarillado, cunetas, puentes para peatones, etc., es necesario saber la resistencia a la congelación y deshielo. Esta resistencia depende de la pasta de cemento, los agregados y la adherencia entre la pasta de cemento y agregados.



Las condiciones requeridas para la pasta de cemento en un concreto ligero es lo mismo que debe cumplir un concreto normal.

No existe en la actualidad un ensayo que permita predecir la resistencia a la congelación y descongelación, así como la acción de la sal de deshielo de un concreto.

Los ensayos que permiten establecer afirmaciones seguras sobre el concreto son largos y de alto costo. Pero exámenes minuciosos mostraron claramente que las oclusiones de aire introducidas en el concreto originan una buena resistencia del concreto a los fenómenos antes mencionados. Por esto es recomendable prever aún en los concretos ligeros oclusiones artificiales de aire cuando la superficie del concreto este expuesta a duras condiciones meteorológicas y a las sales del deshielo.

Si no es posible la introducción artificial de oclusiones de aire a causa de la resistencia a la compresión exigida, puede mejorarse la resistencia a las heladas por un tratamiento superficial, como por ejemplo al disponer de una capa de conservación de resina epoxi. **(Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón – CIATH. (sin fecha). Córdoba, Argentina.: Composición del Hormigón**



*Liviano Estructural.: Recuperado de <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hormilivi.pdf>).*

#### **2.2.3.6.6. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

La conductividad térmica de un material de construcción poroso depende principalmente de su densidad aparente y de su contenido de humedad, así como también influye el tamaño y distribución de los poros, la composición química de los sólidos y la temperatura.

Cuando la saturación de agua en el concreto es parcial, la transmisión de calor por los poros es un proceso complejo. Hay que diferenciar los poros llenos de agua, poros con paredes húmedas y poros con paredes secas. En los poros con paredes húmedas la transmisión de calor se realiza a través del agua que se convierte el vapor en la parte caliente de la pared y se condensa en la parte opuesta, que está fría. La transmisión de calor por difusión depende de la temperatura, contrariamente a los que pasa con otro tipo de transmisión. A temperaturas tales como 60°C los poros de paredes húmedas transmiten tanto calor, similar al de los poros saturados de agua, a esta temperatura el coeficiente de conductividad aumenta al aumentar la cantidad de agua contenida en los poros.

A temperaturas mayores, los poros con paredes mojadas conducen el calor mejor que los poros llenos de agua. Incluso en



condiciones determinadas estos poros pueden llegar a disminuir la transmisión de calor al aumentar la cantidad de humedad en sus poros.

El coeficiente de conductividad de calor aumenta, al crecer el contenido de humedad o bien al aumentar la saturación de los poros. En un concreto normal el coeficiente de conductividad en una muestra seca aumenta hasta llegar a la saturación completa, de 1.60 a 2.30 kcal/m.h.gr., este aumento es en promedio de 0.05 kcal/m.h.gr., al aumentar la temperatura en 1% el volumen de humedad.

El coeficiente de los concretos ligeros depende en menor grado de la humedad. Por término medio aumenta de unas 0.5 a 0.95 kcal/m.h.gr., lo que significa un aumento de 0.01 kg/m.h.gr por 1% en aumento de volumen de humedad. ***(Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón – CIATH. (sin fecha). Córdoba, Argentina.: Composición del Hormigón Liviano Estructural.: Recuperado de <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hormilivi.pdf>).***

#### **2.2.3.6.7. RESISTENCIA CONTRA INCENDIOS**

La influencia de temperaturas elevadas en el concreto es de importancia al determinar la capacidad de carga que se expone una estructura ante la acción del fuego.



El concreto no es combustible, pero a pesar de ello puede ser afectada por el fuego su capacidad de sustentabilidad.

Por una parte, la resistencia a la compresión de un concreto puede ser disminuida por la acción de las altas temperaturas, sin embargo, es más grave una reducción de resistencia debido a un calentamiento de la estructura interna. Este calentamiento es menor cuanto mayor es la resistencia al paso del calor. Pero de pronto aumenta, debido a la acción simultánea de las tensiones térmicas y de carga, lo que produce grietas y desprendimiento de concreto, lo que disminuye las secciones resistentes de la estructura.

La resistencia a la transmisión del calor es mayor en los concretos ligeros, por lo que este tipo de concreto tiene una menor elevación de temperatura en el interior de un elemento estructural.

Los agregados como el cuarzo, varía su estructura cristalina a unos 600°C y con esto experimenta un aumento de volumen, por lo que los concretos elaborados con agregados que presenten cuarzo, a altas temperaturas mostrara rajaduras la estructura perdiendo así también resistencia debido a que disminuye la secciones de concreto con la que se diseñó la estructura.

***(Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón – CIATH. (sin fecha). Córdoba, Argentina.:***

***Composición del Hormigón Liviano Estructural.:***

***Recuperado de <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hormilivi.pdf>).***

**2.2.3.6.8. PROTECCION ACUSTICA**

El aislamiento contra ruidos en construcciones cerradas depende en primer lugar del peso por unidad de superficie, pero también de la rigidez a la flexión, para conseguir el aislamiento acústico necesario, el espesor de las paredes de concreto ligero debería ser mayor que el de una pared hecha de concreto normal, puesto que depende directamente de su densidad.

Ensayos elaborados en Francia y Holanda han demostrado que el concreto ligero con agregados de áridos expandidos se comporta mejor de lo que se esperaría según la densidad que tienen; así, por ejemplo, respecto al aislamiento contra ruidos aéreos, una pared de 20 cm. hecha de concreto con arcilla expandida funcionaría igual que una pared de concreto con agregado normal y similar a una pared de 33 cm. de espesor de ladrillo macizo. La causa de esto posiblemente sea la estructura de los áridos expandidos con múltiples poros embebidos en ella.

***(Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón – CIATH. (sin fecha). Córdoba, Argentina.:***

***Composición del Hormigón Liviano Estructural.:***

***Recuperado de <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hormilivi.pdf>).***



## **2.3. POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

### **2.3.1. CONCEPTO**

El poliestireno expandido (EPS) es un material plástico espumado, derivado del poliestireno y utilizado en el sector del envase y la construcción debido a que presenta una estructura que no se pudre, enmohece ni descompone, convirtiéndolo en un material ideal para utilizarse en los productos frescos como envase. **(Poliestireno Expandido. 2017. En Wikipedia. Recuperado el 15 de setiembre de 2017 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno\\_expandido](https://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno_expandido)).**

### **2.3.2. FABRICACIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIBLE**

El poliestireno expandible es la materia prima para fabricar artículos acabados en poliestireno expandido. Al igual que cualquier otro tipo de material plástico, el poliestireno expandible deriva en último término del petróleo. El esquema adjunto muestra los componentes y las diferentes etapas desde la destilación del petróleo hasta la obtención del poliestireno expandible. **(Construcción-EPS, 2007).**

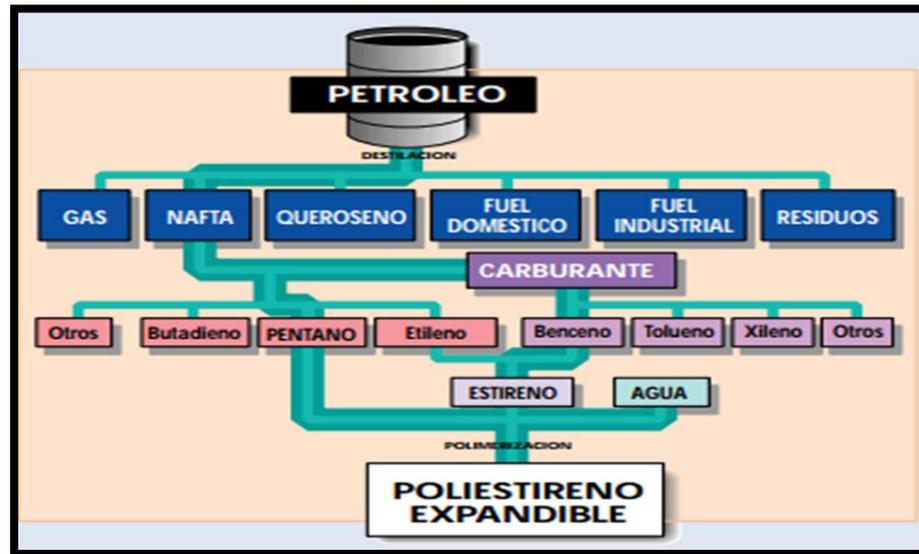


Figura N° 2.2. Proceso de Fabricación del Poliestireno Expandido

Fuente: *Construcción-EPS, 2007*

La materia prima se presenta en forma de pequeñas perlas de poliestireno que contienen en su interior un agente expandible homogéneamente distribuido que permite su expansión durante el proceso de transformación. El agente expandible es un hidrocarburo de bajo punto de ebullición (Pentano). En la fabricación del poliestireno expandido no se utiliza ni se ha utilizado nunca gases expandibles de la familia de los CFCS, HCFCs o HFCS agentes causantes de la degradación de la capa de ozono. Las perlas de poliestireno expandible se presentan en forma esférica con un diámetro que oscila en el intervalo de 0.2 – 3.0 mm y se tratan con diferentes aditivos para influir en las propiedades del material expandido. (*Construcción – EPS, 2007*)

### **2.3.2.1. PROCESO DE FABRICACIÓN**

Éste proceso sigue dos etapas:

#### **2.3.2.1.1. POLIMERIZACIÓN**

La polimerización consiste en la obtención de macromoléculas basadas en largas cadenas de la unidad básica o manómetro. En el caso del poliestireno expandible el monómero. La polimerización se realiza mediante suspensión en agua del estireno en unos reactores equipados con mecanismos agitadores que producen la división del estireno en pequeñas gotas suspendidas en el agua. Los reactores están recubiertos por una camisa de refrigeración/calefacción que permite regular la temperatura interna del reactor. Durante este proceso se utilizan además aditivos para los siguientes cometidos:

- Estabilización de la suspensión y regulación del diámetro de las perlas.
- Catalizadores para iniciar la reacción de polimerización.
- Adición de agentes ignifugantes (para las materias primas que requieren esta característica).

La reacción de polimerización es exotérmica y se desarrolla siguiendo su programa de temperaturas definido y cuando se alcanza una cierta tasa de conversión, varía según los diferentes procesos, el agente de expansión se introduce a presión. Al finalizar esta etapa se obtiene una mezcla de perlas de



poliestireno expandible y agua que es enviada a unos tanques de homogenización. (*Construcción-EPS, 2007*)

#### **2.3.2.1.2. SECADO Y ACABADO**

En la etapa de secado y acabado la mezcla anterior es secada por aire y por centrifugación y se traslada a una cierta altura para su posterior cribado a diferentes granulometrías ya que siempre existe una cierta dispersión en el diámetro de las perlas obtenidas, los diferentes tamizados se impregnan de estearatos, para mejorar su posterior transformación. Después de un almacenamiento intermedio en silos, la materia prima producida es envasada principalmente en contenedores de cartón recubiertos en su interior por una película plástica, aunque también pueden emplearse contenedores metálicos, el producto debe conservarse a una temperatura moderada (inferior a 20°C) para evitar lo volátil del agente expansor. (*Construcción-EPS, 2007*).

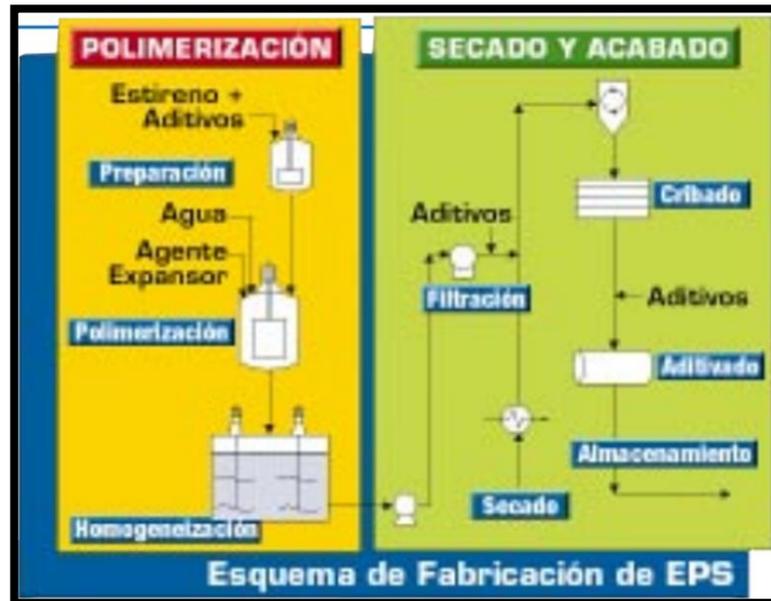


Figura N° 2.3. Proceso de Producción del Poliestireno Expandido

Fuente: *Construcción-EPS, 2007*



Figura N° 2.4. Poliestireno Expandido

Fuente: *Construcción-EPS, 2007*

### 2.3.3. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS

#### 2.3.3.1. GRANULOMETRIA

Los productos más finos con diámetros variables entre 0.20 y 0.10 mm son destinados principalmente para la fabricación de embalaje. Los productos más gruesos de 1.00 a 3.00 mm se utilizan para la producción de las placas de aislamiento térmico.



### **2.3.3.2. POTENCIAL EXPANSIÓN**

La naturaleza del polímero, el contenido de agente expandible y la presencia de ciertos aditivos permiten obtener productos con una densidad final más ajustada.

### **2.3.3.3. CADENCIA PARA EL MOLDEO**

Los aditivos y tratamientos superficiales permiten la obtención de productos cuyo ciclo de moldeo y desmoldeo puede ser corto.

### **2.3.3.4. AGENTES IGNIFUGANTES**

Cuando la aplicación lo requiera como en la construcción, esta materia prima puede tratarse con aditivos ignifugantes que mejoran notablemente sus propiedades de reacción al fuego.

### **2.3.3.5. BAJO CONTENIDO DE PENTANO**

El contenido habitual de pentano en el poliestireno expandible se sitúa alrededor del 6% al 7%. En los últimos años se han desarrollado materias primas con bajo contenido en pentano (4%) que son muy adecuados para la fabricación de piezas y bloques de densidad media-alta y con los que se consiguen reducciones en los tiempos de estabilización y en los ciclos de moldeo y desmoldeo. (*Construcción-EPS, 2007*).



**Figura N° 2.5. Perlas de Poliestireno Expandido**

Fuente: *Construcción-EPS, 2007*

#### **2.3.4. PROPIEDADES Y APLICACIONES**

Su cualidad más destacada es su higiene al no constituir sustratos nutritivos para microondas, es decir, no pudre, no enmohece ni se descompone, lo que lo convierte en un material idóneo para la venta de productos frescos. En los supermercados, lo encontramos fácilmente en forma de bandejas en las secciones de heladería, pescadería, carnicería, frutas y verduras.

Otras características del poliestireno expandido (EPS) es su ligereza, resistencia a la humedad y capacidad de absorción de los impactos. Esta última característica lo convierte en un excelente acondicionador de productos frágiles o delicados como electrónicos, también se utiliza para la construcción de tablas de surf, aunque normalmente éstas emplean poliuretano; el poliestireno es más ligero, lo que conlleva mayor flotabilidad y velocidad, pero menor flexibilidad.

Otra de las aplicaciones del poliestireno expandible (EPS) son las de construcción. Se usa tanto como material de aligeramiento y como aislante térmico en edificación y en obras civiles, utilizándose como tal en fachadas, cubiertas, suelo, etc., en Europa los productos aislantes térmicos están regulados por el Reglamento de Productos de la Construcción, bajo este reglamento es la norma EN 13163 la que regula la medición de sus propiedades para el mercado CE de cada producto. Los valores de conductividad térmica oscilan entre 0.041 y 0.029 w/mk, dependiendo del tipo de producto y fabricante. *(Wikipedia, 2017)*



**Figura N° 2.6. Poliestireno Expandible visto desde un microscopio**

Fuente: *Wikipedia, 2017*

### **2.3.5. FORMAS DE UTILIZACION DEL POLIESTIRENO**

El poliestireno expandible es transformado en artículos acabados de poliestireno expandido mediante un proceso que



consta de tres etapas; expansión, estabilización y moldeo.

*(Textos Científicos, 2005)*

#### **2.3.5.1. PRE-EXPANSION**

El poliestireno expandible, en forma de granos, se calienta en pre-expansores con vapor de agua a temperaturas situadas entre 80°C y 110°C aproximadamente, haciendo que el volumen aumente hasta 50 veces su volumen. Durante esta etapa son agitados continuamente, en esta etapa es donde la densidad final del EPS es determinada en función de la temperatura y del tiempo de exposición, la densidad aparente en este proceso varía de 630 kg/m<sup>3</sup> inicial a una densidad que oscila entre 10 – 30 kg/m<sup>3</sup>. Luego de la pre-expansión los granos expandidos son enfriados y secados antes de que sean transportados a silos.

*(Textos Científicos, 2005)*

#### **2.3.5.2. REPOSO INTERMEDIO Y ESTABILIZACION**

Durante la segunda etapa del proceso, los granos pre-expandidos que contienen 90% de aire, son estabilizados durante las 24 horas. Al enfriarse las partículas recién expandidas, en la primera etapa, se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad mecánica y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la siguiente etapa de transformación. Este proceso se desarrolla durante el reposo intermedio del material pre-



expandido en silos ventilados. Al mismo tiempo se sacan las perlas. (*Textos Científicos, 2005*)

### **2.3.5.3. EXPANSIÓN Y MOLDEO FINAL**

En esta etapa las perlas pre-expandidas y estabilizadas se transportan a unos moldes donde nuevamente se les inyecta vapor de agua y las perlas se sueldan entre sí. En esta operación, las perlas pre-expandidas se vierten en un molde agujereado en el fondo, la parte superior y los laterales, con el fin de que pueda circular el vapor. Las perlas se ablandan, el pentano se volatiliza y el vapor entra de nuevo en las cavidades. En consecuencia, las perlas se expanden y, como están comprimidas en el interior del volumen fijo del molde, se presionan entre si formando un bloque sólido, cuya densidad viene determinada en gran parte por el alcance de la expansión en la etapa inicial de pre-expansión. Durante la operación se aplican ciclos de calentamiento y enfriamiento, cuidadosamente seleccionados para el mejor equilibrio económico de la operación y para conseguir una densidad homogénea a través del bloque, así como una buena consolidación de los gránulos, buena apariencia externa del bloque y ausencia de combaduras.

En esta tercera etapa existen distintas alternativas, basadas en la forma que adquiere el producto final. Por un lado, se lo puede moldear en forma de grandes bloques que luego pueden ser cortados en forma de planchas. El corte se puede llevar a cabo



por medio de alambres calientes. Por otro lado, se puede moldear con la forma del envase final, es decir, con forma de recipiente de distintas características. Existen algunas empresas que cortan el EPS mediante sistemas computarizados, basándose en diseños hechos en AutoCAD. (*Textos Científicos, 2005*)

### **2.3.6. PROCESO DE FABRICACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS)**

En la vida diaria, las espumas de poliestireno expandido (EPS) son ampliamente utilizadas como material de embalaje, construcción y electrodomésticos, así como muchos otros. Por otro lado, los residuos de EPS han causado mucha contaminación ambiental porque no puede descomponerse en la naturaleza. La utilización de residuos de EPS en el concreto es más común. En investigaciones realizadas, se desarrolló un nuevo proceso de reciclado de las espumas de EPS de residuos mediante tratamiento térmico. Esta técnica reduce el volumen de residuo EPS hasta en 20 veces el tamaño original. Antes del tratamiento térmico, la densidad media, conductividad térmica y resistencia a la compresión de las espumas de EPS reciclado eran de 10 kg/m<sup>3</sup>, 0.0368 w/mk y 0.12 MPa, respectivamente. El mejor resultado de la modificación se determinó a 130°C por un lapso de 15 minutos. Después de la modificación, la densidad, conductividad térmica y resistencia a compresión del EPS



aumento en 217 kg/m<sup>3</sup>, 0.0555w/mk y 8.29 MPa respectivamente. Este nuevo material, que se obtiene después del tratamiento térmico, se denomina EPS modificado (MEPS). Durante años, las personas han estado tratando de mantener el medio ambiente limpio. Los estudios científicos nos proporcionan información sobre cómo podemos mantener el equilibrio natural de la vida, y el reciclaje tiene un papel principal en estos estudios. Debido a los desastres naturales o al aumento de la población y la urbanización, grandes cantidades de los materiales de desecho son producidos. Estos materiales de desecho incluyen hierro, madera, vidrio, cerámica, goma y EPS. Para hacer el reciclaje de estos diversos materiales productivos, debemos primero separarlos de acuerdo a sus tipos. De acuerdo a Topcu (1997) que es imposible de manejar simplemente a través de la mano de obra; los complejos centros de reciclaje necesitan ser establecidos.

Estas instalaciones deberían construirse en lugares que reciban daño pesado después de desastres naturales o que no puede encontrar materiales suficientes para producir menos capital que los otros costos.

En otro estudio, Hantila et al. (2007) estudió en las actuaciones de un separador de reciclaje de residuos con permanente imanes. En su estudio, se indicó que la separación es un



componente muy importante de la tecnología de reciclaje de residuos.

Vivian y Tam (2006) señalaron el aspecto económico y los beneficios ambientales que se obtienen del reciclaje de residuos son inmensos, ya que beneficiará tanto al medio ambiente como a industria de la construcción en términos de reducción de costos.

Las espumas EPS no modificadas tienen una microestructura celular con membranas de células cerradas hechas de poliestireno expandible (PS) y su densidad es típicamente inferior a 50 kg / m<sup>3</sup>. EPS es actualmente utilizado como material de embalaje o aislante en diversas industrias campos en el mundo. Se consume una gran cantidad de EPS, y está dispuesto como un desecho. Por otro lado, es bien sabido que los residuos de EPS han causado muchos problemas medioambientales, especialmente la contaminación del agua y la tierra, porque no puede estar descompuesto en la naturaleza. (**Abdulkadir & Demiborga, 2009**)



**Figura N° 2.7. Proceso de Producción de Poliestireno Expandido Modificado**

Fuente: *Abdulkadir & Demiborga, 2009*

Con el fin de investigar el cambio de densidad, conductividad y resistencia a la compresión, se prepararon en laboratorio una serie de secciones de cubos y placas de 50X50X50 mm y 300 mm, se cortaron muestras de tamaño de 200X35 mm de un material de embalaje de espuma de EPS (Figura N° 2.7a). Debido a la reducción al final del tratamiento térmico, todas las muestras de EPS fueron cortadas más grandes que las dimensiones estar del agregado normal. (Abdulkadir & Demiborga, 2009).

Todas las muestras EPS se expusieron a las diferentes temperaturas tales como 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C y 150°C durante 15, 30, 45, 60 y 120 min. en un horno eléctrico

controlado digitalmente. Es común reducir el volumen de EPS de residuos a 1/10 – 1/20 del tamaño original. Las formas del EPS luego del tratamiento térmico se muestran en las **Figuras N° 2.8 (b, c) y 2.9** Cuando un EPS residual es calentado a baja temperatura, se transforma de un estado de espuma a estado plástico. A temperaturas por encima de 130°C durante 15 min, el EPS se espumó. La variación de la densidad del EPS reciclado a diferentes temperaturas durante 15 minutos puede verse en la **Gráfico N° 2.1 y 2.2**, donde se aprecia el cambio de peso y volumen (%) de los especímenes tratados térmicamente a diferentes temperaturas. Los valores de cambio de peso se evaluaron de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Probabilidad de peso y volumen}(\%) = \frac{(m1 - m2)}{m2} * 100\%$$

Donde:

m1 y m2; son pesos o volumen de las muestras antes y después del tratamiento térmico.

Los cambios de peso de los especímenes se ven afectados por el aumento de las temperaturas de tratamiento térmico. La densidad de EPS fue casi constante hasta el 100°C durante 15 minutos. La variación de la densidad a esta temperatura se muestra en el **Gráfico N° 2.1** a partir de esto, puede verse que la densidad aumento conforme aumento la temperatura, se observó que a una temperatura de 120°C, la densidad de EPS



tuvo un mayor aumento, después el aumento de la densidad fue más lento. La máxima densidad se obtuvo a los 140°C, pero la estructura del MEPS fue completamente cambiada y los huecos interiores se llenaron de materia fundida. Al aumentar la temperatura la densidad fue constante o incluso disminuyó un poco. Después de 130°C, la densidad creciente del MEPS fue muy alta. La conclusión a la que se llegó es que la mejor temperatura y periodo de tiempo para obtener la mejor densidad del MEPS fue con 130°C durante 15 min., como se puede ver en el **Gráfico N°2.2**, el aumento de la temperatura conduce a la disminución gradual del volumen en todos los niveles de tiempo. En corto tiempo de aumento de temperatura conduce a una disminución gradual de volumen. Los cambios en el volumen debido a la temperatura de 20°C a 80°C durante 15 min fueron constantes. A los 100, 110, 120, 130, 140 y 150°C durante 15 min, volumen de los MEPS disminuyo respectivamente un 8%, 66%, 94%, 95%, 97% y 97% respectivamente. (**Abdulkadir & Demiborga, 2009**).

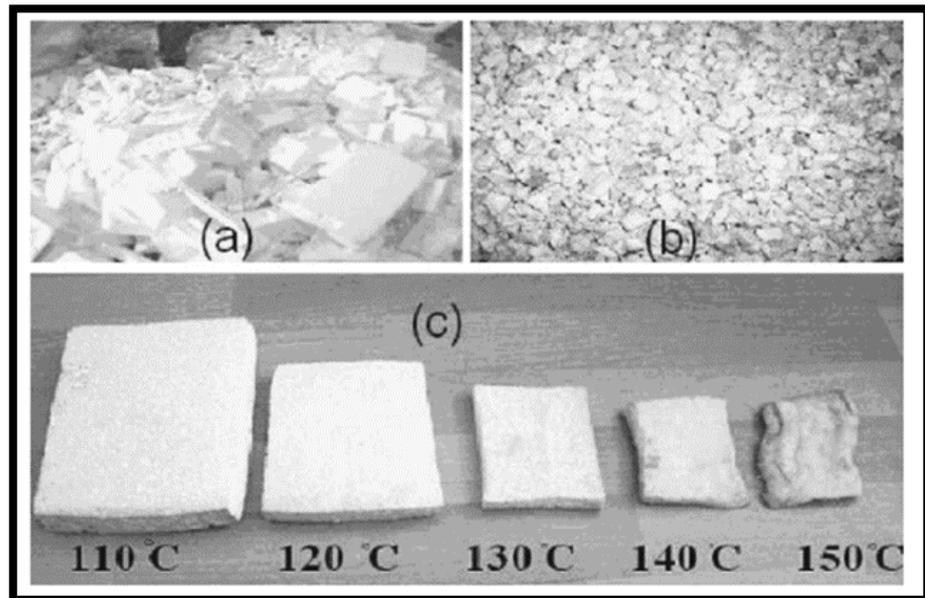


Figura N° 2.8. (a) EPS Reciclado, (b) EPS Desmenuzado, (c) Placas MEPS Luego de pasar por el Horno

Fuente: Abdulkadir & Demiborga, 2009

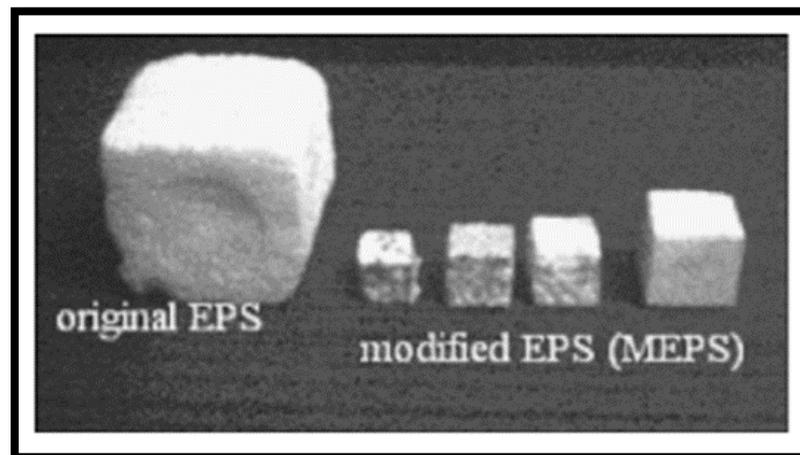
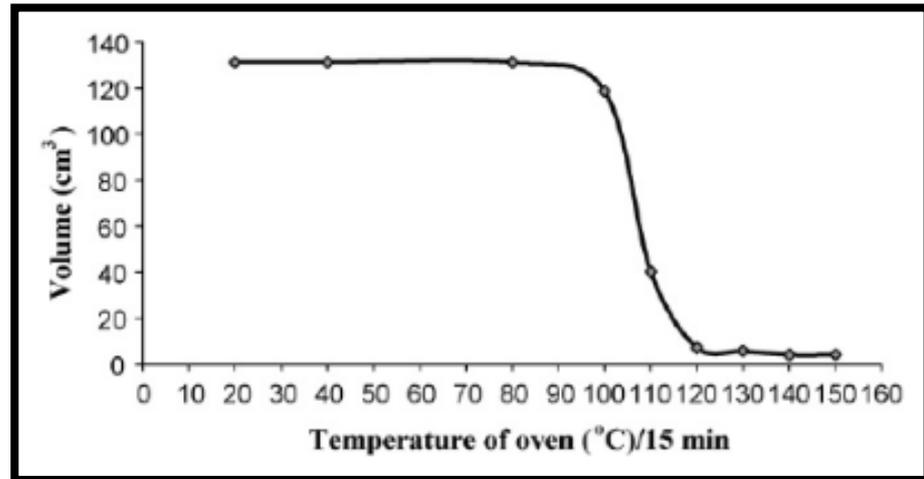


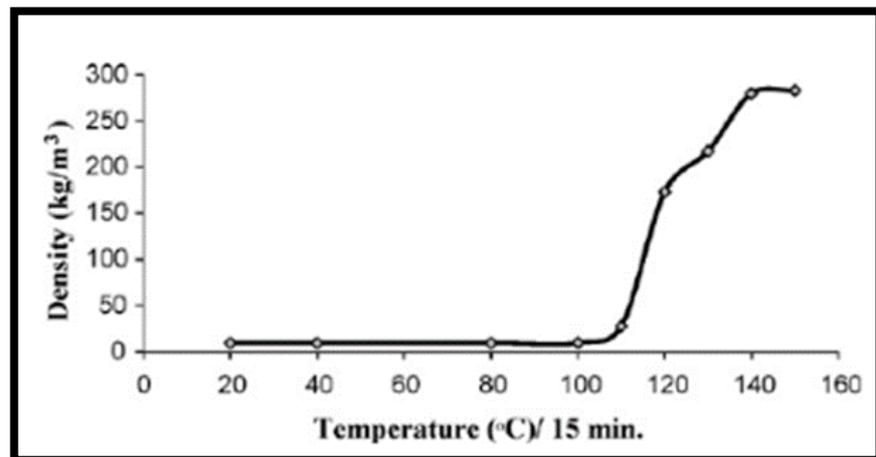
Figura N° 2.9. Formas deformadas de especímenes de espuma EPS, a diferentes tiempos y temperaturas

Fuente: Abdulkadir & Demiborga, 2009



**Gráfico N° 2.1. Cambio del Volumen de EPS Reciclado a diferentes temperaturas en horno durante 15 min**

Fuente: *Abdulkadir & Demiborga, 2009*



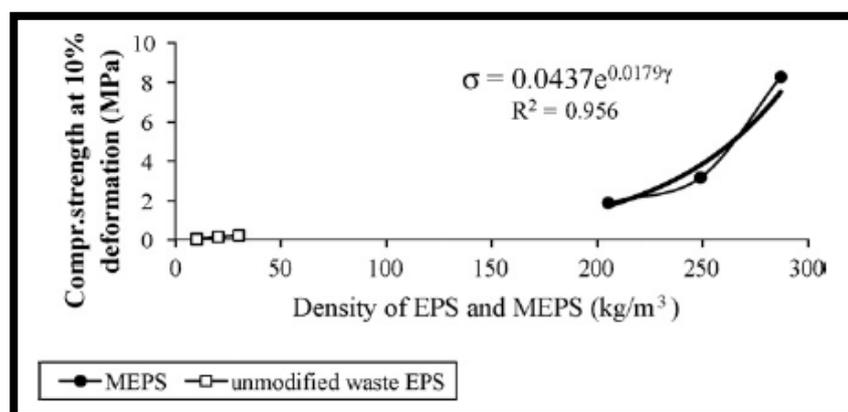
**Gráfico N° 2.18. Cambio de la Densidad de EPS Reciclado a diferentes temperaturas en horno durante 15 min**

Fuente: *Abdulkadir & Demiborga, 2009*

La resistencia a la compresión de las muestras después del tratamiento térmico se determinó sobre las muestras de MEPS cúbicas sometidas a pruebas de compresión uniaxiales estándar con 10% de deformaciones. Laukaitis et al. (2005) informaron que, cuando la deformación alcanza el 10%, se acepta la falla de las muestras de EPS. La siguiente ecuación calculó el cambio de la fuerza de compresión relativa.

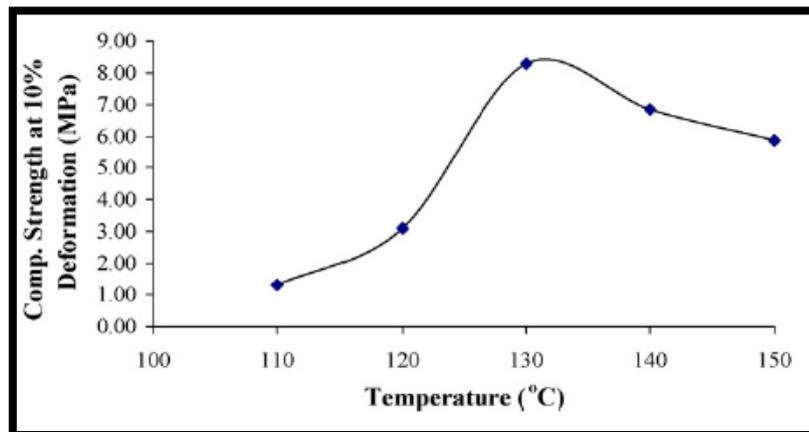
$$\sigma_R = \frac{\sigma_{MEPS}}{\sigma_{EPS}} \times 100$$

Donde  $\sigma_{EPS}$  es la resistencia a la compresión (MPa) antes del tratamiento térmico  $\sigma_{MEPS}$  es la resistencia a la compresión (MPa) después del tratamiento térmico. Los resultados de la prueba se presentan en los **Gráficos 2.3 y 2.4**. Como se puede ver en el **Gráfico 2.4**, la resistencia a la compresión aumentó con el aumento de la temperatura en todos los niveles de temperaturas expuestas. A 130 ° C, el porcentaje de incremento era 6900% y máximo. Después de porcentajes de incremento de 130 °C, la resistencia a la compresión de MEPS disminuyó con el aumento de la temperatura en comparación con el porcentaje de incremento de 130 °C. Esto puede deberse a la estructura frágil de MEPS a una temperatura más alta. (**Abdulkadir & Demiborga, 2009**).



**Gráfico N° 2.35. Cambio de Resistencia a la Compresión de EPS y MEPS.**

Fuente: *Abdulkadir & Demiborga, 2009*



**Gráfico N° 2.50. Cambio de la Resistencia a la Compresión de MEPS con temperatura.**

Fuente: *Abdulkadir & Demiborga, 2009*

Para el agregado de MEPS, la relación entre la densidad y la resistencia a la compresión sigue:

$$\sigma_{MEPS} = 0.0437e^{0.0179\gamma_{MEPS}} (MPa)$$

Donde  $\gamma_{MEPS}$ , es la densidad de los agregados de MEPS (Kg/m<sup>3</sup>) y  $\sigma_{MEPS}$  es su resistencia a la compresión luego del 10% de deformación (MPa).

El MEPS no absorbe el agua debido a su estructura interna, consistente en millones de células completamente cerradas con baja porosidad. La proporción de absorción del conjunto de MEPS fue calculada tanto por el peso como por métodos volumétricos en muestras de 4 a 16 mm, observándose que los valores de la absorción de MEPS son muy inferiores en comparación a la gran mayoría de agregados livianos (LWA). La

absorción de agua del conjunto de MEPS eran de 4.1 % (por el peso) y de 0.58 % (por volumen).

Propiedades	EPS	MEPS
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	10	217
Resistencia a Compresión (MPa)	0.12	8.29
Conductividad Térmica (W/mK)	0.0369	0.0555
Absorción Máxima % por Volumen	< 3	0.58

Tabla N° 2.7. Tabla comparativa de propiedades entre EPS y MEPS.

Fuente: Abdulkadir & Demiborga, 2009

### 2.3.6.1. DISPONIBILIDAD DE LOS MEPS DESPUÉS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Las perlas de EPS reciclado fueron obtenidas por desmenuzamiento mecánico, pasando primero por una trituración para luego pasar a una desintegración de perlas de EPS antes de ser expuesto al tratamiento térmico como se muestra en la **Figura N° 2.11**.



Figura N° 2.10. Reciclaje de EPS

Fuente: Elaboración Propia



**Figura N° 2.11. Desintegración Mecánica de EPS Reciclado**

Fuente: *Elaboración Propia*

Luego de la obtención de las perlas de EPS mediante desintegración mecánica, éstos fueron sometidos por acción térmica en horno a 130°C por un periodo de 15 minutos, para luego de este proceso obtener MEPS, cuya estructura es dura y quebradiza con lo cual el volumen del EPS se redujo a 1/20 del tamaño original, notando el aumento de su densidad. **(Abdulkadir & Demiborga, 2009).**



**Figura N° 2.12. Perlas de EPS Reciclado en el Horno antes de Tratamiento Térmico**

Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura N° 2.13. Perlas de EPS Reciclado Luego del Tratamiento Térmico**

Fuente: *Elaboración Propia*

## **2.4. DISEÑO DE MEZCLAS**

### **2.4.1. CONCEPTO**

El diseño de mezclas de concreto es un proceso que consiste en la selección de ingredientes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas para producir concreto con el grado requerido de manejabilidad,



que al endurecer a la velocidad apropiada adquiere propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen y apariencia.

## **2.4.2. CONSIDERACIONES BÁSICAS**

### **2.4.2.1. ECONOMIA**

El costo del concreto es la suma del costo de los materiales, la mano de obra empleada y el equipamiento. Sin embargo, excepto para algunos concretos especiales, el costo de la mano de obra y el equipamiento son muy independientes del tipo y calidad del concreto producido. Por lo tanto, los costos de los materiales son los más importantes y los que se deben tomar en cuenta para comprar mezclas diferentes. Debido a que el cemento es más costoso que los agregados, es claro que minimizar contenido de cemento en el concreto es el factor más importante para reducir el costo del concreto. En general, esto puede ser hecho del siguiente modo:

- Utilizando el menor slump que permita una adecuada colocación.
- Utilizando el mayor tamaño máximo del agregado.
- Utilizando una relación óptima del agregado grueso al agregado fino.

Y cuando sea necesario utilizando un aditivo conveniente.



Es necesario además señalar que, en adición al costo, hay otros beneficios relacionados con un bajo contenido de cemento. En general, las contracciones serán reducidas y habrá menor contenido de cemento, disminuirá la resistencia temprana del concreto y la uniformidad del concreto será considerada crítica.

La economía de un diseño de mezcla en particular también debería tener en cuenta el grado de control de calidad que se espera en obra. Debido a la variabilidad inherente del concreto, la resistencia promedio del concreto producido debe ser más alta que la resistencia a la compresión mínima especificada. Al menos en pequeñas obras, podría ser más barato “sobre diseñar” el concreto que implementar extensos controles de calidad que requerirá un concreto con una mejor relación costo - eficiencia.

#### **2.4.2.2. TRABAJABILIDAD**

Claramente un concreto apropiadamente diseñado debe permitir ser colocado y compactado apropiadamente con el equipamiento disponible. El acabado que permite el concreto debe ser requerido y la segregación y sangrado deben ser minimizados.

Como regla general el concreto debe ser suministrado con la trabajabilidad mínima permitida que permita una adecuada colocación. La cantidad de agua requerida por trabajabilidad



dependerá principalmente de las características de los agregados en lugar de las características del cemento.

Cuando la trabajabilidad debe ser mejorada, el rediseño de la mezcla debe consistir en incrementar la cantidad de mortero en lugar de incrementar simplemente agua y el material cementante. Debido a esto es esencial una cooperación entre el diseñador y el constructor para asegurar una buena mezcla de concreto. En algunos casos una mezcla económica podría ser la mejor solución. Y se deben prestar oídos sordos al frecuente pedido, en obra, de “más agua”.

#### **2.4.2.3. RESISTENCIA Y DURABILIDAD**

En general las especificaciones del concreto requerirán una resistencia mínima a la compresión. Estas especificaciones también podrían imponer limitaciones en la máxima relación agua/cemento ( $a/c$ ) y el contenido mínimo de cemento es importante asegurar que estos requisitos no sean mutuamente incompatibles.

Las especificaciones también podrían requerir que el concreto cumpla ciertos requisitos de durabilidad, tales como resistencia al congelamiento y deshielo o ataque químico. Estas consideraciones podrían establecer limitaciones adicionales en la reacción agua/cemento ( $a/c$ ), el contenido de cemento y en adición podría requerir el uso de aditivos.

Entonces, el proceso de diseño de mezcla, envuelve cumplir con todos los requisitos antes vistos. Así mismo debido a que no todos los requerimientos pueden ser optimizados simultáneamente, es necesario compensar unos con otros; por ejemplo, puede ser mejor emplear una dosificación que para determinar la cantidad de cemento no tiene mayor resistencia a la compresión pero que tiene una mayor trabajabilidad.

Finalmente debe ser recordado que incluso la mezcla perfecta no producirá un concreto apropiado si no se lleva a cabo procedimientos apropiados de colocación, acabado y curado.

### **2.4.3. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS**

- Análisis granulométrico de los agregados.
- Peso unitario compactado de los agregados (fino y grueso).
- Peso específico de los agregados (fino y grueso).
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso).
- Perfil y textura de los agregados.
- Tipo y marca del cemento.
- Peso específico del cemento.
- Relaciones entre la resistencia y la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

#### **2.4.3.1. PASOS PARA EL PROPORCIONAMIENTO**

Se puede resumir la secuencia del diseño de mezclas de la siguiente manera:



1. Estudio detallado de los planos y especificaciones técnicas de obra.
2. Elección de la resistencia promedio ( $f'c$ )
3. Elección del asentamiento (Slump)
4. Selección del tamaño máximo del agregado grueso
5. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire
6. Selección de la relación agua/cemento
7. Cálculo del contenido de cemento
8. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino
9. Ajustes por humedad y absorción
10. Cálculo de proporciones en peso.
11. Cálculo de proporciones en volumen
12. Cálculo de cantidades por tanda

#### **2.4.3.2. PASOS PARA DISEÑAR UNA MEZCLA DE CONCRETO**

##### **2.4.3.2.1. SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA PROMEDIO**

###### **➤ Cálculo de la desviación estándar**

###### Método 01

Si se posee un registro de resultados de ensayos de obra anteriores, deberá calcularse la desviación estándar.

- a. Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a aquellos que se espera en la obra que se va a iniciar.
- b. Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño ( $f'c$ ) que este dentro del rango de  $\pm 70$

kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia especificada para el trabajo que se va a iniciar.

Si se posee un registro de 3 ensayos consecutivos la desviación estándar se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}}$$

Donde:

S= Desviación estándar (kg/cm<sup>2</sup>)

X<sub>i</sub>= Resistencia de la probeta de concreto (kg/cm<sup>2</sup>)

X= Resistencia promedio de “n” probetas (kg/cm<sup>2</sup>)

n= Numero de ensayos consecutivos de resistencia

- c. Contar con por lo menos 30 ensayos consecutivos o don grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos.

Si se posee dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos un registro de 30 ensayos consecutivos, la desviación estándar promedio se calculará con la siguiente formula:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) * (S_1)^2 + (n_2 - 1) * (S_2)^2}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$

Donde:

S: Desviación estándar promedio (kg/cm<sup>2</sup>)

S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>: Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente (kg/cm<sup>2</sup>)

$n_1$ ,  $n_2$ : número de ensayos en cada grupo, respectivamente.

### Método 02

Si solo se posee un solo registro de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calculará la desviación estándar “S” correspondiente a dichos ensayos y se multiplicará por el factor de corrección indicado en la **Tabla N° 2.8**, para obtener el nuevo valor de “S”.

El registro de ensayos a que se hace referencia en este método deberá cumplir con los requisitos a) y b) del Método 01 y representar un registro de ensayos consecutivos que comprenda un periodo de no menos de 45 días calendario.

**Tabla N° 2.8. Tabla Factores de Corrección**

MUESTRAS	FACTOR DE CORRECCIÓN
menos de 15	usar TABLA N° 2.8
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

Fuente: ACI 211

### ➤ **Cálculo de la resistencia promedio requerida**

Una vez que la desviación estándar ha sido calculada, la resistencia a la compresión promedio requerida se obtiene como el mayor valor de las ecuaciones (1) y (2). La ecuación (1) proporciona una probabilidad de 1 en 100 que el promedio de tres ensayos consecutivos estará por debajo de la resistencia especificada. La ecuación (2) proporciona una probabilidad similar con ensayos individuales que estén 35 kg/m<sup>2</sup> por debajo de la resistencia especificada.

- a) Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a lo indicado en el *Método 01* o el *Método 02*, la resistencia promedio requerida será el mayor valor determinado por las fórmulas siguientes usando la desviación estándar “S” calculada.

$$f'_{cr} = f'c + 1.34S \dots \dots \dots (1)$$

$$f'_{cr} = f'c + 2.33S - 35 \dots (2)$$

Donde:

S: Desviación estándar (kg/cm<sup>2</sup>)

- b) Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizará la **Tabla N° 2.9**, para determinar la resistencia promedio requerida.

**Tabla N° 2.9. Resistencia a la Compresión Promedio**

<b>f'c</b>	<b>f'cr</b>
Menos de 210	f'c+70
210 a 350	f'c+84
Sobre 350	f'c+98

Fuente: ACI 211

➤ **Elección del asentamiento (Slump)**

Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la **Tabla N° 2.10**.

**Tabla N° 2.10. Consistencia y Asentamiento**

<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento</b>
Seca	0" (0 mm) a 2" (50 mm)
Plástica	3" (75 mm) a 4" (100 mm)
Fluida	≥5" (125 mm)

Fuente: ACI 211

Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizando la **Tabla N° 2.11** podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

**Tabla N° 2.11. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción**

Tipos de Construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto ciclópeo y masivo	5	2

Fuente: ACI 211

➤ **Selección del tamaño máximo del agregado**

Las normas de diseño estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso será el mayor económicamente posible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura.

El reglamento nacional de edificaciones (RNE) E.060 indica los tamaños máximos de agregado que se podrán utilizar según su uso.

- 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrado.
- 1/3 del peralte de la losa.



- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo.

El tamaño máximo nominal determinado aquí, será usado también como tamaño máximo simplemente.

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 40 mm (1 1/2"). En tamaños mayores, solo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.

➤ **Estimación del agua de mezclado y contenido de aire**

En la **Tabla N° 2.12**, preparada en base a las recomendaciones del comité del ACI 211, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

**Tabla N° 2.12. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados**

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en lt/m3 de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados							
	10 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	20 mm (3/4")	25 mm (1")	40 mm (1 1/2")	50 mm (2")	70 mm (3")	150 mm (6")
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>								
30 a 50 (1" a 2-2")	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>								
30 a 50 (1" a 2-2")	180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---



Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición	Exposición Suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Los valores del asentamiento para concreto con agregados más grandes que 40 mm (1 ½”) se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40 mm (1/2”) por tamizado húmedo.

Estos contenidos de agua de mezclado son valores máximos para agregado grueso angular y bien formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C33 O ITINTEC 400.337).

\*Para concretos que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40 mm (1 ½”) antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material meas pequeño que 40 mm (1 ½”) debe ser tabulado en la columna de 40 mm (1 ½”). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa.

\*\*Estos valores se banas en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de concreto.

Fuente: ACI 211

Como se observa, la **Tabla Nº 2.12** no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que, dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores.

Al mismo tiempo, podemos usar la **Tabla Nº 2.13** para calcular la cantidad de agua de mezcla tomando en consideración, además de la consistencia y tamaño máximo del agregado, el perfil del mismo. Los valores de la **Tabla Nº 2.13** corresponden a mezclas sin aire incorporado.

**Tabla N° 2.13. Contenido de agua de mezcla**

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto, expresado en lt/m <sup>3</sup> , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados					
		25 mm a 50 mm (1" - 2")		75 mm a 100 mm (3" - 4")		150 mm a 175 mm (6" - 7")	
		Agregado redondeado	Agregado angularo	Agregado redondeado	Agregado angularo	Agregado redondeado	Agregado angularo
mm.	pulg.						
9.5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25.4	1"	163	182	178	197	197	216
38.1	1 1/2"	155	170	170	185	185	204
50.8	2"	148	163	163	178	178	197
76.2	3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: ACI 211

La **Tabla 2.12** nos muestra también el volumen aproximado de aire atrapado, en porcentaje, a ser esperado en un concreto sin aire incorporado y los promedios recomendados del contenido de aire, en función del grado de exposición, para concretos con aire incorporado intencionalmente por razones de durabilidad a ciclos de congelamiento y deshielo, agua de mar o sulfatos.

Obtenidos los valores de cantidad de agua y de aire atrapado para un metro cubico de concreto se procede a calcular el volumen que ocupan dentro de la unidad de volumen de concreto:

$$Volumen\ de\ agua\ (m^3) = \frac{Contenido\ de\ agua\ de\ mezclado\ (\frac{lt}{m^3})}{Peso\ especifico\ del\ agua\ (1000\ \frac{kg}{m^3})}$$

➤ **Elección de la relación agua/cemento (a/c)**

Existen dos criterios (por resistencia y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores. Con lo cual garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones.

Es importante que la relación a/c seleccionada con base en la resistencia cumpla también con los requerimientos de durabilidad.

✓ *Por resistencia*

Para concretos preparados con cemento portland tipo I o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la **Tabla N° 2.14**.

**Tabla N° 2.14. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del cemento**

Resistencia a la compresión a los 28 días (f'c) (kg/cm <sup>2</sup> ) *	Relación Agua/Cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

*\*Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire mostrado en la **Tabla N° 2.11**. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire.*

**Fuente:** ACI 211

✓ *Por durabilidad:*

El reglamento nacional de edificación (RNE) E.060 prescribe que, si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con la **Tabla N° 2.15.**

**Tabla N° 2.15. Máxima relación agua/cemento permisible para concreto sometido a condiciones especiales de exposición**

Condiciones de Exposición	Relación agua/cemento máximo
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda	
a) sardineles, cunetas, secciones delgadas	0.45
b) Otros elementos	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm	0.45

(\*) La resistencia  $f_c$  no deberá ser menor de 245 kg/cm<sup>2</sup> por razones de durabilidad

Fuente: ACI 211

➤ **Cálculo de contenido de cemento**

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c. sin embargo es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínima. Tales requerimientos podrían ser especificados para asegurar un acabado satisfactorio, determinada calidad de la superficie vertical de los elementos o trabajabilidad.

$$\begin{aligned} & \text{Contenido de cemento} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \\ &= \frac{\text{Contenido de agua de mezclado} \left( \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Relación} \frac{a}{c} \text{ (para } f'_{cr} \text{)}} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de cemento (kg)}}{\text{Peso específico del cemento} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

➤ **Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino**

✓ *Método de Fuller:*

$$P_d = 100 \sqrt{d/D}$$

*Donde:*

*P<sub>d</sub>: % que pasa por la malla d*

*D: abertura de la malla de referencia*

*D: tamaño máximo del agregado grueso*

La relación arena/agregado, el volumen absoluto, se determina gráficamente:

- Se dibuja las curvas granulométricas de los 2 agregados

- En el mismo papel, se dibuja la parábola de Fuller (Ley de Fuller)
- Por la malla N° 4 trazamos una vertical la cual determinará en las curvas trazadas 3 puntos.

A= % agregado fino que pasa por la malla N° 4

B= % agregado grueso que pasa por la malla N° 4

C= % agregado ideal que pasa por la malla N° 4

Si llamamos:

A: % en volumen absoluto del agregado fino dentro de la mezcla de agregados

B: % en volumen absoluto del agregado grueso dentro de la mezcla de agregados.

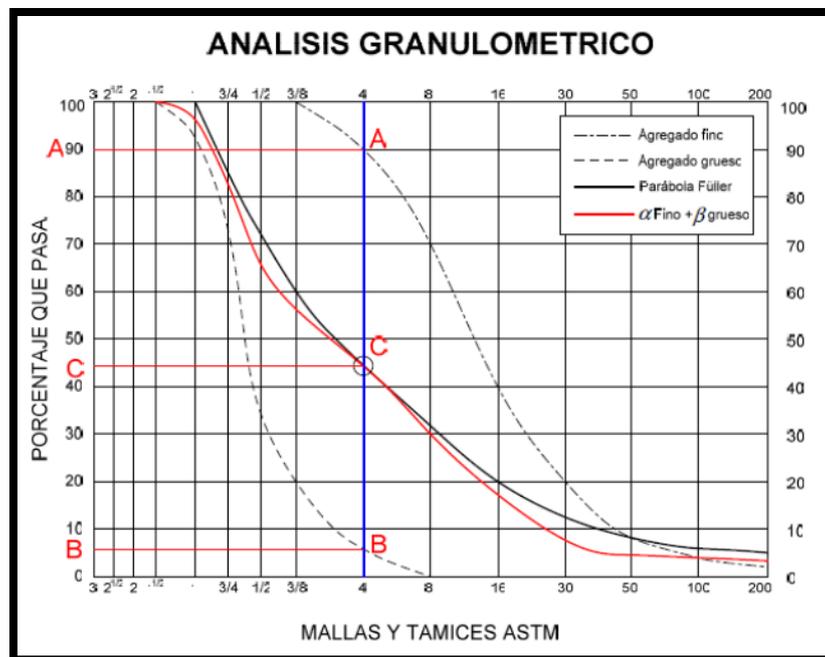


Figura N° 2.14. Proporción de agregados. Método de Fuller

Fuente: ACI 211

La Figura N° 2.14 nos muestra un ejemplo de la determinación de las proporciones de agregado fino y

agregado grueso en relación al volumen total de agregados por metro cubico de concreto.

$$\alpha = \frac{C - B}{A - B} * 100$$

$$\beta = 100 - \alpha$$

Teniendo los valores de A y B podemos calcular el volumen de agregado fino y agregado grueso por metro cubico de concreto, de la siguiente manera:

$$\text{Vol. total de agregados} = 1 - (\text{vol. agua} + \text{vol. aire} + \text{vol. cemento})$$

$$\text{Vol. agregado fino (m3)} = \frac{\alpha}{100} * \text{vol. total de agregados (m3)}$$

$$\text{Vol. agregado grueso (m3)} = \frac{\beta}{100} * \text{vol. total de agregados (m3)}$$

Obtenidos los volúmenes de agregado fino y grueso dentro de un metro cubico de concreto, calculamos los pesos de agregado fino y grueso para un metro cubico de concreto:

$$\text{Peso agregado fino} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = (\text{vol. agregado fino}) (\text{Peso especifico del ag. fino})$$

$$\text{Peso agregado grueso} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = (\text{vol. agregado grueso}) (\text{Peso especifico del ag. grueso})$$

✓ *Método del Comité ACI 211:*

Se determina el contenido de agregado grueso mediante la **Tabla N° 2.16**, elaborada por el comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. Con la siguiente tabla se permite obtener un coeficiente  $b/b_0$  resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg/m<sup>3</sup>.



**Tabla N° 2.16. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto**

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino			
		MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
mm.	pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

(\*) Los volúmenes de agregado grueso mostrados, está en condición seca y compactada, tal como se describe en la norma ASTM C29.

Estos volúmenes han sido seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concretos con un grado adecuado de trabajabilidad para construcciones armadas usuales.

Para concretos menos trabajables, tales como el requerido en la construcción de pavimentos, pueden incrementarse los valores en 10% aproximadamente.

Para concretos más trabajables, tales como los que pueden requerirse cuando la colocación es hecha por bombeo, los valores pueden reducirse hasta en un 10%

**Fuente:** ACI 211

Obtenido  $b/b_0$  procedemos a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cubico de concreto, de la siguiente manera:

$$\text{Peso seco del A. Grueso} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{b}{b_0} * (\text{Peso unitario compactado del A. Grueso})$$

Entonces los volúmenes de los agregados gruesos y finos serán:

$$\text{Vol. agregado grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco del A. Grueso}}{\text{Peso especifico del A. Grueso}}$$

$$\text{Vol agregado fino (m}^3\text{)} = 1 - (\text{vol. agua} + \text{vol. aire} + \text{vol. cemento} + \text{vol. ag. grueso})$$

Por consiguiente, el peso seco del agregado fino será:

$$\text{Peso del agregado fino } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = (\text{vol. ag. fino})(\text{peso especifico del agregado fino})$$

### ➤ **Ajustes por humedad y absorción**

El contenido de agua añadida para formar la pasta será afectado por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos al aire absorberán agua y disminuirá la relación a/c y la trabajabilidad. Por otro lado, si ellos tienen humedad libre en su superficie (agregados mojados) aportaran algo de esta agua a la pasta aumentando la relación a/c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a la compresión. Por lo tanto, estos efectos deben ser tomados estimados y la mezcla debe ser ajustada tomándolos en cuenta.

Por lo tanto, si:

$$\text{Agregado Grueso} \begin{cases} \text{Humedad} = \%Wg \\ \% \text{ absorcion} = \%ag \end{cases}$$

$$\text{Agregado Fino} \begin{cases} \text{Humedad} = \%Wf \\ \% \text{ absorcion} = \%af \end{cases}$$

Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso A. grueso húmedo (kg)} = (\text{Peso A. grueso seco}) * \left(1 + \frac{\%Wg}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo (kg)} = (\text{Peso A. fino seco}) * \left(1 + \frac{\%Wf}{100}\right)$$

Agua efectiva:

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{Peso A. grueso seco}) * \left(\frac{\%Wg - \%Ag}{100}\right) = X$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{Peso A. fino seco}) * \left( \frac{\%Wf - \%Af}{100} \right) = Y$$

$$\text{Agua Efectiva (lts)} = \text{Aguade diseño} - (X + Y)$$

➤ **Cálculo de las proporciones en peso**

*Cemento: Agregado fino: Agregado grueso/Agua*

$$\frac{\text{peso cemento}}{\text{Peso cemento}} : \frac{\text{Agregado fino}}{\text{peso cemento}} : \frac{\text{Agregado grueso}}{\text{peso cemento}} / \frac{\text{Agua}}{\text{peso cemento}}$$

➤ **Cálculo de las proporciones en volumen**

✓ Datos Necesarios

- Peso unitario suelto del cemento.
- Pesos unitarios sueltos de los agregados fino y grueso (en condición de humedad a la que se ha determinado la dosificación en peso).

$$\text{Cemento: Vol. Cemento}(m^3) = \frac{\text{Peso cemento (kg)}}{\text{P. U. cemento } \left( \frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$\text{Agregado fino: Vol. A. Fino}(m^3) = \frac{\text{Peso A. Fino húmedo (kg)}}{\text{P. U. A. fino húmedo } \left( \frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$\text{Agregado grueso: Vol. A. grueso}(m^3) = \frac{\text{Peso A. grueso húmedo (kg)}}{\text{P. U. A. grueso húmedo } \left( \frac{kg}{m^3} \right)}$$

En caso del agua, éste se calculará en litros por bolsa de cemento (lt/bls), de la siguiente manera:

$$\text{Agua } \left( \frac{\text{lts}}{\text{bls}} \right) = \frac{\text{Cantidad de agua por } m^3 \text{ de } C^o}{\left( \frac{\text{Peso cemento por } m^3 \text{ de } C^o}{\text{Peso cemento por bolsa (42.5 kg)}} \right)}$$

Proporciones en volumen:

$$\text{Cemento: Agregado fino: Agregado grueso / Agua } \left( \frac{\text{lts}}{\text{bls}} \right)$$

$$\frac{\text{vol. cemento}}{\text{vol. cemento}} : \frac{\text{vol. A. fino}}{\text{vol. cemento}} : \frac{\text{vol. A. grueso}}{\text{vol. cemento}} / \text{Agua} \left( \frac{\text{lbs}}{\text{bls}} \right)$$
$$C : F : G / A$$

➤ **Cálculo de cantidad por tanda**

✓ Datos Necesarios

- Capacidad de la mezcladora
- Proporciones en volumen

✓ Cantidad de bolsas de cemento requerido

$$\text{Cant. de bls requerida} = \frac{(\text{Capacidad mezcladora (pie}^3\text{)})(0.0283\text{m}^3)(\text{Peso cemento(kg)})}{\text{Peso cemento por bolsa}}$$

➤ **Eficiencia de la mezcladora**

Debido a que la mezcladora debe ser abastecida por un número entero de bolsas de cemento, la cantidad de bolsas de cemento por tanda será igual a un número entero menor a la cantidad de bolsas requerida por la mezcladora.

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Cantidad de bolsas de cemento por tanda}}{\text{Cantidad de bolsas requerido}} * 100$$

➤ **Volumen de concreto por tanda**

$$\text{Vol. de C}^{\circ} \text{ por tanda} = (\text{Capacidad mezcladora (pie}^3\text{)})(0.0283\text{m}^3) \left( \frac{\text{Eficiencia (\%)}}{100} \right)$$

➤ **Cantidades de materiales por tanda**

Teniendo las proporciones en volumen (C: F: G/A), calculamos las cantidades de materiales por tanda.

- Cemento:  $1 \times 2 = 2$  bolsas
- Agregado fino:  $F \times 2 =$  Cantidad de A. fino en  $m^3$
- Agregado grueso:  $G \times 2 =$  Cantidad de A. grueso en  $m^3$
- Agua:  $A \times 2 =$  Cantidad de agua en lts

#### **2.4.3.2.2. SECUENCIA DE DISEÑO DE MEZCLA, MÉTODO ACI 211**

Este procedimiento propuesto por el Comité ACI 211, está basado en el empleo de tablas:

Secuencia:

1. Selección de la resistencia promedio ( $f'c$ )

$$f'_{cr} = f'c + 1.33S$$

$$f'_{cr} = f'c + 2.33S - 35$$

Donde:

*S*: desviación estándar ( $kg/m^2$ )

2. Selección del TMN del agregado grueso. (ver tabla N° 2.15)
3. Selección del asentamiento. (ver tabla N° 2.11)
4. Selección del contenido de agua. (Ver tabla N° 2.12)
5. Seleccionar el contenido de aire atrapado. (Ver tabla N° 2.11)
6. Seleccionar la relación agua/cemento. (Ver tabla N° 2.13)
7. Cálculo del contenido de cemento.

8. Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.
9. Ajustes por humedad y absorción.
10. Cálculo de las proporciones en peso.
11. Cálculo de las proporciones en peso.
12. Cálculos de las cantidades por tanda.

### **2.4.3.3. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DEL CONCRETO (MTC E702)**

#### **2.4.3.3.1. MEZCLA DE CONCRETO:**

La mezcla de concreto debe ser tal que deje un 10% de residuo después de haber moldeado el espécimen de ensayo.

✓ Mezcla con maquinaria: antes que empiece la rotación de la mezcladora se debe introducir agregado grueso con algo de agua que se use en la mezcla y la solución del aditivo cuando esta se requiera. Se pone en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unas cuantas revoluciones se adicionan el agregado fino, cemento y agua con la mezcladora en funcionamiento.

Seguidamente se debe mezclar el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estén en la mezcladora. Se apaga la mezcladora durante 3 minutos y se pone en funcionamiento nuevamente por 2 minutos de agitación final.



Se debe cubrir el extremo abierto de mezcladora para evitar la evaporación durante el periodo de reposo.

Se debe restituir todo el mortero que se pierda por adhesión a la mezcladora, para conservar las proporciones de diseño, aunque es difícil recobrar todo el mortero impregnado en las partes de las mezcladoras. Para compensar esta dificultad, se puede seguir uno de los procedimientos siguientes para asegurar las proporciones finales correctas en la en la mezcla.

1. Embadurnando la mezcladora: Justo antes de mezclar la bachada, la mezcladora es “embadurnada” mezclando una bachada proporcionada de tal forma que simule cercanamente la bachada del ensayo. El mortero que se adhiera a la mezcladora después de descargar la bachada intenta compensar la pérdida de mortero de la bachada del ensayo.
2. Sobre proporcionamiento de la mezcla: La mezcla de ensayo se proporciona con una cantidad de mortero en exceso, cantidad estimada de antemano, que pretende compensar en promedio, aquella que se quede adherida a la mezcladora. En este caso, el tambor es limpiado antes de mezclar la bachada de ensayo.

### 2.4.3.3.2. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DEL CONCRETO (MTC E705, NTP 339.035, ASTM C 143)

➤ **Materiales:**

- ✓ Molde; debe ser metálico, inatacable por el concreto, con espesor de lámina no inferior a 1.14 mm (0.045”). su forma interior debe ser la superficie lateral de un tronco de cono de  $203\pm 2\text{mm}$  ( $4'' \pm 1/8''$ ) de diámetro en la base menor y  $305\pm 2\text{mm}$  ( $12'' \pm 1/8''$ ) de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debe estar provisto de agarraderas y de dispositivos para sujetarlo con los pies. El interior del molde debe estar libre de abolladuras, ser liso y sin protuberancias.



**Figura N° 2.15. Cono de Abrams, material para el ensayo del asentamiento del concreto**

Fuente: *Materiales de construcción/María Gonzales*

- ✓ Varilla compactadora; debe ser de hierro liso, cilíndrica, de 16 mm ( $5/8''$ ) de diámetro y de longitud aproximada de 600 mm ( $24''$ ); el extremo compactador debe ser hemisférico con radio de 8 mm ( $5/16''$ ).



**Figura N° 2.16. Varilla compactadora**

Fuente: *Materiales de construcción/María Gonzales*

➤ **Procedimiento:**

- ✓ Se humedece el molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda y no absorbente. Se sujeta firmemente con los pies y se llena con la muestra de concreto en tres capas, cada una de ellas de un tercio del volumen del molde, aproximadamente.

Un tercio del volumen del molde corresponde, aproximadamente, a una altura de 67 mm; dos tercios del volumen corresponden a una altura de 155 mm.

- ✓ Cada capa debe compactarse con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal. Para la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla dando aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y avanzando con golpes verticales en forma de espiral, hacia al centro. La capa del fondo se debe compactar en todo su espesor; las capas intermedia y superior en su espesor respectivo, de modo que la varilla penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior.
- ✓ Al llenar la capa superior debe apilar concreto sobre el molde antes de compactar. Si al hacerlo se asienta por debajo del borde superior, se debe agregar concreto adicional para que

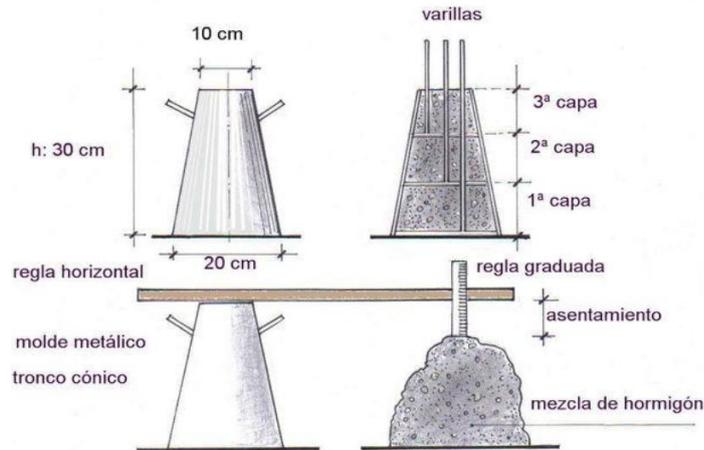


en todo momento haya concreto sobre el molde. Después que la última capa ha sido compactada se debe alisar a ras la superficie del concreto. Inmediatamente el molde es retirado, alzándolo cuidadosamente en dirección vertical.

El concreto del área que rodea la base del cono debe ser removido para prevenir interferencia con el proceso de asentamiento. El alzado del molde debe hacerse en un tiempo aproximado de  $5 \pm 2$  segundos, mediante un movimiento uniforme hacia arriba, sin que se imparta movimiento lateral o de torsión al concreto.

La operación completa, desde que se comienza a llenar el molde hasta que se retira, se debe hacer sin interrupción en un tiempo máximo de 2 minutos 30 segundos.

- ✓ Inmediatamente después, se mide el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del espécimen.
- ✓ Si ocurre un derrumbamiento pronunciado o desprendimiento del concreto hacia un lado del espécimen, se debe repetir el ensayo sobre otra porción de la muestra. Si dos ensayos consecutivos sobre una muestra de concreto dan este resultado, el concreto carece probablemente de la plasticidad y cohesión necesarias para que el ensayo de asentamiento sea aplicable.



**Figura N° 2.17. Procedimiento para medir el asentamiento del concreto**

Fuente: *Tecnología del concreto/Sánchez Guzmán*

La tolerancia del asentamiento del concreto se muestra a continuación de acuerdo a la **NTP 339.114**, como se muestra en la **Tabla N°2.17**.

**Tabla N° 2.17. Cono de Abrams, material para el ensayo del asentamiento del concreto**

Especificaciones		Tolerancias
Asentamiento nominal	2" (50 mm) y menos	± ½" (15mm)
	2" a 4" (50 mm a 100 mm)	± 1" (25mm)
	Más de 4" (100 mm)	± 1½" (40mm)
Asentamiento "máximo" o "no debe exceder"	3" (75 mm) o menos	En exceso 0° (0mm)
		En defecto 1 ½" (40mm)
	Más que 3" (75 mm)	En exceso 0° (0 mm)
		En defecto 2 ½" (65 mm)
Tiempo de conversación en estos rangos (responsabilidad del productor)		30 min. desde llegada a obra

Fuente: *NTP 339.114*

### **2.4.3.3.3. ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECIMENES DE HORMIGÓN (CONCRETO) EN EL LABORATORIO (MTC E 702, NTP 339.033, ASTM C 31)**

#### ➤ **Materiales y Equipos**

- ✓ Moldes cilíndricos
- ✓ Varilla compactadora
- ✓ Mazo de goma (0.57 kg ± 0.23 kg)
- ✓ Pala, plancha de albañil, regla para enrasar
- ✓ Carretilla u otro recipiente para muestreo y remezclado

#### ➤ **Procedimiento:**

- ✓ Se debe moldear los especímenes lo más cerca posible al lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Los moldes se llevarán al depósito inmediatamente después de su elaboración y se colocarán sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. Durante el transporte, se deben evitar sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.
- ✓ El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un palustre o utensilio similar. Se debe seleccionar cada palada de concreto de tal manera que sea representativa de la bachada; además, la mezcla de concreto en el recipiente se debe mezclar continuamente durante el moldeo de los especímenes, con el objeto de prevenir la segregación. En la colocación de la capa final se debe intentar colocar una capa de concreto que complete exactamente el relleno del molde. No se permitirá la adición de muestras que no sean representativas del concreto dentro de un molde insuficientemente llenado.

- ✓ El número de capas con el cual se fabrica el espécimen debe ser el especificado en la **Tabla N° 2.18**.

**Tabla N° 2.18. Número de capas requerida en la elaboración de la muestra**

Tipo de tamaño de la muestra mm (pulgadas)	Método de compactación	Número de capas	Altura aproximada de la capa mm (pulgadas)
<b>CILINDROS</b>			
Hasta 300 (12)	Apisonado (varillado)	3 iguales	100 (4)
Mayor que 300 (12)	Apisonado (varillado)	Las requeridas	
Hasta 460 (18)	Vibración	2 iguales	200 (8)
Mayor que 460 (18)	Vibración	3 o más	
<b>PRISMAS</b>			
Hasta 200 (8)	Apisonado (varillado)	2 iguales	100 (4)
Mayor que 200 (8)	Apisonado (varillado)	3 o más	
Hasta 200 (8)	Vibración	1	200 (8) c 172
Mayor que 200 (8)	Vibración	2 o más	

Fuente: MTC E 702 2016

- ✓ El apisonado varillado, se coloca el concreto en el molde con el número de capas requeridas manteniendo el mismo volumen en cada una de las capas como se indica en la **Tabla N° 2.18**; se apisona cada capa con la parte redondeada de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varillado especificados en la **Tabla N° 2.19**; la capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde. En cada capa superior a la inicial se debe atravesar aproximadamente en

12mm (1/2”) la capa anterior cuando la profundidad es menor a 100 mm (4”), y se profundizará 25 mm (1”) cuando la profundidad es mayor a 100 mm (4”). En caso de dejar algún hueco por el varillado se debe golpear ligeramente los lados del molde para cerrar dichos huecos. En elementos prismáticos se introducirá el badilejo por los lados y extremos luego de apisonar cada capa.

- ✓ Vibración, se debe mantener un mismo tiempo de vibrado para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se use. La vibración se debe transmitir al cilindro durante el tiempo suficiente para lograr una adecuada compactación del concreto, pues un exceso de vibrado causaría segregación. El concreto se debe colocar antes de iniciar con el vibrado. El tiempo de vibrado depende de la manejabilidad del concreto y la efectividad del vibrador. Se considera suficiente el vibrado, cuando el concreto presente una superficie relativamente lisa.

**Tabla N° 2.19. Diámetro de carilla y número de golpes por capa**

<b>CILINDROS</b>		
Diámetro del cilindro en mm (pulgadas)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por capa
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
<b>VIGAS Y PRISMAS</b>		

Área de la superficie superior de la muestra en cm <sup>2</sup> (pulg <sup>2</sup> )	Diámetro de varilla en mm (pulgada)	Número de golpes por capa
160 (25)	10 (3/8)	25
165 (26) a 310 (49)	10 (3/8)	1 por cada 7 cm <sup>2</sup> (1 pulg <sup>2</sup> ) de área
320 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 14 cm <sup>2</sup> (2 pulg <sup>2</sup> ) de área

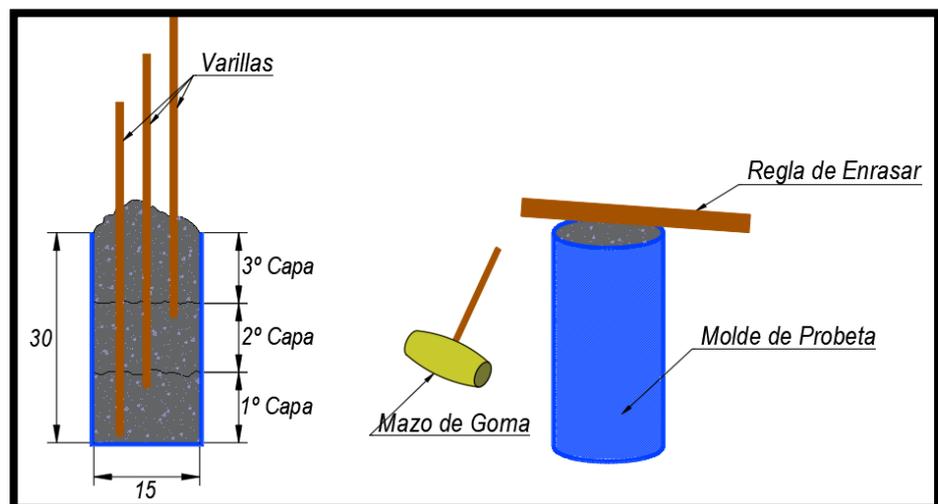
Fuente: MTC E 702 2016

- ✓ Acabado, después de la compactación, se debe efectuar el acabado de la superficie por medio de golpes con la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita o con un badilejo o llana de madera. Si se desea, puede colocarse una capa de pasta de cemento sobre el espécimen a manera de refrentado (capping).
- ✓ Curado, para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos deben ser cubiertos inmediatamente después con una platina no reactiva al concreto, o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se puede usar una lona húmeda para el cubrimiento de la muestra, pero se evitará el contacto directo entre el concreto y la lona, quien debe permanecer húmeda las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.
- ✓ Extracción de la muestra, debe ser removida de su molde en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando se empleen aditivos.
- ✓ Ambiente de curado, a menos que se especifique otra cosa, los testigos se deben mantener en condiciones de humedad con temperatura de 23°C ± 2°C desde el momento del moldeo hasta el momento del ensayo.

El almacenamiento durante las 48 horas de curado debe hacerse en un lugar libre de vibraciones y húmedo, lográndose esto mediante la inmersión de la muestra en agua. Se permite lograr la condición de humedad por el almacenamiento en un cuarto húmedo.

No debe exponerse los especímenes a condiciones de goteo o corrientes de agua.

Debe evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.



**Figura N° 2.18. Procedimiento para la obtención de testigos de concreto**

Fuente: *Elaboración Propia*

#### 2.4.3.4. ENSAYO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO

##### 2.4.3.4.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MTC E 704, NTP 339.034, ASTM C 39)

➤ **Materiales y Equipos**

- ✓ Máquina de ensayo

➤ **Procedimiento**

- ✓ El ensayo de compresión de muestras curadas en agua se debe hacer inmediatamente después de que éstas han sido removidas del lugar de curado.
- ✓ Las muestras deben mantenerse húmedas usando cualquier método conveniente, durante el tiempo transcurrido desde su retiro de la piscina de curado hasta cuando son ensayados.
- ✓ Todos los especímenes de una edad determinada, se deben romper dentro de las tolerancias indicadas en la **Tabla N° 2.20**.

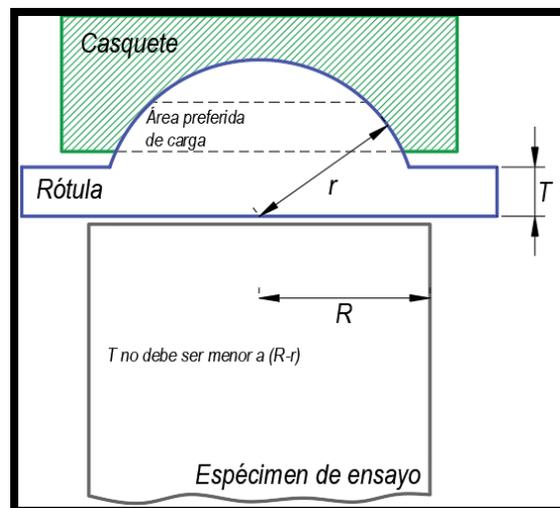
**Tabla N° 2.20. Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes**

Edad de Curado	Tolerancia para Ensayo
12 horas	0.25 horas o 2.1%
24 horas	0.5 horas o 2.1%
3 días	2 horas ó 2.28%
7 días	6 horas ó 3.6%
28 días	20 horas ó 3.0%
56 días	40 horas ó 3.0%
90 días	48 horas ó 2.2%

Fuente: MTC E 704 2016

### ➤ Preparación de la Muestra

- ✓ La muestra no se debe ensayar si cualquier diámetro individual del cilindro difiere del otro diámetro en 2%; esto puede ocurrir cuando uno de los moldes sea dañado o deformado durante su transporte, cuando se usen moldes flexibles que se puedan deformar durante el moldeo, o cuando una muestra del núcleo se tuerza durante el proceso de perforación.
- ✓ Si el radio de la rótula es menor que el radio de la probeta a ser ensayada la porción de la cara de rotula y el radio de la probeta. La menor dimensión de la cara de rotura será al menos de la misma dimensión que el diámetro de la misma, como ser muestra en la **Figura N° 2.19**.

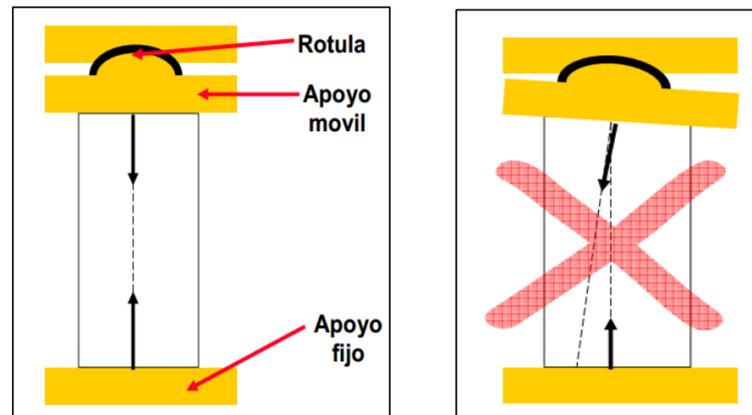


**Figura N° 2.19. Esquema de bloque de carga típica con rótula**

**Nota:** Se debe tener cuidado para sostener la rótula en la concavidad y para sostener la unidad entera en la máquina de ensayo

Fuente: MTC E 704 2016

- ✓ Colocación de la muestra; se coloca el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior, alineándose directamente con el centro de presión del bloque superior como se muestra en la **Figura N° 2.20**.

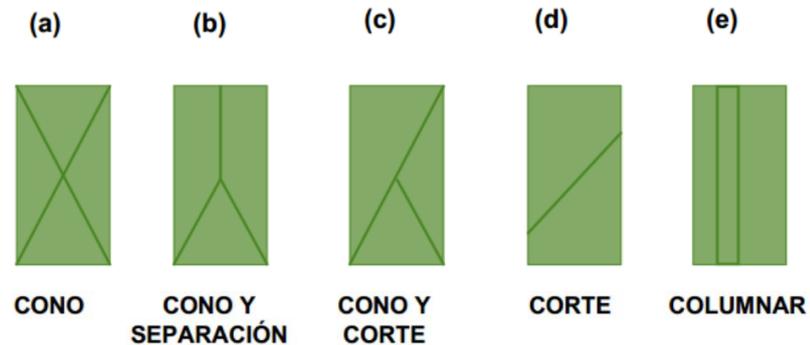


**Figura N° 2.20. Muestra de la rotura correcta e incorrecta del testigo de concreto**

*Fuente: Control de calidad del concreto/Luis Alvarado*

- ✓ Velocidad de carga; la carga se aplicará a una velocidad de movimiento comprendida en el rango de  $0.25 \pm 0.05$  MPa (35  $\pm$  7 psi/s), la velocidad escogida debe mantenerse por lo menos durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista, pero no se deberá ajustar la velocidad de movimiento de la carga en lo que se está alcanzando la carga última. Se permite durante la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad mayor, siempre que ésta se controle para evitar carga de impacto.
- ✓ Se aplica la carga hasta que el indicador muestre que ésta comienza a decrecer y si observe un patrón de falla similar al de la **Figura N° 2.21**, cuando se usen cilindros sin refrentar, puede ocurrir fracturas en las esquinas de los testigos antes de alcanzar la carga última; en este caso se deberá continuar

con la compresión hasta que se tenga la certeza de que se alcanzó la carga última.



**Figura N° 2.21. Esquema de los tipos de falla**

Fuente: MTC E 704 2016

### ➤ Cálculos

- ✓ La resistencia a la compresión se determina dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, por el promedio del área de la sección transversal, expresando el resultado con aproximación a 0.1 MPa (10 psi).
- ✓ Si la relación entre la longitud del espécimen y su diámetro es 1.75 o menor, se deberá corregir el resultado multiplicando por el factor de corrección apropiado mostrado en la **Tabla N° 2.21**.

**Tabla N° 2.21. Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes**

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor	0.98	0.96	0.93	0.87

Fuente: MTC E 704 2016

### ➤ Precisión

- ✓ La precisión de los ensayos efectuados por un solo operador sobre cilindros individuales de 150 mm por 300 mm elaborados de una muestra de concreto, para cilindros hechos

en el laboratorio y bajo condiciones normales de campo, está dada en la **Tabla N° 2.22**.

**Tabla N° 2.22. Variación de resistencia permitida entre cilindros de concreto**

Un solo operador	Coeficiente de Variación	Rango aceptable de	
		Dos Resultados	Tres Resultados
Condiciones de laboratorio	2.37%	6.60%	7.80%
Condiciones de campo	2.87%	8.00%	9.50%

Fuente: MTC E 704 2016

#### **2.4.3.4.2. RESISTENCIA A TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (MTC E 708, NTP 339.084)**

##### ➤ **Materiales y Equipos**

- ✓ Máquina de ensayo
- ✓ Platina de apoyo suplementaria, si el diámetro o la mayor dimensión de las placas de apoyo, inferior y superior, es menor a la longitud que el espécimen de concreto se debe suplementar con acero maquinado, toda la superficie de las platinas deberá ser plata con una variación aceptable de 0.025 mm (0.001 pulg) y debe tener un ancho mínimo de 51 mm (2 pulg) con un espesor no menor a la distancia entre el borde de las placas de apoyo y el extremo del cilindro de concreto
- ✓ Listones de apoyo, deben ser dos tiras de madera laminada o cartón, libre de imperfecciones con 3.2 mm (1/8 pulg) de espesor, 25 mm (1 pulg) de ancho y longitud igual o ligeramente mayor que la del testigo de concreto, estos

listones se deben colocar entre el testigo y las placas superior e inferior de apoyo de la máquina de ensayo, estos listones deben utilizarse solamente una vez.

➤ **Procedimiento**

- ✓ Se marcan primero los diámetros en cada extremo del espécimen de concreto, para que se pueda mantener en el mismo plano axial con la base.
- ✓ Se determina el diámetro con aproximación de 0.25 mm (0.1”) mediante el promedio de tres medidas una cerca a cada extremo y otra al centro del cilindro de concreto, la longitud se determina bajo el mismo proceso con aproximación de 0.25 mm (1”).
- ✓ Se procede con la colocación de los listones, primero en la parte inferior y luego en la parte superior teniendo en cuenta colocarlo de manera que un apoyo quede bajo el cilindro sirviendo como apoyo a lo largo del centro de la base, y el otro quede centrado en la parte superior del cilindro.
- ✓ La carga aplicada sobre el cilindro debe ser constante y continua, evitando así las cargas de impacto, se debe mantener una velocidad para cilindros de 152 mm por 305 mm (6” por 12”) que este en el rango de 50 kn/min y 100 kn/min (11300 y 22600 lbf), anotándose luego la carga máxima con la se produce la rotura y el tipo de falla que sufre el cilindro de concreto.
- ✓ Para determinar el esfuerzo a la tracción indirecta del cilindro de concreto se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2P}{nLd}$$

Donde:

T: Esfuerzo a la tracción indirecta, kPa (lb/pulg<sup>2</sup>)

P: Carga máxima indicada por la máquina de ensayo, kn (lbf)

L: Longitud del cilindro, m (pulg)

d: Diámetro del cilindro, m (pulg)

#### **2.4.3.4.3. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, ABSORCIÓN Y PORCENTAJE DE VACÍOS EN CONCRETO ENDURECIDO (NTP 339.187, UNE 12390 – 7:2000)**

##### **➤ Materiales y Equipos**

- ✓ Recipiente de plástico totalmente limpio, provisto de una tapa.
- ✓ Balanza, equipos que cuenta con un estribo para poder pesar la probeta en el aire y en el agua.

##### **➤ Procedimiento**

- ✓ Las muestras de concreto para llevar a cabo este ensayo pueden ser secciones de probetas cilíndricas con una masa aproximada de 800 gr.
- ✓ Se colocan las muestras de concreto en un recipiente totalmente lleno de agua sin dejar huecos y permaneciendo sumergidos durante 24 horas.
- ✓ Transcurrido ese tiempo la probeta se coloca mediante un estribo en una cesta metálica dentro del tanque de agua situado bajo la balanza y se mide la masa aparente en el agua.

- ✓ Luego se saca la muestra del tanque con agua, se quita la humedad superficial con una toalla y se vuelve a pesar, obteniendo así la masa saturada con superficie seca.
- ✓ Posteriormente se coloca la muestra en una estufa a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  y se deja durante 24 horas, luego es enfría la muestra hasta una temperatura ambiente y se pesa para obtener la masa seca.
- ✓ A continuación, luego de obtener todos los parámetros necesarios, se realizan los siguientes cálculos:

- Determinación del Volumen

$$V = \frac{M_{SSS} - M_{AA}}{p}$$

Donde:

V: Volumen de la probeta (cm<sup>3</sup>)

M<sub>SSS</sub>: Masa saturada con superficie seca de la probeta (gr)

M<sub>AA</sub>: Masa aparente en el agua (gr)

P: Densidad del agua (1 gr/cm<sup>3</sup>)

- Determinación de la Absorción

$$Ab = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s} * 100$$

Donde:

Ab: Absorción del concreto endurecido (%)

M<sub>SSS</sub>: Masa saturada superficie seca de probeta (gr)

M<sub>s</sub>: Masa seca de la probeta (gr)



- Determinación de la Densidad

$$D_s = \frac{M_s}{V}$$

Donde:

Ds: Densidad seca del concreto endurecido (gr/m3)

Ms: Masa seca de la probeta (gr)

V: volumen de la probeta (cm3)

- Determinación de la Porosidad

$$P = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_{SSS} - M_{AA}} * 100$$

Donde:

P: porosidad del concreto endurecido (%)

Ms: masa seca de la probeta (gr)

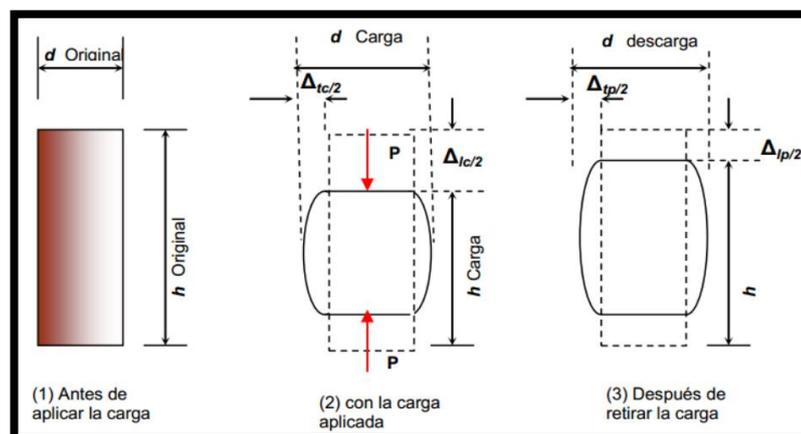
Msss: masa saturada con superficie seca de la probeta (gr)

MAA: masa aparente en el agua (gr)

#### 2.4.3.4.4. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO EN COMPRESIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO (ASTM C469 y RNE E.060)

##### ➤ Cálculo del Módulo de Elasticidad según el ASTM C469

Cuando un espécimen de concreto endurecido se somete por primera vez a una carga de compresión axial, que se incrementa progresivamente a velocidad uniforme hasta un valor inferior al de ruptura y después se retira a la misma velocidad, ocurre lo que se muestra en la **Figura N° 2.22**.



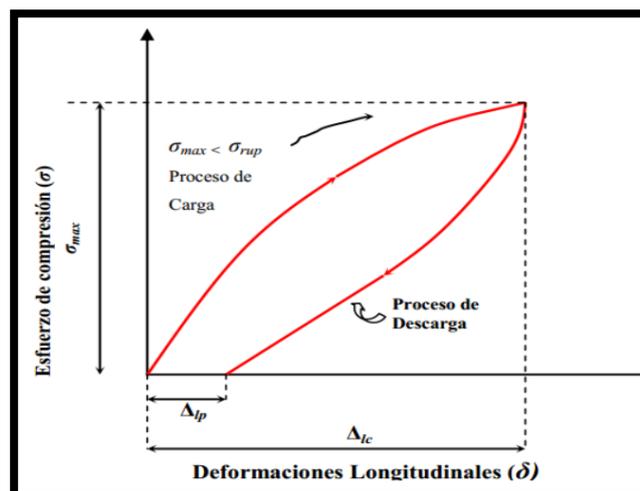
**Figura N° 2.22. Representación esquemática de las deformaciones de un espécimen cilíndrico de concreto a compresión axial.**

Fuente: *Tecnología del concreto/Sánchez de Guzmán*

En la secciones de la **Figura 2.22 (1)**, se representa al espécimen de concreto con forma cilíndrica con un diámetro “d” y altura “h”, antes de aplicar la carga; durante el proceso de aplicación de la carga “P”, se produce una deformación longitudinal ( $\Delta_{lc}$ ) y una deformación transversal simultanea ( $\Delta_{tc}$ ), según como se muestra en la **Figura 2.22 (2)**, después de retirar la carga aplicada, el espécimen de concreto no recupera todas sus dimensiones

originales, manteniendo una deformación con respecto a sus dimensiones originales indicado en la **Figura 2.22 (3)**.

Si durante el proceso de carga y descargar completo en el espécimen, se miden las deformaciones parciales ( $\delta$ ) a diferentes niveles del esfuerzo aplicados ( $\zeta$ ) se puede obtener pares de datos (esfuerzos y deformación) que al ser representadas en un sistema de ejes ortogonales, con las deformaciones como abscisas y los esfuerzos longitudinales como ordenadas, producen una gráfica como la que se muestra en la **Figura N° 2.23**, en la cual se identifica la manera cómo evoluciona la deformación longitudinal del espécimen en el transcurso del proceso de carga y descarga.

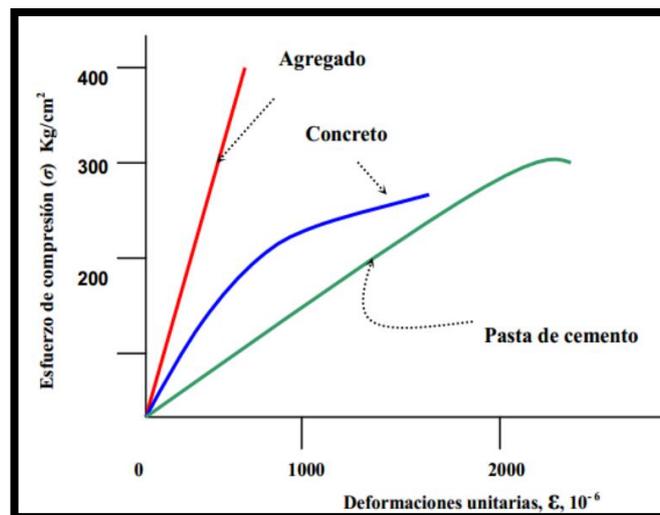


**Figura N° 2.23. Representación gráfica característica de la correlación entre el esfuerzo y deformación del concreto sometido a un proceso de carga axial a compresión y descarga**

Fuente: *Diseño de estructuras de concreto armado/Teodoro E. Harmsen*

En esta figura se observa, que el concreto no se comporta como un material elástico, pues además de que conserva una deformación permanente ( $\Delta IP$ ), la línea que representa la relación entre esfuerzos y deformaciones sólo exhibe un reducido tramo inicial de proporcionalidad, al comenzar la aplicación de la carga, y después se manifiesta como una curva debido a que las deformaciones aumentan progresivamente en

mayor proporción que los esfuerzos. Para explicar el comportamiento del concreto endurecido en este aspecto, es frecuente verlo como un material consistente de dos fases, es decir, un conjunto de partículas duras y resistentes (los agregados) dispersos en una matriz relativamente más débil (la pasta de cemento hidratada), y que la respuesta del conjunto (el concreto) a la aplicación de esfuerzos deriva de lo que ocurre en la región del contacto entre ambas fases. En apoyo de esta consideración, en la **Figura N° 2.24**, se indican las formas que ordinariamente presentan las gráficas esfuerzo deformación unitaria, determinadas individualmente para agregados de buena calidad, la pasta de cemento hidratado y el concreto que los contiene.



**Figura N° 2.24. Gráfica esfuerzo-deformación de los agregados, pasta del cemento y concreto**

*Fuente: Diseño de estructuras de concreto armado/Teodoro E. Harmsen*

De acuerdo con la gráfica mostrada, en los agregados la gráfica es prácticamente una línea recta hasta el punto de ruptura y la que corresponde a la pasta también lo es, hasta un nivel aproximado de 90 a 95% de su esfuerzo a la ruptura, y ambos componentes exhiben una falla de tipo frágil; no obstante, ello, la unión de estos materiales para construir el concreto, conduce



a un material compuesto cuya gráfica es una línea casi desde el principio, y que en la falla se manifiesta menos frágil. Lo que con frecuencia se admite que ocurre en el concreto, es que existan micro fisuras y otras discontinuidades en la zona de contacto pasta – agregado desde antes que el concreto reciba su primera carga, lo que se traduce en una adhesión imperfecta entre ambos componentes y en la posibilidad de que se produzcan concentraciones de esfuerzo en esa zona. A continuación, conforme se aplica la primera carga, las micro fisuras comienzan a extenderse, después se propagan a través de la pasta y terminan por hacer fallar el concreto. En estas condiciones, las deformaciones en el concreto tienden a incrementar más que los esfuerzos medios aplicados, salvo en un breve intervalo inicial, en el que las micro fisuras preexistentes permanecen prácticamente estables y se manifiesta proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones. En la **Figura Nº 2.25** se delimitan cuatro intervalos del nivel de esfuerzos en la gráfica esfuerzo–deformación unitaria del concreto, que se identifican con cuatro diferentes etapas en el proceso de crecimiento y propagación de las grietas durante la aplicación de carga continua hasta la ruptura.

En los materiales elásticos cuya grafica esfuerzo – deformación unitaria es una línea recta, el Módulo de Elasticidad define la relación de proporcionalidad que existe entre ambas variables, es decir, se identifica con la pendiente de esa recta. Debido a la forma como se manifiesta la relación entre los esfuerzos y las deformaciones en el concreto, no es posible asignarle estrictamente hablando, un Módulo de Elasticidad; sin embargo, para materiales así, cuya gráfica es una curva, suelen considerarse otras variantes del módulo de elasticidad, que pueden referirse a la pendiente de la tangente en el origen o en

otro sitio, de la secante entre el origen y otro punto, o de la cuerda entre dos puntos sobre la curva.

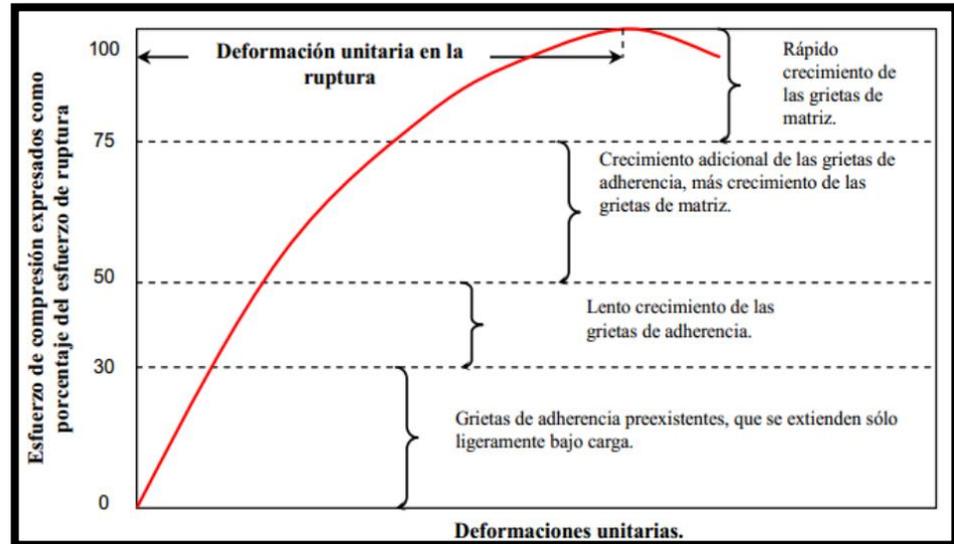
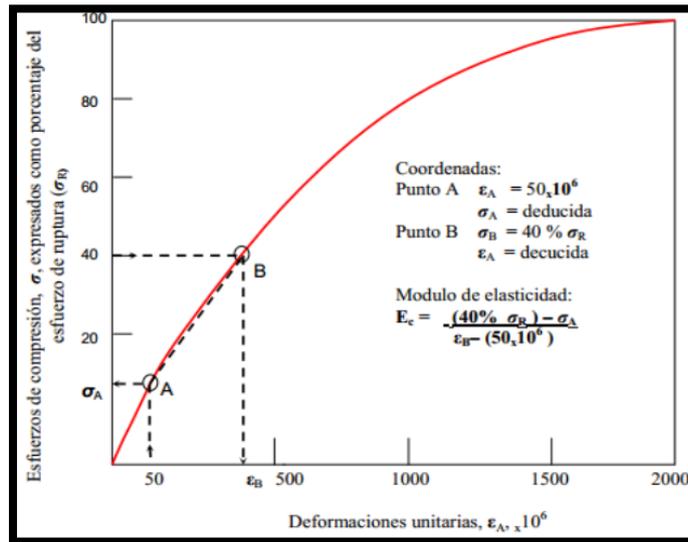


Figura N° 2.25. Declinación de la curva esfuerzo-deformación unitaria del concreto evoluciona el crecimiento de grietas

Fuente: ASTM C- 469

En el caso del concreto, abarcado un intervalo inicial de esfuerzo adecuado a los valores de diseño, de modo que al trabajar el concreto dentro de ese intervalo pueda suponerse razonablemente elástico. Conforme a la norma **ASTM C 469** el módulo que se define por la pendiente de la cuerda AB, tal como se indica en la **Figura N° 2.26**.



**Figura N° 2.26. Criterio para definir el módulo de elasticidad estático a compresión del concreto**

Fuente: ASTM C- 469

En el método de prueba ASTM C 469, se define el procedimiento para determinar el Módulo de Elasticidad estático a compresión del concreto, ensayando especímenes cilíndricos elaborados normalmente conforme a los métodos ASTM C 192 y C 31 y también núcleos extraídos de la estructura conforme al método ASTM C 42. El criterio que se aplica, según lo indicado en la **Figura 2.26** consiste básicamente en definir dos puntos (A y B) sobre la curva esfuerzo-deformación unitaria del concreto ensayado, a fin de calcular la pendiente de la cuerda AB definida de esa manera. Las coordenadas del punto A, son: una abscisa fija ( $\epsilon_A$ ) igual a una deformación unitaria de 50 millonésimas, y una ordenada ( $\zeta_A$ ) determinada a partir de esa deformación, las coordenadas del punto B son: una ordenada fija ( $\zeta_B$ ) igual a un esfuerzo equivalente al 40 por ciento del esfuerzo de ruptura del concreto que se ensaya; y una abscisa ( $\epsilon_B$ ) determinada a partir de ese esfuerzo. Una vez conocidas estas coordenadas, el Módulo de Elasticidad se determina calculando la tangente del ángulo que la cuerda AB forma con el eje horizontal. El Módulo



de Elasticidad del concreto, puede variar en función de diversos factores, tales como: el estado de humedad y de compactación del concreto, la relación agua/cemento y edad de la pasta y las características de los agregados, principalmente. En relación con la humedad del concreto, se dice que en estado saturado exhibe un módulo de elasticidad más altos que en estado seco (contrariamente a lo que ocurre con la resistencia a compresión) y que este incremento en el módulo, puede ser del orden de un 3 %. En este aspecto, cabe hacer la consideración de que en estado seco las microfisuras y discontinuidades preexistentes no contiene agua y por ello el concreto se deforma con más facilidad, lo cual a veces se manifiesta por una excesiva deformación al iniciar la carga del espécimen. Se supone que, para evitar la eventual influencia de un secado superficial o de cualquier reajuste que pueda ocurrir en el espécimen al comenzar a cargarlo, el módulo se calcula por la pendiente de la cuerda a partir del punto A como se muestra en la **Figura N° 2.26**, en vez de hacerlo por la pendiente de la secante al origen, a fin de no tomar en cuenta las posibles deformaciones anormales al principio de la carga.

Tanto la relación agua/cemento de la pasta como su edad, son factores que determinan la resistencia a la compresión del concreto en el momento de su ensayo, por lo tanto; su influencia en el módulo de elasticidad puede considerarse agrupada al examinar la relación que normalmente se manifiesta entre la resistencia a compresión y el Módulo de Elasticidad del concreto.

Cuando se requiere definir el Módulo de Elasticidad del concreto para fines de diseño, es posible estimarlo directamente en el concreto de uso previsto o estimarlo mediante expresiones empíricas que lo relacionan con la resistencia a compresión, si bien en la mayoría de los casos se opta por lo segundo. Para

esta finalidad, en el Reglamento ACI 318 se recomienda la siguiente expresión, en unidades del mismo sistema inglés, que es aplicable a concretos con peso unitario entre 90 y 55 lb/pie<sup>3</sup> (entre 1.5 y 2.5 ton/m<sup>3</sup>) aproximadamente.

En el sistema inglés:

$$E_c = 33Wc^{1.5} * \sqrt{f'c}$$

En el sistema métrico:

$$E_c = 0.1303Wc^{1.5} * \sqrt{f'c}$$

Donde:

$E_c$ : Módulo de elasticidad estático a compresión (lb/pulg<sup>2</sup> o kg/cm<sup>2</sup>)

$W_c$ : Peso unitario de concreto endurecido secada al aire.

$f'c$ : resistencia a la compresión del concreto (lb/pulg<sup>2</sup> o kg/cm<sup>2</sup>)

Cabe señalar, que el hecho de incluir como variable el peso unitario del concreto, se una forma de reconocer la influencia que sobre el módulo de elasticidad ejerce el peso específico de los agregados y su proporción en el concreto.

Por otra parte, en el informe del comité ACI 363 relativo a los concreto de alta resistencia, se cuestiona la aproximación con que se puede estar el *Módulo de Elasticidad* mediante la expresión anterior, cuando la resistencia a la compresión del concreto es mayor de 400 kg/cm<sup>2</sup>, y se plantea la posibilidad de una mejor estimación con el uso de la siguiente fórmula, que es aplicable en el intervalo de resistencias entre 3000 y 1200 lb/pulg<sup>2</sup> (200 y 850 kg/cm<sup>2</sup>) aproximadamente, aunque solo

para concreto de peso “normal” al que puede suponerse un peso unitario entre 140 y 155 lb/pie<sup>2</sup> (2.2 y 2.5 tn/m<sup>3</sup>)

En el sistema inglés:

$$E_c = 40000W_c^{1.5} * \sqrt{f'_c} + 10 * 106$$

En el sistema métrico:

$$E_c = 106125W_c^{1.5} * \sqrt{f'_c} + 70423$$

Donde:

$E_c$  y  $f'_c$ : están considerados en lb/pulg<sup>2</sup> o kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

➤ **Cálculo del módulo de elasticidad según la RNE E.060**

Para concretos de peso unitario  $W_c$  comprendido entre 1450 y 2500 kg/m<sup>3</sup>, el módulo de elasticidad,  $E_c$ , se puede considerar de la siguiente manera:

$$E_c = W_c^{1.5} * 0.043\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

Para concretos de peso unitario normal ( $W_c \approx 2300$  kg/cm<sup>3</sup>),  $E_c$ , puede tomarse como la siguiente expresión:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

Pueden usarse otros valores de  $E_c$  que estén suficientemente respaldados por resultados de laboratorio.

En ausencia de resultados experimentales confiables, el módulo de rigidez al esfuerzo cortante del concreto se podrá suponer igual a:

$$G = E_c/2.3$$

El módulo de elasticidad para el acero ( $E_s$ ) de refuerzo no pre-esforzado puede tomarse como 200 000Mpa.

El módulo de elasticidad para el acero pre-esforzado deberá determinarse mediante ensayos o será suministrado por el fabricante.

## **2.5. LOSA ESTRUCTURAL**

### **2.5.1. DEFINICIÓN**

Es un componente de flexión que distribuye la carga horizontalmente a una o más direcciones dentro de un solo plano. Mientras que la resistencia a la flexión de una losa es parecida a la de una viga, difiere de la de una serie comparable de vigas independientes en continuidad en ambas direcciones. Si esa serie de vigas independientes y paralelas está sujeta a una sola concentración de carga, solo la viga bajo la carga se reflectará.

Pero como las vigas que forman una losa están unidas y actúan integralmente cuando se aplica una carga en un punto, las partes adyacentes de la losa se activan para contribuir a su resistencia a la flexión. La carga es distribuida lateralmente dentro de la losa como resultado de la resistencia de cortante entre la parte cargada y las áreas adyacentes.

En consecuencia, las cargas concentradas dan como resultado una flexión perpendicular localizada en la primera dirección de extensión causando torsión en la losa. (*Arqhys, 2012*)

## **2.5.2. TIPOS DE LOSAS**

Uno de los parámetros para clasificar las losas, es la densidad. Cuando el concreto ocupa todo el espesor de la losa se le llama “losa maciza”, mientras que cuando parte del volumen es ocupado por materiales más livianos o espacios vacíos se le denomina “losa alivianada” o “losa aligerada”. Las losas también pueden diferenciarse según su geometría y el tipo de apoyo que posean. Si la magnitud de los esfuerzos en dos direcciones ortogonales es comparable, se denominan “losas bidireccionales”, mientras que, si los esfuerzos en una dirección son preponderantes sobre los esfuerzos en la dirección ortogonal, se les denominan “losas unidireccionales”.

### **2.5.2.1. LOSAS MACIZAS**

Son elementos estructurales de concreto armado, de sección transversal rectangular llena, de poco espesor y abarcan una superficie considerable del piso, las losas macizas se construyen en los siguientes espesores: 8,10, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 25, 26, 28 y 30 cm.

Tienen las desventajas de ser pesadas y transmiten fácilmente las vibraciones, el ruido, el calor y su costo es alto a comparación de otras losas, su ventaja soporta mayor peso, en áreas pequeñas normalmente son utilizadas para montar tanques de agua o estructuras pesadas y son más fáciles de construir; basta fabricar un encofrado de madera, de superficie plana, distribuir



el acero de refuerzo uniformemente en todo el ancho de la losa y vacías el concreto.

Las luces se miden perpendicularmente a los apoyos, cuando estos no sean paralelos, la luz del tramo será variable y se considerará en la dirección que predomina en la placa.

➤ **Partes que lo conforman:**

- Vigas o muros de apoyos
- Malla electro soldada en dos direcciones
- Losa
- Muro
- Concreto armado

➤ **Materiales:**

- Cemento
- Arena
- Varilla de refuerzo
- Alambre
- Grava
- Agua
- Cimbra

➤ **Usos:**

- Se utiliza principalmente en casas de habitación, en claros cortos, ya que en claros extensos tiende a colgarse.



### **2.5.2.2. LOSA ALIGERADA**

Las losas nervadas o losas aligeradas están constituidas por vigas longitudinales y transversales a modo de nervios, de gran rigidez, que enlazan los pies de los pilares. Estas losas se construyen para estructuras de cargas desequilibradas, las vigas de unión de los pilares se calculan como zapatas continuas bidireccionales.

Por lo general, el espesor mínimo de la losa es de 20 cm, estas losas nervadas definen los arranques de los pilares en los encuentros de las vigas bidireccionales. Este tipo de losas se elabora a base de un sistema entramado de trabes cruzadas que forman una retícula, dejando huecos intermedios que pueden ser ocupados permanentemente por bloques huecos o materiales cuyo peso volumétrico no exceda de 900 kg/m<sup>3</sup> y sean capaces de resistir una carga concentrada de una tonelada.

La combinación de elementos prefabricados de concreto simple en forma de cajones con nervaduras de concreto reforzado colado en el lugar que forman una retícula que rodea por sus cuatro costados a los bloques prefabricados.

➤ **Partes que lo conforman:**

- Concreto
- Malla Electro soldada
- Placa de poli estireno

- Polín de apoyo
- Canaleta metálica
- Acero de refuerzo

➤ **Usos:**

- Es ideal para la construcción de viviendas, entresijos, cubiertas y planteles educativos.

### 2.5.2.3. LOSA EN UNA DIRECCIÓN

Las losas en una dirección se comportan esencialmente como vigas. Puede considerarse que la losa es una viga cuyo ancho en la longitud de apoyo, o bien como se hace más frecuentemente, puede suponerse que la losa está formada por una serie de vigas paralelas e independientes de un metro de ancho que se flexionan uniformemente.

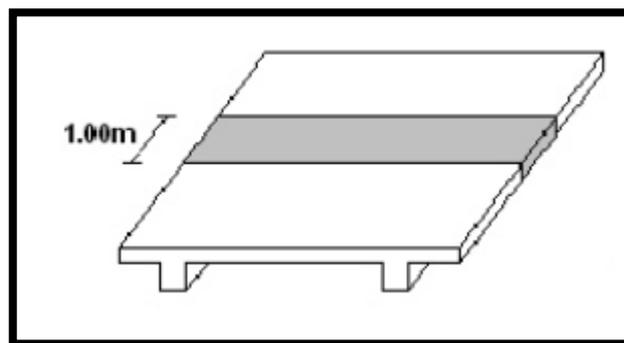
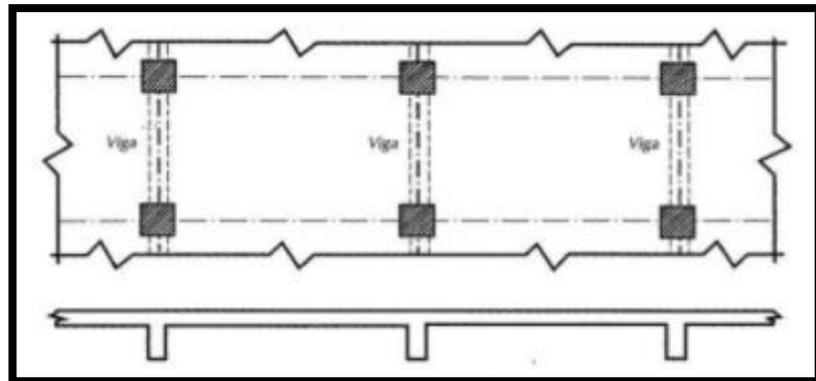


Figura N° 2. 27. Franja de Losa, Trabaja como Viga de 1.00 m de Ancho

Fuente: Universidad Señor de Sipán, Concreto Armado II, 2016

La relación entre luces es que define si el comportamiento es en una o dos direcciones, una losa se considera que trabaja en una dirección cuando se cumple una de las siguientes condiciones:

- Cuando tiene dos bordes libres, sin apoyo vertical, y tiene vigas o muros, en los otros dos bordes opuestos aproximadamente paralelos.
- Cuando el panel de losa tiene forma aproximadamente rectangular con apoyo vertical en sus cuatro lados, con una relación de la luz larga a la luz corta.
- Cuando una losa nervada tiene sus nervios principalmente en una dirección.



**Figura N° 2.28. Imagen de una losa en una dirección**

*Fuente: Rosario, Pino, Moreno & Naar, 2015*

➤ **Comportamiento Las Losas Unidireccionales:**

Se comportan esencialmente como vigas anchas. Se considera que la losa es una viga cuyo ancho es la longitud del apoyo. También se considera que la losa está formada por una serie de vigas paralelas e independientes de un metro de

ancho (franjas unitarias), que se flexionan de manera uniforme.

➤ **Análisis a flexión**

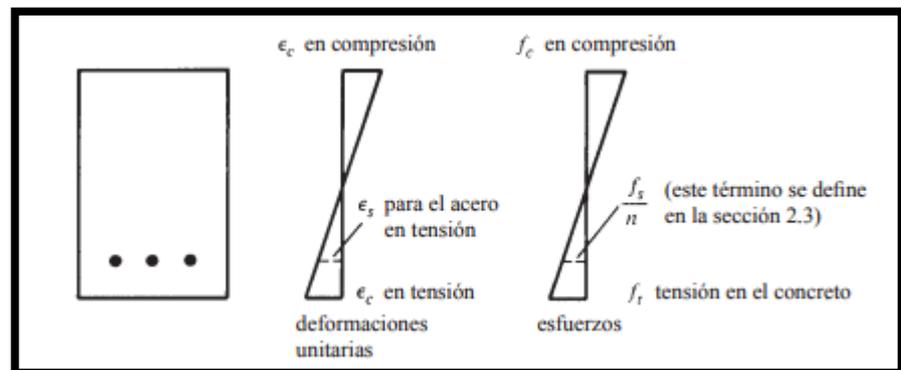
Para fines de este estudio, al momento de realizar el análisis de comportamiento de una viga de hormigón o losa unidireccional, se debe suponer que una carga transversal es aplicada sobre una viga de hormigón reforzada a tracción, esta carga es incrementada gradualmente en magnitud hasta que la viga falle. Conforme ocurre esto, se observará que la viga pasa por tres etapas previas al colapso son:

- Etapa del concreto no agrietado.
- Etapa de esfuerzos elásticos.
- Resistencia última.

Se considera una viga relativamente larga de manera que los efectos cortantes no sean importantes. A continuación, se presentan brevemente estas etapas:

➤ **Etapa del concreto no agrietado**

Bajo cargas pequeñas, cuando los esfuerzos de tensión son menores que el módulo de ruptura (esfuerzo de tensión por flexión bajo el cual el concreto comienza a agrietarse), la sección transversal total de la viga resiste la flexión, con compresión a un lado y tensión en el otro. La **Figura 2.29** muestra la variación de los esfuerzos y de las deformaciones unitarias bajo estas cargas pequeñas.



**Figura N° 2.29. Etapa de concreto no agrietado**

Fuente: *Mc Cormac, 2008*

➤ **Concreto agrietado: etapa de esfuerzos elásticos**

Al incrementarse la carga después de que el módulo de ruptura del concreto se ha excedido, comienzan a desarrollarse grietas en la parte inferior de la viga. El momento cuando comienzan a formarse las grietas, es decir, cuando los esfuerzos de tensión en la parte inferior de la viga son iguales al módulo de ruptura, se denomina momento de agrietamiento,  $M_{cr}$  al aumentar la carga, estas grietas se extienden rápidamente hacia la vecindad del eje



neutro, el cual comienza a desplazarse hacia arriba. Las grietas se presentan en aquellos lugares a lo largo de la viga, donde el momento real es mayor que el momento de agrietamiento, tal como se muestra en la **Figura 2.30 (a)**. Una vez que el lado inferior de la viga se ha agrietado, empieza una nueva etapa, porque obviamente el concreto en la zona agrietada no puede resistir esfuerzos de tensión el acero debe resistirlos. Esta etapa continuará mientras los esfuerzos de compresión en las fibras superiores sean menores a aproximadamente la mitad de la resistencia a compresión  $f_c$  del concreto y mientras el esfuerzo en el acero sea menor que su límite elástico. En la **Figura 2.30 (b)** se muestran los esfuerzos y deformaciones unitarias de esta fluctuación. En esta etapa los esfuerzos de compresión varían linealmente con la distancia del eje neutro o bien como una línea recta.

La variación lineal de los esfuerzos y de las deformaciones se presenta normalmente en las vigas de concreto reforzado bajo condiciones normales de carga de servicio, ya que debido a esas cargas los esfuerzos del concreto generalmente son inferiores a  $0.50 f_c$ . Para calcular los esfuerzos en el concreto y en el acero en esta etapa, se usa el método de la sección transformada. Las cargas de servicio o de trabajo son las cargas que supuestamente se

presentan cuando una estructura está en uso o en servicio. Bajo estas cargas se desarrollan momentos que son considerablemente mayores que los momentos de agrietamiento. Obviamente el lado tensado de la viga se agrietará.

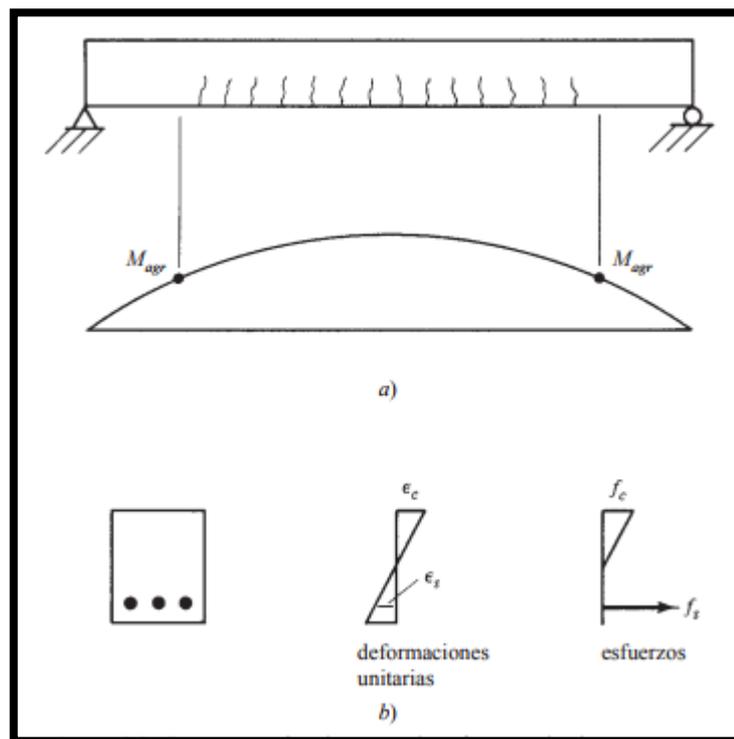


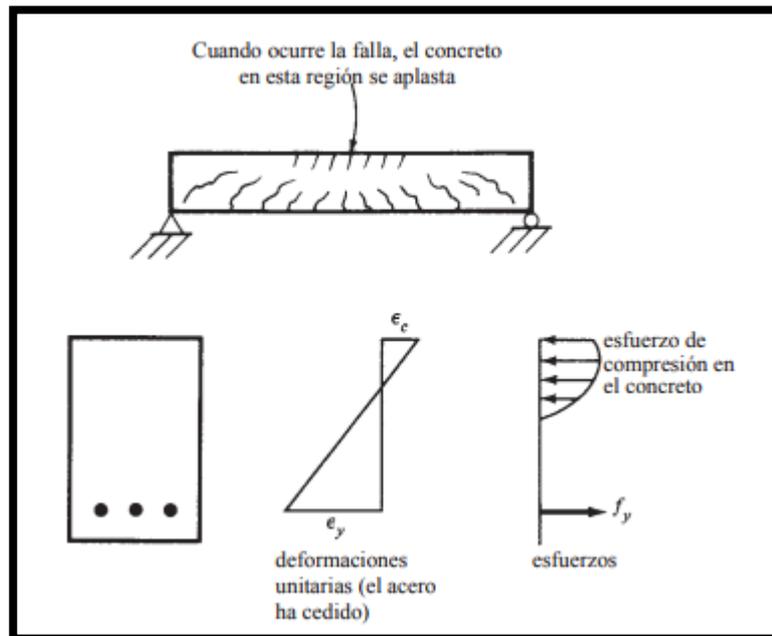
Figura N° 2.30. Concreto agrietado: etapa de esfuerzos elásticos

Fuente: Mc Cormac, 2008

➤ **Falla de la viga: etapa de resistencia última**

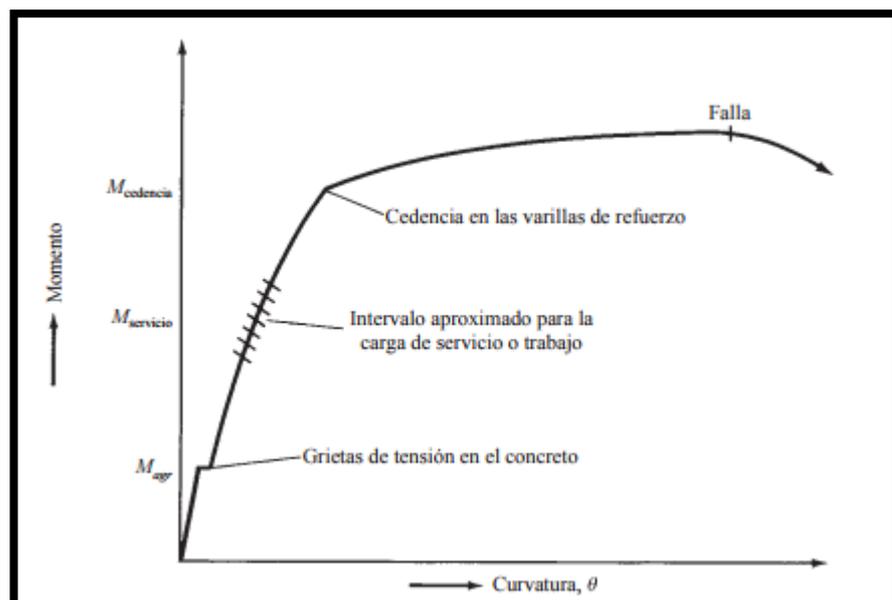
Conforme la carga crece todavía más, de modo que los esfuerzos de compresión resultan mayores que la mitad de  $f'_c$ , las grietas de tensión se desplazan aún más hacia arriba, igual que lo hace el eje neutro, y los esfuerzos de compresión en el concreto comienzan a dejar de ser

lineales. En este análisis inicial se supondrá que las varillas de refuerzo han cedido. La variación de los esfuerzos es parecida a la que se muestra en la **Figura 2.31**.



**Figura N° 2.31. Etapa de resistencia última**

Fuente: *Mc Cormac, 2008*



**Figura N° 2.32. Diagrama de momento- curvatura para una viga de concreto reforzado con refuerzo de tensión solamente**

Fuente: *Mc Cormac, 2008*



Para ilustrar mejor las tres etapas de comportamiento de la viga que se han descrito, se muestra en la **Figura 2.32** un diagrama de momento-curvatura. En este diagrama,  $\theta$  se define como el cambio angular de la sección de la viga en una cierta longitud y se calcula por medio de la siguiente expresión, en la que  $\epsilon$  es la deformación unitaria en una fibra de la viga a una distancia  $y$  del eje neutro de la viga:

$$\theta = \frac{\epsilon}{y}$$

La primera etapa del diagrama es para momentos pequeños menores que el momento de agrietamiento  $M_{agr}$  donde se dispone de toda la sección transversal de la viga para resistir la flexión. En esta etapa, las deformaciones unitarias son pequeñas, y el diagrama es casi vertical y muy parecido a una línea recta. Cuando el momento crece más allá del valor del momento de agrietamiento, la pendiente de la curva disminuye un poco debido a que la viga ya no es tan rígida como en la etapa inicial anterior al agrietamiento del concreto. El diagrama describirá casi una línea recta desde  $M_{agr}$ , hasta el punto en que el refuerzo queda sometido a su punto de cedencia. Hasta alcanzarse el esfuerzo de cedencia en el acero, se requiere una carga adicional bastante grande para incrementar apreciablemente la deflexión de la viga. Después de que el

acero cede plásticamente, la viga tiene muy poca capacidad adicional por momento, y se requiere sólo una pequeña carga adicional para incrementar considerablemente las rotaciones, así como las deflexiones. En esta etapa la pendiente del diagrama es muy ligera.

#### 2.5.2.4. LOSA EN DOS DIRECCIONES

Cuando se dispone de muros portantes en los cuatro costados de la placa y la relación entre la dimensión mayor y la menor del lado de la placa es de 1.5 o menos, se utilizan placas reforzadas en dos direcciones. El espesor de losa en dos direcciones no depende de las condiciones de apoyo, no la composición.

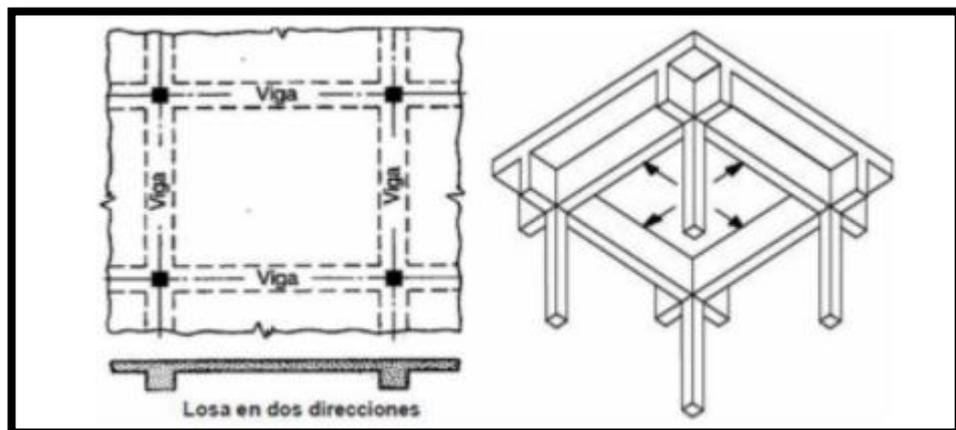


Figura N° 2.33. Imagen de una losa dos direcciones

Fuente: Rosario, Pino, Moreno & Naar, 2015



### **2.5.3. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LOSA UNIDIRECCIONAL**

#### **2.5.3.1. DETERMINACIÓN DE ESPESOR DE LA LOSA (ACI 318S – 14)**

La luz de los elementos que no estén contruidos monolíticamente con sus apoyos deberá considerarse como la luz libre más el peralte del elemento, sin exceder la distancia entre los centros de los apoyos.

Las vigas construidas monolíticamente con sus apoyos se podrán diseñar usando los momentos reducidos a la cara de los apoyos.

Las losas macizas o nervadas construidas monolíticamente con sus apoyos, con luces libres no mayores de 3 m, podrán ser analizadas como losas continuas sobre apoyos simples.

De acuerdo con el **ACI 318S – 14**, se considera que para losas macizas no pre-esforzadas que no soporten o estén ligadas a particiones u otro tipo de construcción susceptible de dañarse debido a deflexiones grandes, el espesor total de la losa ***h*** no debe ser menor de la **Tabla N° 2.23**.

**Tabla N° 2.23. Espesor Mínimo de Losas en una Dirección Maciza no Pre-esforzadas**

Condición de apoyo	h mínimo <sup>(1)</sup>
Simplemente apoyadas	L/20
Un extremo continuo	L/24
Ambos extremos continuos	L/28
En voladizo	L/10

(1) Relaciones aplicables para concreto de peso normal y  $f_y = 4200$  MPa.

Fuente: ACI 318S - 14

Para otros casos, el h mínimo debe modificarse de acuerdo con lo siguiente, según corresponda:

a. Para  $f_y$  distinto de 420 MPa, los valores de la **Tabla N° 2.23**

deben multiplicarse por  $(0.4 + \frac{f'_y}{700})$ .

b. Para losas no pre-esforzadas construidas a base de concreto liviano de densidad  $w_c$  dentro del intervalo de 1440 a 1840 kg/m<sup>3</sup>, las relaciones de la **Tabla N° 2.23** se deberá multiplicar por el mayor valor obtenido:

- $1.65 - 0.0003 * w_c$
- 1.09



### 2.5.3.2. REQUISITOS PARA RECUBRIMIENTO DEL ACERO EN EL CONCRETO (ACI 318S – 14)

Los elementos de concreto no pre-esforzados construidos en sitio deben tener un recubrimiento de concreto especificado para el refuerzo igual al menos al que se muestra en la **Tabla N° 2.24**.

**Tabla N° 2.24. Recubrimiento Especificado para Elementos de Concreto Construido en Sitio no Pre-esforzado**

Exposición del concreto	Miembro	Refuerzo	Recubrimiento especificado (mm)
Construido contra el suelo y permanentemente en contacto con él	Todos	Todos	75
Expuesto a la intemperie o en contacto con el suelo	Todos	Barras No. 19 a Barras No. 57	50
		Barras No. 16, alambre MW200 o MD200, y menores	40
No expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo	Losas, viguetas y muros	Barras No. 43 y No. 57	40
		Barras No. 36 y menores	20
	Vigas, columnas, pedestales y amarres a tracción	Armadura principal, estribos, espirales y estribos cerrados para confinamiento	40

Fuente: ACI 318S - 14

### 2.5.3.3. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para el acero de refuerzo no pre-esforzado, el módulo de elasticidad, ( $E_s$ ) puede tomarse como 210,000 MPa, en caso de no ser especificado.

En el caso del concreto, el módulo de elasticidad ( $E_c$ ) toma valores dependiendo de su densidad.

En concretos de densidades normales ( $w_c \approx 2,300 \text{ kg/m}^3$ ) de acuerdo al **RNE E.060 “Concreto Armado”**, se usa la fórmula para el módulo de elasticidad ( $E_c$ ) como  $4700\sqrt{f'_c}$  en (MPa)

Para concretos con densidades ( $W_c$ ) comprendidos entre 1450 y 2500 kg/m<sup>3</sup> el **RNE E.060 “Concreto Armado”** especifica que el módulo de elasticidad puede tomarse, como:

$$E_c = W_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \text{ en (MPa)}$$

Se pueden usar otros valores de  $E_c$  que estén suficientemente respaldados por resultados de laboratorios.

#### **2.5.3.4. DISPOSICIÓN DE LA CARGA VIVA (RNE R.060)**

Se permite suponer que la carga viva está aplicada únicamente al piso o cubierta, y los extremos lejanos de las columnas construidas monolíticamente con la estructura están empotrados. Se permite suponer que la disposición de la carga última está limitada a las combinaciones de carga viva y carga muerta mayorada.

#### **2.5.3.5. RESISTENCIA REQUERIDA ( $R_u$ )**

El código ACI aprovecha el uso de los factores de resistencia no solo para tomar en consideración las posibles imperfecciones constructivas del concreto, sino que además los usa para

incrementar los factores de seguridad en piezas sometidas a determinadas solicitaciones, ya sea por su tipo de falla o por la importancia de estos elementos dentro del conjunto estructural total.

El método de diseño del código del ACI consiste en determinar las cargas de servicio y amplificarlas de acuerdo a las combinaciones de carga que se presentan a continuación.

$$U \geq 1.4 (D + F)$$

$$U \geq 1.2 (D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$U \geq 1.2D + 1.6(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.8W)$$

$$U \geq 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$U \geq 1.4D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$$

$$U \geq 0.9D + 1.6W + 1.6H$$

$$U \geq 0.9D + 1.0E + 1.6H$$

*D: Carga muerta*

*E: Carga por sismo*

*F: Carga debido a líquidos o presión lateral de sismos*

*H: Cargas debido a terrenos o presión lateral de sismo*

*L: Carga viva, incluyendo impacto si lo hubiera*

*Lr: Carga viva en azotea o tejados*

*R: Carga debido a lluvias*

*S: Carga debido a nieve*

*T: Efectos de temperatura, contracción de fragua, deformación por el tiempo, asentamiento diferencial o deformaciones debido a concreto con deformación controlada*

*U: Resistencia requerida*

*W: Carga debido al viento*

De las mayoraciones de cargas mostradas anteriormente se utilizará la combinación siguiente para el diseño de la losa:

$$Vu \text{ ó } Ru = 1.20 CM + 1.60 CV$$

### 2.5.3.6. RESISTENCIA DE DISEÑO

La resistencia de diseño ( $\phi Rn$  ó  $\phi Vc$ ) proporcionada por un elemento, sus conexiones con otros elementos, así como sus secciones transversales, en términos de flexión, carga axial, cortante y torsión, deben tomarse como la resistencia nominal calculada de acuerdo con los requisitos y suposiciones del **ACI 318S - 14**, multiplicada por los factores “ $\phi$ ” especificados en la **Tabla N° 2.25**.

**Tabla N° 2.25. Factores de Reducción de la Resistencia**

Elemento Estructural	$\phi$
-Secciones controladas por tracción	0.90
-Secciones controladas por compresión	
a) Elementos con refuerzo espiral	0.70
b) Otros elementos reforzados	0.65
-Cortante y torsión	0.75

Fuente: ACI 318S - 14



### **2.5.3.7. LA CORTANTE ÚLTIMA DE DISEÑO**

Para la determinación de la cortante última ( $V_u$ ), se aplica la siguiente fórmula, siempre y cuando cumpla con el requisito de que la longitud de la losa sea mayor a las cuatro veces la altura total del mismo, por lo que se considera una fuerza cortante igual a la mitad de la resistencia de diseño que fue calculada.

$$V_u = \frac{(1.2CD + 1.6CV)(L)}{2}$$

### **2.5.3.8. DETERMINACIÓN DEL MOMENTO ÚLTIMO**

Se utilizará la ecuación correspondiente a la de una viga simplemente apoyada, considerándose que los mayores momentos actúan en los extremos de dicha viga, por lo que se considera la siguiente fórmula:

$$M_u = \frac{V_u * l^2}{8}$$

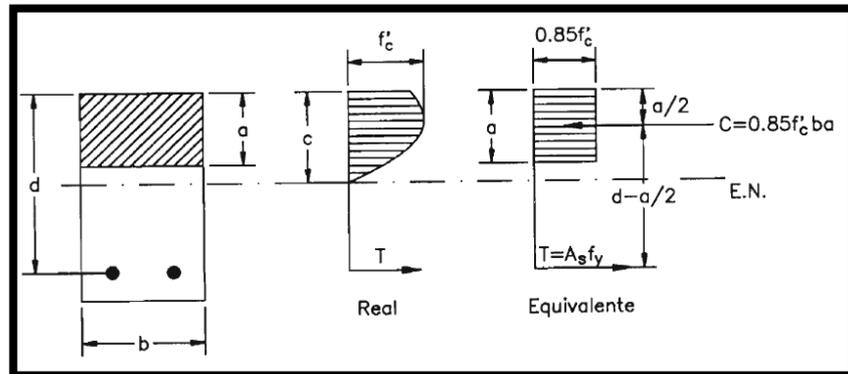
### **2.5.3.9. DETERMINACIÓN DE LA CUANTÍA BALANCEADA**

La cuantía balanceada hace referencia a la cantidad de acero necesario que producirá la falla tanto en el concreto y el acero al mismo tiempo, está por lo tanto es una propiedad de la sección de la losa, y es independiente de la carga que se le aplique.

#### ***Deducción de la Fórmula***

Para la determinación de la cuantía balanceada se una sección, se debe trabajar con un bloque equivalente de esfuerzo de

concreto sienta este de manera rectangular como se muestra en la **Figura N°2.34**.



**Figura N° 2.34. Esfuerzo en una Sección Rectangular con Refuerzo en Tensión Sometida a Flexión**

Fuente: Teodoro E. Harmsen, 2002

De aquí se observa el valor que multiplica la resistencia a la compresión del concreto es 0.85 debido a ensayos experimentales que se realizaron.

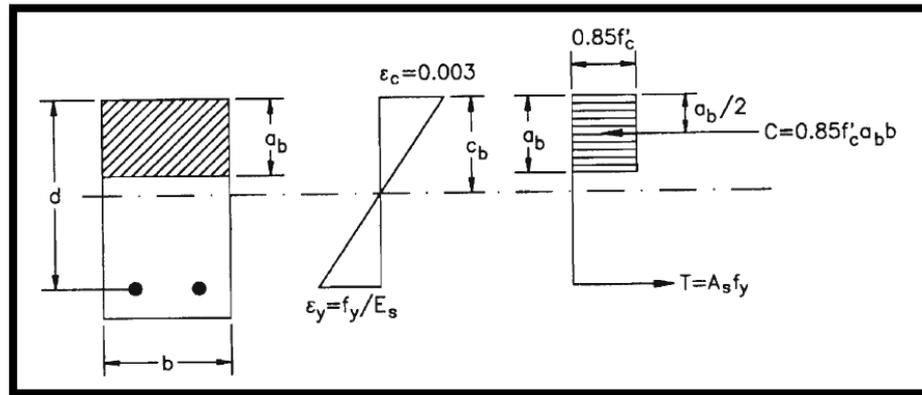
El valor del término “a” está dado por la ecuación  $a = \beta_1 * c$  donde el valor de  $\beta_1$  depende de la resistencia a la compresión de concreto, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(f'c - 28)}{7}$$

Sabiendo que los resultados de la formula anterior no debe ser mayor ni menor a  $0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$ .

Una falla balanceada se produce cuando el concreto alcanza la deformación unitaria última 0.003, simultáneamente al inicio de la fluencia del acero, la falla es frágil y no deseada. Para

determinar el valor de “ $c_b$ ” se calcula mediante relación de triángulos de acuerdo a la **Figura N° 2.35**.



**Figura N° 2.35. Esfuerzo y Deformaciones en una Sección Rectangular con Falla Balanceada**

Fuente: Teodoro E. Harmsen, 2002

$$\frac{0.003}{c_b} = \frac{\varepsilon_y}{d - c_b} = \frac{f_y/E_s}{d - c_b}$$

$$0.003 * (d - c_b) = \varepsilon_y * c_b$$

$$0.003 * d - 0.003c_b = \varepsilon_y * c_b$$

$$0.003 * d = \varepsilon_y * c_b + 0.003c_b$$

$$\frac{0.003 * d}{(\varepsilon_y + 0.003)} = c_b$$

Igualando “C” y “T” para obtener la fórmula de la cuantía balanceada.

$$A_s b * f_y = 0.85 * f'_c * a_b * b$$

$$A_s b = \frac{(0.85 * f'_c * a_b * b)}{f_y}$$

Reemplazando el valor de  $a_b$  en la ecuación del área de acero

$A_{s_b}$ .

$$A_{s_b} = 0.85 * \frac{f'c}{f_y} * \beta_1 * c_b * b$$

$$A_{s_b} = 0.85 * \frac{f'c}{f_y} * \beta_1 * \frac{0.003}{(\epsilon_y + 0.003)} * d * b$$

$$\frac{A_{s_b}}{d * b} = 0.85 * \frac{f'c}{f_y} * \beta_1 * \frac{0.003}{(\epsilon_y + 0.003)}$$

$$P_b = 0.85 * \frac{f'c}{f_y} * \beta_1 * \frac{0.003}{(\epsilon_y + 0.003)}$$

$$P_b = \alpha * \frac{f'c}{f_y} * \frac{0.003}{(\epsilon_y + 0.003)}$$

siendo  $\alpha$

### 2.5.3.10.DETERMINACIÓN DE LA CUANTÍA MÁXIMA Y MÍNIMA

Para el diseño por flexión debemos saber que el tipo de falla deseable es la falla dúctil con la cual la sección ha desarrollado grandes deformaciones.

El código ACI da los límites de cuantía para el diseño de la:

#### ➤ **Cuantía Máxima**

$$P_{max} = 0.75 * P_b$$

Para zonas sísmica se deberá considerar como cuantía máxima el valor de  $0.50 * P_b$ .

➤ **Cuantía Mínima**

Se considerará el mayor de las dos siguientes expresiones:

$$P_{min} = \frac{14}{f_y} \quad P_{min} = 0.8 * \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

**2.5.3.11. CÁLCULO DEL ÁREA DE ACERO POR FLEXION ( $A_s$ )**

➤ **Proceso Iterativo**

Una vez dimensionada la sección, el cálculo del acero se efectuará simplemente haciendo una iteración entre las siguientes expresiones:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi * f_y * (d - \frac{a}{2})}$$

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b}$$

Se sugiere como primera aproximación que “a” sea igual a “d/5”.

**2.5.3.11.1. DETERMINACIÓN DE LA CUANTÍA DE DISEÑO**

La determinación de la cuantía de acero en tracción está dada por la expresión siguiente:

$$P = \frac{A_s}{d * b}$$

**2.5.3.11.2. VERIFICACIÓN DE MOMENTO NOMINAL**

Se debe cumplir con que el momento último sea menor al momento nominal habiéndose multiplicado por un factor de reducción, siendo  $\phi = 0.9$ :

$$\phi * M \geq M_u$$

El momento nominal de la sección está dado por:

$$M_n = T * \left[ d - \left( \frac{a}{2} \right) \right] = C * \left[ d - \left( \frac{a}{2} \right) \right]$$

Donde:

$$T = A_s \cdot \sigma_y$$

$$c = \frac{A_s \cdot \sigma_y}{\alpha \cdot f'_c \cdot b}$$

$$C = \alpha \cdot f'_c \cdot b \cdot c$$

$$\beta = 0.425$$

### **2.5.3.12. CÁLCULO DE ACERO POR RETRACCIÓN Y TEMPERATURA ( $A_{sr}$ )**

Las estructuras de extensión considerable, como las losas, están sometidas a esfuerzos altos generados por la contracción de fragua y cambios de temperatura, los que tienden a ocasionar agrietamientos pronunciados. Para evitar este fenómeno se requiere de una cierta cantidad de refuerzo, denominado comúnmente refuerzo de temperatura.

En las losas en una sola dirección, el refuerzo principal por flexión hace las veces de refuerzo de temperatura en la dirección en la que está colocado. Sin embargo, en la dirección perpendicular, es necesario disponer acero exclusivamente con este fin.

El refuerzo de temperatura recomendado por el código ACI en la sección ACI 7.6.1.1. nos dan las expresiones según el grado de acero y el tipo de amarre de mallas de acero a utilizar de acuerdo a la **Tabla N° 2.26**.

**Tabla N° 2.26.  $A_s$ , min para Losas en una Dirección no Pre esforzadas**

Tipo de refuerzo	$f_y$ , MPa	As, min	
Barras corrugadas	< 420	$0.0020 * b * h$	
Barras corrugadas o refuerzo de alambre electrosoldado	$\geq 420$	Mayor de:	$\frac{0.0018 * 420}{f_y} * b * h$
			$0.0014 * b * h$

Fuente: ACI 318S - 14

Donde:

b: Ancho de la losa

h: Peralte total de la losa

El refuerzo de temperatura no tendrá un espaciamiento mayor que cinco veces el espesor de la losa ni mayor que 45 cm.

El refuerzo de temperatura sirve para distribuir las cargas concentradas aplicadas sobre la losa. Además, facilita la colocación del acero en obra pues se amarra al refuerzo principal formando una malla más o menor rígida.

### **2.5.3.13. VERIFICACIÓN POR CORTANTE**

La aceptación por verificación al corte se da cuando la cortante última ( $V_u$ ) de diseño es menor que la cortante nominal ( $V_c$ )

multiplicado por su factor de reducción  $\phi = 0.85$ , dado anteriormente en la **Tabla N° 2.25**:

$$\phi * V_c \geq V_u$$

$$V_c = 0.17 * \sqrt{f'_c} * bd$$

### **2.5.3.14. CONTROL DE DEFLEXIONES**

#### **2.5.3.14.1. DEFORMACION TEORICA DE LOSA**

Para determinar la deformación teórica se realiza primero el cálculo del eje centroidal vertical y se determina la inercia con el método de la sección transformada.

##### ➤ **Coeficiente de Equivalencia (n)**

El coeficiente de equivalencia está dado por la relación entre el módulo de elasticidad del acero ( $E_s$ ) y el módulo de elasticidad del concreto.

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

##### ➤ **Eje Centroidal Vertical (Y)**

Para determinar el eje centroidal o centro de gravedad de un cuerpo geométrico compuesto representado por una línea, área o volumen, puede ser determinada por el siguiente procedimiento:

- *Sumatorias*



Para determinar el eje centroidal de una sección geométrica se debe aplicar la expresión de sumatoria en el centroide en cada componente.

Si un objeto es simétrico con respecto a un eje, su centroide se encuentra sobre este eje.

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

De donde para determinar el centroide de en este caso una losa de concreto y acero, se determina dando forma a la expresión anterior, teniendo como resultado lo siguiente:

$$\bar{Y} = \frac{A_{sec} Y_{sec} + A_s Y_s (n - 1)}{A_{sec} + A_s (n - 1)}$$

Donde:

A<sub>sec</sub>: Área de concreto

Y<sub>sec</sub>: Centroide del concreto

A<sub>s</sub>: Área del acero

Y<sub>s</sub>: Centroide del acero

n: Equivalencia entre el acero y el concreto

### ➤ **Determinación de la Inercia (I)**

Usando la sección transformada y el teorema de **Steiner** o el de **Ejes Paralelos**, se obtiene que la expresión para determinar el momento de inercia, está compuesto por la sumatoria del momento de inercia de cada uno de los materiales, en este caso del concreto y el acero, siendo este último multiplicado por el

factor de conversión que se determinó anteriormente, llegando dar como resultado la expresión siguiente:

$$I = \frac{bh^3}{12} + A_{sec}(\bar{Y}_{sec} - \bar{Y})^2 + (n - 1)n_b \left[ \frac{\pi(\frac{\emptyset}{2})^4}{4} + \frac{A_s}{n_b} (\bar{Y} - \bar{Y}_s)^2 \right]$$

➤ **Deformación Teórica ( $\delta_t$ )**

Para determinar la deformación teórica de la losa se debe considerar la siguiente expresión

$$\delta_t = \frac{5ql^4}{384EI}$$

Se debe tener en cuenta que la deformación teórica ( $\delta_t$ ) debe ser menor que la deformación máxima admisible de acuerdo a los establecido en el **RNE E.060** donde se indica según el tipo de elemento que esta y el empleo que se le dará a la losa.

**2.5.3.14.2. DEFORMACIÓN MÁXIMA ADMISIBLE DE LOSA Y VERIFICACIÓN**

Los elementos de concreto reforzado sometidos a flexión deben diseñarse para que tengan una rigidez adecuada con el fin de limitar cualquier deflexión que pudiese afectar adversamente la resistencia o el funcionamiento de la estructura.

Las alturas o espesores mínimos establecidos están dados en la **Tabla Nº 2.23** que se aplica en las losas macizas unidireccionales que no soporten o estén ligados a particiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a

deflexiones grandes, a menos que el cálculo de las deflexiones indique que se puede utilizar un espesor menor sin causar efectos adversos. Cuando se calculen las deflexiones, aquéllas que ocurran inmediatamente con la aplicación de la carga deben calcularse mediante los métodos o fórmulas usuales para deflexiones elásticas, tomando en consideración los efectos de la fisuración y del refuerzo en la rigidez del elemento.

La deflexión calculada no debe exceder los límites establecidos en la **Tabla 2.27**.

**Tabla N° 2.27. Deflexión Máxima Admisible Calculada**

Tipo de Elemento	Deflexión Considerada	Límite de Deflexión
Cubiertas planas que no soporten ni estén ligadas a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debidos a deflexiones grandes.	Deflexión inmediata a la carga viva.	L/180
Entrepisos que no soporten y estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	Deflexión inmediata debida a la carga viva, L	L/360
Sistema de entepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de las deflexiones a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional	L/480
Sistema de entepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes		L/240

Fuente: ACI 318S - 14



## **2.6. TÉCNICA DE ESCALAMIENTO (UNI-FIC-SECCIÓN DE POSTGRADO)**

### **2.6.1. SEMEJANZA DE MODELOS**

Muchas veces, con la experimentación; en vez de examinar un fenómeno físico, que ocurre en un objeto particular o en un conjunto de objetos, nos interesa estudiar un conjunto de fenómenos, sobre un objeto o conjunto de objetos. Por ejemplo, se quiere predecir la distribución de presiones en un estribo de un puente que está sobre un río.

Para ello tenemos dos opciones:

1. Construirlo a escala 1:1, y medir directamente las presiones. Si la resistencia es adecuada dejarlo, y si no, destruirlo y volverlo a construir adecuadamente.
2. Construir un modelo a escala, por ejemplo 1:60, y realizar pruebas en un laboratorio de hidráulica, y extrapolar los resultados para construir un estribo adecuado.

Como es obvio la opción (1.) es inviable y tendremos que recurrir a la opción (2.).

Para ello deberemos relacionar el modelo a escala con el prototipo real, para poder predecir el comportamiento de este a partir de los resultados obtenidos experimentalmente

en el modelo a escala. Por ello debemos hablar de las leyes de semejanza.

### 2.6.2. LEYES DE SEMEJANZA

Para poder extrapolar los resultados, previamente se han de cumplir:

1. El modelo ha de ser geoméricamente igual que el prototipo.

Por tanto, las longitudes “L”, superficies “A” y volúmenes “V” deben ser homólogos entre el prototipo y el modelo, y han de verificar la siguiente relación.

$$\frac{L_p}{L_m} = \lambda; \frac{A_p}{A_m} = \lambda^2; \frac{V_p}{V_m} = \lambda^3$$

Siendo  $\lambda$  la escala del prototipo en relación al modelo.

2. El modelo ha de ser dinámicamente semejante al prototipo.

Para que los fenómenos en el modelo y en el prototipo sean comparables no basta que los modelos de estructura sean geoméricamente semejantes a los prototipos, sino que también los flujos, o sea las líneas de corriente, han de ser semejantes.

Cuando se cumple la semejanza geométrica y dinámica se dice que el modelo tiene semejanza cinemática con el prototipo.

Por lo tanto, para una semejanza completa, supuesta la intervención de todas las fuerzas señaladas anteriormente, se debería cumplir:



$$E_{up} = E_{um}; F_{rp} = F_{rm}; M_{ap} = M_{am}; R_{ep} = R_{em}; W_{ep} = W_{em}$$

Esta condición solo se cumple cuando el modelo y el prototipo tienen el mismo tamaño.

Afortunadamente, en un buen número de casos puede prescindirse de la influencia de tres de las fuerzas y consecuentemente, de sus tres adimensionales correspondientes.



# **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**



## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS

#### 3.1.1. REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE CAMPO A TAMAÑOS DE ENSAYO: (MTC E 103)

➤ **Objeto.**

Es la reducción de las muestras a los tamaños requeridas para ensayos, empleando procedimientos que minimizan la variación en la medición de las características entre las muestras de ensayo y las muestras de campo.

La reducción de muestras se obtiene por medio de los tres siguientes métodos:

Método A: Cuarteo mecánico

Método B: Cuarteo

Método C: Pilas cónicas (agregado fino húmedo)

➤ **Finalidad y Alcance**

La finalidad es el de reducir las muestras obtenidas en el campo a las porciones requeridas para someterlas a ensayos. Las muestras más grandes tienden a ser más representativas de la muestra total.

Los métodos que establece el **MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES** tienen por finalidad reducir el tamaño de la

muestra que se obtuvo en campo a tamaño conveniente para realizar los ensayos necesarios y medir la calidad de los agregados.

➤ **Equipo**

✓ **Método A: Cuarteo Mecánico**

Divisor de muestras: Los divisores de muestras deberán tener un número par de cajuelas con planos inclinados de igual ancho, pero no menor que ocho para suelos gruesos, o veinte para suelos finos, con descargas alternativas a cada lado del divisor. El ancho mínimo de la cajuela debe ser aproximadamente 1,5 veces el diámetro de la partícula de mayor tamaño contenida en la muestra a ser dividida. El divisor debe estar equipado con dos recipientes para recibir las dos mitades de la muestra dividida. Asimismo, debe estar equipado con una tolva, la cual tiene un ancho igual o ligeramente menor que el ancho total de la cajuela, por la cual la muestra debe ser depositada a una velocidad controlada a las cajuelas. El equipo y sus accesorios deben ser diseñados para que la muestra fluya suavemente sin restricciones o pérdidas de material.

✓ **Método B: Cuarteo**

El aparato consiste de un cucharón metálico, pala o badilejo y una lona para cubrir aproximadamente 2 m x 2,5 m.



✓ **Método C: Pilas Cónicas**

El equipo consiste de un cucharón metálico, pala o badilejo para mezclar y un muestreador (pequeño cucharón o pala).

➤ **Muestra**

La toma de muestra se realiza de acuerdo con el método (**MTC E101**), o como lo establezca cada método de ensayo.

✓ **Selección del Método**

❖ Agregado fino

La muestra de agregado fino seca o saturada con superficie seca, se debe reducir de tamaño por medio de un cuarteador mecánico usando el **Método A**.

Muestras de campo libres de humedad superficial se pueden reducir de tamaño por cuarteo de acuerdo al **Método B** o por tratamiento como una pequeña muestra conforme el **Método C**.

Si se utiliza el **Método B o C** y la muestra no contiene humedad libre sobre la superficie de las partículas, las muestras se deben humedecer para alcanzar esta condición, mezclarla bien y luego llevar a cabo la reducción de la muestra.

Si se desea utilizar el **Método A** y la muestra de campo tiene humedad libre sobre la superficie de las partículas, la muestra de campo se debe secar hasta la condición de superficie seca, usando temperaturas que no excedan



aquellas especificadas para cualquiera de los ensayos contemplados y luego se procede a reducir la muestra. Alternativamente, si la humedad de la muestra de campo es muy grande, una división preliminar se debe realizar utilizando un cuarteador mecánico que tenga una abertura de 38 mm (1 ½ pulg) o más para reducir la muestra a no menos de 5 000 gr, la porción así obtenida se seca y se reduce al tamaño de muestra de ensayo usando el

#### **Método A.**

**Nota.** El método para determinar la condición de saturado superficialmente seco se describe en NTP 400.022. A manera de aproximación, si el agregado fino mantiene su forma, cuando se moldea con la mano, se puede considerar que posee dicha condición.

#### ❖ Agregado grueso y mezcla de agregados grueso y fino

La muestra se reduce usando un cuarteador mecánico de acuerdo con el **Método A** (método preferido) o por cuarteo usando el **Método B**. No se debe usar el **Método C** para agregado grueso o mezcla de agregado grueso y fino.

#### ➤ **Procedimiento**

##### ✓ **Método A: Cuarteo Mecánico**

La muestra de campo se coloca en la tolva distribuyéndola uniformemente de extremo a extremo de tal manera que, aproximadamente igual cantidad fluya a través de cada

cajuela. La razón a la cual la muestra se deposita en la tolva, es tal que se debe alcanzar un flujo libre a través de las cajuelas hasta los recipientes colocados abajo. La muestra de uno de los recipientes se reintroduce al aparato las veces que sea necesario para reducir el tamaño de la muestra a la cantidad especificada para el ensayo. La porción de muestra acumulada en el otro recipiente se debe reservar para otros ensayos.

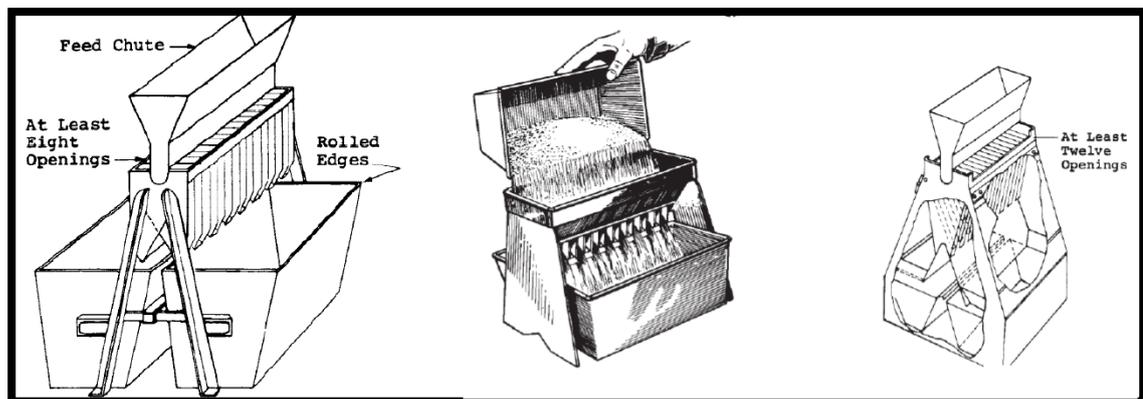


Figura N° 3.1. Divisor Mecánico (Bifurcador)

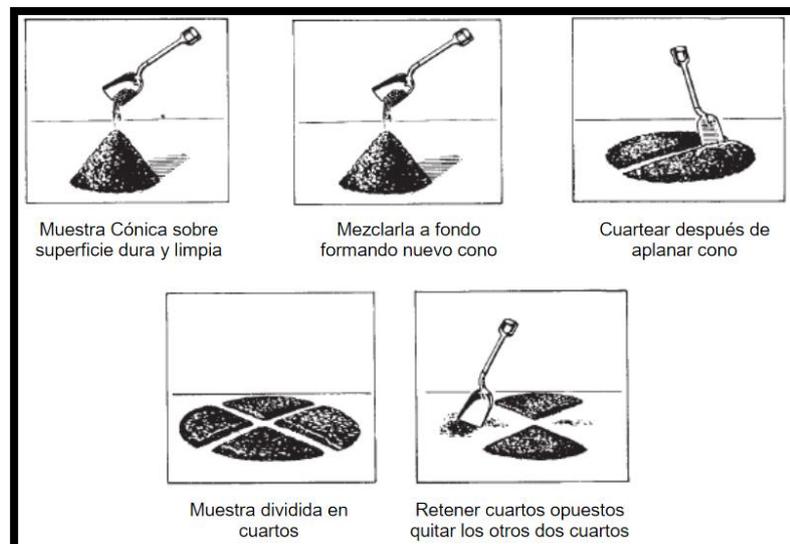
Fuente: ASTM C702

✓ **Método B: Cuarteo**

Se puede usar cualquiera de los procedimientos descritos en los dos numerales siguientes o una combinación de ambos.

- ❖ Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas. Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono; se mezcla de nuevo hasta formar un nuevo cono, repitiendo esta

operación tres veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del cono. Cuidadosamente se aplanar y extiende la pila cónica hasta darle base circular y espesor y diámetro uniforme presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original. El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor. Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida, tal como se aprecia en la **Figura 3.2**.



**Figura N° 3.2. Cuarteo Sobre Superficie Dura, Limpia y Nivelada**

Fuente: ASTM C702

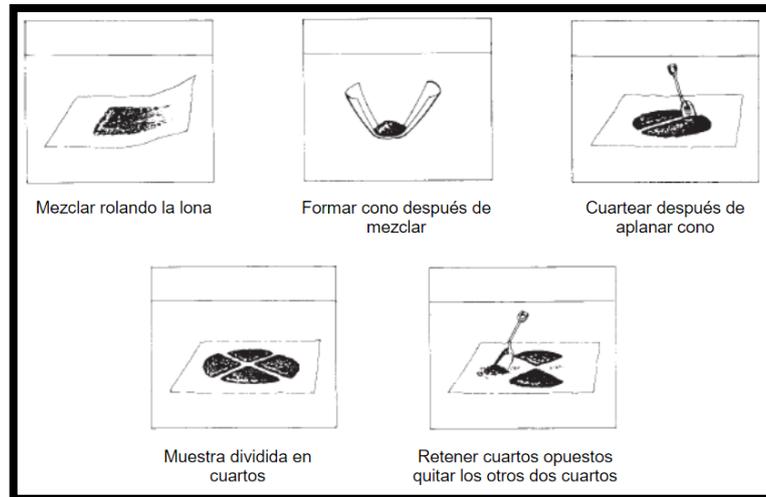


❖ Como una alternativa al procedimiento anterior, cuando la superficie no es uniforme, la muestra de campo se coloca sobre una lona sobre la cual se homogeniza la muestra original por paleo. Se puede operar también, mezclando el material mediante la elevación alternativa de las esquinas de la lona tirando hacia la muestra, como si se tratara de doblar la lona diagonalmente haciendo rodar al material. En cualquiera de los casos se procede a aplanar y extender la pila, y luego dividirlo, o si la superficie bajo la lona es irregular, se coloca debajo de la lona en el centro de la muestra una varilla que al levantar sus extremos divida la muestra en dos partes iguales.

Doblando las esquinas de la lona se saca la varilla y se coloca nuevamente debajo del centro de la lona en ángulo recto a la primera división y levantando ambos extremos de la varilla se divide la muestra en cuatro partes iguales.

Se descartan dos cuartos de muestra diagonalmente opuestos y cuidadosamente se limpia los filos de la lona.

Sucesivamente se mezcla y cuartea el material remanente hasta reducir la muestra a la cantidad deseada, tal como se aprecia en la **Figura 3.3**.



**Figura N° 3.3. Cuarteo Sobre Lona**

Fuente: ASTM C702

✓ **Método C: Pilcas Cónicas (Agregado fino húmedo)**

Se coloca la muestra de campo de agregado fino húmedo sobre una superficie limpia y nivelada para evitar cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas. Se mezcla el material completamente por volteo repitiendo la operación hasta tres veces. En la última operación cada palada se deposita en la parte superior del cono de modo que el material caiga uniformemente por los lados del cono. Si se desea la pila cónica puede ser aplanada hasta un espesor y diámetro uniforme presionando hacia abajo con la cuchara de la pala de tal forma que cada cuarto de sector resultante contenga el material original. Se obtiene la muestra para cada ensayo seleccionando al azar por lo menos cinco porciones de material localizados de la pequeña pila cónica usando el equipo antes mencionado.

### **3.1.2. MÉTODO DE ENSAYO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DE LOS AGREGADOS POR SECADO (MTC E 215)**

➤ **Objeto.**

Establecer procedimientos para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado.

➤ **Finalidad y Alcance.**

Las partículas más grandes de agregado grueso, especialmente aquellas superiores a 50 mm requerirán de más tiempo de secado para que la humedad se desplace del interior de la partícula hasta la superficie. El usuario de este método deberá determinar empíricamente si los métodos de secado rápido suministran la suficiente precisión para los fines requeridos, cuando se sequen partículas de tamaños mayores. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación por lo que no está incluido en el porcentaje determinado por este método.

➤ **Equipos.**

✓ **Balanza:** Con sensibilidad al 0,1 % del peso de prueba en cualquier punto dentro del rango de uso. Dentro de cualquier intervalo igual al 10% de la capacidad de la balanza, la

indicación del peso deberá tener una precisión dentro del 0,1 % del rango indicado.

- ✓ *Fuente de calor:* Un horno ventilado capaz de mantener la temperatura alrededor de la muestra  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Cuando no se requiera un control muy preciso de la temperatura, otras fuentes de calor pueden usarse, tales como una plancha o cocina eléctrica o a gas, lámparas caloríficas eléctricas o un horno microondas ventilado.
- ✓ *Recipiente para la muestra:* Un envase que no sea afectado por el calor y con suficiente capacidad para contener la muestra sin peligro de derramarse. Tendrá la forma conveniente para que el espesor de la muestra no exceda un quinto de la menor dimensión lateral.

***Precaución:*** Cuando se emplee un horno microondas, el recipiente será no-metálico

***Nota 1.*** Excepto cuando se ensayen muestras muy grandes, una fuente de horneado corriente es aparente para usarse con una cocina o plancha caliente, o cualquier fuente chata de metal se puede emplear con lámparas caloríficas u hornos.

➤ ***Muestra.***

El muestreo se efectuará de acuerdo con el método ***MTC E 103***, con excepción del tamaño de la muestra.

Deberá disponerse de una muestra representativa del contenido de humedad de la fuente de abastecimiento que está

evaluándose con una masa no menor de la cantidad indicada en la **Tabla N° 3.1**, la muestra deberá protegerse contra la pérdida de humedad antes de determinar su masa.

**Tabla N° 3.1. Tamaño de Muestra para Agregado Grueso**

Tamaño máximo nominal de agregado mm	Masa mínima de la muestra de agregado de
4.75 (0.187)(N° 4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2.0
19.0 (3/4)	3.0
25.0 (1)	4.0
37.5 (1 1/2)	6.0
50.0 (2)	8.0
63.0 (2 1/2)	10.0
75.0 (3)	13.0
90.0 (3 1/2)	16.0
100.0 (4)	25.0
150.0 (6)	50.0

Fuente: MTC E 215

➤ **Procedimiento.**

Determinar la masa de la muestra con una precisión del 0,1 %. Secar la muestra en el recipiente por medio de la fuente de calor elegida, teniendo cuidado de evitar la pérdida de ninguna partícula. Un secado muy rápido puede causar que exploten algunas partículas resultando en pérdidas de partículas. Usar un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo puede alterar las características del agregado o cuando se requiera una medición más precisa. Si se usa una fuente de



calor diferente al horno de temperatura controlada revolver la muestra durante el secado para acelerar la operación y evitar sobrecalentamiento localizado. Cuando se use un horno microondas, es opcional el devolver la muestra.

Cuando se use una plancha o cocina, el secado puede acelerarse mediante el siguiente procedimiento: Añadir suficiente alcohol anhidro hasta cubrir la muestra húmeda. Revolver y permitir que el material suspendido se asiente. Decantar la mayor cantidad posible de alcohol sin perder ninguna partícula de la muestra. Encender el alcohol remanente y permitir que arda hasta que se consuma durante el secado de la muestra sobre la plancha o cocina.

***Advertencia:*** Tomar precauciones para controlar la ignición a fin de prevenir daños o heridas con el alcohol encendido.

La muestra estará suficientemente seca cuando la aplicación de calor adicional cause o puede causar menos de 0,1% de pérdida adicional de masa.

Determinar la masa de la muestra seca con una aproximación de 0,1 % después que se haya secado y enfriado lo suficiente para no dañar la balanza.

➤ ***Cálculos e Informe.***

Calcular el contenido de humedad total evaporable de la siguiente manera.



$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

Donde:

*P*: Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje

*W*: Masa de la muestra húmeda original en gramos

*D*: Masa de la muestra seca en gramo

El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido de humedad total evaporable y la absorción, con todos los valores referidos a la masa de una muestra seca. La absorción puede determinarse de acuerdo con el método ***MTC E 205***.

### **3.1.3. MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO (NTP 400.012)**

#### **➤ Introducción.**

Este método de ensayo cubre la determinación de la distribución del tamaño de las partículas del agregado grueso y fino mediante tamizado.

Una muestra de agregado seco de masa conocida es separada a través de una serie de mallas de aberturas progresivamente menor para la determinación de los tamaños de las partículas.

Este método de ensayo es usado para determinar la graduación

de materiales propuestos para usarse como agregado en distintos tipos de mezclas y para proporcionar información necesaria en el control de la producción de dichas mezclas.

Es frecuente representar la granulometría del agregado haciendo uso de gráficos, asignando en el eje de las abscisas los tamaños de las aberturas de los tamices, y en el eje de las ordenadas los porcentajes que pasan las correspondientes mallas.

➤ **Tamaño de tamices**

Los tamices o mallas estándar para determinar la gradación de los agregados finos son:

No. 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

Las cribas o mallas estándar para el análisis del agregado grueso son: 6”, 3”, 1 ½”, ¾”, 3/8” y No. 4; otros tamaños de tamices que se utilizan para agregado grueso son: 2 ½”, 2”, 1” y ½”.

➤ **Material y equipo:**

- ✓ Arena.
- ✓ Grava.
- ✓ Balanzas de 0.1 y 0.5 g de precisión.
- ✓ Juego de Mallas: 1 ½”, 1”, ¾”, 1/2”, 3/8”, No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, No 200, fondo y tapa.
- ✓ Agitador de Mallas Mecánico

- ✓ Un horno a temperatura uniforme de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ).
- ✓ Juego de pesas: 500 gr., 1, 2, 5 y 10 kg.
- ✓ Un brochuelo.
- ✓ Recipientes de aluminio.
- ✓ Un cucharón de Aluminio.
- ✓ Una brocha, etc.

➤ **Especificaciones para Agregado Fino:**

El tamaño de la muestra de ensayo, después de secado, debe ser 300gr como mínimo.

El Agregado fino tendrá una granulometría dentro de los límites prescritos en la norma ASTM C33; véase la siguiente Tabla 3.2:

**Tabla N° 3.2. Límite de Graduación del Agregado Fino**

<b>GRADUACIÓN DEL AGREGADO FINO</b>		
<b>Abertura de Malla</b>		<b>Porcentaje que Pasa</b>
(9.51 mm)	3/8"	100
(4,75 mm)	Nº 4	95-100
(2.36 mm)	Nº 8	80-100
(1.18 mm)	Nº 16	50-85
(600 $\mu\text{m}$ )	Nº 30	10-30
(300 $\mu\text{m}$ )	Nº 50	10-30
(150 $\mu\text{m}$ )	Nº 100	2-10

Fuente: NTP 400.012

Los porcentajes mínimos mostrados en la tabla anterior para materiales que pasan las mallas Nº 50 y Nº 100, pueden reducirse a 5 y 0 respectivamente.

El agregado fino no tendrá más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas de las indicadas en la tabla anterior.

➤ **Especificaciones para Agregado Grueso:**

El tamaño de la muestra de ensayo de agregado grueso será conforme a lo siguiente:

**Tabla N° 3.3. Cantidad Mínima de la Muestra de Agregado Grueso**

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, ABERTURAS CUADRADAS		TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO, MÍNIMO
mm.	(pulg.)	Kg. (lb)
9.5	3/8"	1 (2)
12.5	1/2"	2 (4)
19.0	3/4"	5 (11)
25.0	1"	10 (22)
37.5	1 1/2"	15 (33)
50	2"	20 (44)
63	2 1/2"	35 (77)
75	3"	60 (130)
90	3 1/2"	100 (220)
100	4"	150 (330)
125	5"	300 (660)

Fuente: MTC E 204

Los requisitos de la norma ASTM C33 para granulometría de agregados gruesos, permiten un amplio rango de granulometrías y una diversidad de tamaños granulométricos, como aparece a continuación.



**Tabla N° 3.4. Requisitos de Granulometría para Agregado Grueso**

Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	CANTIDADES MENORES QUE PASAN CADA MALLA DE LABORATORIO (ABERTURAS CUADRADAS), % EN PESO												
	100 mm 4"	90 mm 3.54"	75 mm 3"	63 mm 2.5"	50 mm 2"	37.5 mm 1.5"	25 mm 1"	19 mm 3/4"	12.5 mm 1/2"	9.5 mm 3/8"	4.75 mm N° 4	2.36 mm N° 8	1.18 mm N° 16
3.5" a 1.5"	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2.5" a 1.5"	-	100	-	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2" a 1"	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
2" a N° 4	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
1.5" a 3/4"	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
1.5" a N° 4	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
1" a 1/2"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
1" a 3/8"	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-
1" a N° 4	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
3/4" a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-
3/4" a N° 4	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	25 a 55	0 a 10	0 a 5	-
1/2" a N° 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
3/8" a N° 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: ASTM C-33

➤ **Procedimiento**

1. Secar la muestra a peso constante a una temperatura de  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ .

**NOTA:** *Para ensayos de control, particularmente cuando se deseen resultados rápidos no es necesario secar el agregado grueso para el análisis granulométrico. Los resultados son ligeramente afectados por el contenido de humedad a menos que: (1) el tamaño máximo nominal es menor que 12,5 mm (1/2 pulgadas); (2) el agregado grueso contenga apreciable cantidad de material más fino que 4,75 mm (Nº 4); ó (3) el agregado grueso es altamente absorbente (ejemplo un agregado ligero).*

*También las muestras pueden ser secadas a una temperatura alta utilizando planchas calientes sin afectar los resultados, manteniendo los escapes de vapor sin generación de presiones suficientes como para fracturar las partículas y, temperaturas que no sean mayores como para causar el rompimiento químico del agregado.*

2. Se seleccionarán tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. El uso de tamices adicionales puede ser necesario para obtener otra información, tal como módulo de fineza o para regular la cantidad de material sobre un tamiz.



3. Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un período suficiente, establecido por tanda o verificado por la medida de la muestra ensayada.

**NOTA.** *Para tamices con aberturas de 4,75 mm (Nº 4) y mayores, la cantidad retenida en kg no deberá sobrepasar el producto de 2,5 x(abertura del tamiz en mm x (área efectiva de tamizado, m<sup>2</sup>)). Esta cantidad se muestra en la Tabla 3.3 para 5 dimensiones de tamices de uso común. En ningún caso la cantidad retenida será mayor como para causar deformación permanente al tamiz.*

Prevenir una sobrecarga de material sobre un tamiz individual por uno de los siguientes procedimientos:

- ❖ Colocar un tamiz adicional con abertura intermedia entre el tamiz que va a ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior en la disposición original de tamices.
- ❖ Separar la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individual. Combinar las masas de cada porción retenidas sobre un tamiz especificado antes de calcular el porcentaje de la muestra sobre el tamiz.
- ❖ Utilizar tamices de mayor armazón que provean mayor área de tamizado.



**Figura N° 3.4. Tamizador mecánico**

Fuente: *Elaboración Propia*

- ❖ Continuar el tamizado por un período suficiente, de tal manera que al final no más del 1 % de la masa del residuo sobre uno de los tamices, pasará a través de él durante 1 min de tamizado manual como sigue: Sostener firmemente el tamiz individual con su tapa y fondo bien ajustado en posición ligeramente inclinada en una mano. Golpear el filo contra el talón de la otra mano con un movimiento hacia arriba y a una velocidad de cerca de 150 veces por min, girando el tamiz un sexto de una revolución por cada 25 golpes. En la determinación de la eficacia del tamizado para medidas mayores de 4,75 mm (N° 4), limitar a una capa simple de partículas sobre el tamiz. Si la medida del tamiz hace impracticable el movimiento de tamizado descrito, utilizar el tamiz de 203 mm de diámetro

(8 pulgadas) para verificar la eficiencia del tamizado.

- ❖ En el caso del agregado global, la porción de la muestra más fina que el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) puede ser distribuida entre dos o más juegos de tamices para prevenir la sobrecarga de los tamices individuales; con el fin de facilitar la acción del tamizado.

*NOTA: En el caso que se requiera separar el agregado grueso del agregado fino, el material global se cortará por el tamiz de 3/8 pulgadas (9,5 mm).*

Alternativamente, la porción más fina que la malla de 4,75 mm (Nº 4), puede ser reducida utilizando un sacudidor mecánico de acuerdo con el método **MTC E 103**. Si se siguió este procedimiento, calcular la masa del incremento de cada medida de la muestra original como sigue:

$$A = \frac{W_1}{W_2} * B$$

Donde:

A: masa del incremento de la medida sobre la base de la muestra total.

W1: masa de la fracción más fina que la malla de 4,75 mm (Nº 4) en la muestra total.

W2: masa de la porción reducida de material más fino que la malla de 4,75 mm (Nº4) efectivamente tamizada.

B: masa del incremento en la porción reducida tamizada.



- ❖ A no ser que se utilice un sacudidor mecánico, tamizar manualmente las partículas mayores que 75 mm (3 pulgadas) para la determinación de las aberturas menores de tamiz a través de las que cada partícula debe pasar. Empezar con el menor tamiz utilizado. Alternar las partículas, si es necesario, para determinar si pasarán a través de una abertura particular; de cualquier modo, no fuerce las partículas a pasar a través del tamiz.
- ❖ Determinar la masa de cada incremento de medida sobre una balanza conforme a los requerimientos especificados aproximando al 0,1 % más cercano de la masa total original de la muestra seca. La masa total de material luego del tamizado deberá ser verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz.
- ❖ Si la muestra fue previamente ensayada por el método descrito en la NTP 400.018, adicionar la masa del material más fino que la malla de 75  $\mu\text{m}$  (N°200) determinada por el método de tamizado seco.

➤ **Cálculo**

- ✓ Calcular el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos, o los porcentajes sobre cada tamiz, aproximando al 0,1% más cercano de la masa seca inicial de la muestra. Si la misma muestra fue primero ensayada por el método de ensayo que se describe en la NTP 400.018, incluir la masa

de material más fino que la malla de 75  $\mu\text{m}$  (N°200) calculada por el método de lavado y utilizar el total de la masa de la muestra seca previa al lavado descrito en el método de ensayo de la NTP 400.018, como base para calcular todos los porcentajes.

- ✓ Cuando se ensayan incrementos de la muestra, como se indica en el apartado, se utilizará el total de la masa de la porción del incremento retenido en cada tamiz, para calcular los porcentajes que se mencionan en el apartado 2.
- ✓ Cuando se requiera, calcular el módulo de fineza, sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: 150  $\mu\text{m}$  ( N° 100); 300  $\mu\text{m}$  ( N° 50); 600 $\mu\text{m}$  ( N° 30); 1,18 mm (N° 16); 2,36 mm (N° 8); 4,75 mm (N° 4); 9,5 mm (3/8 de pulgada); 19,0 mm (3/4 de pulgada); 37,5 mm (1 1/2 pulgada) y mayores; incrementando en la relación 2 a 1.

#### **3.1.4. PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS (MTC E 203)**

##### **➤ Objeto**

Determinar el peso unitario suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos.

El método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal



de 150 mm (6”).

➤ **Finalidad y Alcance**

Se utiliza siempre para determinar el valor del peso unitario utilizado por algunos métodos de diseño de mezclas de concreto.

También se utiliza para determinar la relación masa/volumen para conversiones en acuerdos de compra donde se desconoce la relación entre el grado de compactación del agregado en una unidad de transporte o depósito de almacenamiento (que usualmente contienen humedad superficial absorbida) y los llevados a cabo por este ensayo que determina el peso unitario seco.

➤ **Equipos y Materiales**

✓ **Equipos**

Balanza: con una exactitud de 0,1% con respecto al peso del material usado.

Recipiente de medida, metálico, cilíndrico, preferiblemente provisto de agarraderas, a prueba de agua, con el fondo y borde superior pulido, plano y suficientemente rígido, para no deformarse bajo condiciones duras de trabajo. Los recipientes tendrán una altura aproximadamente igual al diámetro, y en ningún caso la altura será menor del 80% ni mayor que 150% del diámetro. La capacidad del recipiente utilizado en el ensayo, depende del tamaño máximo de las partículas del



agregado a ensayar, de acuerdo con los límites establecidos en la **Tabla 3.5**.

**Tabla N° 3.5. Capacidad de Recipiente de Medida**

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CAPACIDAD DE LA MEDIDA	
Mm	Pulgadas	L (m3)	pie <sup>3</sup>
12.5	1/2	2.8 (0.0028)	1/10
25.0	1	9.3 (0.0093)	1/3
37.5	1 1/2	14.0 (0.014)	1/2
75.0	3	28.0 (0.028)	1
112.0	4 1/2	70.0 (0.070)	2 1/2
150.0	6	100.0 (0.100)	3 1/2

Fuente: MTC E 203

El espesor del metal se indica en la **Tabla 3.6**. El borde superior será pulido y plano dentro de 0,25 mm y paralelo al fondo dentro de 0,5%. La pared interior deberá ser pulida y continua.

**Tabla N° 3.6. Capacidad de Recipiente de Medida**

ESPESOR DEL METAL MÍNIMO			
Capacidad de medida	Fondo	Sobre 1 ½ pulg ó 38 mm de pared	Espesor Adicional
Menos de 0,4p3	0,20 pulg	0,10 pulg	0,10 pulg
De 0,4 p3 a 1,5p3, incluido	0,20 pulg	0,20 pulg	0,12 pulg
Sobre 1,5 a 2,8p3, incluido	0,40 pulg	0,25 pulg	0,15 pulg
Sobre 2,8 a 4,0p3, incluido	0,50 pulg	0,30 pulg	0,20 pulg
Menos de 11 L	5,0 mm	2,5 mm	2,5 mm
11 a 42 L, incluido	5,0 mm	5,0 mm	3,0 mm
Sobre 42 a 80 L, incluido	10,0 mm	6,4 mm	3,8 mm
Sobre 80 a 133 L, incluido	13,0 mm	7,6 mm	5,0 mm

Fuente: MTC E 203

Equipo de Calibración: una plancha de vidrio de por lo menos 6 mm (1/4") de espesor y 25 mm (1") mayor del diámetro del recipiente a calibrar.

✓ **Materiales**

Varilla compactadora, de acero, cilíndrica, de 16 mm (5/8") de diámetro, con una longitud aproximada de 600 mm (24"). Un extremo debe ser semiesférico y de 8 mm de radio (5 /16").

Pala de mano: una pala o cucharón de suficiente capacidad para llenar el recipiente con el agregado

➤ **Muestra**

Luego de reducir la muestra de material para este ensayo que debe ser aproximadamente 125% a 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente de medida y ser manipulada evitando la segregación. Sacar el agregado a peso constante, preferible en un horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

➤ **Procedimiento**

- ✓ Llenar el recipiente de medida con agua a temperatura ambiente y cubrir con la placa de vidrio para eliminar burbujas y exceso de agua.
- ✓ Determinar el peso del agua en el recipiente de medida.
- ✓ Medir la temperatura del agua y determinar densidad, de la **Tabla 3.7**, interpolando si fuese el caso.

Tabla N° 3.7. Densidad de Agua

Temperatura		kg/m <sup>3</sup>	lb/pie <sup>3</sup>
°C	°F		
15.6	60	999.01	62.366
18.3	65	998.54	62.336
21.1	70	997.97	62.301
23	73.4	997.54	62.274
23.9	75	997.32	62.261
26.7	80	996.59	62.216
29.4	85	995.83	62.166

Fuente: MTC E 203

- ✓ Calcular el volumen (v) del recipiente de medida dividiendo el peso del agua requerida para llenarlo entre la densidad del agua.
- ✓ La calibración del recipiente de medida se realiza por lo menos una vez al año o cuando exista razón para dudar de la exactitud de la calibración.
- ✓ Determinación del peso unitario:
  - ❖ Procedimiento con pala: el recipiente de medida se llena con una pala o cuchara, que descarga el agregado desde una altura no mayor de 50 mm (2”) hasta que rebose el recipiente.  
Eliminar el agregado sobrante con una regla.

Determinar el peso del recipiente de medida más el contenido y el peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).

✓ Determinación del peso unitario:

- ❖ Procedimiento de apisonado: para agregados de tamaño máximo nominal de 37,5 mm (1 1/2") o menos.

Llenar la tercera parte del recipiente con el agregado, y emparejar la superficie con los dedos. Apisonar la capa de agregado con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente, utilizando el extremo semiesférico de la varilla. Llenar las 2/3 partes del recipiente, volviendo a emparejar la superficie y apisonar como anteriormente se describe. Finalmente llenar el recipiente hasta colmarlo y apisonar otra vez de la manera antes mencionada.

Al apisonar la primera capa, evitar que la varilla golpee el fondo del recipiente. Al apisonar las capas superiores, aplicar la fuerza necesaria para que la varilla atravesase solamente la respectiva capa.

Una vez colmado el recipiente, enrasar la superficie con la varilla, usándola como regla, determinar el peso del recipiente lleno y peso del recipiente solo, y registrar pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1 lb).



- ❖ Procedimiento de percusión: para agregados de tamaño máximo nominal entre 37,5 mm (1 ½") y 150 mm (6").

Llenar el recipiente con el agregado en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada una de las capas se compacta colocando el recipiente con el agregado sobre una base firme y se inclina, hasta que el borde opuesto al punto de apoyo, diste unos 50 mm (2") de la base. Luego dejar caer, lo que produce un golpe seco y repetir la operación inclinando el recipiente por el borde opuesto. Cada capa se compacta dejando caer el recipiente 50 veces de la manera descrita, 25 veces cada extremo.

Compactada la última capa, enrasar la superficie del agregado con una regla, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación con el plano de enrase. Determinar el peso del recipiente de medida lleno y peso del recipiente, registrar los pesos con aproximación de 0,05 kg (0,1lb).

### ➤ **Cálculos e Informe**

#### ✓ **Cálculos**

Peso unitario. - calcular el peso unitario compactado o suelto, como sigue:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

$$M = (G - T) * F$$

Donde:

M: Peso unitario del agregado en kg/m<sup>3</sup> (lb/pie<sup>3</sup>)

G: Peso del recipiente de medida más agregado en kg (lb)

T: Peso del recipiente de medida, kg (lb)

V: Volumen del recipiente de medida en m<sup>3</sup> (pie<sup>3</sup>)

F: Factor del recipiente de medida en m<sup>-3</sup> (pie<sup>-3</sup>)

El peso unitario determinado por este ensayo es para agregado en la condición seco. Si desea calcular el peso unitario en la condición saturado con superficie seca (SS), utilizar el procedimiento descrito en este método y en este caso calcular el peso unitario SSS utilizando la expresión:

$$M_{SSS} = \left( 1 + \left( \frac{A}{100} \right) \right)$$

Donde:

M<sub>SSS</sub>: Peso unitario en la condición saturado

A: Porcentaje de absorción del agregado determinado de acuerdo con **MTC E 205** o **MTC E 206**.

Contenido de vacíos en los agregados. - calcular el contenido de vacíos en el agregado utilizando el peso unitario, como sigue:

$$\%Vacios = \frac{(A * W) - M}{A * W}$$



Donde:

M: Peso Unitario del agregado en  $\text{kg/m}^3$  (lb/p<sup>3</sup>).

B: Peso unitario de los agregados en  $\text{kg/m}^3$  (lb/pie<sup>3</sup>).

W: Densidad del agua,  $998 \text{ kg/m}^3$  (62,4 lb/pie<sup>3</sup>)

✓ **Precisión**

Agregado Grueso (Peso Unitario):

- ❖ Precisión para un sólo operador: La desviación típica ha sido establecida en  $14 \text{ kg/m}^3$  (0,88 lb/p<sup>3</sup>). Luego los resultados de dos ensayos realizados por un sólo operador con el mismo material no diferirán en más de  $40 \text{ kg/m}^3$  (2,5 lb/p<sup>3</sup>).
- ❖ Precisión Multilaboratorio: La desviación típica ha sido establecida en  $30 \text{ kg/m}^3$  (1,87 lb/p<sup>3</sup>). Luego dos resultados realizados en dos diferentes laboratorios con el mismo material no diferirán en más de  $85 \text{ kg/m}^3$  (5,3 lb/p<sup>3</sup>).
- ❖ Estos valores de precisión, desviación estándar y máxima diferencia han sido establecidos para peso unitario por apisonado de agregados de peso normal y tamaño máximo nominal de 25 mm (1”) utilizando un recipiente de medida de 14 L(1/2 pie<sup>3</sup>) de capacidad.

Agregado Fino (Peso Unitario):

- ❖ Precisión para un sólo operador (REPETIBILIDAD): La desviación típica ha sido establecida en  $14 \text{ kg/m}^3$  (0,88

lb/p3). Luego los resultados de dos ensayos realizados por un sólo operador con un mismo material no diferirán en más de 40 kg/m<sup>3</sup> (2,5 lb/p3).

- ❖ **Precisión Multilaboratorio (REPRODUCTIBILIDAD):** La desviación típica ha sido establecida en 44 kg/m<sup>3</sup> (2,76 lb/p3). Luego dos resultados realizados en dos diferentes laboratorios con el mismo material no diferirán en más de 125 kg/m<sup>3</sup> (7,8 lb/p3).
- ❖ Estos índices de precisión, desviación típica y máxima diferencia, han sido establecidos para peso unitario suelto, utilizando un recipiente de medida de 2,8 L (1/10 p3).

### **3.1.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (MTC E 205)**

#### ➤ **Objeto**

Determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

#### ➤ **Finalidad y Alcance**

El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al



volumen. También es usado en el cálculo de vacíos en el agregado del ensayo **MTC E 203**.

El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial.

Se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en control de uniformidad de las características físicas.

No es aplicable para agregados ligeros por cuanto la inmersión en agua por 24 horas no asegura que los poros se llenen completamente, lo cual es un requisito necesario para poder aplicar el ensayo eficientemente.

➤ **Equipos y Materiales**

✓ **Equipos**

Balanza, con capacidad mínima de 1 000 g o más y sensibilidad de 0,1 g.

Estufa, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C.

✓ **Materiales**

Frasco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad, calibrado hasta 0,1 cm<sup>3</sup> a 20 °C.

Molde cónico, metálico de  $40 \pm 3$  mm de diámetro interior en su base menor,  $90 \pm 3$  mm de diámetro interior en una base mayor y  $75 \pm 3$  mm de altura

Varilla para apisonado, metálica, recta, con un peso de  $340 \pm 15$  g y terminada en un extremo en una superficie circular plana para el apisonado, de  $25 \pm 3$  mm de diámetro.

➤ **Muestra**

Muestrear el agregado de acuerdo con la MTC E 201. Mezclar uniformemente y reducir por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg.

Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas. Decantar el agua evitando pérdida de finos y extender el agregado sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio y remover



frecuentemente para el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran marcadamente entre sí. Colocar en el molde cónico y golpear la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde. Si existe humedad libre el cono de agregado fino mantiene su forma. Seguir secando, revolver constantemente y probar hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, lo que indica que el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca.

➤ **Procedimiento**

Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C hasta alcanzar la marca de 500 cm<sup>3</sup>. Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual o mecánicamente.

Manualmente rodar, invertir y agitar el frasco para eliminar todas las burbujas de aire.

*Nota. Cerca de 15 a 20 minutos son normalmente requeridos para eliminar las burbujas de aire por método manual.*

Mecánicamente, extraer las burbujas de aire por medio de una vibración externa de manera que no degrade la muestra.

Después de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura del frasco y su contenido a  $23 \pm 2$  °C y llenar el frasco hasta la capacidad calibrada. Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.

Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, enfriar a temperatura ambiente por  $\frac{1}{2}$  a  $1 \frac{1}{2}$  hora y determinar el peso.

➤ **Cálculos e Informe**

✓ **Cálculos**

Peso específico de masa ( $Pe_m$ ):

$$Pe_m = \frac{W_0}{V - V_a} * 100$$

Donde:

$Pe_m$ : Peso específico de masa

$W_0$ : Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g

$V$ : Volumen del frasco en  $cm^3$

$V_a$ : Peso en gramos o volumen en  $cm^3$  de agua añadida al frasco.

Peso específico de masa saturado con superficie seca

( $Pe_{sss}$ ):

$$Pe_{sss} = \frac{500}{V - V_a} * 100$$

Peso específico aparente ( $Pe_a$ ):

$$Pe_a = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} * 100$$

Absorción (Ab):

$$A_s = \frac{500 - W_0}{W_0} * 100$$

✓ **Informe**

Reportar el resultado del peso específico con aproximación a 0,01 e indicar el tipo de peso específico, ya sea de masa, saturado superficialmente seco o aparente.

Reportar el resultado de absorción con aproximación a 0,1%

**3.1.6. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS  
(MTC E 206)**

➤ **Objeto**

Establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basadas en agregados remojados en agua después de 24 horas. Este modo operativo no es aplicable para agregados ligeros.

➤ **Finalidad y Alcance**

Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas,

y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua.

Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción.

### ➤ **Equipos y Materiales**

#### ✓ **Equipos**

Balanza: Sensible a 0,5 g y con capacidad de 5 000 g ó más.

La balanza estará equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente con agua desde el centro de la plataforma de pesado.

Cesta con malla de alambre: Con abertura correspondiente al tamiz N° 6 o abertura menor, también se puede utilizar un recipiente de aproximadamente igual ancho y altura con capacidad de 4 a 7 L para tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o menores, y un cesto más grande como sea necesario para ensayar agregados con tamaños máximos mayores. El cesto deberá ser construido de tal forma de prevenir el aire atrapado cuando esté sumergido.

Depósito de agua: Un depósito estanco adecuado para sumergir la cesta de alambre en el agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.

Tamices: Un tamiz normalizado de 4,75 mm (Nº 4) o de otros tamaños como sean necesarios, de acuerdo a la N.T.P. 350.001.

Estufa: Una estufa capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C

✓ **Materiales**

Mezclar la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria usando el procedimiento descrito en la ASTM C 702. Descartar todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (Nº 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales. Si el agregado grueso contiene cantidades importantes de material más fino que el tamiz 4,75 mm (Nº 4) (tales como tamaños Nº 8 y 9 considerados en la Clasificación de la ASTM D 448), usar el tamiz 2,36 mm (Nº 8) en vez del tamiz 4,75 mm (Nº 4).

Alternativamente, separar el material más fino que el tamiz 4,75 mm y ensayarlo de acuerdo al Modo Operativo E 205.

El peso mínimo de la muestra de ensayo que será usado se presenta en la **Tabla 3.8**.

**Tabla N° 3.8. Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo**

Tamaño Máximo Nominal, mm (pulg)	Masa mínima de Prueba Kg (lb)
12.5 (1/2) ó menos	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (276)

Fuente: *MTC E 206*

Si la muestra es ensayada en dos o más fracciones de tamaños, determinar la gradación de la muestra de acuerdo con lo indicado en el Modo Operativo ***MTC E 204***.

➤ ***Procedimiento***

Secar la muestra a peso constante, a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, ventilar en lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas para muestras de ensayo de tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o mayores para tamaños más grandes hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente 50 °C). Inmediatamente sumergir el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de 24 h ± 4 h.



*Nota. Cuando se ensaya agregado grueso de tamaños máximos nominales mayores, sería conveniente realizar el ensayo en dos o más sub muestras, y los valores obtenidos combinarlos por cómputo.*

Cuando los valores de peso específico y la absorción van a ser usados en proporcionamiento de mezclas de hormigón (concreto) en los cuales los agregados van a ser usados en su condición natural de humedad, el requerimiento inicial de secado a peso constante puede ser eliminada y, si las superficies de las partículas de la muestra van a ser mantenidas continuamente húmedas antes de ensayo, el remojo de 24 h puede ser eliminado.

Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Secar separadamente en fragmentos más grandes. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca. Se determina éste y todos los demás pesos con aproximación de 0,5 g o al 0,05% del peso de la muestra, la que sea mayor.

Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a una temperatura entre  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , densidad

997 ± 2 kg/m<sup>3</sup>. Tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes del pesado sacudiendo el recipiente mientras se sumerge. Secar la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre 100 °C + 5°C y se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente 50 °C) y se pesa.

### ➤ **Cálculos e Informe**

#### ✓ **Cálculos**

##### Peso Específico:

- ❖ Peso Específico de masa (P<sub>em</sub>).

$$P_{em} = \frac{A}{B - C} * 100$$

Donde:

A: Peso de la muestra seca en el aire, gramos

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos

C: Peso en el agua de la muestra saturada

- ❖ Peso específico de masa saturada con superficie seca (P<sub>esss</sub>).

$$P_{esss} = \frac{B}{B - C} * 100$$

- ❖ Peso específico aparente (P<sub>ea</sub>).



$$P_{ea} = \frac{A}{A - C} * 100$$

Absorción (Abs):

$$A_b = \frac{B - A}{A} * 100$$

✓ **Informe**

Informar el resultado del peso específico con aproximación a 0,01, e indicar el tipo de peso específico, ya sea de masa, saturado superficialmente seco o aparente.

Informar el resultado de absorción con aproximación a 0,1 %. Si los valores de peso específico y absorción fueron determinados sin el primer secado del agregado, será notificado en el reporte.

### **3.2. ESTUDIO DEL CONCRETO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS)**

#### **3.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL**

El desarrollo experimental parte con el diseño de un concreto sin MEPS (concreto patrón, en adelante CP.) que servirá de referencia en el estudio de concretos con diferentes dosis de MEPS.



Se prepararán tres grupos de probetas de concreto donde se adicionarán MEPS reciclados en dosis de 5%, 10%, 15%, 20% y 30%, respectivamente.

El procedimiento consiste en la elaboración de probetas cilíndricas de 30x15 cm. de concreto, en las cuales se adicionará MEPS al concreto, proceso que se describirá más adelante.

Una vez elaboradas las probetas, se realizarán ensayos con los cuales se determinarán las propiedades físicas y mecánicas del concreto con MEPS.

### **3.2.2. GRANULOMETRÍA DEL MEPS**

- El MEPS de grano fino utilizado tiene un tamaño de 1 a 4 mm obtenido mediante trituración y desmoronamiento manual luego del proceso térmico aplicado.

### **3.3. MÉTODOLÓGÍA DE FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS**

Para poder llevar acabo el método experimental, se hizo una aproximación del volumen de cada concreto necesario para realizar los diferentes ensayos. Se calcularon los volúmenes de las probetas y se multiplicaron por el número de probetas necesarias para cada ensayo.

A la hora de determinar una dosificación para el concreto de referencia, se ha adoptado por utilizar una dosificación dada por el método de ACI con una relación agua-cemento de 0.56 constante.



Es importante destacar que en la dosificación de éstos cinco concretos con MEPS se ha mantenido constante, variando únicamente la cantidad de MEPS introducida.

### **3.3.1. DOSIFICACIÓN DE LOS GRUPOS DE CONCRETOS**

Se confeccionarán cinco grupos de concretos de probetas cilíndricas de 30x15 cm con las siguientes dosis de MEPS:

- Grupo N° 1: C5%-MEPS
- Grupo N° 2: C10%-MEPS
- Grupo N° 3: C15%-MEPS
- Grupo N° 4: C20%-MEPS
- Grupo N° 5: C30%-MEPS

Los datos necesarios para la dosificación de los diferentes grupos de concretos son los siguientes:

- Densidad del agregado fino: 2.75 gr/cm<sup>3</sup>
- Densidad del agregado grueso: 2.83 gr/cm<sup>3</sup>
- Densidad del MEPS: 0.176 gr/cm<sup>3</sup>

El resumen de los pesos de los materiales por metro cúbico se muestra a continuación:

- Cemento: 366.07 kg/m<sup>3</sup>
- Agregado fino: 898.61 kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso: 947.88 kg/m<sup>3</sup>
- Agua efectiva: 206.06 Lt/m<sup>3</sup>



Para encontrar el peso de la dosificación en el caso del C5%-MEPS se ha multiplicado el 5% del peso del cemento por probeta como se muestra en la **Tabla 3.9**:

$$\text{Cemento} = 366.07 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen de probeta} = 0.005299 \text{ m}^3$$

$$\text{Entonces: } 366.07 \text{ kg/m}^3 * 0.005299 \text{ m}^3 = 1.939813 \text{ kg}$$

$$\text{Cantidad de MEPS gr para 5\%: } 1.939813 * 0.05 * 1000 = 97 \text{ gr}$$

$$\text{Cantidad de MEPS gr para 10\%: } 1.939813 * 0.10 * 1000 = 194 \text{ gr}$$

$$\text{Cantidad de MEPS gr para 15\%: } 1.939813 * 0.15 * 1000 = 291 \text{ gr}$$

$$\text{Cantidad de MEPS gr para 20\%: } 1.939813 * 0.20 * 1000 = 388 \text{ gr}$$

$$\text{Cantidad de MEPS gr para 30\%: } 1.939813 * 0.30 * 1000 = 582 \text{ gr}$$

En la **Tabla 3.9** se describen las distintas dosificaciones por metro cúbico de los concretos con MEPS reciclados.

**Tabla N° 3.9. Dosificación de Concreto con MEPS**

MEZCLAS	CEMENTO (kg/m <sup>3</sup> )	ARIDOS CONVENCIONALES		PARTICULAS DE MEPS
		Arena (kg/m <sup>3</sup> )	Piedra (kg/m <sup>3</sup> )	(1-4 mm) Kg/m <sup>3</sup>
CP	366.07	898.61	947.88	-
C5%-MEPS	366.07	898.61	947.88	18.30
C10%-MEPS	366.07	898.61	947.88	36.61
C15%-MEPS	366.07	898.61	947.88	54.90
C20%-MEPS	366.07	898.61	947.88	73.21
C30%-MEPS	366.07	898.61	947.88	109.82

Fuente: *Elaboración Propia*

Una vez realizados los ensayos se pudo observar que la adición del MEPS aumenta el volumen del concreto, por lo cual se calculó el aumento en un 42% por m<sup>3</sup> para una adición de MEPS del 20% del volumen del concreto. Por lo cual la mezcla de concreto, para cada porcentaje de variación de MEPS, aumenta un cierto porcentaje de volumen. A ese porcentaje de aumento se tiene que reajustar a cada material para el cálculo exacto de volúmenes. (VER ANEXO N°04)

### 3.3.2. NOMENCLATURA DE LAS PROBETAS

Para poder mantener un adecuado registro de las probetas, se ha establecido la codificación que se detalla en la **Tabla 3.10**.

**Tabla N° 3.10. Nomenclatura de las Probetas**

Código	Designación
CP	Concreto patrón sin MEPS (referencia).
C5%-MEPS	Concreto con 5% del peso del cemento de MEPS.
C10%- MEPS	Concreto con 10% del peso del cemento de MEPS.
C15%- MEPS	Concreto con 15% del peso del cemento de MEPS.
C20%- MEPS	Concreto con 20% del peso del cemento de MEPS.
C30%- MEPS	Concreto con 30% del peso del cemento de MEPS.

Fuente: *Elaboración Propia*

En primer lugar, se ha diferenciado el concreto en función de su composición: concreto de referencia y concreto con MEPS. La codificación de éstos últimos



está dividida en cinco partes (5%, 10%, 15%, 20%, 30%).

### **3.4. ELABORACIÓN DEL CONCRETO CON MEPS PARA ENSAYOS DE LABORATORIO**

#### **3.4.1. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE CONCRETO**

Antes de empezar con la rotación de la mezcladora se introducirá el agregado grueso con algo de agua que se usa en la mezcla como se muestra en la **Figura Nº 3.4**. Se pondrá en funcionamiento la mezcladora, al cabo de unas cuantas revoluciones se pasará, para adicionar el agregado fino junto con el MEPS para evitar que este se vuele y se pierda para que a continuación se eche el cemento, y por último el agua restante.

Seguidamente se mezclará el concreto durante 3 minutos a partir del momento en que todos los ingredientes estuvieran en la mezcladora. Se apagará la mezcladora durante 3 minutos y se pondrá en funcionamiento durante 2 minutos de agitación final.

El concreto se recibirá limpio y seco para agitarlo con un badilejo hasta hacerlo uniforme y evitar la segregación.



**Figura N° 3.5. Mezcladora de Concreto con MEPS**

Fuente: *Elaboración Propia*

### **3.4.2. PREPARACIÓN DE LOS MOLDES**

Para la realización del ensayo se han utilizarán probetas cilíndricas de 30x15 cm de acero. Los moldes deberán estar limpios y con superficie interior totalmente lisa. Antes de moldear las muestras se les ubicará lo más cerca posible del lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Y también se cubrirá la parte interior con una película de petróleo para evitar que el concreto se pudiera adherir al molde. Se colocará los moldes sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. (Ver **Figura N° 3.6**).



**Figura N° 3.6. Moldes Preparados para el Vertimiento de Concreto**

Fuente: *Elaboración Propia*

### **3.4.3. VERTIDO Y COMPACTACIÓN DEL CONCRETO**

Para el llenado de los moldes se verterá el concreto en tres partes, cada una de aproximadamente  $\frac{1}{3}$  de la altura del molde y nunca superior a 100 mm de espesor.

Se apisonará cada capa con la parte redonda de la varilla, se penetrará ligeramente en la capa inferior para asegurar la homogeneidad entre capas con el objetivo de eliminar las burbujas de aire atrapado en la masa, tanto exteriores como interiores. En éste proyecto se utilizará la compactación manual realizada con una varilla compactadora. Se someterá al concreto de por lo menos 25 golpes por capa y después se golpeará lateralmente el recipiente, de forma cuidadosa, con el mazo de goma hasta que las burbujas de aire mayores desaparezcan.

El concreto residual depositado sobre el borde superior del molde se retirará con la ayuda de una espátula metálica mediante una acción de vaivén, y posteriormente se nivelará la superficie hasta conseguir una cara perfectamente plana y lisa (ver **Figura N° 3.7**).



**Figura N° 3.7. Vertido y Compactación de Concreto**

Fuente: *Elaboración Propia*

#### **3.4.4. CURADO INICIAL DEL CONCRETO**

El curado inicial del concreto tiene por finalidad impedir la pérdida de agua por evaporación de la mezcla y controlar la temperatura de la misma durante el proceso inicial de hidratación de los componentes activos del cemento, para que el concreto pueda alcanzar su máxima resistencia y durabilidad. Mantener el contenido de humedad en el concreto es fundamental, y se colocará sobre las probetas cubriendo la totalidad de la superficie una lámina de plástico impermeable.



Este método se utilizará mediante las 24 primeras horas en el laboratorio a una temperatura de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Durante este tiempo las probetas deberán estar protegidos de impactos y vibraciones.

El curado inicial del concreto se realizará siguiendo al **MTC E702 – 2016**.

#### **3.4.5. DESMOLDE E INMERSIÓN DE LA MUESTRA EN AGUA**

Transcurrido el tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de que se elaboró la probeta de concreto, se procederá a desmoldar las probetas cilíndricas, y para ello se aflojaron las tuercas. Y una vez desmoldadas las probetas, se transportarán evitando los golpes a una estancia con las condiciones ambientales normalizadas para continuar así con el proceso de curado.

Para la conservación de las probetas de concreto se colocarán en una piscina de agua en donde la probeta permanecerá totalmente sumergida y procurando que no se toquen entre sí.

(Ver **Figura N° 3.8**).



**Figura N° 3.8. Probetas Conservadas y Sumergidas en Agua**

Fuente: *Elaboración Propia*

### **3.5. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CÁLCULO DE LOSA UNIDIRECCIONAL**

#### **3.5.1. CONSIDERACIONES INICIALES**

Claro libre: 3.00 m

Densidad del concreto  $W_c$ : 1839.00 kg/m<sup>3</sup>

Resistencia a la compresión: 158.70 kg/cm<sup>2</sup>

Tensión de fluencia del acero: 4200.000 kg/cm<sup>2</sup>

Módulo de elasticidad del acero: 2100000.00 kg/cm<sup>2</sup>

Factores  $f'c \leq 280 \Rightarrow \alpha = 0.75 \wedge \beta = 0.425$

### ➤ **CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA**

La luz corresponde a la distancia entre los ejes de los apoyos según la norma **ACI 318S -14** por lo que se considera:

$$l = 300 \text{ (cm)}$$

El espesor mínimo se obtiene mediante la **Tabla Nº 2.21** y sus respectivos factores de concreto liviano y de tensión de fluencia del acero.

$$h_{min} = \frac{l}{20} (1.65 - 0.0003W_c)$$
$$h_{min} = \frac{300}{20} (1.65 - 0.0003 \times 1839)$$
$$h_{min} = 16.4745 \text{ (cm)}$$
$$\text{entonces } h_{min} = 17 \text{ (cm)}$$

### ➤ **RECUBRIMIENTO (r)**

En cuanto al recubrimiento se utilizará un valor de 2 cm ( $r=2$ ) cumpliendo con el mínimo exigido en la norma para elementos no expuestos a intemperie ni en contacto con el suelo.

### ➤ **ALTURA EFECTIVA (d)**

$$d = h - r$$
$$d = 17 - 2$$
$$d = 15 \text{ (cm)}$$

➤ **CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO ( $E_c$ )**

Por ser concreto ligero según lo estipulado en el **RNE E.060** se obtiene mediante la fórmula siguiente:

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

$$E_c = 1839^{1.5} 0.043 \sqrt{15.8}$$

$$E_c = 13479.3699 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 134793.699 \text{ Kgf/cm}^2$$

De acuerdo a ensayos realizados en laboratorio se determinó que el módulo de elasticidad para el concreto ligero utilizado es de:

$$E_c = 251044.00 \text{ Kgf/cm}^2$$

➤ **CÁLCULO DE LA CARGA ÚLTIMA SOLICITANTE ( $Q_u$ )**

✓ **CARGA POR PESO PROPIO ( $Q_{pp}$ )**

$$Q_{pp} = \frac{W_c b h}{100^3}$$

$$Q_{pp} = \frac{1839 \times 100 \times 17}{100^3}$$

$$Q_{pp} = 3.1263 \text{ kg/cm}$$

✓ **CARGA POR ACABADOS ( $Q_t$ )**

Distribuyendo en un metro de losa.

$$Q_t = 1 \text{ kg/cm}$$

✓ **SOBRECARGA DE USO ( $Q_s$ )**

De acuerdo con el **RNE E.020** para sobrecargas en construcciones habitacionales distribuyendo en un metro de losa se obtiene lo siguiente:

$$Q_{pp} = 2 \text{ kg/cm}$$

Mayorando las cargas anteriormente mencionadas

$$Q_u = 1.2 \text{ Dead} + 1.6 \text{ Live}$$

$$Q_u = 1.2(3.1263 + 1) + 1.6(2)$$

$$Q_u = 8.15156 \text{ kg/cm}$$

➤ **MOMENTO ÚLTIMO SOLICITANTE ( $M_u$ )**

$$M_u = \frac{Q_u l^2}{8}$$

$$M_u = \frac{(8.15156)(300^2)}{8}$$

$$M_u = 91705.05 \text{ (kg.cm)}$$

➤ **CÁLCULO DE CUANTÍA**

✓ **CUANTÍA BALANCEADA ( $P_b$ )**

$$P_b = \alpha \cdot \frac{f'_c}{\sigma_y} \cdot \frac{0.003}{0.003 + \frac{\sigma_y}{E_s}}$$

$$P_b = 0.75 \cdot \frac{158.70}{4200} \cdot \frac{0.003}{0.003 + \frac{4200}{2100000}}$$

$$P_b = 0.017$$

✓ **CUANTÍA MÁXIMA ( $P_{max}$ )**

$$P_{max} = 0.75P_b$$

$$P_{max} = 0.75 * 0.017$$

$$P_{max} = 0.013$$

➤ **CÁLCULO DEL ÁREA DE ACERO POR FLEXIÓN ( $A_s$ )**

$$A_s = \frac{91705.05}{0.9 * 4200 * (15 - \frac{a}{2})}$$

$$a = \frac{A_s * 4200}{0.85 * 158.70 * 100}$$

Iterando se obtiene que:

$$a = 0.51$$

$$A_s = 1.64 \text{ cm}^2$$

Se utilizan como armadura 6 barras  $\varnothing$  6mm (1/4") espaciadas a 20 cm, lo cual implica un área de acero total ( $A_s$ ) de 1.68  $\text{cm}^2$

➤ **CUANTÍA DE DISEÑO DE ARMADURA ( $P$ )**

$$p = \frac{A_s}{d \cdot b}$$

$$p = \frac{1.68}{15 \times 100}$$

$$p = 0.00112$$

$$p = 0.00112 < P_{max} = 0.013$$

➤ **POSICIÓN DEL EJE NEUTRO ( $c$ )**

$$c = \frac{A_s \cdot \sigma_y}{\alpha \cdot f'_c \cdot b}$$

$$c = \frac{1.68 \times 4200}{0.75 \times 158.70 \times 100}$$

$$c = 0.5928 \text{ (cm)}$$

➤ **RESULTANTE DE DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES ÚLTIMAS DE COMPRESIÓN EN EL CONCRETO (C)**

$$C = \alpha \cdot f'_c \cdot b \cdot c$$

$$C = 0.75 \times 158.70 \times 100 \times 0.5928$$

$$C = 7055.8 \text{ (kg)}$$

➤ **RESULTANTE DE FUERZAS DE TRACCIÓN ÚLTIMA SOBRE LA ARMADURA DE ACERO (T)**

$$T = A_s \cdot \sigma_y$$

$$T = 1.68 \times 4200$$

$$T = 7056 \text{ (kg)}$$

➤ **MOMENTO NOMINAL (Mn)**

$$M_n = T[d - (\beta \cdot c)]$$

$$M_n = 7056[15 - (0.425 \times 0.60)]$$

$$M_n = 104040.72 \text{ (kg.cm)}$$

➤ **VERIFICACIÓN DE MOMENTOS**

$$\phi \cdot M_n \geq M_u$$

$$0.9 \times 104040.72 \geq 91705.05$$

$$93636.648 \geq 91705.05$$

➤ **CÁLCULO DEL ACERO POR RETRACCIÓN Y TEMPERATURA ( $A_{sr}$ )**

De la **Tabla N° 2.26** se obtiene;  $p_{min}=0.0018$

Entonces área de acero por retracción

$$A_{sr} = p_{min} \cdot b \cdot h$$

$$A_{sr} = 0.0018 \times 100 \times 17$$

$$A_{sr} = 3.06 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Empleando barras  $\phi 6$ , tenemos la separación siguiente:

$$S_r = \frac{100 \cdot A_b}{A_{sr}}$$

$$S_r = \frac{100 \times 0.28}{3.06}$$

$$S_r = 9.15 \text{ (cm)}$$

Por lo que se utilizaron barras  $\phi 6 @ 15 \text{ cm}$

➤ **REVISIÓN POR CORTANTE**

✓ **FUERZA CORTANTE MAYORADA DE LA SECCIÓN ( $V_u$ )**

$$V_u = \frac{(1.2 \text{Dead} + 1.6 \text{Live})(l)}{2}$$

$$V_u = \frac{(1.2(3.1263 + 1) + 1.6(2))(300)}{2}$$

$$V_u = \frac{8.15156 \times 300}{2}$$

$$V_u = 1222.734 \text{ (kg)}$$

✓ **RESISTENCIA NOMINAL AL CORTANTE ( $V_c$ )**

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{(0.85 f'_c) b d}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{(0.85 \times 158.70)(100 \times 15)}$$

$$V_c = 2903.6076 \text{ (kg)}$$

✓ **REDUCCIÓN Y VERIFICACIÓN DE CORTE ( $\emptyset V_c$ )**

$$\emptyset V_c = (0.75)V_c$$

$$\emptyset V_c = (0.75)(2903.6076)$$

$$\emptyset V_c = 2177.7057$$

$$\emptyset V_c = 2177.7057 \text{ (kg)} > V_u = 1222.734 \text{ (kg)}$$

➤ **DEFORMACIÓN TEÓRICA DE LOSA ( $\delta t$ )**

Para determinar dicha deformación se realiza el cálculo del eje centroidal vertical e inercia con el método de sección transformada.

✓ **COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA ( $n$ )**

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = \frac{2100000}{251044}$$

$$n = 8.365$$

✓ **EJE CENTROIDAL ( $\bar{Y}$ )**

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$\bar{Y} = \frac{A_{sec} Y_{sec} + A_s Y_s (n - 1)}{A_{sec} + A_s (n - 1)}$$

$$\bar{Y} = \frac{1700 \times 8.5 + 1.68 \times 2.3 \times 7.365}{1700 + 1.68 \times 7.365}$$

$$\bar{Y} = 8.455 \text{ cm}$$

✓ **INERCIA (I)**

Utilizando la sección transformada y el teorema de Steiner se obtiene lo siguiente:

$$I = \frac{bh^3}{12} + A_{sec}(\bar{Y}_{sec} - \bar{Y})^2 + (n-1)n_b \left[ \frac{\pi \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^4}{4} + \frac{A_s}{n_b} (\bar{Y} - \bar{Y}_s)^2 \right]$$
$$I = \frac{100 \times 17^3}{12} + 1700(8.5 - 8.455)^2 + 7.365 \times 6 \left[ \frac{\pi(0.3)^4}{4} + \frac{1.68}{6} (8.455 - 2.3)^2 \right]$$
$$I = 41414.14114 \text{ cm}^4$$

✓ **DEFORMACIÓN ( $\delta_t$ )**

$$\delta_t = \frac{5ql^4}{384EI}$$
$$\delta_t = \frac{5((3.1263 + 1) + 2)(300)^4}{384 \times 251044 \times 41414.14114}$$
$$\delta_t = 0.06215 \text{ cm}$$

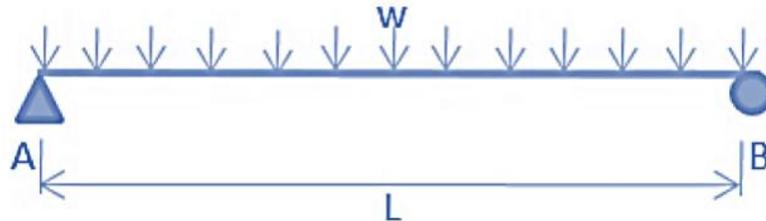
➤ **DEFORMACIÓN MÁXIMA ADMISIBLE DE LOSA ( $\delta_{adm}$ ) Y VERIFICACIÓN**

Según la **Tabla Nº 2.25**, la deformación para entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles a daños secundarios a grandes deflexiones, está dada de la siguiente forma:

$$\delta_{adm} = \frac{l}{360}$$
$$\delta_{adm} = \frac{300}{360}$$
$$\delta_{adm} = 0.833 \text{ cm} > \delta_t = 0.06215 \text{ cm}$$

### 3.6. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CÁLCULO DE LOSA UNIDIRECCIONAL A ESCALA REAL

Sea la viga simplemente apoyada AB con una fuerza uniformemente distribuida  $w$ .



$$\delta_t = \frac{5ql^4}{384EI}$$

dado que el modelo es geoméricamente igual que el prototipo, y siendo  $\lambda$  la escala entre el prototipo y el modelo:

$$\frac{L_m}{L_p} = \lambda$$

Siendo el material el mismo del prototipo y del modelo:

$$E_p = E_m$$

De la deflexión en el prototipo y en el modelo se relación así:

$$\frac{\delta_p}{\delta_m} = \phi$$

$$\delta_p = \frac{5}{384} * \frac{w_p * L_p^4}{E_p * I_{np}}$$

$$\delta_m = \frac{5}{384} * \frac{w_m * L_m^4}{E_m * I_{nm}}$$

$$E_p = E_m; L_p = \lambda * L_m; I_{np} = L_p^4; I_{nm} = L_m^4; w_p = \frac{M_p * g}{L_p}; w_m = \frac{M_m * g}{L_m}$$



Determinación de  $\phi$  igualando  $E_p = E_m$ ;  $L_p = \lambda * L_m$ ;  $I_{np} = L_p^4$ ;  $I_{nm} = L_m^4$ , de donde tenemos:

$$\frac{\delta_p}{\delta_m} = \phi$$
$$\frac{\frac{5}{384} * \frac{w_p * L_p^4}{E_p * I_{np}}}{\frac{5}{384} * \frac{w_m * L_m^4}{E_m * I_{nm}}} = \phi$$
$$\frac{M_p}{\lambda * M_m} = \phi$$

La densidad del material también es la misma del prototipo y modelo:

$$\rho_p = \frac{M_p}{L_p^3}; \rho_m = \frac{M_m}{L_m^3}; \rho_p = \rho_m$$
$$\frac{M_p}{\lambda^3 * L_m^3} = \frac{M_m}{L_m^3}$$
$$M_p = \lambda^3 * M_m$$

Reemplazando  $M_p$  en:

$$\frac{M_p}{\lambda * M_m} = \phi$$
$$\frac{\lambda^3 * M_m}{\lambda * M_m} = \phi$$
$$\phi = \lambda^2$$

Por lo que el factor de escala con respecto a las deformaciones es:

$$\frac{\delta_p}{\delta_m} = \phi$$
$$\delta_p = \lambda^2 * \delta_m$$



Escala de fuerza:

$$\frac{wp}{wm} = \omega$$

$$\frac{Mp * g}{Lp} = \omega$$
$$\frac{Mm * g}{Lm}$$

$$\frac{\lambda^3 * Mm * g}{\lambda * Lm} = \omega$$
$$\frac{Mm * g}{Lm}$$

$$\frac{\lambda^3 * Mm * g}{\lambda * Lm} = \omega$$
$$\frac{Mm * g}{Lm}$$

$$\lambda^2 = \omega$$

$$\frac{wp}{wm} = \lambda^2$$

$$wp = \lambda^2 * wm$$



# **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUCIONES**

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUCIONES

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS)

Los ensayos realizados al MEPS reciclado se muestran a continuación.

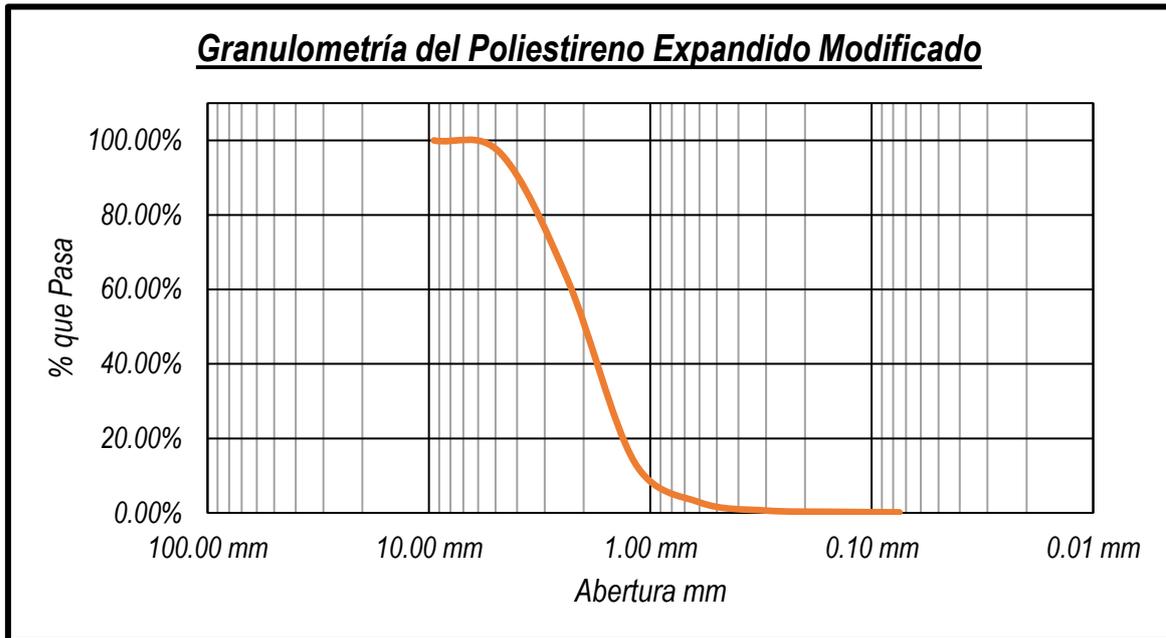
##### 4.1.1.1. GRANULOMETRÍA DEL MEPS

Las características granulométricas quedan reflejadas en la **Tabla N° 4.1** y el **Gráfico N° 4.1**, en donde se indica el porcentaje de las fracciones del MEPS que pasan por los distintos tamices.

**Tabla N° 4.1. Granulometría MEPS**

<b>Mallas</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (gr)</b>	<b>Retenido %</b>	<b>Retenido Acumulado %</b>	<b>Pasa %</b>
3/8"	9.50 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.75 mm	117.00 gr	3.46%	3.46%	96.54%
N° 8	2.36 mm	1152.00 gr	34.05%	37.51%	62.49%
N° 16	1.18 mm	1653.00 gr	48.86%	86.37%	13.63%
N° 30	0.60 mm	365.00 gr	10.79%	97.16%	2.84%
N° 50	0.30 mm	75.00 gr	2.22%	99.38%	0.62%
N° 100	0.15 mm	11.00 gr	0.33%	99.70%	0.30%
N° 200	0.075 mm	5.00 gr	0.15%	99.85%	0.15%
Fondo		5.00 gr	0.15%	100.00%	0.00%
<b>Total</b>		<b>3383.00 gr</b>	<b>100.00%</b>		

Fuente: *Elaboración Propia*



**Gráfico N° 4.1. Granulometría MEPS**

*Fuente: Elaboración Propia*

La característica granulométrica queda reflejada en la **Tabla N° 4.1** y el **Gráfico N° 4.1**, donde se indica el porcentaje de las fracciones del MEPS que pasan por los distintos tamices. El cual da como resultado un **Módulo de Fineza de 4.24**.

#### 4.1.1.2. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MEPS

En la **Tabla N° 4.2**, se muestra el contenido de humedad del MEPS.

**Tabla N° 4.2. Contenido de Humedad del MEPS**

Ensayos N°	01	02	03	
Peso de tara	27.15 gr	27.21 gr	27.19 gr	Promedio
Peso de tara + agregado	40.86 gr	46.11 gr	45.94 gr	
Peso de tara + agregado seco	40.79 gr	46.04 gr	45.86 gr	
Peso de agua	0.07 gr	0.07 gr	0.09 gr	
Peso de agregado seco	13.64 gr	18.83 gr	18.67 gr	
Contenido de Humedad	0.48%	0.37%	0.46%	<b>0.44%</b>

Fuente: *Elaboración Propia*

Entonces el contenido de humedad promedio del MEPS es de **0.44%**.

*Nota: En el caso de la absorción del MEPS se le consideró cero, puesto que el poder de absorción de agua del MEPS es muy bajo, así como para fines didácticos.*

#### 4.1.2. CONSISTENCIA (ASENTAMIENTO)

El ensayo de consistencia se realiza para determinar la oposición que presenta el concreto fresco a experimentar deformaciones. Se ha considerado utilizar el Cono de Abrams como método de ensayo de asentamiento.

A continuación, se detallan los resultados en la **Tabla N° 4.3**.

**Tabla N° 4.3. Resultados de Ensayo de Consistencia**

<b>Tipo de concreto</b>	<b>Asentamiento</b>	<b>Aspecto del concreto</b>
CP	8.89 cm	
C5%-MEPS	7.11 cm	
C10%-MEPS	5.84 cm	
C15%-MEPS	4.57 cm	
C20%-MEPS	3.30 cm	
C30%-MEPS	1.27 cm	

Fuente: *Elaboración Propia*



#### **4.1.3. DENSIDAD, ABSORCIÓN Y POROSIDAD**

El ensayo describe un método para la determinación de la densidad, porcentaje de absorción y, porcentaje de huecos en el concreto endurecido. Para ello, es necesario someter tres muestras de cada tipo de concreto a inmersión durante 24 horas y, a continuación, ha secado en una estufa a una temperatura entre 100 y 110 °C durante 24 horas más. Con este procedimiento se obtiene la masa aparente en el agua, la masa saturada superficie seca y la masa seca, respectivamente, datos necesarios para poder determinar la densidad, absorción y porosidad del concreto endurecido.

El ensayo de densidad, porosidad y absorción se ha realizado siguiendo la UNE EN 12390-700:2000, MTC E 206, NTP 339.187 y metodología interna del laboratorio.

A continuación, se detallan los resultados en la **Tabla N° 4.4.**



Tabla N° 4.4. Resultados de Ensayo de Densidad, Absorción y Porosidad

Probetas Concreto		Msss (gr)	Maa (gr)	Ms (gr)	p (gr/cm <sup>3</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Absorción %	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad %
Concreto Patrón	7 días	12497	7256	12220	1 gr/cm <sup>3</sup>	5241	2.27%	2331.62	5.29%
	14 días	10348	6010	10106	1 gr/cm <sup>3</sup>	4338	2.39%	2329.64	5.58%
	28 días	13640	7920	13342	1 gr/cm <sup>3</sup>	5720	2.23%	2332.52	5.21%
<b>Promedio General</b>							<b>2.30%</b>	<b>2331.26</b>	<b>5.36%</b>
Concreto 5% MEPS	7 días	2779	1576	2652	1 gr/cm <sup>3</sup>	1203	4.79%	2204.49	10.56%
	14 días	3338	1899	3187	1 gr/cm <sup>3</sup>	1439	4.74%	2214.73	10.49%
	28 días	12886	7333	12301	1 gr/cm <sup>3</sup>	5553	4.76%	2215.20	10.53%
<b>Promedio General</b>							<b>4.76%</b>	<b>2211.47</b>	<b>10.53%</b>
Concreto 10% MEPS	7 días	2101	1179	1995	1 gr/cm <sup>3</sup>	922	5.31%	2163.77	11.50%
	14 días	2084	1167	1979	1 gr/cm <sup>3</sup>	917	5.31%	2158.12	11.45%
	28 días	3732	2081	3544	1 gr/cm <sup>3</sup>	1651	5.30%	2146.58	11.39%
<b>Promedio General</b>							<b>5.31%</b>	<b>2156.16</b>	<b>11.44%</b>
Concreto 15% MEPS	7 días	2110	1135	1991	1 gr/cm <sup>3</sup>	975	5.98%	2042.05	12.21%
	14 días	2082	1130	1965	1 gr/cm <sup>3</sup>	952	5.95%	2064.08	12.29%
	28 días	3491	1894	3301	1 gr/cm <sup>3</sup>	1597	5.76%	2067.00	11.90%
<b>Promedio General</b>							<b>5.90%</b>	<b>2057.71</b>	<b>12.13%</b>
Concreto 20% MEPS	7 días	1320	649	1235	1 gr/cm <sup>3</sup>	671	6.88%	1840.54	12.67%
	14 días	894	441	836	1 gr/cm <sup>3</sup>	453	6.94%	1845.47	12.80%
	28 días	3235	1579	3033	1 gr/cm <sup>3</sup>	1657	6.66%	1830.99	12.19%
<b>Promedio General</b>							<b>6.83%</b>	<b>1839.00</b>	<b>12.55%</b>
Concreto 30% MEPS	7 días	2368	1001	2182	1 gr/cm <sup>3</sup>	1367	8.52%	1596.20	13.61%
	14 días	911	384	839	1 gr/cm <sup>3</sup>	527	8.58%	1592.03	13.66%
	28 días	1605	680	1479	1 gr/cm <sup>3</sup>	925	8.52%	1598.92	13.62%
<b>Promedio General</b>							<b>8.54%</b>	<b>1595.72</b>	<b>13.63%</b>

Fuente: *Elaboración Propia*



#### 4.1.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El concreto es un material que resiste solicitaciones de compresión, tracción y flexión, aunque destaca por su elevada resistencia a compresión. Determinar esta propiedad del concreto es el objetivo principal en prácticamente todos los estudios, dado que en la mayor parte de sus aplicaciones se hace uso de esta capacidad resistente frente a esfuerzos de compresión. Para este ensayo se utilizaron probetas cilíndricas de 30x15 cm.

El ensayo de resistencia a compresión se ha realizado siguiendo la NTP. 339.034. A continuación, se muestra los ensayos con diferentes dosis de MEPS realizados a los 28 días (véase en ANEXO 3.I).

**Tabla N° 4.5. Resultados de Ensayo de Resistencia a la Compresión**

Descripción		Nº Probeta	Peso (kg)	Fuerza (kgf)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resist. Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Concreto Patrón	7 días	Probeta 01	13.20	25782.00	15.00	30.10	145.90	<b>145.16</b>
		Probeta 02	13.59	26144.00	15.15	30.20	145.03	
		Probeta 03	13.65	26230.00	15.20	30.10	144.55	
	14 días	Probeta 04	13.71	32492.00	15.00	30.00	183.87	<b>182.43</b>
		Probeta 05	13.68	31948.00	15.00	30.30	180.79	
		Probeta 06	13.71	32274.00	15.00	30.25	182.63	
	28 días	Probeta 07	13.15	39201.00	15.05	30.30	220.36	<b>216.04</b>
		Probeta 08	13.26	37925.00	15.15	30.30	210.38	
		Probeta 09	13.68	38930.00	15.10	30.40	217.39	



"ANÁLISIS Y EVALUACION DEL CONCRETO LIGERO COMO CONCRETO ESTRUCTURAL USANDO COMO ADICIÓN CONTROLADA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS) A UNA LOSA UNIDIRECCIONAL PARA FINES HABITACIONALES"



Concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> Adición 5% MEPS	7 días	Probeta 10	12.42	26881.00	15.00	30.00	152.12	<b>152.23</b>
		Probeta 11	12.52	26753.00	14.90	30.00	153.43	
		Probeta 12	12.55	26817.00	15.03	30.08	151.15	
	14 días	Probeta 13	12.93	31529.00	15.10	30.30	176.06	<b>181.99</b>
		Probeta 14	12.87	32804.00	15.10	30.20	183.18	
		Probeta 15	12.84	33436.00	15.10	30.30	186.71	
	28 días	Probeta 16	12.90	34130.00	15.10	30.20	190.59	<b>192.29</b>
		Probeta 17	12.71	34737.00	15.10	30.30	193.98	
		Probeta 18	12.48	34438.00	15.10	30.30	192.31	
Concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> Adición 10% MEPS	7 días	Probeta 19	12.30	27050.00	15.20	30.25	149.07	<b>151.69</b>
		Probeta 20	12.44	27714.00	15.10	30.30	154.76	
		Probeta 21	12.45	27555.00	15.23	30.36	151.26	
	14 días	Probeta 22	12.44	28912.00	15.10	30.30	161.45	<b>164.71</b>
		Probeta 23	12.42	30038.00	15.10	30.30	167.74	
		Probeta 24	12.36	29148.00	15.00	30.10	164.94	
	28 días	Probeta 25	12.42	33676.00	15.10	30.30	188.05	<b>181.06</b>
		Probeta 26	12.51	30904.00	15.15	30.25	171.44	
		Probeta 27	12.05	32463.00	15.00	30.10	183.70	
Concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> Adición 15% MEPS	7 días	Probeta 28	11.98	26764.00	15.10	30.20	149.45	<b>150.65</b>
		Probeta 29	11.85	27079.00	15.10	30.30	151.21	
		Probeta 30	11.43	27094.00	15.10	30.30	151.30	
	14 días	Probeta 31	12.06	28762.00	15.10	30.20	160.61	<b>159.55</b>
		Probeta 32	11.91	28183.00	15.15	30.25	156.34	
		Probeta 33	11.43	28576.00	15.00	30.10	161.71	
	28 días	Probeta 34	12.15	29934.00	15.15	30.30	166.05	<b>167.68</b>
		Probeta 35	12.07	30090.00	15.05	30.25	169.15	
		Probeta 36	11.47	30058.00	15.10	30.00	167.85	
Concreto $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> Adición 20% MEPS	7 días	Probeta 37	11.19	23438.00	15.10	30.30	130.88	<b>134.34</b>
		Probeta 38	10.77	24148.00	14.90	30.30	138.49	
		Probeta 39	10.68	23616.00	15.00	30.10	133.64	
	14 días	Probeta 40	11.17	26794.00	15.15	30.25	148.64	<b>146.88</b>
		Probeta 41	11.14	26484.00	15.20	30.30	145.95	
		Probeta 42	10.62	25812.00	15.00	30.10	146.07	
	28 días	Probeta 43	10.73	28873.00	15.10	30.15	161.23	<b>158.70</b>
		Probeta 44	11.50	27764.00	15.15	30.30	154.02	
		Probeta 45	10.61	28045.00	14.90	30.10	160.84	

<b>Concreto <math>f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2</math> Adición 30% MEPS</b>	<b>7 días</b>	<i>Probeta 37</i>	9.33	19438.00	14.90	30.30	111.48	<b>110.36</b>
		<i>Probeta 38</i>	9.32	19448.00	15.00	30.30	110.05	
		<i>Probeta 39</i>	9.34	19616.00	15.10	30.10	109.54	
	<b>14 días</b>	<i>Probeta 40</i>	9.44	22794.00	15.15	30.25	126.45	<b>122.71</b>
		<i>Probeta 41</i>	9.30	22484.00	15.20	30.30	123.91	
		<i>Probeta 42</i>	9.43	20812.00	15.00	30.10	117.77	
	<b>28 días</b>	<i>Probeta 43</i>	9.36	24003.00	15.10	30.15	134.04	<b>135.48</b>
		<i>Probeta 44</i>	9.33	24064.00	15.10	30.30	134.38	
		<i>Probeta 45</i>	9.34	24068.00	14.90	30.10	138.03	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 4.6. Probetas Ensayadas a la Resistencia a la Compresión**

<b>Tipo de concreto</b>	<b>Días</b>	<b>Aspecto del concreto</b>
<i>CP</i>	28	
<i>C5%-MEPS</i>	28	

C10%- MEPS	28	
C15%- MEPS	28	
C20%- MEPS	28	
C30%- MEPS	28	

Fuente: *Elaboración Propia*



#### **4.1.5. RESISTENCIA A TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL**

El concreto presenta un comportamiento muy bueno a esfuerzos a compresión, pero su resistencia a la tracción es diez veces inferior. La determinación de la resistencia a tracción pura del concreto es muy difícil de llevar a cabo debido a las tensiones secundarias que se suelen producir al realizar estos ensayos. Para este ensayo se realizaron en probetas cilíndricas de 30x15 cm.

El ensayo a la tracción por compresión diametral se ha realizado siguiendo la NTP. 339.084.

A continuación, en la **Tabla Nº 4.7** se presenta los resultados del ensayo a tracción por compresión diametral del concreto con MEPS a los 28 días de vida (**véase en el ANEXO 3.III**).

**Tabla N° 4.7. Probetas Ensayadas a la Resistencia de Tracción Indirecta**

Descripción		N° Probeta	Peso (kg)	Fuerza (kgf)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	Tracc. Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Concreto Patrón	28 días	Probeta 46	13.65	18766.00	15.30	30.30	25.77	<b>25.32</b>
		Probeta 47	13.72	18359.00	15.30	30.40	25.13	
		Probeta 48	13.72	17953.00	15.00	30.40	25.06	
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Adición 5% MEPS	28 días	Probeta 49	12.35	16603.00	15.00	30.10	23.41	<b>22.31</b>
		Probeta 50	12.98	15366.00	15.10	30.20	21.45	
		Probeta 51	12.82	15673.00	15.00	30.15	22.06	
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Adición 10% MEPS	28 días	Probeta 52	12.05	14919.00	15.00	30.10	21.04	<b>22.15</b>
		Probeta 53	12.01	16385.00	15.00	30.00	23.18	
		Probeta 54	12.04	16034.00	15.20	30.20	22.24	
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Adición 15% MEPS	28 días	Probeta 55	11.46	15737.00	15.00	30.10	22.19	<b>21.49</b>
		Probeta 56	11.58	15192.00	15.10	30.20	21.21	
		Probeta 57	11.67	15049.00	15.10	30.10	21.08	
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Adición 20% MEPS	28 días	Probeta 58	11.23	12104.00	15.15	30.00	16.95	<b>17.57</b>
		Probeta 59	11.38	13497.00	15.10	30.10	18.90	
		Probeta 60	11.15	12031.00	15.10	30.10	16.85	
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Adición 30% MEPS	28 días	Probeta 55	10.19	9482.00	15.15	30.15	13.22	<b>13.29</b>
		Probeta 56	9.89	8942.00	15.00	30.05	12.63	
		Probeta 57	10.01	9987.00	15.05	30.10	14.03	

Fuente: Elaboración Propia



#### **4.1.6. MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO**

Este ensayo describe un método para la determinación del módulo de elasticidad estático en compresión del concreto endurecido, más conocido como módulo de Young  $E$ , y permite medir la deformación que experimenta el concreto al recibir una cierta tensión. Para este ensayo se realizaron en probetas cilíndricas de 30x15 cm. El ensayo del módulo de elasticidad se ha realizado siguiendo la norma ASTM C469.

A continuación, se presenta los resultados del ensayo del módulo de elasticidad estático del concreto con MEPS a los 28 días de edad (**véase el ANEXO 3.II**).



#### 4.1.7. ANÁLISIS DE PRECIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE LOS DISTINTOS PORCENTAJES DEL MEPS.

En la tabla 4.8 se indican los precios de los materiales de los diseños de mezcla por m<sup>3</sup>.

**Tabla N° 4. 8. Precios para el Diseño de Mezcla de los Distintos Porcentajes del MEPS**

Material	Mezcla Patrón				Mezcla con 5%MEPS		Mezcla con 10%MEPS		Mezcla con 15%MEPS		Mezcla con 20%MEPS		Mezcla con 30%MEPS	
			Precio (soles)/m <sup>3</sup>	Parcial		Parcial (S/.)		Parcial (S/.)		Parcial (S/.)		Parcial (S/.)		Parcial (S/.)
<b>Cemento</b>	8.613	bol	22.11	190.44	7.802	172.503	7.130	157.652	6.565	145.16	6.08	134.49	5.30	117.27
<b>Piedra</b>	0.335	m <sup>3</sup>	70.00	23.45	0.303	21.237	0.277	19.409	0.255	17.87	0.24	16.56	0.21	14.44
<b>Arena</b>	0.327	m <sup>3</sup>	50.00	16.34	0.296	14.799	0.271	13.525	0.249	12.45	0.23	11.54	0.20	10.06
<b>Agua</b>	0.206	m <sup>3</sup>	2.00	0.41	0.187	0.373	0.171	0.341	0.157	0.31	0.15	0.29	0.13	0.25
<b>EPS</b>	0.00	kg		0.00	16.58	0.000	30.30	0.000	41.85	0.00	51.71	0.00	67.62	0.00
<b>HORNO Memmert (75lts)</b>	2.00	Kwatts	0.5677	kw/h	4.2642	2.42	7.79	4.425	10.76	6.11	13.30	7.55	17.39	9.87
<b>Precio Total MEPS (m<sup>3</sup>)</b>				<b>230.64</b>		<b>211.33</b>		<b>195.35</b>		<b>181.90</b>		<b>170.43</b>		<b>151.89</b>

Fuente: *Elaboración Propia*

Según el ítem 3.3.1 hubo una variación en los volúmenes por cada porcentaje de MEPS adicionados, estas fueron en aumento por lo que se observa en la tabla 4.8 la disminución de los precios de concreto de cada material.

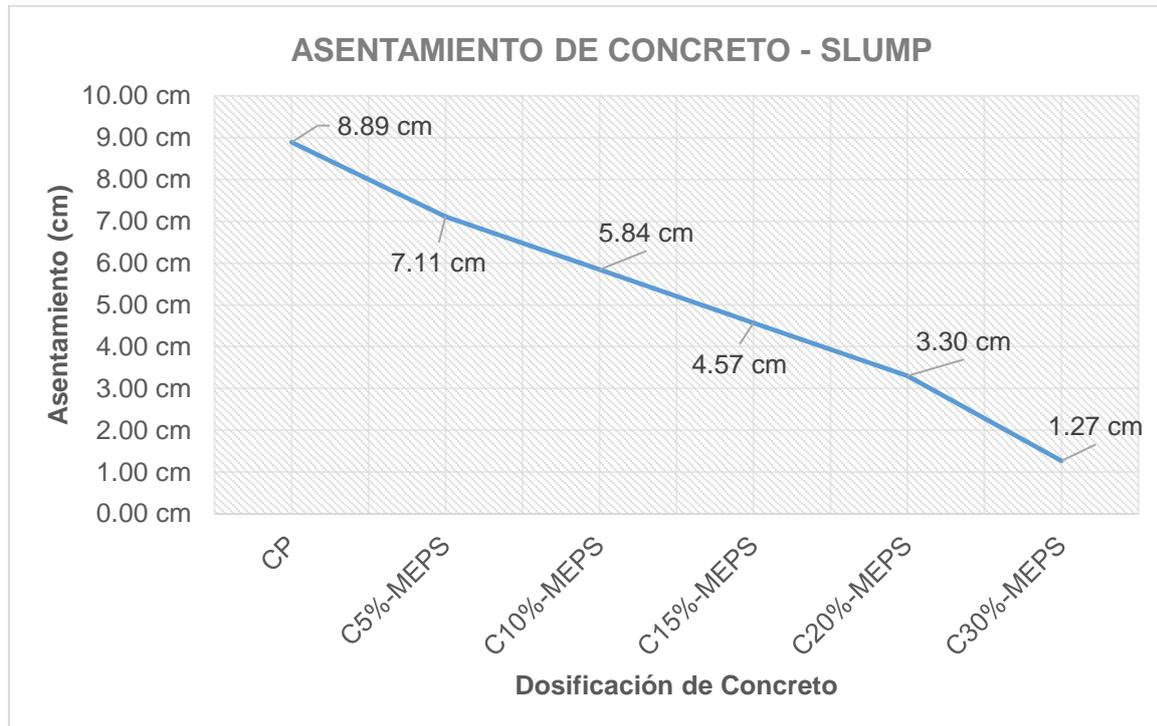
## 4.2. DISCUSIÓN

### 4.2.1. CONSISTENCIA

La trabajabilidad es una característica esencial del concreto que se mide en estado fresco del mismo. Por lo que se discutió la influencia del porcentaje de MEPS en la consistencia del concreto y la influencia en su segregación, en donde se detalla continuación.

### 4.2.2. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE MEPS EN LA CONSISTENCIA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO.

La medida del asentamiento predice si una mezcla puede ser utilizada o no para la aplicación en la construcción. La mezcla de concreto en estado fresco debe ser lo más homogénea posible y no debe contener vacíos. En el **Gráfico Nº 4.2** se muestran los valores del asentamiento de la mezcla de concreto patrón (CP) y la mezcla de concreto con MEPS. Se observa que el asentamiento disminuye en 1.78 cm (20%) para C5%-MEPS, en 3.05 cm (34.30%) para C10%-MEPS, en 4.32 cm (48.59%) para C15%-MEPS, en 5.59 cm (62.87%) para C20%-MEPS y en 7.62 cm (85.71) para C30%-MEPS con respecto al CP, en estos dos últimos ensayos se observó que la mezcla fue muy rígida y seca, como consecuencia fue un poco más trabajoso su compactación y moldeo.



**Gráfico N° 4.2. Asentamiento de la Mezcla con Porcentaje de MEPS**

Fuente: *Elaboración Propia*

Esta disminución del asentamiento se debe a la presencia de MEPS en gran cantidad que producen una disminución en la fluidez de la mezcla.

Los resultados obtenidos muestran que la trabajabilidad del concreto fue afectada por la adición de MEPS reciclado, debido a que una de las preocupaciones al adicionar MEPS a la mezcla, era si la trabajabilidad del concreto sería afectada negativamente, pero para valores superiores al 20% de inclusión de MEPS en la mezcla, sí se ve afectada por el aumento porcentual del MEPS, lo cual influye en la trabajabilidad, colocación y plasticidad del concreto. Esto sucede ya que la mezcla de diseño tiene una cierta cantidad de



dosificación de agua y al momento de adicionar el MEPS la cantidad de agua es menor por lo que produce una baja manejabilidad en el concreto.

- Según la tesis de grado, bajo el título “**DESARROLLO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO LOS RESIDUOS DE PLÁSTICOS DE POLIESTIRENO EXPANDIBLE (EPS) Y TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN MEZCLAS DE CONCRETO CONVENCIONAL**” por parte de la estudiante Estefanía Vásquez Corrales nos dice con respecto al asentamiento del concreto fresco:
  - ***Se puede observar en sus resultados obtenidos que las mezclas con 10% de EPS con respecto al volumen del concreto, son diseños óptimos, con buena trabajabilidad, compactación y moldeo; en los demás diseños (20% y 40%) la disminución del asentamiento es directamente afectada por el aumento porcentual del agregado plástico.***

A comparación de los resultados obtenidos en laboratorio, en nuestro caso, la adición de MEPS con 5% y 10% hasta el 15% son mezclas óptimas para una buena trabajabilidad compactación y moldeo, en la mezcla con 20% se observó que fue un poco más trabajoso su respectivo moldeo y al 30 % aumentó considerablemente el trabajo de compactación y moldeo presentándose una mezcla muy rígida y seca.



- Según el proyecto de graduación titulado **“CONCRETOS MODIFICADOS CON RESIDUOS INDUSTRIALES”** elaborado por parte de los estudiantes Jeison Vargas Méndez y Rodolfo Fonseca Padilla, sustentado en el año 2014, en San José, Costa Rica.
  - ***Según la información obtenida de la tesis indicada se observa que el slump varía de acuerdo a la cantidad de porcentaje de adición de HIPS que se le hace, de acuerdo al ensayo del Cono de Abrahams los resultados obtenidos de acuerdo a cada tipo de adición es de 7.25 cm para el concreto patrón, 4.50 cm para adición de 2% respecto al peso total de probeta, 3.50 cm para el 4% y 3.00 cm para el 6% de adición, cabe señalar que estas adiciones con referencia al peso del cemento es convierte en 12.05%, 22.89% y 34.34%.***

Al realizar el mismo ensayo en nuestra tesis pudimos notar que, de acuerdo a como iba incrementando el porcentaje de adición iba disminuyendo el slump en cada uno de los concretos como indican los resultados, para el concreto patrón se obtuvo 8.89 cm, en una adición de 5% respecto al peso del cemento se obtuvo 7.11 cm, 10% de adición se obtuvo 5.84 cm, para el 15 % dio el valor de 4.57 cm, para el 20 % resulto 3.80 cm y para el 30% de adición se obtuvo 1.27 cm de asentamiento.

De los datos mostrados se puede decir que el concreto que se obtuvo con la adición del MEPS resultó ser un poco menos trabajable que el concreto elaborado con adición de HIPS, esto



debido a que las adiciones que se hicieron fueron de acuerdo al peso del cemento, y la densidad del HIPS es mayor que la del MEPS por lo que el volumen utilizado para las adiciones de HIPS es menor comparado al volumen utilizado para la adición del MEPS.

- Según el proyecto de graduación titulado “**INFLUENCIA DE LAS PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EN EL PESO Y EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN**” elaborado por parte de los estudiantes Mónica Cristina Lituma Vicuña y Brígida Tatiana Zhunio Cárdenas, sustentado en el año 2015, en Cuenca, Ecuador.
  - ***Realizaron las investigaciones para determinar el asentamiento en un concreto donde se hizo la sustitución del 30% y 100% de agregado fino por poliestireno expandido, obteniendo como resultado para un concreto patrón, 20 mm de asentamiento, mientras que para una sustitución del 30% el asentamiento obtenido fue de 50 mm y para un concreto con la sustitución del 100% en agregado fino su asentamiento fue de 70mm.***

Esto nos da a entender que siendo el Poliestireno un material impermeable no absorbe humedad, y al sustituir a uno de los áridos (agregado fino) por poliestireno expandido, la mezcla de concreto se vuelve más trabajable debido a que el agua que debía ser absorbida por el agregado fino queda exclusivamente para mezclarse con el cemento, dando así una mayor



trabajabilidad al concreto. Mientras que en el caso de la adición de Poliestireno Expandido Modificado (MEPS) el agua que se está utilizando para la mezcla es la misma, por lo que al incrementarse el volumen con la adición del MEPS a la mezcla la pasta que se forma tiene que cubrir más superficie resultando así una menor trabajabilidad conforme se va aumentando la adición de MEPS a la mezcla.

- Según el proyecto de graduación titulado “**ESTUDIO DE DOSIFICACIONES DE HORMIGONES ESTRUCTURALES LIVIANOS CON GRADO SUPERIOR A H-17, UTILIZANDO COMO PATRÓN UN H-20, EN TÉRMINOS DE COSTO-RESISTENCIA, USANDO COMO MATERIA PRIMA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO EN DISTINTAS PROPORCIONES**”, elaborado por Rodrigo Andrés Vera Rencoret, Valdivia – Chile.

- *La granulometría, y la forma estriada chancada del MEPS, permite una buena adherencia al hormigón, sin presencia de desprendimientos, segregación o una mala distribución dentro del hormigón ya endurecido.*
- *El cono de Abrams no puede ser aplicado normalmente para elevados porcentajes de MEPS, ya que al ser livianos estos no se asientan como lo haría la grava normal. La dosificación patrón dio un resultado del 7 cm del cono y fue bajando a medida que la cantidad de MEPS se fue elevando.*
- *Sus resultados fueron:*

- 1. Dosificación B de 30% MEPS: 5.7 cm**
- 2. Dosificación C de 40% MEPS: 4.3 cm**
- 3. Dosificación D de 50% MEPS: 3.5 cm**
- 4. Dosificación E de 60% MEPS: 2.7 cm**
- 5. Dosificación F de 70% MEPS: 1.9 cm**
- 6. Dosificación G de 80% MEPS: menos de 1 cm**

Como se puede observar a mayor porcentaje de sustitución disminuye su consistencia y trabajabilidad como sucede en nuestro caso con las perlas de MEPS.

#### **4.2.3. SEGREGACIÓN DE LA MEZCLA A DISTINTOS PORCENTAJES DEL MEPS**

La segregación del concreto es la separación de sus componentes una vez amasado provocando que la mezcla de hormigón fresco presente una distribución de sus partículas no uniforme.

Si el concreto presenta buena resistencia a segregación, eso significa que los áridos están uniformemente distribuidos en la mezcla, tanto en dirección vertical como en horizontal.

Los problemas de la segregación del hormigón surgen con los trabajos de colocación y compactación, con el resultado de estructuras con defectos como poros y coqueas.

La mezcla adecuada de los áridos y demás componentes de la masa y la homogeneidad del concreto fresco se logra en la mezcladora y en la hormigonera, pero esta mezcla puede dislocarse durante el transporte, el vertido y durante el



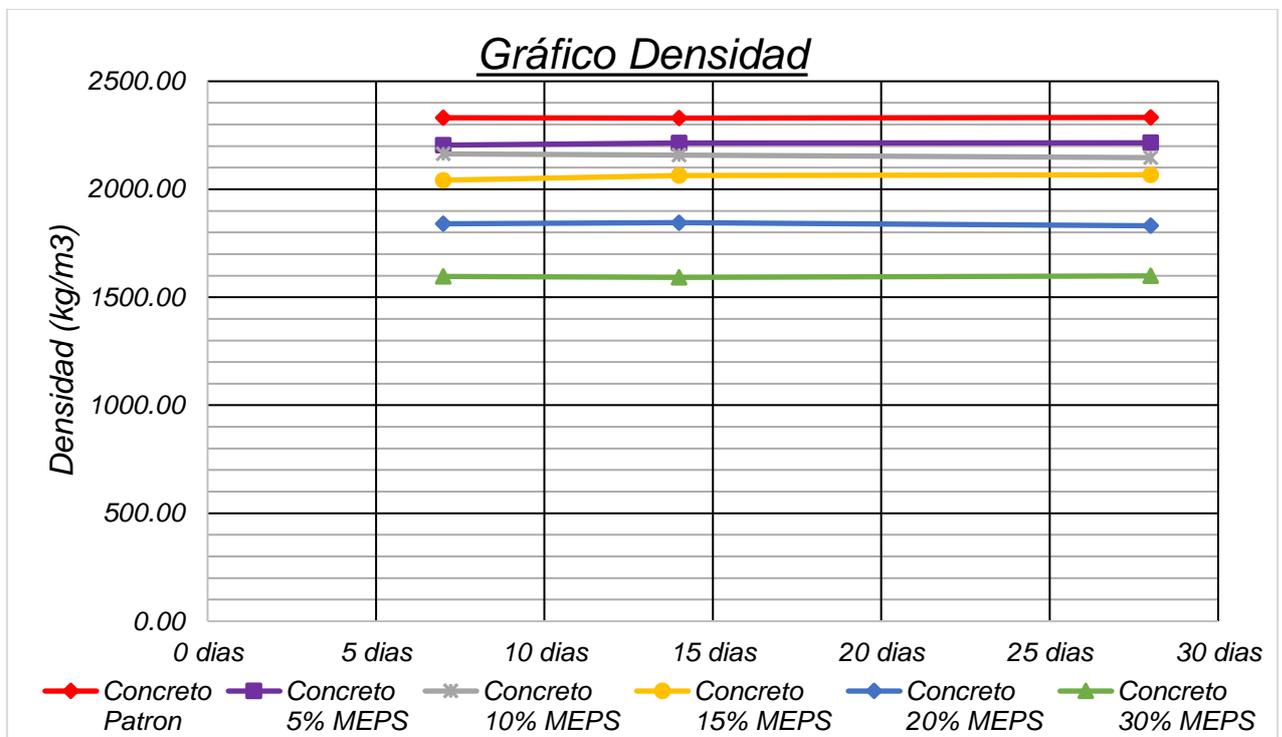
compactado, dando lugar a que los elementos constitutivos del hormigón tiendan a separarse unos de otros y a decantarse de acuerdo con su tamaño y densidad. Como resultado en nuestros ensayos se puede observar que los agregados de MEPS no se unen en un solo punto, se ve una buena distribución del material por lo que no hay segregación de la misma.

#### **4.2.4. DENSIDAD, ABSORCIÓN Y POROSIDAD**

De los resultados obtenidos de la **Tabla N° 4.4** se puede inferir que a mayor cantidad porcentual de MEPS adicionado a la mezcla la densidad del concreto tiende a disminuir, debido a que el MEPS tiene una densidad mucho menor a la densidad de los áridos. También se observar que el **C20%-MEPS** llega a una densidad a los 28 días de **1839 kg/m<sup>3</sup>** lo cual nos permite afirmar que se encuentra en el rango considerado como concreto ligero según el **Reglamento Nacional de Edificaciones E.060**, lo cual con una resistencia promedio a la compresión de **158.70 kg/cm<sup>2</sup>** sería el porcentaje óptimo a considerar para el ensayo de deformación y resistencia de la losa unidireccional.

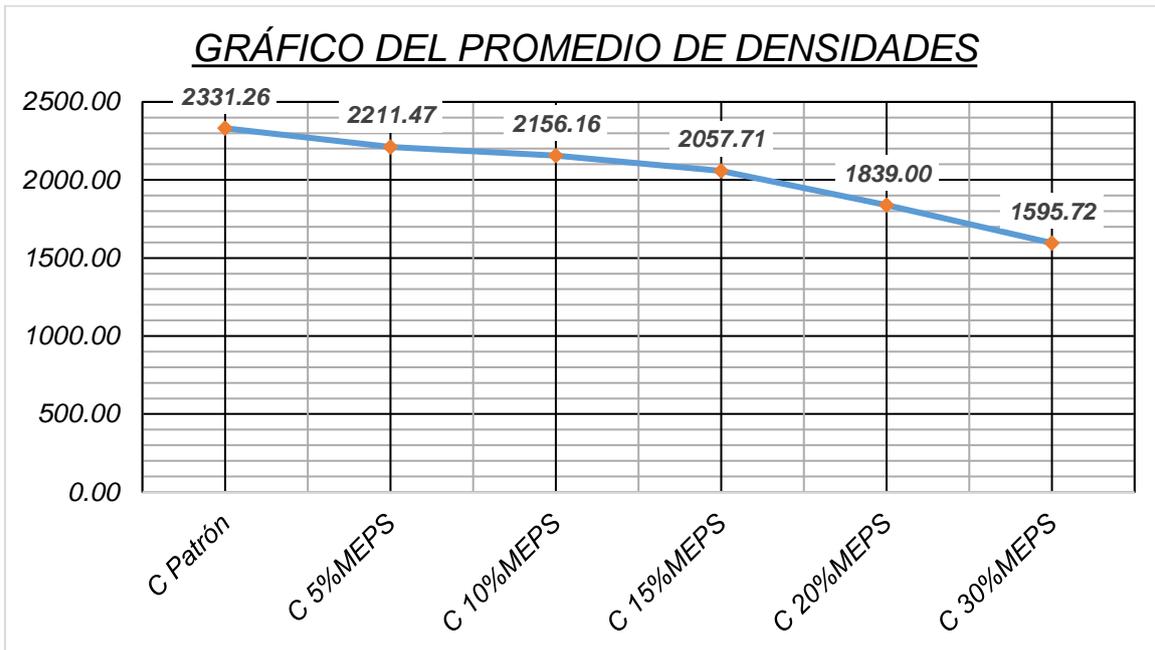
Se muestra en el **Gráfica N° 4.3** y **Gráfica N° 4.4** la disminución de densidad del concreto patrón en relación con el concreto adicionando. En esta gráfica se puede observar que para un contenido de 5% de MEPS de adición en el concreto ésta

disminuye en un 5.14%, para el 10% de MEPS de adición en la mezcla disminuye en un 7.51%, para el 15% de MEPS de adición en la mezcla disminuye en un 11.73%, para el 20% de MEPS de adición en la mezcla disminuye en un 21.12%, para el 30% de MEPS de adición en la mezcla disminuye en un 31.55% con respecto del concreto patrón.



**Gráfico N° 4.3. Resultados del Ensayo de Densidad Seca con MEPS por Días de Ensayo**

Fuente: *Elaboración Propia*



**Gráfico N° 4.4. Promedio General de los Resultados del Ensayo de Densidad Seca con MEPS**

Fuente: *Elaboración Propia*

A continuación, se muestran las **Gráfica N° 4.5** y **Gráfica N° 4.6** donde representan la absorción de las diferentes muestras de concreto. En donde la adición del MEPS hace que aumente la absorción del concreto en comparación del concreto patrón. Como consecuencia directa de esto, los concretos fabricados con MEPS ofrecen una mayor absorción y porosidad, a mayor cantidad de MEPS adicionado mayor es la absorción.

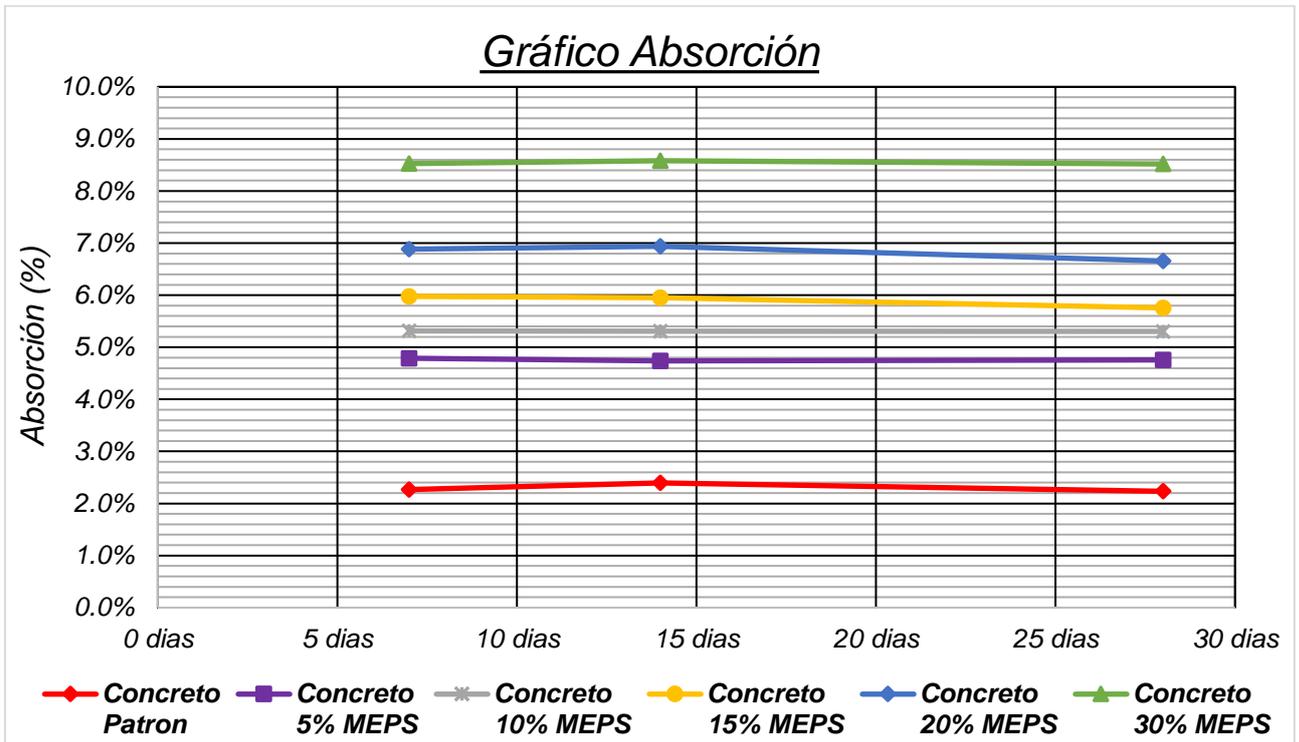


Gráfico N° 4.5. Resultados del Ensayo de Absorción con MEPS por Días de Ensayo

Fuente: Elaboración Propia

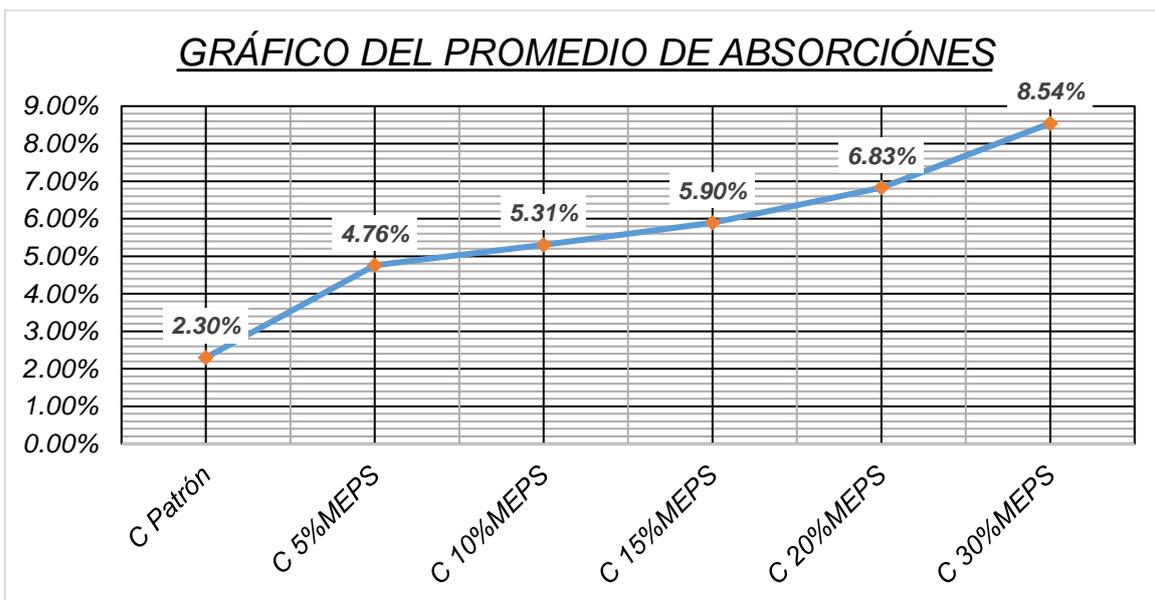
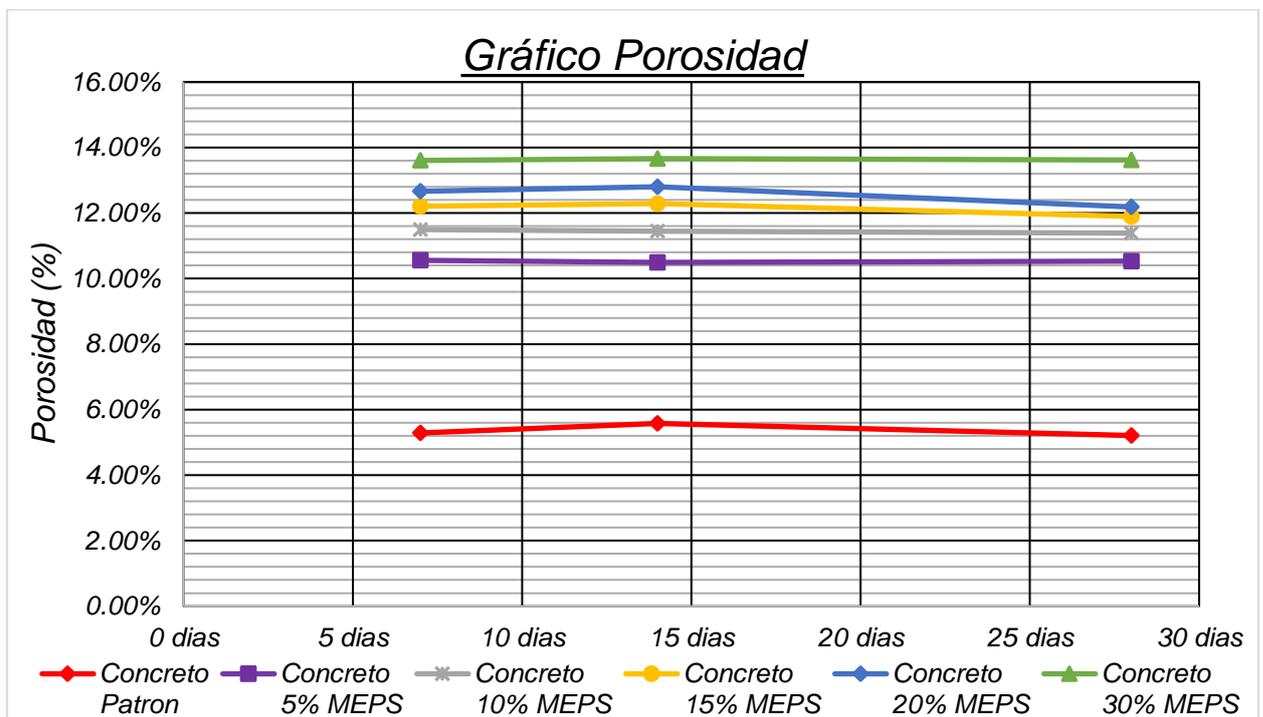


Gráfico N° 4.6. Promedio General de los Resultados del Ensayo de Absorción con MEPS

Fuente: Elaboración Propia

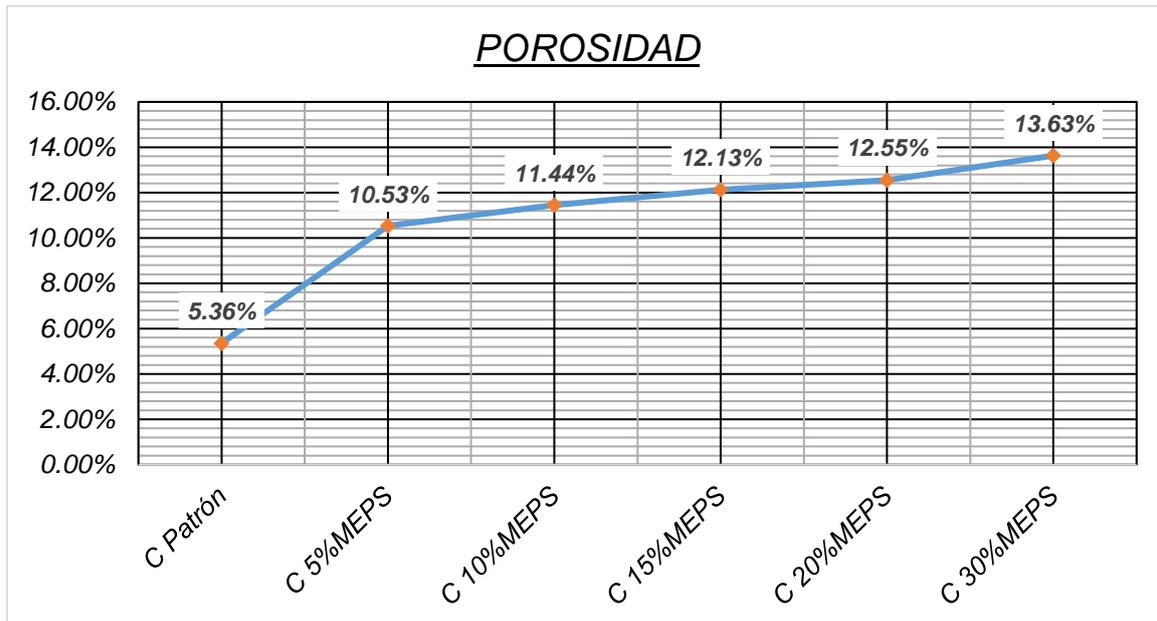
De acuerdo a los resultados, cuando se añade MEPS reciclado a la mezcla de concreto, este tiene la propiedad de crear espacios intersticiales, que permiten atrapar el agua y evitar la pérdida de la misma en el proceso de curado, y mientras más porcentaje de MEPS es adicionado más aumenta la capacidad de retención de agua y por ende aumenta la porosidad del mismo, con lo cual concluimos que a mayor adición de MEPS aumenta la porosidad del concreto.

Se muestran las **Gráfica N° 4.7** y **Gráfica N° 4.8** la porosidad del concreto patrón y del concreto con MEPS.



**Gráfico N° 4.7. Resultados del Ensayo de Porosidad con MEPS por Días de Ensayo**

Fuente: *Elaboración Propia*



**Gráfico N° 4.8. Promedio General de los Resultados del Ensayo de Porosidad con MEPS**

Fuente: *Elaboración Propia*

- Según la tesis de grado bajo el título “**DESARROLLO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO LOS RESIDUOS DE PLÁSTICOS DE POLIESTIRENO EXPANDIBLE (EPS) Y TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN MEZCLAS DE CONCRETO CONVENCIONAL**”, por parte de la estudiante Estefanía Vásquez Corrales:
  - **Según los datos obtenidos, al adicionar el EPS la densidad esperada y real es muy similar porque el material añadido a la mezcla tiene menor peso que los agregados convencionales, logrando una disminución de un 9 % para un contenido de 10 %, un 16,5 % para un contenido de 20 % y un 28 % para un contenido de 40% de EPS.**

A comparación de los resultados obtenidos en laboratorio en nuestro caso para un contenido de 5% de MEPS de adición en el concreto ésta disminuye en un 5.14%, para el 10% de MEPS de adición en la mezcla disminuye en un 7.51%, para el 15% de MEPS de adición en la mezcla disminuye en un 11.73%, para el 20% de MEPS de adición en la mezcla disminuye en un 21.12%, para el 30% de MEPS de adición en la mezcla disminuye en un 31.55%.

- Según el proyecto de graduación titulado “**CONCRETOS MODIFICADOS CON RESIDUOS INDUSTRIALES**”, elaborado por parte de los estudiantes Jeison Vargas Méndez y Rodolfo Fonseca Padilla, sustentado en el año 2014, en San José, Costa Rica.
  - ***De acuerdo a los resultados obtenidos al adicionar el HIPS en proporciones de 2%, 4% y 6%, con respecto al peso total de la probeta, siendo estas adiciones con respecto al peso del cemento de 12.05%, 22.89% y 34.34%, dan una densidad de 2348.82kg/m<sup>3</sup>, 2267.51 kg/m<sup>3</sup>, 2222.87 kg/m<sup>3</sup>, siendo la densidad del concreto patrón de 2396.19 kg/m<sup>3</sup>; al comparar la densidad de concreto adicionado con el concreto patrón resulta 98.02%, 94.63% y 92.77%, respectivamente.***

Mientras que los resultados de la densidad obtenidos con la adición de MEPS en porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20% y 30% con respecto al peso del cemento fue de 2211.47kg/m<sup>3</sup>,



2156.16kg/m<sup>3</sup>, 2057.71kg/m<sup>3</sup>, 1839.00kg/m<sup>3</sup>, 1595.72kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, siendo estos valores en comparación con la densidad del concreto patrón (2331.26 kg/m<sup>3</sup>), 94.86%, 92.49%, 88.27%, 78.88% y 68.45%, respectivamente.

De donde notamos que el concreto adicionado con HIPS disminuye su densidad a comparación de su concreto patrón, pero sin llegar a ser considerado un concreto ligero (densidad máxima 1890 kg/m<sup>3</sup>), mientras que el concreto elaborado con MEPS también reduce su densidad con respecto al concreto patrón pero este si logra llegar a ser concreto ligero, una de las causas seria como se menciona anteriormente debido a la densidad que presenta el HIPS ya que este siendo mayor al del MEPS este no reduce la densidad del concreto tan rápidamente como en el caso del concreto adicionado con MEPS.

- Según el proyecto de graduación titulado “**INFLUENCIA DE LAS PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EN EL PESO Y EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN**”, elaborado por parte de los estudiantes Mónica Cristina Lituma Vicuña y Brígida Tatiana Zhunio Cárdenas, sustentado en el año 2015, en Cuenca, Ecuador.
  - *De acuerdo a los resultados obtenidos de la tesis mostrada, se puede apreciar que conforme se va sustituyendo el agregado fino (arena gruesa) la densidad del mismo va disminuyendo a*



*comparación del concreto patrón, teniendo como resultados de la densidad a los 28 días, para un concreto patrón con diseño de mezcla de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , es de  $2209 \text{ kg/m}^3$ , para la sustitución del 30% de agregado fino por volumen, su densidad es de  $2134 \text{ kg/m}^3$ , para el 45% tiene un valor de  $2062 \text{ kg/m}^3$ , para el 60% es de  $2019 \text{ kg/m}^3$ , para un 75% de sustitución la densidad que obtuvieron fue de  $1993 \text{ kg/m}^3$ , para un 90% se obtuvo como densidad  $1901 \text{ kg/m}^3$  y para la sustitución total del agregado fino (100%) la densidad obtenida fue de  $1836 \text{ kg/m}^3$ .*

Esta disminución de la densidad se logra debido a que una de las características del Poliestireno es su baja densidad, lo que, al ser incluido en la mezcla del concreto, esta ayuda a disminuir la densidad del concreto en general, logrando obtener un concreto ligero.

- Según el proyecto de graduación titulado “**ESTUDIO DE DOSIFICACIONES DE HORMIGONES ESTRUCTURALES LIVIANOS CON GRADO SUPERIOR A H-17, UTILIZANDO COMO PATRÓN UN H-20, EN TÉRMINOS DE COSTO-RESISTENCIA, USANDO COMO MATERIA PRIMA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO EN DISTINTAS PROPORCIONES**”, elaborado por Rodrigo Andrés Vera Rencoret, Valdivia – Chile.

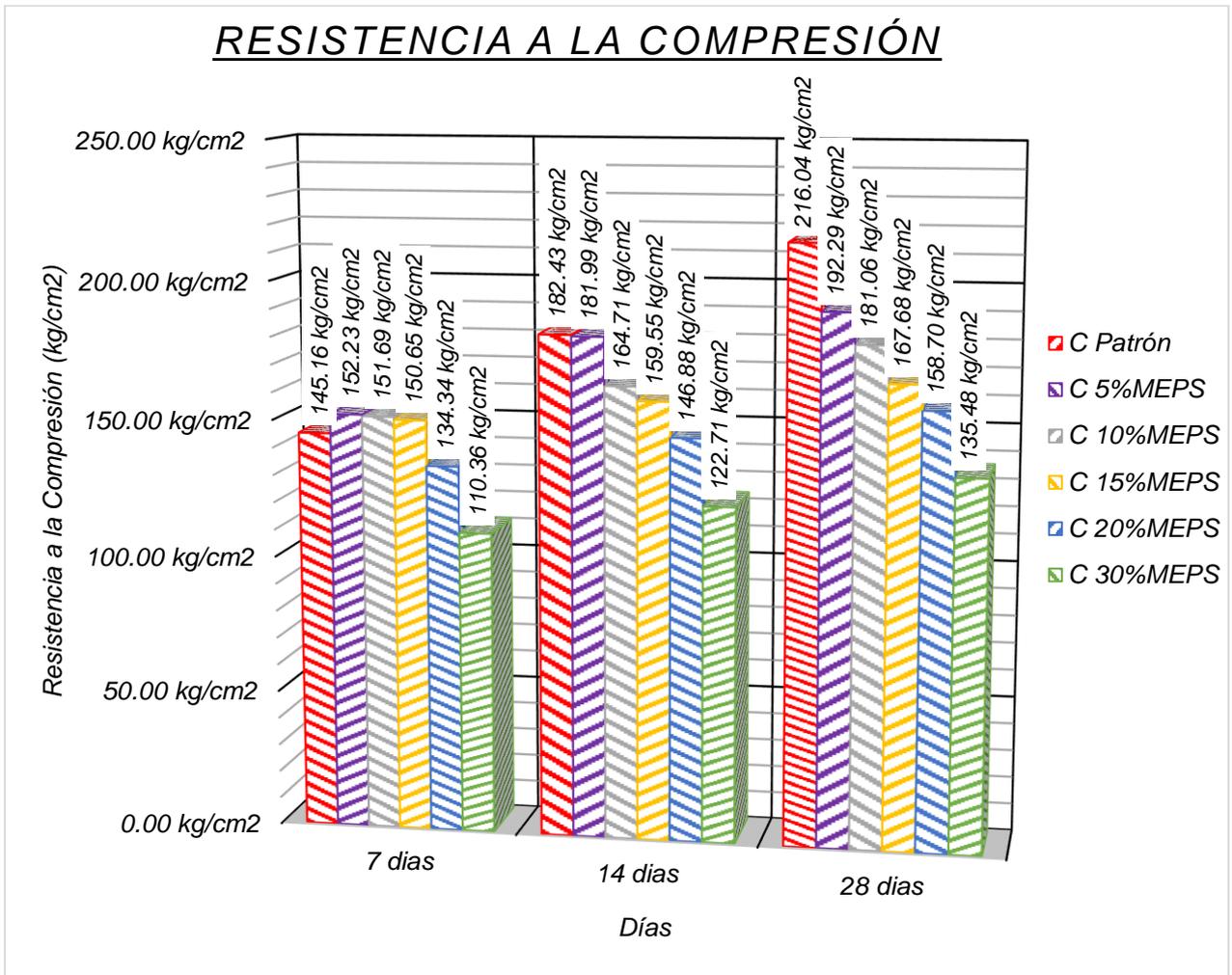
➤ *Como se pudo observar en los resultados de la tesis la muestra patrón tiene una densidad de 2426*

***kg/m<sup>3</sup>, con la sustitución del 30% de MEPS por gravilla es de 2113 kg/m<sup>3</sup>, con el 40% de MEPS por gravilla es de 1996 kg/m<sup>3</sup>, con el 50% de MEPS por gravilla se tiene 1974 kg/m<sup>3</sup>, con el 60% de MEPS por gravilla se tiene 1820 kg/m<sup>3</sup>, con el 70% de MEPS por gravilla tenemos 1804 kg/m<sup>3</sup> y con el 80% de MEPS por gravilla se tiene 1796 kg/m<sup>3</sup>.***

Se observa que la densidad va en disminución, pero no de manera drástica como en otras investigaciones. En nuestro caso sucede algo similar en los porcentajes de disminución de densidades.

#### **4.2.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

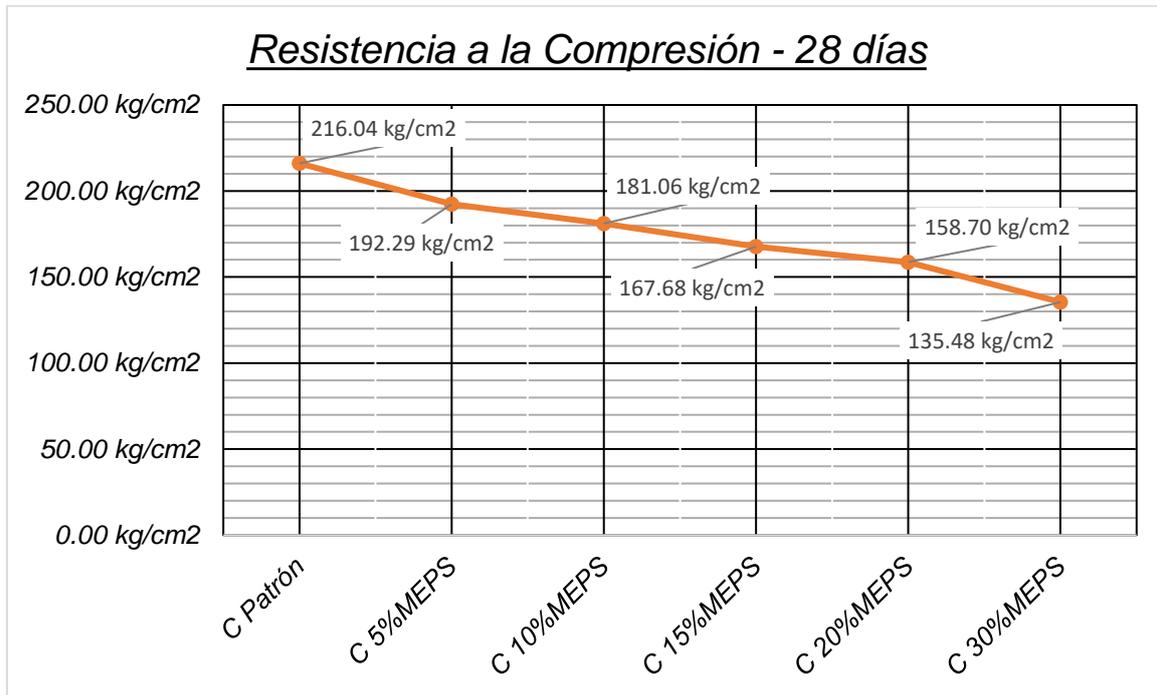
Este ensayo se realizó a los 7, 14 y 28 días de curado a temperatura ambiente. En el **Gráfico N° 4.9** se muestran los valores de la resistencia a la compresión obtenidos para mezclas de concreto a los diferentes porcentajes de MEPS reciclado adicionado. Se observa una tendencia a la disminución de la resistencia a la compresión con la adición de MEPS reciclado a los 7, 14 y 28 días de curado de las mezclas en comparación del concreto patrón sin MEPS. (**Véase también en el ANEXO 3.I**).



**Gráfico N° 4.9. Resultados de la Resistencia a la Compresión**

Fuente: *Elaboración Propia*

De las **Gráficas** se puede deducir que las partículas de **MEPS** originan mayores espacios intersticiales que se encuentran probablemente llenos de agua, por lo que produce una pérdida en la resistencia a la compresión.



**Gráfico N° 4.10. Variación de Resistencia a la Compresión del Concreto – 28 días**

Fuente: *Elaboración Propia*

Por otro lado, se observa en la **Gráfica N° 4.10**, que para una adición a la mezcla de concreto del 5% de contenido de MEPS reciclado, ésta no sufrió una drástica disminución de la resistencia a la compresión. Como se mencionó anteriormente, la adición de MEPS produce vacíos en la mezcla, debido al enlace débil entre el mismo y la matriz del concreto, por lo tanto, el aumento de este material produce un incremento en el contenido de vacíos produciendo así una disminución correspondiente a la fuerza neta de la matriz de concreto. Sabiendo que una de las propiedades del MEPS es la resistencia a los impactos absorbiendo energía y siendo un material plástico, se observó en los ensayos de resistencia a la

compresión, que al ir aumentando el porcentaje de adición al concreto ésta tiende a tener fallas de grietas verticales muy leves, debido a que las perlas de MEPS absorben parte de la energía aplicada al cilindro, por lo que se ve que el agrietamiento sea menor, sabiendo que también la resistencia a compresión disminuye.

Como ya se sabe se redujo la resistencia a compresión según aumentaba la adición de MEPS, esto sucede ya que la cantidad de cemento y agua disminuye en la mezcla.

- Según la tesis de grado bajo el título “**DESARROLLO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO LOS RESIDUOS DE PLÁSTICOS DE POLIESTIRENO EXPANDIBLE (EPS) Y TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN MEZCLAS DE CONCRETO CONVENCIONAL**” por parte de la estudiante Estefanía Vásquez Corrales:

➤ *Para un diseño de 280 kg/cm<sup>2</sup>, los resultados obtenidos de los ensayos se comparan con los de la mezcla patrón, concluyendo que la mezcla con plástico EPS disminuyó de un 50 % a un 83 % su resistencia a compresión, conforme aumenta el porcentaje de agregado.*

A comparación de los resultados obtenidos con un diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>, en laboratorio en nuestro caso para un contenido de 5% de MEPS existe una disminución porcentual de 10.99%, con el 10% de MEPS es un 16.19%, con el 15% de MEPS es



de 22.38%, con el 20% de MEPS es de 26.54% y para el 30% de MEPS es del 37.29% con respecto del concreto patrón.

Se puede observar que para el proyecto de investigación de la tesista Estefanía Vásquez Corrales para una adición de perlas de EPS del 40 % del volumen del concreto y una resistencia de diseño de 280 kg/cm<sup>2</sup> obtuvo una resistencia a la compresión a los 28 días de 98 kg/cm<sup>2</sup>, lo que en nuestro caso para una adición del 20% del peso del cemento de perlas de MEPS y una resistencia de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup> obtuvimos una resistencia a la compresión a los 28 días de 158.70 kg/cm<sup>2</sup>. Por el cual hago esta comparación ya que el volumen utilizado en la adición de MEPS al 20% es el mismo que se utilizó en la investigación con la cual se está comparando.

Por lo que podemos concluir que al saber las propiedades del MEPS por tratamiento térmico esta se hace más densa y compacta por ende aumenta su resistencia a compresión, y al adicionarla a la mezcla de concreto normal, se obtienen resistencias superiores a las que si adicionáramos EPS sin modificar.

- Según el proyecto de graduación titulado “**CONCRETOS MODIFICADOS CON RESIDUOS INDUSTRIALES**” elaborado por parte de los estudiantes Jeison Vargas Méndez y Rodolfo Fonseca Padilla, sustentado en el año 2014, en San José, Costa Rica.



- ***Se observa que la densidad del Poliestireno de Alto Impacto (HIPS) es de 1040 kg/cm<sup>3</sup>, el cual fue utilizado como adición en el concreto en proporciones de 2%, 4% y 6%, con respecto al peso total de la probeta de concreto con materiales normales, si determinamos el porcentaje de adición de HIPS con respecto al peso del cemento, este sería de 12.05%, 22.89% y 34.34%, respectivamente. Y al utilizar un diseño de mezcla de  $f'c = 250$  kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia del concreto patrón en laboratorio fue  $f'c = 254.99$  kg/cm<sup>2</sup>, mientras que las resistencias obtenidas de las tres adiciones fueron de 229.97kg/cm<sup>2</sup>, 187.63 kg/cm<sup>2</sup>, 176.09 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, lo que viene a ser en porcentajes al compararlos con el concreto patrón, 90.19%, 73.58%, 69.06%, respectivamente.***

El resultado obtenido al determinar la densidad del Poliestireno Expandido Modificado (MEPS) es de 176.75 kg/m<sup>3</sup>, el que se adicionó en porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20% y 30% con respecto al peso del cemento.

Tomando como diseño de mezcla de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, la resistencia promedio que se obtuvo para el concreto patrón fue  $f'c = 216.04$  kg/cm<sup>2</sup>, y al adicionarse el MEPS según las proporciones indicadas anteriormente su resistencia fue de 192.29 kg/cm<sup>2</sup>, 181.06 kg/cm<sup>2</sup>, 167.68 kg/cm<sup>2</sup>, 158.70 kg/cm<sup>2</sup> y 135.48 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, esto al ser comparado con la resistencia a la compresión del concreto patrón equivale al 89.00%, 83.80%, 77.62%, 73.46% y 62.71%.

De aquí se puede notar que la variación en la resistencia del concreto adicionado con HIPS respecto al concreto patrón es menor, comparado a la variación que se tiene en el concreto adicionado con MEPS, una de las causas podría ser que debido a la mayor densidad del HIPS con respecto al MEPS, evita que la resistencia del concreto disminuya tan rápidamente, a comparación del concreto elaborado con adición de MEPS.

- Según el proyecto de graduación titulado “**INFLUENCIA DE LAS PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) EN EL PESO Y EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN**” elaborado por parte de los estudiantes Mónica Cristina Lituma Vicuña y Brígida Tatiana Zhunio Cárdenas, sustentado en el año 2015, en Cuenca, Ecuador.
  - *De la investigación tomada como referencia, que se basa en la sustitución del agregado fino (arena gruesa) por el Poliestireno se puede apreciar que la resistencia a la compresión a los 28 días, para un concreto patrón con diseño de mezcla de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , es de  $253 \text{ kg/cm}^2$ , para la sustitución del 30% es de  $246 \text{ kg/cm}^2$ , para el 45% tiene un valor de  $243 \text{ kg/cm}^2$ , para el 60% es de  $234 \text{ kg/cm}^2$ , para un 75% la resistencia obtenida fue de  $216 \text{ kg/cm}^2$ , para un 90% se obtuvo como resistencia  $209 \text{ kg/cm}^2$  y para la sustitución total del agregado fino (100%) su resistencia a la compresión fue de  $205 \text{ kg/cm}^2$ .*

Se aprecia que pese a que en nuestro concreto se elaboró con



Poliestireno Expandido Modificado (MEPS), el cual tiene como una de sus características ser más compacto y resistente a comparación que el Poliestireno Expandido (EPS), y el acomodo de sus partículas también fue uniforme, la resistencia a la compresión del concreto elaborado con MEPS disminuyo más considerablemente que la resistencia del concreto que sustituyo a uno de sus áridos con EPS.

- Según el proyecto de graduación titulado “**ESTUDIO DE DOSIFICACIONES DE HORMIGONES ESTRUCTURALES LIVIANOS CON GRADO SUPERIOR A H-17, UTILIZANDO COMO PATRÓN UN H-20, EN TÉRMINOS DE COSTO-RESISTENCIA, USANDO COMO MATERIA PRIMA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO EN DISTINTAS PROPORCIONES**”, elaborado por Rodrigo Andrés Vera Rencoret, Valdivia – Chile.

➤ ***Se observa que la resistencia a la compresión baja a medida que se añade más MEPS, en promedio un 30% con respecto a la dosificación tipo H-20 utilizada. A continuación, detallaremos el porcentaje de perdida por cada dosificación estudiada.***

***1. Para la dosificación B con 30% de MEPS esta perdió un 23% de resistencia.***

***2. Para la dosificación C con 40% de MEPS esta perdió un 27% de resistencia.***

**3. Para la dosificación D con 50% de MEPS esta perdió un 30% de resistencia.**

**4. Para la dosificación E con 60% de MEPS esta perdió un 33% de resistencia.**

**5. Para la dosificación F con 70% de MEPS esta perdió un 35% de resistencia.**

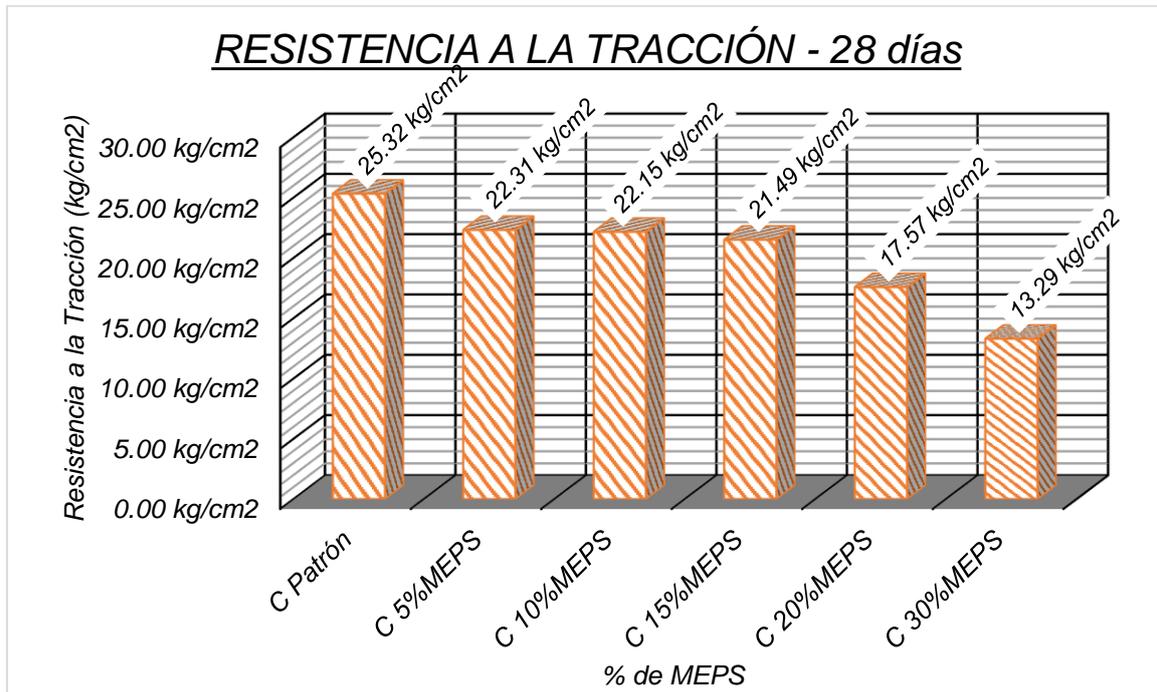
**6. Para la dosificación G con 80% de MEPS esta perdió un 37% de resistencia.**

En nuestros resultados obtenidos con un diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>, para un contenido de 5% de MEPS existe una disminución porcentual de 10.99%, con el 10% de MEPS es un 16.19%, con el 15% de MEPS es de 22.38%, con el 20% de MEPS es de 26.54% y para el 30% de MEPS es del 37.29% con respecto del concreto patrón.

#### **4.2.6. RESISTENCIA A TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL**

Las probetas ensayadas soportaron cargas post-fractura y manifestaron desplazamientos significativos, los cuales son parcialmente recuperables. Así la masa de concreto es capaz de soportar cargas, aunque esté fracturada (**véase en el ANEXO 3.III**).

En el **Gráfico N° 4.11**, se observa los resultados del ensayo de resistencia a tracción indirecta.



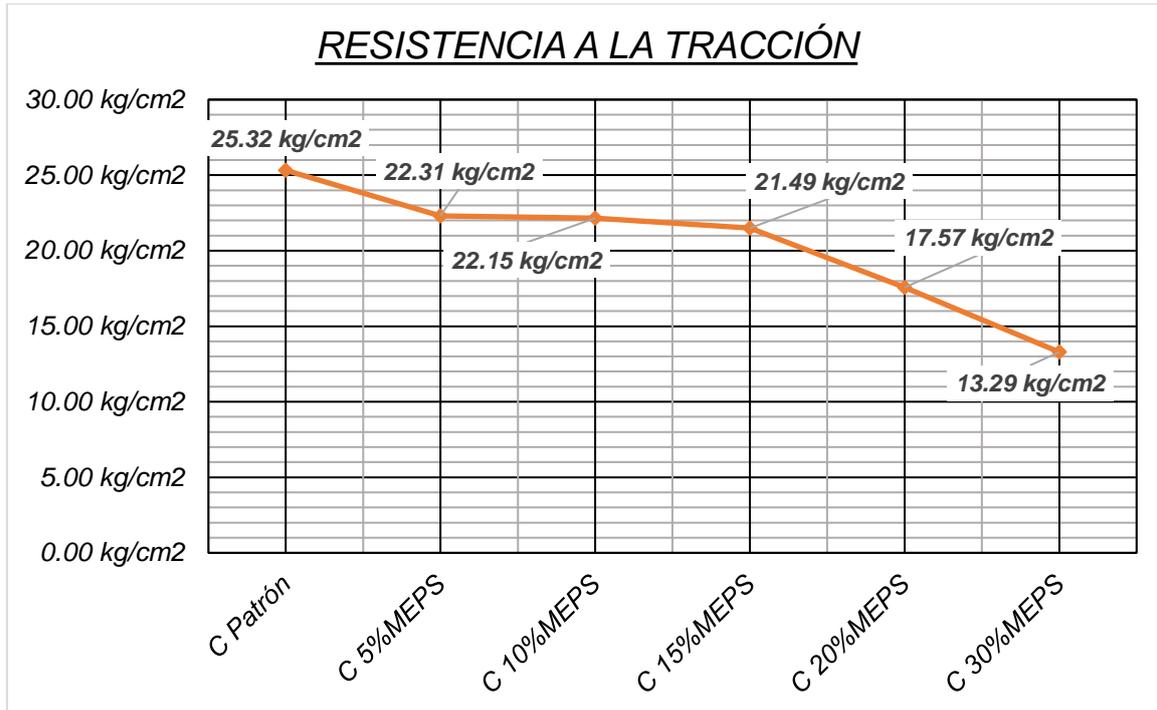
**Gráfico N° 4.11. Resistencia a la Tracción Indirecta del Concreto – 28 días**

Fuente: *Elaboración Propia*

En el **Gráfico N° 4.12**, se puede observar la variación en porcentaje de los concretos con MEPS.

De los resultados obtenidos se puede observar que la adición de MEPS tiende a disminuir la resistencia a la tracción del concreto. Esto puede ser debido a que el MEPS es un material mucho más ligero que los áridos por ende tiende a tener menos resistencia. También se observa que la falla, se produce a lo largo de su plano diametral. Con respecto a los C5%-MEPS, C10%-MEPS, C15%-MEPS tienen una ligera diferencia en su resistencia a la tracción, mientras que en los especímenes C20%-MEPS y C30%-MEPS tienden a disminuir considerablemente con respecto al concreto patrón (CP).

Además, se presenta muy homogénea, compactándose muy bien entre sí. Se observa que el MEPS no se acumula en un punto y sus partículas se encuentran uniformemente distribuidas.



**Gráfico N° 4.12. Variación de la Resistencia a la Tracción Indirecta – 28 días**

Fuente: *Elaboración Propia*

- Según la tesis de grado bajo el título “**DESARROLLO DE MEZCLAS DE CONCRETO UTILIZANDO LOS RESIDUOS DE PLÁSTICOS DE POLIESTIRENO EXPANDIBLE (EPS) Y TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN MEZCLAS DE CONCRETO CONVENCIONAL**”, por parte de la estudiante Estefanía Vásquez Corrales:

➤ **La resistencia a ruptura disminuye un 20 % a un 65 % conforme se agrega más porcentaje de EPS.**

***Además, se presenta muy homogénea y sus partículas se compactan muy bien entre sí. Los agregados de la mezcla patrón quedaron muy uniformes y no se percibe segregación del material en la mezcla.***

En nuestro caso la resistencia a ruptura disminuye un 11.88% a un 47.51% conforme va en aumento la adición porcentual de MEPS. Se puede observar el buen acomodo de las partículas de MEPS las que se encuentran de forma uniforme y homogénea esto se debe a que las partículas de MEPS son de forma esférica y pequeñas.

#### **4.2.7. MÓDULO DE ELASTICIDAD**

El módulo de elasticidad o módulo de Young, es la medida de resistencia de un elemento frente a la deformación bajo solicitaciones de carga. Como ya se indicó párrafo más arriba tenemos que en el caso del concreto, el módulo de elasticidad ( $E_c$ ) toma valores dependiendo de su densidad. En concretos de densidades normales es válido valorar  $E_c$  como  $4700\sqrt{f'_c}$ , pero para concretos con densidades ( $W_c$ ) comprendidos entre 1500 y 2500 kg/m<sup>3</sup> el código específico que el MÓDULO de elasticidad puede tomarse, en MPa, como  $E_c = W_c^{1.5} 0.043\sqrt{f'_c}$  entonces teniendo esto en cuenta podemos calcular el módulo de elasticidad del concreto con MEPS para lo cual se calculó para un porcentaje del C20%-MEPS, lo cual tiene una densidad a los 28 días de 1839 kg/m<sup>3</sup> dando como resultado un módulo



de elasticidad teórico de 112479 kgf/cm<sup>2</sup>.

Como también se ensayó para un porcentaje del C20%-MEPS el módulo de elasticidad en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería dando como resultado un módulo de elasticidad estático 251044 kgf/cm<sup>2</sup>

Por lo que podemos inferir que hay un aumento entre el módulo de elasticidad encontrado con la formula según **Reglamento Nacional de Edificaciones E.060** y el ensayado en laboratorio. (Véase el ANEXO 3.II).

#### 4.2.8. MICROESTRUCTURA

Para este ensayo se utilizó una cámara digital, con el cual se pudo observar la dispersión de los materiales reciclados dentro de la matriz del concreto. En la **Figura N° 4.1**, se presentan fotos tomadas.



(a)



(b)



(c)

**Figura N° 4.1. Microscopía Óptima de la Mezcla de Concreto (a) CP, (b) C% MEPS, (c) C>%MEPS**

Fuente: *Elaboración Propia*

La **Figura N° 4.1** (a) muestra el concreto sin MEPS adicionado. La figura (b) Se observa al concreto con el MEPS reciclado; se puede notar que el MEPS no está bien adherido a la pasta de cemento, dando lugar a discontinuidades en el interior de la matriz de concreto. Esta baja adherencia puede ser causa principal de la disminución de la resistencia a la compresión del concreto, también se puede observar el buen acomodo de las partículas de MEPS las que se encuentran de forma uniforme y homogénea esto se debe a que las partículas de MEPS son de forma esférica y pequeñas, en su mayoría de tamaño uniforme (0 a 4mm) las cuales producen un mejor acomodo entre los áridos y la pasta de cemento. En la **Figura N° 4.1** (c) se observa un mayor porcentaje de MEPS en la mezcla de concreto y aun así tiende a tener una buena distribución de sus partículas en la mezcla y no se percibe segregación del material en la mezcla.

#### **4.2.9. ENSAYO DE LA LOSA UNIDIRECCIONAL A ROTURA**

Este tipo de ensayos resulta imprescindible para determinar la resistencia a flexión del hormigón por métodos empíricos, a modo de verificar la equivalencia entre el modelo de diseño y el elemento estructural real. Con los resultados se puede analizar la capacidad de soporte y el tipo de falla del elemento, que puede ser dúctil (falla del hormigón) o frágil (falla del acero).

Para la realización de esta prueba se escaló la losa de dimensiones de 3x1x0.17 m en escala 1/2 mitad de las

dimensiones (1.50x 0.5x 0.085) se utilizó soleras de apoyo a la misma distancia y el deformímetro en el centro de la luz.



**Figura N° 4.2. Deformímetro en el Centro de la Luz**

*Fuente: Elaboración Propia*

Posteriormente, se limpió la superficie de la losa, eliminando cualquier residuo o partícula suelta que esta tuviere, quedando apta para situar los sacos de arena que representarían las cargas a disponer.

Se colocaron sacos de arena de 35 kg. Luego de tener todo listo se empezó a colocar los sacos de arena de manera que se distribuya en toda la losa y se tomaron los datos de las cargas y deformaciones que se iba colocando por hilera como se muestra en la **Figura N° 4.3**.

A continuación, se muestran las deformaciones asociadas a los incrementos de carga realizados por área de losa.



**Tabla N° 4.9. Resultados de Ensayo de Carga a la Rotura de Losa**

<b>Carga puntual (kg)</b>	<b>Cargas (kg/cm)</b>	<b>Cargas (kg/m)</b>	<b>Cargas (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformación (pulg)</b>	<b>Deformación laboratorio (cm)</b>	<b>Deformación(mm)</b>
62.25	0.41500	41.50	83.00	0.0051	0.0129	0.129
78.75	0.52500	52.50	105.00	0.0056	0.0141	0.141
157.50	1.05000	105.00	210.00	0.0078	0.0198	0.198
236.25	1.57500	157.50	315.00	0.0100	0.0255	0.255
315.00	2.10000	210.00	420.00	0.0123	0.0313	0.313
393.75	2.62500	262.50	525.00	0.0146	0.0370	0.3701
472.50	3.15000	315.00	630.00	0.0169	0.0429	0.429
551.25	3.67500	367.50	735.00	0.0193	0.0490	0.490
630.00	4.20000	420.00	840.00	0.0219	0.0556	0.556
630.00	4.20000	420.00	840.00	0.0224	0.0570	0.570
630.00	4.20000	420.00	840.00	0.0237	0.0601	0.601
630.00	4.20000	420.00	840.00	0.0250	0.0636	0.636
708.75	4.72500	472.50	945.00	0.0296	0.0751	0.751
708.75	4.72500	472.50	945.00	0.0319	0.081	0.810
708.75	4.72500	472.50	945.00	0.0347	0.0882	0.882
787.50	5.25000	525.00	1050.00	0.0413	0.1048	1.048
787.50	5.25000	525.00	1050.00	0.0450	0.1142	1.142
787.50	5.25000	525.00	1050.00	0.0492	0.125	1.250
892.50	5.95000	595.00	1190.00	0.0604	0.1534	1.534
892.50	5.95000	595.00	1190.00	0.0665	0.169	1.69
892.50	5.95000	595.00	1190.00	0.0744	0.189	1.89
892.50	5.95000	595.00	1190.00	0.0839	0.213	2.13
971.25	6.47500	647.50	1295.00	0.1031	0.262	2.62
971.25	6.47500	647.50	1295.00	0.1177	0.299	2.99
971.25	6.47500	647.50	1295.00	0.1343	0.341	3.41
971.25	6.47500	647.50	1295.00	0.1531	0.389	3.89
971.25	6.47500	647.50	1295.00	0.1740	0.442	4.42
1050.00	7.00000	700.00	1400.00	0.2138	0.543	5.43
1050.00	7.00000	700.00	1400.00	0.2319	0.589	5.89
1050.00	7.00000	700.00	1400.00	0.2539	0.645	6.45
1140.00	7.60000	760.00	1520.00	0.2661	0.676	6.76
1140.00	7.60000	760.00	1520.00	0.2772	0.704	7.04
1140.00	7.60000	760.00	1520.00	0.2965	0.753	7.53

Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura N° 4.3. Losa con Carga Máxima Impuesta**

*Fuente: Elaboración Propia*

El ensayo generó 5 grietas, las cuales se percibieron a los 1520 (kg/m<sup>2</sup>). Estas se fueron percibiendo después de 24 horas de colocada la carga total sobre la losa. La forma de las fisuras es la clásica producida por flexión (ubicación central de la losa y tendencia de crecimiento vertical). Cabe destacar que no se presentaron fisuras de corte.



**Figura N° 4.4. Fisura Vertical**

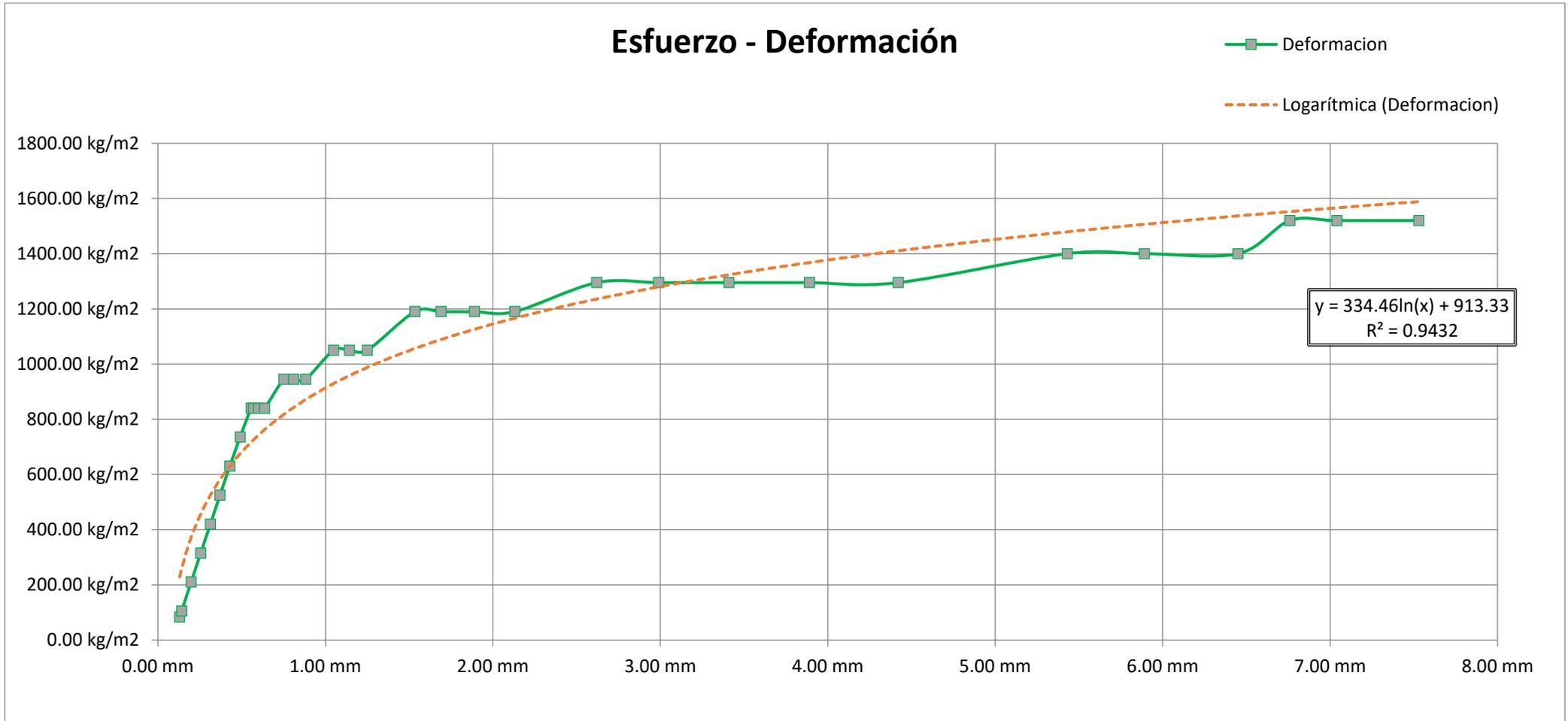
*Fuente: Elaboración Propia*



**Figura N° 4.5. Fisuras Generadas por el Ensayo a Rotura**

*Fuente: Elaboración Propia*

A continuación, se presenta la **Gráfica 4.13**, relación entre cargas impuestas versus la deformación en el centro de la losa prototipo.



**Gráfico N° 4.13. Esfuerzo – Deformación**

Fuente: *Elaboración Propia*

Una vez obtenidos los resultados de deformaciones de la losa a escala pasamos a calcular las deformaciones teóricas máximas de la misma, con los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio como se muestra en la **Tabla N° 4.10**.

**Tabla N° 4.10. Datos Obtenidos en Laboratorio de la Losa Escalada 1:2**

<b>MODELO</b>		
<b><i>E</i></b>	251044	kg/cm <sup>2</sup>
<b><i>L</i></b>	150	cm
<b><i>b</i></b>	50	cm
<b><i>h</i></b>	8.5	cm
<b><i>I<sub>n</sub></i></b>	2558.854	cm <sup>4</sup>
<b><i>I<sub>n</sub> transformada</i></b>	2582.182	cm <sup>4</sup>
<b><i>densidad</i></b>	0.001839	kg/cm <sup>3</sup>
<b><i>pp concreto</i></b>	0.781575	kg/cm
<b>ACERO G60</b>		
<b><i>diámetro</i></b>	0.6	cm
<b><i>recubrimiento</i></b>	2	cm
<b><i>Ab</i></b>	0.28	cm <sup>2</sup>
<b><i>N</i></b>	3	
<b><i>As</i></b>	0.84	cm <sup>2</sup>
<b><i>E</i></b>	2038902	kg/cm <sup>2</sup>
<b><i>densidad</i></b>	0.007849	kg/cm <sup>3</sup>
<b><i>pp acero</i></b>	0.00659316	kg/cm

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestran las deformaciones teóricas máximas para todas las cargas aplicadas en laboratorio como se muestra en la **Tabla N° 4.11**.



**Tabla N° 4.11. Deformaciones Teóricas Máximas en Losa Escalada 1:2**

<b>Cargas(kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cargas(kg/cm)</b>	<b>Teórica sin sec.transformada (cm)</b>	<b>Teórica con sec.transformada (cm)</b>
83.00	0.41500	0.012279	0.012235
105.00	0.52500	0.013407	0.013353
210.00	1.05000	0.018795	0.018692
315.00	1.57500	0.024182	0.024030
420.00	2.10000	0.029569	0.029369
525.00	2.62500	0.034956	0.034708
630.00	3.15000	0.040344	0.040046
735.00	3.67500	0.045731	0.045385
840.00	4.20000	0.051118	0.050723
840.00	4.20000	0.051118	0.050723
840.00	4.20000	0.051118	0.050723
840.00	4.20000	0.051118	0.050723
945.00	4.72500	0.056505	0.056062
945.00	4.72500	0.056505	0.056062
945.00	4.72500	0.056505	0.056062
1050.00	5.25000	0.061893	0.061401
1050.00	5.25000	0.061893	0.061401
1050.00	5.25000	0.061893	0.061401
1190.00	5.95000	0.069076	0.068519
1190.00	5.95000	0.069076	0.068519
1190.00	5.95000	0.069076	0.068519
1190.00	5.95000	0.069076	0.068519
1295.00	6.47500	0.074463	0.073857
1295.00	6.47500	0.074463	0.073857
1295.00	6.47500	0.074463	0.073857
1295.00	6.47500	0.074463	0.073857
1400.00	7.00000	0.079850	0.079196
1400.00	7.00000	0.079850	0.079196
1400.00	7.00000	0.079850	0.079196
1520.00	7.60000	0.086007	0.085297
1520.00	7.60000	0.086007	0.085297
1520.00	7.60000	0.086007	0.085297

Fuente: *Elaboración Propia*

Teniendo los datos de las deformaciones en la **Tabla N° 4.9** y **4.11** según las cargas aplicadas para la losa escalada con dimensiones (1.5x0.5x0.085m), en la **Tabla N° 4.12** se muestra el resumen de los resultados del experimento realizado en laboratorio.

**Tabla N° 4.12. Cuadro de Resumen del Ensayo de Carga a Rotura de la Losa 1:2**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARGA (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>DEFORMACIÓN (cm)</b>	<b>% DE VARIACIÓN</b>
Deformación teórica máxima	1520.00	0.086	
Deformación limite según norma		0.4166	384.00 %
Deformación real a la rotura (ensayo de laboratorio)	1520.00	0.753	776.00 %

Fuente: *Elaboración Propia*

En la **Tabla N° 4.12**, podemos ver que para una carga de 1520.00 Kg/m<sup>2</sup> tenemos una deformación teórica máxima y una deformación real a la rotura (laboratorio), las cuales tendrían que ser iguales o tener resultados parecidos para lo cual se sacó un porcentaje de variación entre estas dos deformaciones de la siguiente manera:

$$\frac{0.4166 - 0.086}{0.086} * 100\% = 384.00 \%$$

De esta manera sacamos las demás variaciones como por ejemplo la variación en la deformación límite según norma se tiene:

$$\frac{0.753 - 0.086}{0.086} * 100\% = 776.00 \%$$

Estos porcentajes de variación nos servirán para predecir las deformaciones de la **Tabla N° 4.12** para una losa a escala real de dimensiones de 3x1x0.17 m.

Teniendo las deformaciones y cargas distribuidas aplicadas a la losa de escala 1:2 empezamos a calcular la relación entre la losa modelo y la losa prototipo (real) según la teoría del análisis dimensional y semejanza por Buckingham.

#### 4.2.10. DETERMINACIÓN DE EQUIVALENCIA ENTRE LOSA REAL Y LOSA ESCALADA

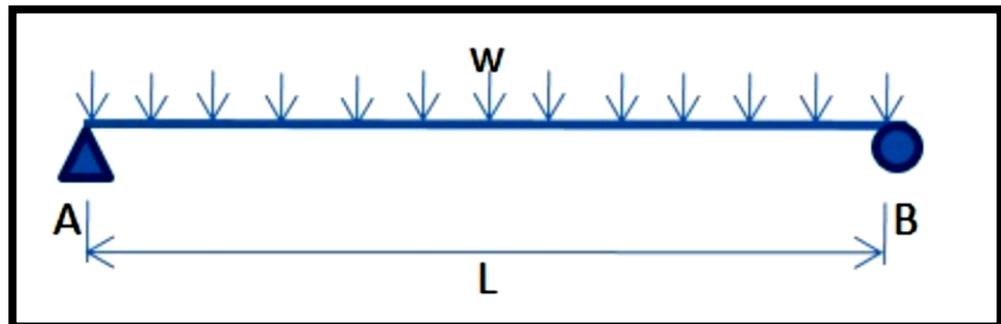


Figura N° 4. 6. Losa Simplemente Apoyada

Fuente: *Elaboración Propia*

Se la losa simplemente apoyada AB con una fuerza uniformemente distribuida W la expresión para  $\delta = \delta (W, L, E, I_n)$ .

$$\delta = \frac{5WL^4}{384EI_n}$$

Unidades: F(kg), L(cm)



Dado que el modelo es geoméricamente igual que el prototipo.

Siendo  $\lambda$  la escala entre el prototipo y el modelo:

$$\frac{L_p}{L_m} = \lambda$$

Siendo el material el mismo del prototipo y del modelo:

$$E_p = E_m$$

La deflexión en el prototipo y en el modelo se relaciona así:

$$\frac{\delta_p}{\delta_m} = \emptyset$$

$$\delta_p = \frac{5W_p L_p^4}{384E_p I n_p} \dots \dots \dots (1)$$

$$\delta_m = \frac{5W_m L_m^4}{384E_m I n_m} \dots \dots \dots (2)$$

$$E_p = E_m : L_p = \lambda L_m : I n_p = L_p^4 : I n_m = L_m^4 : W_p = \frac{M_p g}{L_p} : W_m = \frac{M_m g}{L_m}$$

$$\frac{\delta_p}{\delta_m} = \emptyset$$

Reemplazamos datos y calculando se tiene

$$\frac{M_p}{\lambda M_m} \dots \dots \dots (3)$$

La densidad del material también es la misma del prototipo y del modelo:

$$\rho_p = \frac{M_p}{L_p^3} : \rho_m = \frac{M_m}{L_m^3} : \rho_p = \rho_m$$

$$\frac{M_p}{\lambda^3 L_m^3} = \frac{M_m}{L_m^3}$$

$$M_p = M_m \lambda^3 \dots \dots \dots (4)$$

Reemplazamos (4) en (3) tenemos que:

$$\frac{\delta_p}{\delta} = \lambda^2$$

$$\delta_p = \lambda^2 \delta_m \dots \dots (5)$$

Entonces en la ecuación (5) tenemos la comparación de deformaciones entre la losa escalada (losa modelo) y la losa real (losa prototipo).

Ahora calcularemos la relación entre cargas distribuidas de la losa modelo y losa prototipo.

$$\frac{W_p}{W_m} = \frac{M_p g L_m}{M_m g L_p} \dots \dots (6)$$

Reemplazamos (4) en (6):

$$W_p = \lambda^2 W_m \dots \dots (7)$$

Entonces en la ecuación (7) tenemos la relación entre las cargas distribuidas de la losa modelo y losa prototipo.

Para hallar la deformación teórica máxima de la losa a escala se hace el mismo procedimiento que con la losa real para el cálculo de la deformación teórica calculada en el **Capítulo 3.6** diseño de losa.

Entonces tenemos los siguientes datos:

Para determinar dicha deformación se realiza el cálculo del eje centroidal vertical e inercia con el método de sección transformada.

Coeficiente de equivalencia (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = \frac{2100000}{251044}$$

$$n = 8.365$$

Eje centroidal ( $\bar{Y}$ )

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

$$\bar{Y} = \frac{A_{sec} Y_{sec} + A_s Y_s (n - 1)}{A_{sec} + A_s (n - 1)}$$

$$\bar{Y} = \frac{425 \times 4.25 + 0.84 \times 2.3 \times 7.365}{425 + 0.84 \times 7.365}$$

$$\bar{Y} = 4.222 \text{ cm}$$

Inercia (I)

Utilizando la sección transformada y el teorema de **Steiner** se obtiene lo siguiente:

$$I = \frac{bh^3}{12} + A_{sec}(\bar{Y}_{sec} - \bar{Y})^2 + (n - 1)n_b \left[ \frac{\pi(\frac{\emptyset}{2})^4}{4} + \frac{A_s}{n_b} (\bar{Y} - \bar{Y}_s)^2 \right]$$

$$I = \frac{50 \times 8.5^3}{12} + 425(4.25 - 4.222)^2 + 7.365 \times 3 \left[ \frac{\pi(0.3)^4}{4} + \frac{0.84}{3} (4.222 - 2.3)^2 \right]$$

$$I = 2582.1819 \text{ cm}^4$$

Deformación ( $\delta_t$ )

$$\delta_t = \frac{5ql^4}{384EI}$$

Donde:

q: Peso Propio + Carga

$$\delta_t = \frac{5(q)(150)^4}{384 \times 251044 \times 2558.854} \text{ (cm) } \dots \dots \dots \text{ (sin transformada)}$$

$$\delta_t = \frac{5(q)(150)^4}{384 \times 251044 \times 2582.1819} \text{ (cm) } \dots \dots \dots \text{ (con transformada)}$$

Entonces reemplazamos la carga para obtener las deformaciones que se quiere:

- En este caso la primera carga  $q = 0.781575 + 0.415 \text{ kg/cm}$   
Reemplazamos en la ecuación de la deformada teórica sin transformada:

$$\delta_t = \frac{5(0.781575 + 0.415)(150)^4}{384 \times 251044 \times 2558.854} \dots \dots \dots (\text{sin transformada})$$

$$\delta_t = 0.012279 \text{ cm} \dots \dots \dots (\text{sin transformada})$$

$$\delta_t = \frac{5(0.781575 + 0.415 + 0.006593)(150)^4}{384 \times 251044 \times 2582.1819} (\text{cm}) \dots \dots \dots (\text{con transformada})$$

$$\delta_t = 0.012235 \text{ cm} \dots \dots \dots (\text{con transformada})$$

- Verificación en Sap2000
  - ✓ Definimos materiales en el programa

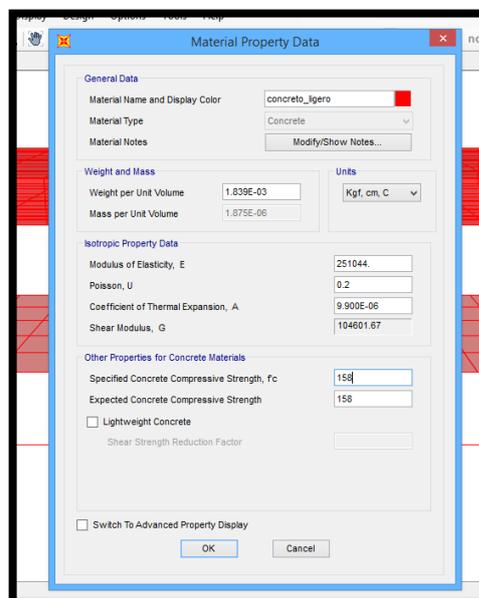


Figura N° 4.7. Definición de Materiales en SAP2000

Fuente: *Elaboración Propia*

- ✓ Creación de la losa como viga simplemente apoyada.

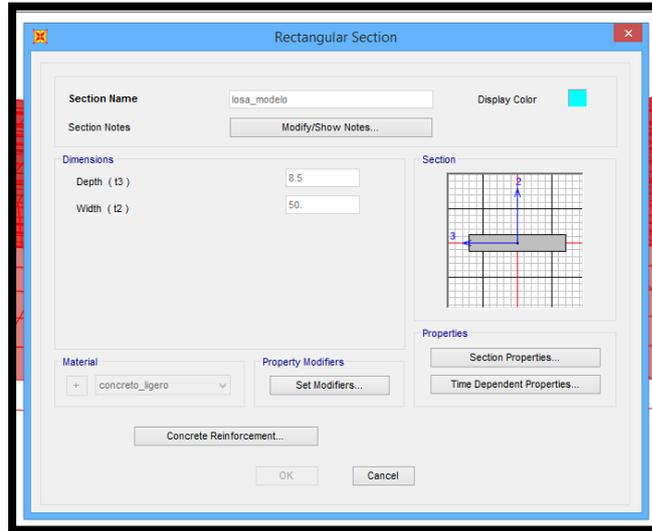


Figura N° 4.8. Creación de Sección SAP2000

Fuente: *Elaboración Propia*

- ✓ Dibujo de la Losa

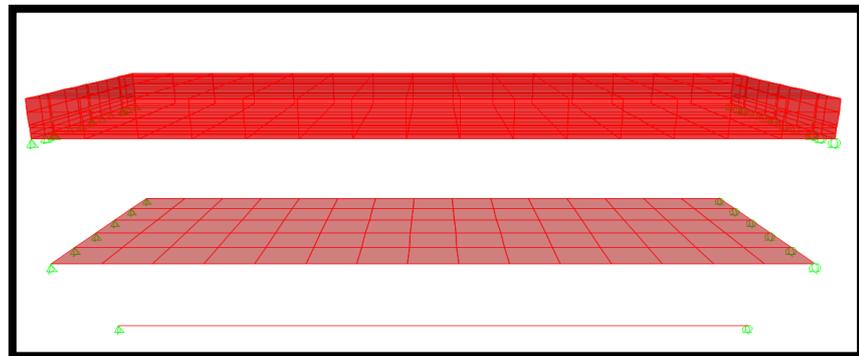


Figura N° 4.9. Modelado de Losa Escalada SAP2000

Fuente: *Elaboración Propia*

- ✓ Aplicación de carga 0.415 kg/cm

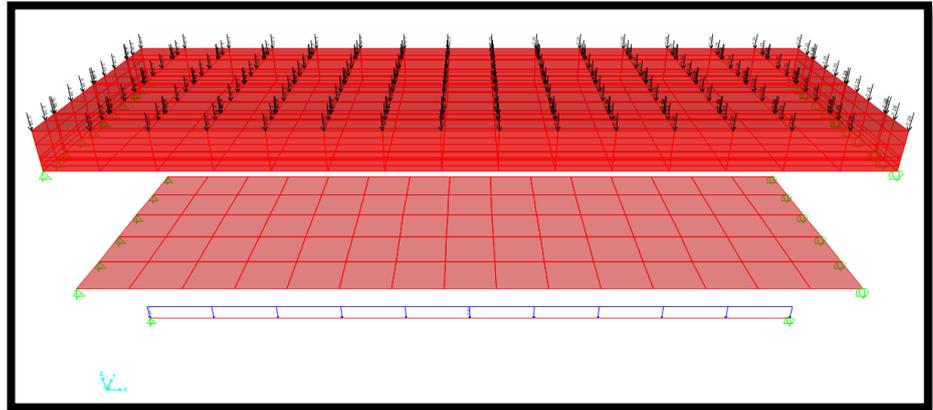


Figura N° 4.10. Cargas en la Losa en SAP 2000

Fuente: *Elaboración Propia*

- ✓ Deformación de losa escalada relación 1:2

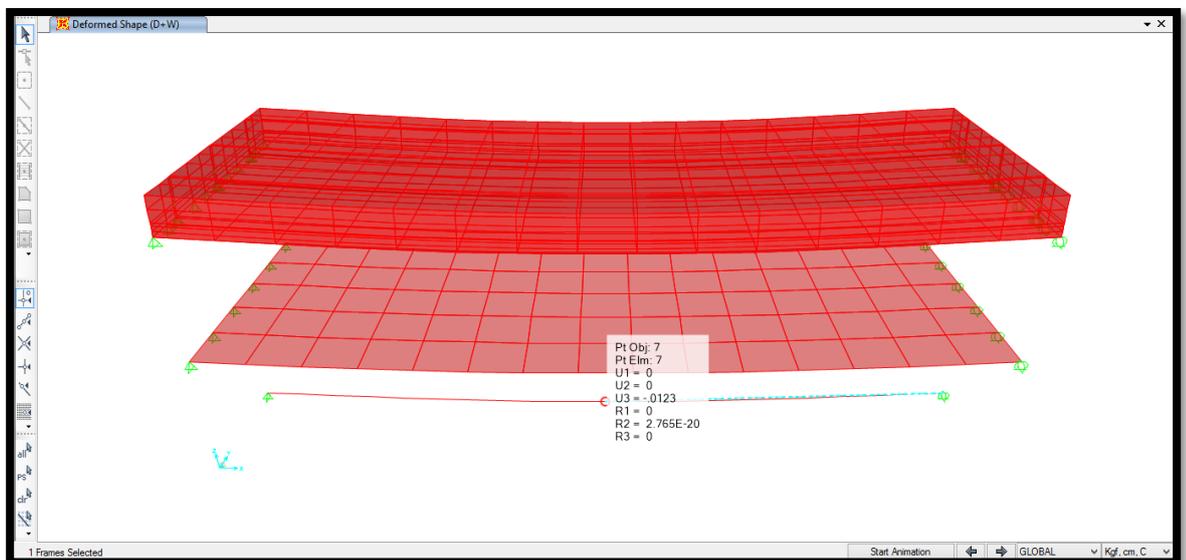


Figura N° 4.11. Deformación en el Centro de la Losa en SAP 2000

Fuente: *Elaboración Propia*

De donde se puede observar que la deformación sin transformada analizada como viga simplemente apoyada



tiene la misma deformación que la calculada con la fórmula de deformación teórica máxima según **Tabla N° 4.11**.

Pero si comparamos la **Tabla N° 4.9** (deformaciones obtenidas en laboratorio) con la **Tabla N° 4.11** (deformaciones teóricas máximas) se observa que hay porcentajes de variación entre estas dos como podemos ver en la **Tabla N° 4.13**.

**Tabla N° 4.13. Porcentaje de Variación entre Deformaciones Teóricas y Obtenidas en Laboratorio**

<b>Cargas(kg/cm)</b>	<b>Cargas(kg/m2)</b>	<b>Deformación laboratorio (cm)</b>	<b>Variación</b>	<b>Deformación Teórica sin sec.transformada (cm)</b>	<b>Deformación Teórica con sec.transformada (cm)</b>
0.41500	83.00	0.0129	4.817%	0.012279	0.012235
0.52500	105.00	0.0141	4.912%	0.013407	0.013353
1.05000	210.00	0.0198	5.078%	0.018795	0.018692
1.57500	315.00	0.0255	5.169%	0.024182	0.024030
2.10000	420.00	0.0313	5.530%	0.029569	0.029369
2.62500	525.00	0.0370	5.549%	0.034956	0.034708
3.15000	630.00	0.0429	5.959%	0.040344	0.040046
3.67500	735.00	0.0490	6.672%	0.045731	0.045385
4.20000	840.00	0.0556	8.061%	0.051118	0.050723
4.20000	840.00	0.0570	10.319%	0.051118	0.050723
4.20000	840.00	0.0601	14.945%	0.051118	0.050723
4.20000	840.00	0.0636	19.626%	0.051118	0.050723
4.72500	945.00	0.0751	24.760%	0.056505	0.056062
4.72500	945.00	0.081	30.240%	0.056505	0.056062
4.72500	945.00	0.0882	35.935%	0.056505	0.056062
5.25000	1050.00	0.1048	40.942%	0.061893	0.061401
5.25000	1050.00	0.1142	45.803%	0.061893	0.061401
5.25000	1050.00	0.125	50.486%	0.061893	0.061401
5.95000	1190.00	0.1534	54.970%	0.069076	0.068519
5.95000	1190.00	0.169	59.127%	0.069076	0.068519
5.95000	1190.00	0.189	63.452%	0.069076	0.068519
5.95000	1190.00	0.213	67.570%	0.069076	0.068519
6.47500	1295.00	0.262	71.579%	0.074463	0.073857



6.47500	1295.00	0.299	75.096%	0.074463	0.073857
6.47500	1295.00	0.341	78.163%	0.074463	0.073857
6.47500	1295.00	0.389	80.858%	0.074463	0.073857
6.47500	1295.00	0.442	83.153%	0.074463	0.073857
7.00000	1400.00	0.543	85.295%	0.079850	0.079196
7.00000	1400.00	0.589	86.443%	0.079850	0.079196
7.00000	1400.00	0.645	87.620%	0.079850	0.079196
7.60000	1520.00	0.676	87.277%	0.086007	0.085297
7.60000	1520.00	0.704	87.783%	0.086007	0.085297
7.60000	1520.00	0.753	88.578%	0.086007	0.085297

Fuente: *Elaboración Propia*

De donde se puede observar que hay una variación al principio del 5 % y al aumento de cargas empieza a aumentar la variación de porcentaje poco a poco, pero a los 840 kg/m<sup>2</sup> se observa que tiene un mayor aumento hasta los 1520 kg/m<sup>2</sup>. Esto se debe a que en el ensayo las cargas se fueron aplicando hilada por hilada una encima de otra, teniendo cargas permanentes y no como cargas fijas y esto hace que la losa se vaya fatigando, es por esto que se obtienen grandes variaciones al comparar la deformación producida por las cargas aplicadas y la deformación teórica obtenida mediante fórmulas. También se puede observar que a los 840 kg/m<sup>2</sup> empieza a tener un comportamiento plástico o inelástico ya que al colocar la carga y al dejar pasar el tiempo ésta seguía deformándose por ello también se obtienen mayores deformaciones. Esto podría explicarse por los vacíos que presenta ya que es un material poroso y por la baja adherencia que tiene el MEPS con el material



cementante y como ya se dijo anteriormente también se debe a la forma de aplicar las cargas en laboratorio.

Escalamos las fuerzas y las deformaciones para la losa a escala real.

Teniendo las ecuaciones antes calculadas, reemplazamos:

$$\delta_p = \lambda^2 \delta_m \dots \dots (5)$$

$$W_p = \lambda^2 W_m \dots \dots (7)$$

Donde:  $\lambda=2$

$$\delta_p = 4 \delta_m \dots \dots (8)$$

$$W_p = 4 W_m \dots \dots (9)$$

Obtenemos los siguientes resultados en la **Tabla N° 4.14**.

**Tabla N° 4.14. Cargas y Deformaciones Escaladas para Losa Real**

<b>Cargas(kg/cm)</b>	<b>Cargas escaladas(kg/cm)</b>	<b>Cargas(kg/m2)</b>	<b>Cargas(kg/m2) Escalada</b>	<b>Deformación laboratorio (cm)</b>	<b>Deformación escalada (cm)</b>
0.41500	1.66000	83.00	166.00	0.0129	0.0516
0.52500	2.10000	105.00	210.00	0.0141	0.0564
1.05000	4.20000	210.00	420.00	0.0198	0.0792
1.57500	6.30000	315.00	630.00	0.0255	0.1020
2.10000	8.40000	420.00	840.00	0.0313	0.1252
2.62500	10.50000	525.00	1050.00	0.0370	0.14804
3.15000	12.60000	630.00	1260.00	0.0429	0.1716
3.67500	14.70000	735.00	1470.00	0.0490	0.1960
4.20000	16.80000	840.00	1680.00	0.0556	0.2224
4.20000	16.80000	840.00	1680.00	0.0570	0.2280
4.20000	16.80000	840.00	1680.00	0.0601	0.2404
4.20000	16.80000	840.00	1680.00	0.0636	0.2544
4.72500	18.90000	945.00	1890.00	0.0751	0.3004
4.72500	18.90000	945.00	1890.00	0.081	0.3240
4.72500	18.90000	945.00	1890.00	0.0882	0.3528



5.25000	21.00000	1050.00	2100.00	0.1048	0.4192
5.25000	21.00000	1050.00	2100.00	0.1142	0.4568
5.25000	21.00000	1050.00	2100.00	0.125	0.500
5.95000	23.80000	1190.00	2380.00	0.1534	0.6136
5.95000	23.80000	1190.00	2380.00	0.169	0.676
5.95000	23.80000	1190.00	2380.00	0.189	0.756
5.95000	23.80000	1190.00	2380.00	0.213	0.852
6.47500	25.90000	1295.00	2590.00	0.262	1.048
6.47500	25.90000	1295.00	2590.00	0.299	1.196
6.47500	25.90000	1295.00	2590.00	0.341	1.364
6.47500	25.90000	1295.00	2590.00	0.389	1.556
6.47500	25.90000	1295.00	2590.00	0.442	1.768
7.00000	28.00000	1400.00	2800.00	0.543	2.172
7.00000	28.00000	1400.00	2800.00	0.589	2.356
7.00000	28.00000	1400.00	2800.00	0.645	2.58
7.60000	30.40000	1520.00	3040.00	0.676	2.704
7.60000	30.40000	1520.00	3040.00	0.704	2.816
7.60000	30.40000	1520.00	3040.00	0.753	3.012

Fuente: Elaboración Propia

Como se sabe la deformación limite según norma es:

$$\frac{L}{360} = \frac{300cm}{360} = 0.83 cm$$

Entonces tenemos que calcular la carga requerida de diseño y verificar si su deformación pasa la deformación limite.

La carga de diseño es q=sobrecarga más carga por acabados.

La sobrecarga según norma es de 200kg/m<sup>2</sup> y para acabados es de 100kg/m<sup>2</sup>.

$$q(\text{real}) = 300 \text{ kg/m}^2 \cdot 1\text{m} = 300\text{kg/m}$$

$$q(\text{real})=3 \text{ kg/cm}$$

$$q(\text{escalada})=0.75 \text{ kg/cm}$$

Esta carga la ubicamos en la **Tabla Nº 4.14**, debido a que no se tiene el valor exacto, procedemos a interpolar los valores para dar con el que necesario:

$$\frac{0.75 - 0.525}{0.75 - 1.05} = \frac{x - 0.141}{x - 0.0198}$$

$$x = 0.0165 \text{ cm}$$

El valor obtenido corresponde al valor de la deflexión en una losa con medidas escaladas 1:2, por lo que para determinar la deflexión en la losa de tamaño real se le multiplicará por el factor obtenido anteriormente, como se muestra a continuación:

$$\delta_{\text{real}} = \lambda * \delta_{\text{escalada}}$$

$$\delta_{\text{real}} = 4 * 0.0165 \text{ cm}$$

$$\delta_{\text{real}} = 0.06617 \text{ cm}$$

Podemos ver que con la carga de diseño la deformación no excede lo indicado en el **RNE E.060**, por ende, cumple. También se observa que llega a soportar cargas cinco veces mayor a las requeridas por el diseño.

Para la variación de la deformación en la losa real, se muestra la **Tabla Nº 4.15**.

Tabla N° 4.15. Cuadro de Resumen de la Losa a Escala Real

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CARGA (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>DEFORMACIÓN (cm)</b>	<b>% DE VARIACIÓN</b>
<i>Deformación teórica máxima</i>	3040.00	0.2945	
<i>Deformación limite según norma</i>		0.83	182.00 %
<i>Deformación real a la rotura (ensayo de laboratorio)</i>	3040.00	3.012	923.00 %
<i>Deformación requerida</i>	300.00	0.0661	

Fuente: *Elaboración Propia*

En la **Tabla N° 4.15** se puede observar que la losa a escala real llega a una deformación de rotura de 3.012 cm con una fuerza de 3040 kg/m.

- Según la tesis titulada “**DISEÑO, FABRICACIÓN Y ENSAYO DE UNA LOSA UNIDIRECCIONAL DE HORMIGÓN LIVIANO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO MODIFICADO PARA FINES HABITACIONALES**”, realizado por Juan Guillermo León Barría, Valdivia – Chile- 2013, se obtuvieron los siguientes resultados.
  - ***En esta tesis se realizó un ensayo a la rotura de losa unidireccional con sustitución del 70% de MEPS por agregado grueso en el que se obtuvo una resistencia de 17MPa con una densidad de 1715,56 kg/m<sup>3</sup>. En el cual se realizó el diseño correspondiente para una losa de 2.7 m de luz libre, 1m de ancho y 0.13 m de espesor (dado que su***

densidad es de  $1700 \text{ kg/m}^3$  y su tensión de fluencia del acero es de  $2800 \text{ kg/cm}^2$ ). Se utilizó una dosificación de hormigón H-25 con tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ".

- El ensayo a la rotura de la losa antes mencionada se realizó con 68 viguetas y 24 cubos de concreto. La prueba se realizó una vez transcurrido los 51 días de la fecha de hormigonado de la losa. Se inició el ensayo situando las viguetas de hormigón en el cuarto central de la losa, a un paso de 2 viguetas por cada incremento (60 kgf) y registrando las deformaciones asociadas como se muestra en la Figura N° 4.12.

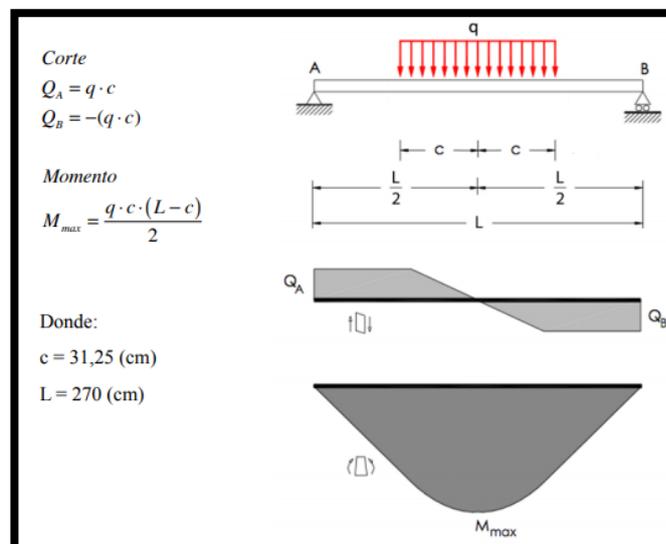


Figura N° 4.12. Diagrama de corte y momento para la sollicitación de ensayo.

Fuente: Juan Guillermo León Barría,  
Valdivia – Chile- 2013.

- En sus resultados de carga deformación se muestra que se generaron 4 grietas ubicadas en el cuarto central de la luz, las cuales se percibieron a

***los 2880, 2976, 3321 (kgf/m<sup>2</sup>) respectivamente. La cuarta grieta se formó luego de 24 horas impuesta la carga total sobre la losa. La forma de las fisuras es la clásica producida por flexión (ubicación central de la losa y tendencia de crecimiento vertical). Cabe destacar que no se presentaron fisuras de corte. Se llegó hasta una deformación central de 34.93 mm.***

En nuestros ensayos a la rotura de losa unidireccional se trabajó con una adición de perlas de MEPS del 20% del peso del cemento, llegando se a una resistencia de 158.70 kg/cm<sup>2</sup> y una densidad de 1839 kg/m<sup>3</sup>. En donde se realizó el diseño de la losa para una luz libre de 3 m por un ancho de 1 m y un espesor de 0.17 m (dado que se obtuvo una densidad de 1839 kg/m<sup>3</sup> y se trabajó con un acero de  $F_y = 4200$  kg/cm<sup>2</sup>). Se utilizó un diseño de mezcla de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

En los ensayos a la rotura de la losa unidireccional se escaló, la losa de dimensiones antes mencionadas, a la mitad de sus dimensiones ( $s/c=1/2$ ) al igual que las cargas y acero colocado según diseño. En este ensayo se realizó con sacos de arena de 35 kg cada una distribuida uniformemente en toda el área de la losa. Se fue colocando una sobre otra, en hileras de tres sacos cada una y se fue tomando las deformaciones por cada hilera cargada.



En sus resultados de carga – deformación se observó que empezó a fisurarse con una sobrecarga de 1520 kg/cm<sup>2</sup>, lo que significa 3040 kg/cm<sup>2</sup> en escala real, generando 5 grietas como ya antes se ha mencionado, llegando a deformarse 30.12 mm.

Como se puede observar las cargas y deformaciones obtenidas por las dos tesis son casi similares, pero hay que tener en cuenta que las cargas se colocaron de distintas formas una en el cuarto central y la otra uniformemente distribuida la cual nos dan distintos momentos máximos y por ende distintas fórmulas de deformación máximas teóricas. Por ello se puede inferir que las deformaciones obtenidas se dan más por las propiedades de cada losa una es más ligera que otra y más resistente que otra.



# **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Se concluye que la función de esta losa es similar a la de un concreto normal, cumpliendo satisfactoriamente con las deformaciones máximas admisibles establecidas en el **RNE E0.60**, por lo que se puede diseñar de manera eficiente para losas unidireccionales simplemente apoyadas.
- La resistencia de la losa superó el valor predicho por las estimaciones teóricas, llegando a soportar cargas mayores a la requerida para el diseño que son necesarias para el uso habitacional.
- Se concluye que luego de haber experimentado con varios porcentajes de adición de MEPS en la mezcla de concreto, la adición óptima para alcanzar un concreto ligero según **RNE E. 060** ( $\leq 1850 \text{ kg/m}^3$ ) es adicionar el 20% del MEPS con respecto al peso del cemento, con lo cual obtenemos una densidad de  $1839 \text{ kg/m}^3$ .
- Se concluye que a mayor porcentaje de MEPS adicionado en la mezcla de concreto, su capacidad de absorción y porosidad aumenta, mientras que la densidad del concreto va disminuyendo, así como también la resistencia a la compresión axial.



- La trabajabilidad y consistencia del concreto fue poco afectado por la adición del MEPS reciclado a un 5%, 10% hasta 15% pero para porcentajes de 20% y 30% adiciones mayores, esto afectó considerablemente la trabajabilidad y por ende el valor del asentamiento convirtiéndose en una mezcla rígida y seca.
- El concreto ligero elaborado con adición del 20% de MEPS respecto al peso del cemento, no cumple con los requerimientos mínimos de resistencia a la compresión para ser considerado como **Concreto Estructural**, establecido en **RNE E.060 (17MPa)** ya que ésta llega a una resistencia de *158.70 kg/cm<sup>2</sup>*.
- La densidad del concreto ligero elaborado a base de MEPS que fue utilizado en la fabricación de la losa (20% MEPS) es significativamente menor a la del concreto normal, disminuyendo en un 21.12% el peso de la losa. Esto es de suma importancia ya que al diseñar elementos estructurales tales como columnas y cimentaciones estas tendrán menor sección, serán menos esbeltas y por ende disminuirá el peso sísmico.
- Según los ensayos realizados se observa que para una adición del 20% de MEPS la mezcla de concreto incrementa su volumen por m<sup>3</sup> en un 42% del total.

- Se concluye que al cargar la losa prototipo con 840 kg/m<sup>2</sup>, esta empieza a tener un comportamiento plástico o inelástico ya que al colocar la carga y dejarla por un periodo de tiempo, esta se sigue deformando.
- La distribución de los materiales (Agregados, cemento y MEPS) fue homogénea dentro del espécimen, aunque la adherencia entre los materiales del concreto y el MEPS no es muy buena puesto que se pueden desprender fácilmente de la pasta en su estado endurecido, pudiendo esto causar la disminución de su resistencia a la compresión.
- Para finalizar, los resultados obtenidos nos permiten inferir que las losas unidireccionales de concreto ligero elaborados a base de MEPS cumple con la normativa **E. 060** siendo una opción a tomar en cuenta para el ámbito de la construcción civil ya que este material nos brinda una serie de características positivas que suman al concreto normal como lo indica en esta tesis, teniendo en cuenta una perspectiva técnica, económica y ambiental.
- Este trabajo de investigación es un primer paso en el estudio de este material adicionado aplicado a losas unidireccionales, en la que puede carecer de un análisis más detallado en algunos temas; pero es importante mencionar que es un punto de partida para investigaciones futuras.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda en el caso de realizar los ensayos a los agregados del concreto, se debe cumplir con todos los requisitos indicados en la **NTP**, **MTC** y **ASTM** para lograr determinar con mayor exactitud la resistencia a la compresión, durabilidad, trabajabilidad, asentamiento, etc.
- Al momento del varillado en las probetas cuando se vierta el concreto, es recomendable que los golpes con el martillo de goma sean distribuidos alrededor de todo el molde para que no se formen cangrejeras en los testigos de concreto.
- Se debe tomar en cuenta cuando se elabore las probetas de concreto, que desde el momento son compactados y enrasados es conveniente cubrirlos después del acabado, para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer.
- Se recomienda utilizar aditivo plastificante para lograr una mejor trabajabilidad en el concreto fresco, ya que se observó una pérdida importante de la misma para los porcentajes de adición del 20% y 30%, evitando una mezcla seca y rígida difícil de trabajar.
- Se recomienda realizar un diseño de mezclas con una mayor resistencia a la compresión, debido a que la resistencia alcanzada con el 20% de MEPS en un diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>, no cumple con los requerimientos mínimos establecidos en el **RNE E.060** para concreto estructurales livianos.



# **CAPITULO VI**

# **BIBLIOGRAFÍA**



## CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA

### 6.1. *NORMAS*

- American Concrete Institute, Diseño de Mezcla de concreto Estructural, ACI 211-94.
- American Concrete Institute, Definiciones y métodos de materiales para el concreto Estructural, ACI 318S-14.
- Norma técnica de Edificación, Concreto Armado, NTE E.060-2014.
- Norma técnica de Edificación, Cargas, NTE E.020-2014.
- Norma Técnica Peruana, Definiciones y requisitos del cemento, NTP 334.090:2005.
- Norma Técnica Peruana (NTP), Cementos. Definiciones y Nomenclatura, NTP 334.001, 2004.
- American Society for Testing Materials, Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra, ASTM C31-03.
- Manual de Ensayos de Materiales, Elaboración y Curado de Especímenes de Hormigón (concreto) en el Laboratorio, MTC E 702:2016
- Norma Técnica Peruana, Elaboración y curado de probetas cilíndricas en obra, NTP 339.033:2009.
- Norma Técnica Peruana, Definiciones y terminología relativas al concreto, NTP 339.047:2006.
- Norma Técnica Peruana, Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto NTP 339.034:2008(2013).
- American Society for Testing Materials, Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de hormigón, ASTM C39-01.



- Manual de Ensayos de Materiales, Resistencia a la Compresión Testigos Cilíndricos, MTC E 704:2016.
- Norma Técnica Peruana, Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, por compresión diametral de una probeta cilíndrica NTP 339.084:2012.
- Manual de Ensayos de Materiales, Ensayo de Tracción Indirecta de Cilindros Estándares de Concreto, MTC E 708:2016.
- Norma Técnica Peruana, Tamices de ensayo, NTP 350.001:2006.
- Norma Técnica Peruana, Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en el hormigón (concreto) endurecido. NTP 339.187:2003(2013).
- UNE 12390 – 7:2000. Ensayos de hormigón endurecido.
- American Society for Testing Materials, Método de prueba estándar para el módulo estático de elasticidad y la relación de Poisson del hormigón en la compresión, ASTM C 469.
- Manual de Ensayos de Materiales, Reducción de Muestras de Campo a Tamaños de Muestras de Ensayo, MTC E 103:2016
- Norma Técnica Peruana 400.010; AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras, NTP 400.010:2012.
- Norma Técnica Peruana, MÓDULO de Finura del Agregado Fino, NTP 400.011:2001.
- Manual de Ensayos de Materiales, Método de Ensayo para Contenido de Humedad total de los Agregados por Secado, MTC E 215:2016.



- Norma Técnica Peruana, Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del Agregado Grueso, NTP 400.022:2006.
- Norma Técnica Peruana (NTP), Hormigón (Concreto). Agua de Mezcla utilizada en la producción de concreto de Cemento Portland. Requisitos, NTP 339.088, 2006.
- Norma Técnica Peruana, Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado fino, NTP 400.021:2006.
- Norma Técnica Peruana, Requisitos granulométricos de los Agregados, NTP 400.037:2006.
- Norma Técnica Peruana (NTP), Agregados. Análisis Granulométrico del agregado fino, grueso y global, NTP 400.012,2001.
- Manual de Ensayos de Materiales, Peso Unitario y Vacíos de los Agregados, MTC E 203:2016.
- Manual de Ensayos de Materiales, Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos, MTC E 205:2016.
- Manual de Ensayos de Materiales, Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos, MTC E 206:2016.

## 6.2. **LIBROS**

- HOLM, T. A.; BREMNER, T. W. 1994. “High Strength Lightweight Aggregate Concrete,” Capítulo 10, High Performance Concrete and Applications, Londres.
- LAMOND, J; PIELERT, J. 2006. Significance Of Test And Properties Of Concrete & Concrete Making – Materials. ASTM 169D.
- TEODORO E.HARMSSEN, 2002. “Diseño de estructuras de concreto armado”. 3era edición, Lima-Perú, PUCP.
- BLANCO BLASCO, ANTONIO, 1990- 1991. “Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado”, Libro 2 de la colección de Ingeniero Civil, Lima.



- JACK C. MC CORMAC – RUSSELL H. BROWN, 2011. “Diseño de concreto reforzado”, 8tava edición con el código ACI 318-08, México.
- R.C. HIBBELER, 2006. “Mecánica de materiales”, sexta edición, México.
- R.C. HIBBELER, 2010. “Ingeniería mecánica Estática”, decimosegunda edición, México.
- DR. CARLOS ZAVALA, 2011 “Teorema de Buckingham o Teorema de  $\pi$ ”, UNI-FIC-Sección de Postgrado C-184 Métodos Experimentales en Edificaciones.
- ING. ENRIQUE RIVVA LÓPEZ, ICG, 2010, “Diseño de Mezclas”, 1era edición, Lima – Perú.
- ING. ROMERTO MORALES MORALES, ICG, 2006, “Diseño en Concreto Armado”, 3era edición, Lima-Perú.
- ING. ENRIQUE RIVVA LÓPEZ, ICG, 2010, “Materiales para el Concreto”, 2da edición, Lima-Perú.

### **6.3. INFORMES DE INVESTIGACIÓN**

- ABDULKADIR, Kan; DEMIRBOGA, Ramazan. 2009. A New Technique of Processing For Waste-Expanded Polystyrene Foams as Aggregates. Turkey.
- DEMIRBOGA, Ramazan. 2009. “A novel material for lightweight concrete production”, Cement & Concrete Composites. Turkey.
- FERNANDO GABRIEL VIDAL ALMONACID VALDIVIA, “Caracterización y evaluación del comportamiento de hormigones livianos, usando como materia prima poliestireno expandido modificado (meps)”. Chile, 2010. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias de la ingeniería, Escuela de ingeniería civil en obras civiles.



- ESTEFANÍA VASQUEZ CORRALES, “Desarrollo de Mezclas de Concreto Utilizando los Residuos de Plásticos de Poliestireno Expandible (EPS) y Tereftalato de Polietileno (PET) en Mezclas de Concreto Convencional”. Costa Rica, 2016. Universidad Latina de Costa Rica Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Ingeniería Civil.
- ISIDRO CÓRDOVA CÓRDOVA, “Uso del Polieestireno Expandido y su Resistencia en las Losas Deportivas en el Distrito de Morales, Provincia y Región de San Martín”. Tarapoto – Perú 2016. Universidad Científica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingenierías.
- BR. MONTES DE OCA, ALEJANDRO, BR. QUIÑÓNEZ, VIVIANA, “Incidencia del Poliestireno Expandido Reciclado y la Fibra de Polipropileno en la Resistencia a Compresión del Concreto para un Diseño de Mezcla con  $f'c$  de 250 kgf/cm<sup>2</sup>. Caracas – Venezuela 2011. Universidad Nueva Esparta, Facultad de Ingeniería.
- JEISON VARGAS MÉNDEZ Y RODOLFO FONSECA PADILLA, “Concretos Modificados con Residuos Industriales”. San José - Costa Rica 2014. Universidad Fidélitas, Facultad de Ingeniería Civil.
- RODRIGO ANDRES VERA RENCORET, “Estudio de Dosificaciones de Hormigones Estructurales Livianos con Grado Superior a H-17, Utilizando como Patrón un H-20, en Términos de Costo – Resistencia, Usando como materia prima Poliestireno Expandido Modificado en Distintas Proporciones”. Chile, 2013. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias de la ingeniería, Escuela de ingeniería civil en obras civiles.
- MONICA CRISTINA LITUMA VICUÑA Y BRIGIDA TATIANA ZHUNIO CÁRDENAS, “Influencia de las Perlas de Poliestireno Expandido (EPS) en el Peso y en la Resistencia a COMPRESIÓN del HORMIGÓN”. Cuenca – Ecuador, 2015. Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil.
- JUAN GUILLERMO LEÓN BARRÍA, “Diseño, Fabricación y Ensayo de una Losa Unidireccional de Hormigón Liviano con Poliestireno Expandido Reciclado Modificado para Fines Habitacionales”. Chile, 2013. Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias de la ingeniería, Escuela de ingeniería civil en obras civiles.



#### 6.4. PÁGINAS DE INTERNET

- National Ready Mixed Concrete Association – NRMCA, CIP-36 Concreto Estructural de Peso Liviano, [www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP36es.pdf](http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP36es.pdf), (consultado en Febrero, 2018).
- CEMEX, Hormigón Ligero Aspectos Técnicos y Estéticos, [www.caatlleida.cat/Fitxers/CentreDocumentacio/Biblioteca/NBibliografiques/Index/BD-7627.pdf](http://www.caatlleida.cat/Fitxers/CentreDocumentacio/Biblioteca/NBibliografiques/Index/BD-7627.pdf), (consultado en Febrero 2018).
- Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón Liviano Estructural–CIATH, [www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hormilivi.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hormilivi.pdf), (consultado en Febrero 2018).
- Wikipedia, Poliestireno Expandido, [es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno\\_expandido](http://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno_expandido), (consultado el 15 de Setiembre 2017).
- Construccion-eps. 2007. Fabricación del Poliestireno Expandible, [www.construccion-eps.com/descargas/producto/proceso\\_de\\_fabricacion\\_del\\_poliestireno\\_expandible.pdf](http://www.construccion-eps.com/descargas/producto/proceso_de_fabricacion_del_poliestireno_expandible.pdf), (consultado Agosto 2017).
- TEXTOS CIENTIFICOS. 2005. Producción de Poliestireno Expandido, [www.textoscientificos.com/polimeros/polietireno/produccion](http://www.textoscientificos.com/polimeros/polietireno/produccion), (consultado en junio 2017).
- ARQHYS. 2012, 12. Vigas y Losas. Revista ARQHYS.com, [www.arqhys.com/contenidos/vigas-losas.html](http://www.arqhys.com/contenidos/vigas-losas.html), (consultado en junio 2017).
- SAMUEL LAURA HUANCA. 2006. Diseños de Mezclas de Concreto, <http://itacanet.org/esp/construccion/concreto/dise%C3%B1o%20de%20mezclas.pdf>, (Consultado en junio 2017).
- Rosario Marinni, Pino Julio, Moreno Nerimar, Naar Luis. 2015. Tipos de vigas y Losas, [www.slideshare.net/rosariomarianni/tipos-de-losas-y-vigas-construccion-II](http://www.slideshare.net/rosariomarianni/tipos-de-losas-y-vigas-construccion-II), (Consultado en junio 2017).



- Ficha Técnica de Perlas de Poliestireno Expandido, Etsa Perú, [www.etsaperu.com.pe/](http://www.etsaperu.com.pe/), (consultado enero 2018).
- CEMEX. 2012. México. Hormigón Ligero Aspectos Técnicos y Estéticos.: Recuperado de: <http://www.caatleida.cat/Fitxers/CentreDocumentacio/Biblioteca/NBibliografiques/Index/BD-7627.pdf>. (Consultado en abril del 2017).
- National Ready Mixed Concrete Association - NRMCA. (sin fecha). Estados Unidos.: CIP-36 Concreto Estructural de Peso Liviano: Recuperado de: <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP36es.pdf>. (consultado en abril 2017).
- Centro de Investigaciones Avanzadas en Tecnología del Hormigón – CIATH. (sin fecha). Córdoba, Argentina.: Composición del Hormigón Liviano Estructural.: Recuperado de: <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/hormilivi.pdf>. (consultado en abril 2017).



# **ANEXOS**



## ANEXO N° 01: PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

### PORCENTAJE DE HUMEDAD PARA EL AGREGADO FINO

#### MTC E 215

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Cantera:** “Huambacho”

<b>Ensayos N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	
<i>Peso de tara</i>	<i>27.55 gr</i>	<i>26.98 gr</i>	<i>27.62 gr</i>	<b>Promedio</b>
<i>Peso de tara + agregado</i>	<i>198.49 gr</i>	<i>170.89 gr</i>	<i>182.49 gr</i>	
<i>Peso de tara + agregado seco</i>	<i>196.54 gr</i>	<i>169.11 gr</i>	<i>180.86 gr</i>	
<i>Peso de agua</i>	<i>1.95 gr</i>	<i>1.78 gr</i>	<i>1.63 gr</i>	
<i>Peso de agregado seco</i>	<i>168.99 gr</i>	<i>142.13 gr</i>	<i>153.24 gr</i>	
<i>Contenido de Humedad</i>	<i>1.15%</i>	<i>1.25%</i>	<i>1.06%</i>	

**Humedad % promedio: 1.16%**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PORCENTAJE DE HUMEDAD PARA EL AGREGADO GRUESO

MTC E 215

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Cantera:** “Roca Fuerte”

<b>Ensayos N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	
<i>Peso de tara</i>	<i>27.31 gr</i>	<i>27.65 gr</i>	<i>26.93 gr</i>	<b>Promedio</b>
<i>Peso de tara + agregado</i>	<i>150.54 gr</i>	<i>102.61 gr</i>	<i>113.74 gr</i>	
<i>Peso de tara + agregado seco</i>	<i>150.35 gr</i>	<i>102.46 gr</i>	<i>113.52 gr</i>	
<i>Peso de agua</i>	<i>0.19 gr</i>	<i>0.15 gr</i>	<i>0.22 gr</i>	
<i>Peso de agregado seco</i>	<i>123.04 gr</i>	<i>74.81 gr</i>	<i>86.59 gr</i>	
<i>Contenido de Humedad</i>	<i>0.15%</i>	<i>0.20%</i>	<i>0.25%</i>	<b>0.20%</b>

**Humedad % promedio: 0.20%**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**PORCENTAJE DE HUMEDAD PARA EL POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO MTC E 215**

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

<b>Ensayos N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	
<i>Peso de tara</i>	<i>27.15 gr</i>	<i>27.21 gr</i>	<i>27.19 gr</i>	<b>Promedio</b>
<i>Peso de tara + agregado</i>	<i>40.86 gr</i>	<i>46.11 gr</i>	<i>45.94 gr</i>	
<i>Peso de tara + agregado seco</i>	<i>40.79 gr</i>	<i>46.04 gr</i>	<i>45.86 gr</i>	
<i>Peso de agua</i>	<i>0.07 gr</i>	<i>0.07 gr</i>	<i>0.09 gr</i>	
<i>Peso de agregado seco</i>	<i>13.64 gr</i>	<i>18.83 gr</i>	<i>18.67 gr</i>	
<i>Contenido de Humedad</i>	<i>0.48%</i>	<i>0.37%</i>	<i>0.46%</i>	<b>0.44%</b>

**Humedad % promedio: 0.44%**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO

MTC E 204

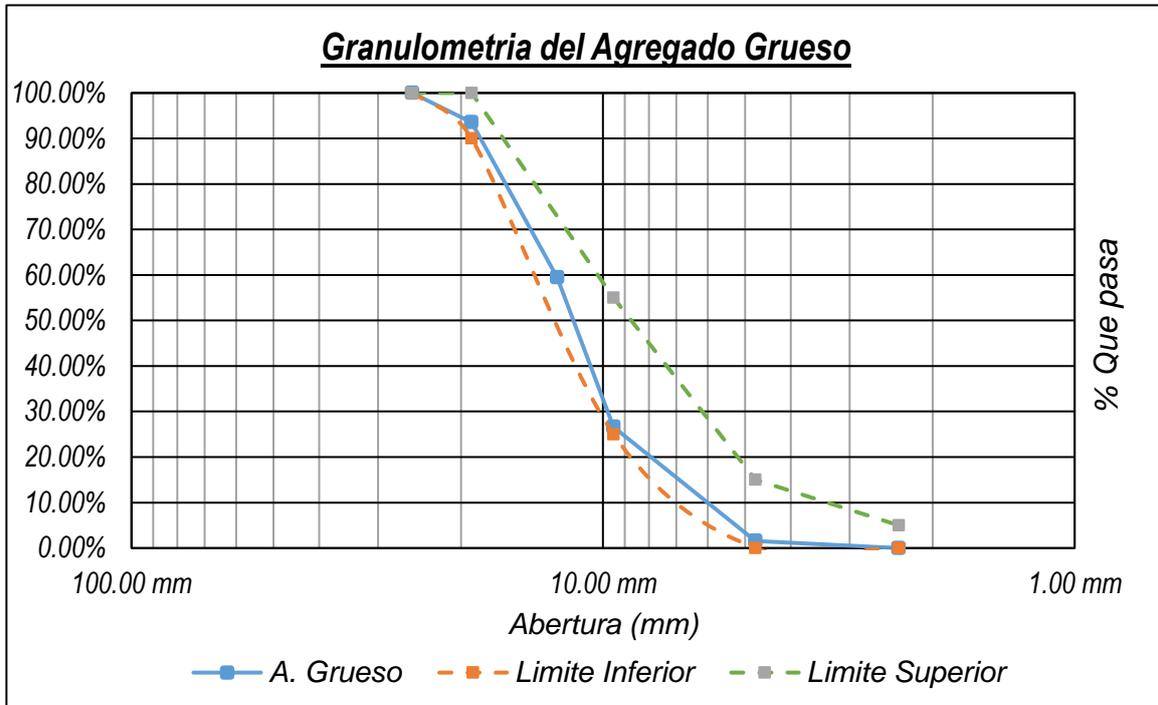
**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Cantera:** “Roca Fuerte”

**Peso Inicial:** 6500.00 gr

<i>Mallas</i>	<i>Abertura</i>	<i>Peso Retenido</i>	<i>Retenido</i>	<i>Retenido Acumulado</i>	<i>Pasa</i>
1"	25.40 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.00 mm	420.31 gr	6.47%	6.47%	93.53%
1/2"	12.50 mm	2215.19 gr	34.08%	40.55%	59.45%
3/8"	9.50 mm	2134.96 gr	32.85%	73.39%	26.61%
Nº 4	4.75 mm	1627.31 gr	25.04%	98.43%	1.57%
Nº 8	2.36 mm	102.23 gr	1.57%	100.00%	0.00%
Fondo		0.00 gr	0.00%	100.00%	0.00%
Total		6500.00 gr			

### CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO

MTC E 204

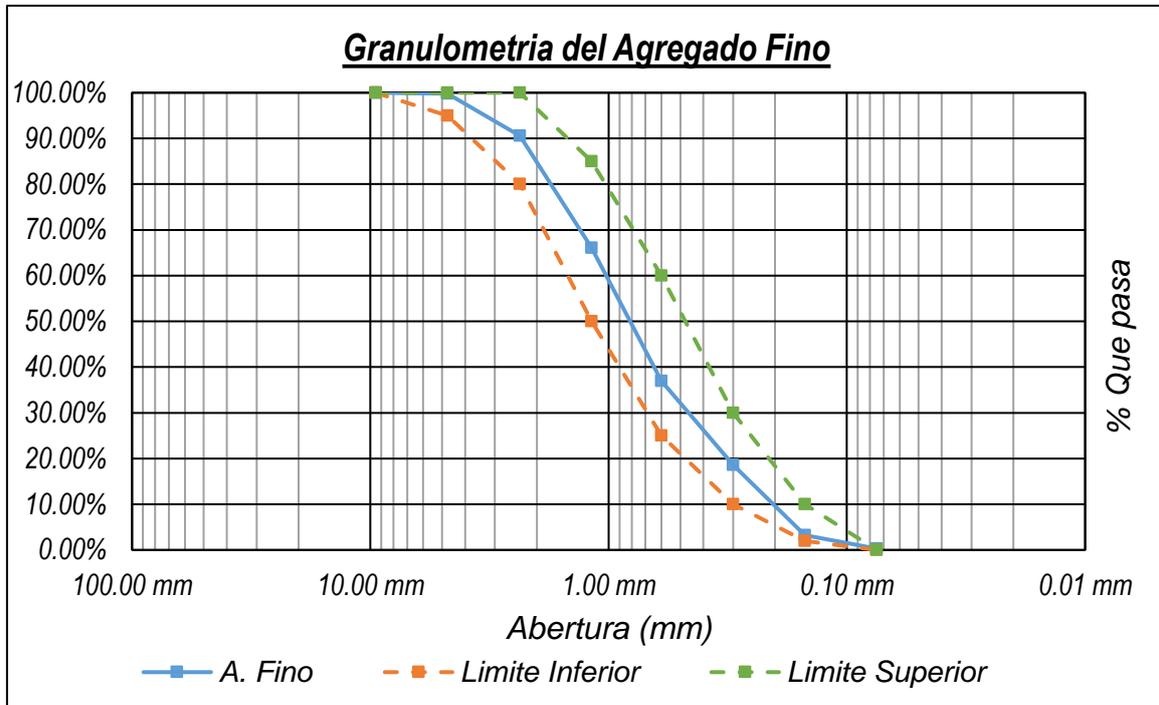
**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Cantera:** “Huambacho”

**Peso Inicial:** 1645.00 gr

<b>Mallas</b>	<b>Abertura</b>	<b>Peso Retenido</b>	<b>Retenido</b>	<b>Retenido Acumulado</b>	<b>Pasa</b>
3/8"	9.50 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.75 mm	3.00 gr	0.18%	0.18%	99.82%
Nº 8	2.36 mm	152.00 gr	9.24%	9.42%	90.58%
Nº 16	1.18 mm	403.00 gr	24.50%	33.92%	66.08%
Nº 30	0.60 mm	479.00 gr	29.12%	63.04%	36.96%
Nº 50	0.30 mm	302.00 gr	18.36%	81.40%	18.60%
Nº 100	0.15 mm	253.00 gr	15.38%	96.78%	3.22%
Nº 200	0.075 mm	48.00 gr	2.92%	99.70%	0.30%
Fondo		5.00 gr	0.30%	100.00%	0.00%
Total		1645.00 gr			

**CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO**



**DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE FINEZA**

$$Mf = \frac{\%Retenido(3/8" + N^{\circ} 4 + N^{\circ} 8 + N^{\circ} 16 + N^{\circ} 30 + N^{\circ} 50 + N^{\circ} 100) * 100\%}{100}$$

$$Mf = \frac{0.0018 + 0.0942 + 0.3392 + 0.6304 + 0.814 + 0.9678}{100} * 100$$

$$Mf = 2.85$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

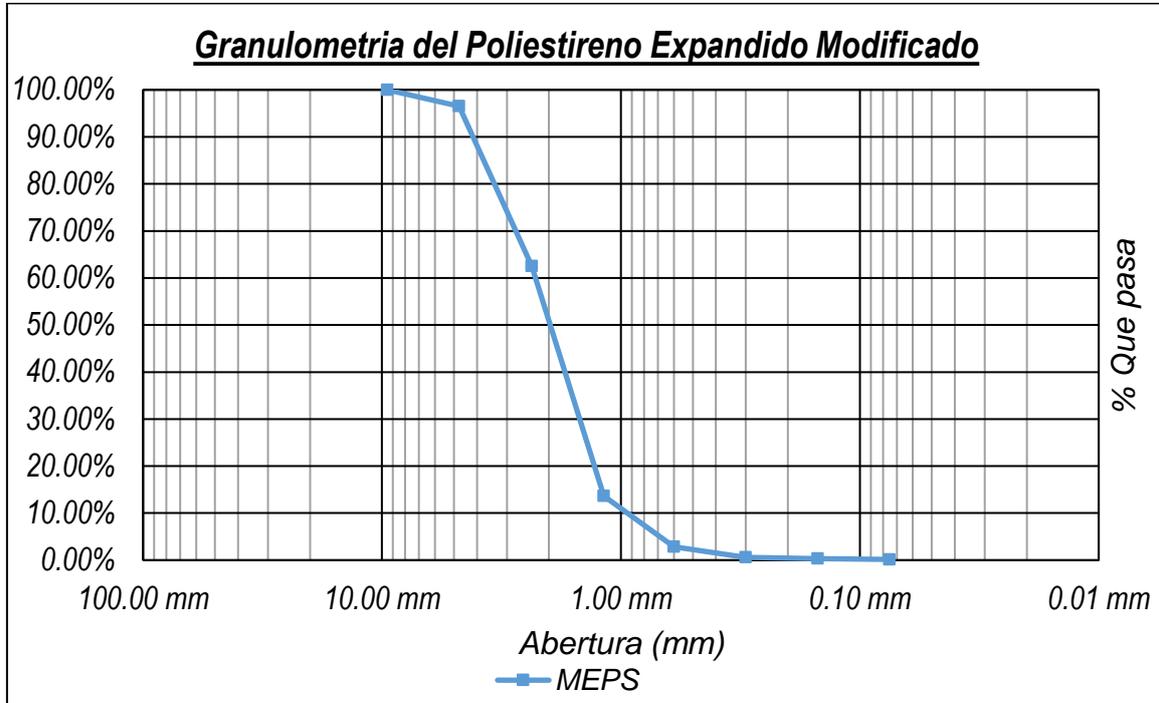
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE POLIESTIRNEO EXPANDIDO MODIFICADO MTC E 204**

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Peso Inicial:** 3383.00 gr

<b>Mallas</b>	<b>Abertura</b>	<b>Peso Retenido</b>	<b>Retenido</b>	<b>Retenido Acumulado</b>	<b>Pasa</b>
3/8"	9.50 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.75 mm	117.00 gr	3.46%	3.46%	96.54%
Nº 8	2.36 mm	1152.00 gr	34.05%	37.51%	62.49%
Nº 16	1.18 mm	1653.00 gr	48.86%	86.37%	13.63%
Nº 30	0.60 mm	365.00 gr	10.79%	97.16%	2.84%
Nº 50	0.30 mm	75.00 gr	2.22%	99.38%	0.62%
Nº 100	0.15 mm	11.00 gr	0.33%	99.70%	0.30%
Nº 200	0.075 mm	5.00 gr	0.15%	99.85%	0.15%
Fondo		5.00 gr	0.15%	100.00%	0.00%
Total		3383.00 gr			

**CURVA GRANULOMÉTRICA DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO**





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS

(AGREGADO FINO SUELTO)

MTC E 203

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Cantera:** “Huambacho”

<b>Ensayos N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	
<i>Peso de molde</i>	1.587 kg	1.587 kg	1.587 kg	<b>Promedio</b>
<i>Volumen de molde</i>	2744.00 cm <sup>3</sup>	2744.00 cm <sup>3</sup>	2744.00 cm <sup>3</sup>	
<i>Peso molde + muestra suelta</i>	5.600 kg	5.610 kg	5.608 kg	
<i>peso de muestra suelta</i>	4.013 kg	4.023 kg	4.021 kg	
<i>Peso unitario suelto</i>	1462.46kg/m <sup>3</sup>	1466.11kg/m <sup>3</sup>	1465.38kg/m <sup>3</sup>	



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS

(AGREGADO GRUESO SUELTO)

MTC E 203

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Cantera:** “Roca Fuerte”

<i>Ensayos N°</i>	<i>01</i>	<i>02</i>	<i>03</i>	
<i>Peso de molde</i>	<i>2.931 kg</i>	<i>2.931 kg</i>	<i>2.931 kg</i>	<b>Promedio</b>
<i>Volumen de molde</i>	<i>8177.00 cm<sup>3</sup></i>	<i>8177.00 cm<sup>3</sup></i>	<i>8177.00 cm<sup>3</sup></i>	
<i>Peso molde + muestra suelta</i>	<i>14.570 kg</i>	<i>14.565 kg</i>	<i>14.569 kg</i>	
<i>peso de muestra suelta</i>	<i>11.639 kg</i>	<i>11.634 kg</i>	<i>11.638 kg</i>	
<i>Peso unitario suelto</i>	<i>1423.38kg/m<sup>3</sup></i>	<i>1422.77kg/m<sup>3</sup></i>	<i>1423.21kg/m<sup>3</sup></i>	<b>1423.12kg/m<sup>3</sup></b>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS

(AGREGADO GRUESO VARILLADO)

MTC E 203

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Cantera:** “Roca Fuerte”

<i>Ensayos N°</i>	<i>01</i>	<i>02</i>	<i>03</i>	
<i>Peso de molde</i>	<i>2.931 kg</i>	<i>2.931 kg</i>	<i>2.931 kg</i>	<b>Promedio</b>
<i>Volumen de molde</i>	<i>8177.00 cm<sup>3</sup></i>	<i>8177.00 cm<sup>3</sup></i>	<i>8177.00 cm<sup>3</sup></i>	
<i>Peso molde + muestra suelta</i>	<i>15.509 kg</i>	<i>15.506 kg</i>	<i>15.511 kg</i>	
<i>peso de muestra suelta</i>	<i>12.578 kg</i>	<i>12.575 kg</i>	<i>12.580 kg</i>	
<i>Peso unitario suelto</i>	<i>1538.22kg/m<sup>3</sup></i>	<i>1537.85kg/m<sup>3</sup></i>	<i>1538.50kg/m<sup>3</sup></i>	<b>1538.19kg/m<sup>3</sup></b>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS**

**(POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO - MEPS SUELTO)**

**MTC E 203**

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Cantera:** “Roca Fuerte”

<b>Ensayos N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	
<i>Peso de molde</i>	2.110 kg	2.110 kg	2.110 kg	<b>Promedio</b>
<i>Volumen de molde</i>	2744.00 cm <sup>3</sup>	2744.00 cm <sup>3</sup>	2744.00 cm <sup>3</sup>	
<i>Peso molde + muestra suelta</i>	2.594 kg	2.591 kg	2.600 kg	
<i>peso de muestra suelta</i>	0.484 kg	0.481 kg	0.490 kg	
<i>Peso unitario suelto</i>	176.38 kg/m <sup>3</sup>	175.29 kg/m <sup>3</sup>	178.57 kg/m <sup>3</sup>	<b>176.75 kg/m<sup>3</sup></b>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

MTC E 205

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Cantera:** “Huambacho”

<i>Descripción</i>	<i>SIMB</i>	<i>CANT</i>
<i>Peso de la fiola (gr)</i>		<i>160.0 gr</i>
<i>Peso de la arena superficialmente seca + Peso de la fiola (gr)</i>	<i>B</i>	<i>658.0 gr</i>
<i>Peso de la arena superficialmente seca + Peso de la fiola + peso del agua (gr)</i>		<i>978.0 gr</i>
<i>Peso del agua (gr)</i>	<i>W</i>	<i>320.0 gr</i>
<i>Peso de la arena seca (gr)</i>	<i>A</i>	<i>495.3 gr</i>
<i>Volumen de la fiola (ml)</i>	<i>V</i>	<i>500.0 ml</i>

1. PESO ESPECÍFICO DE LA MASA

$$\frac{A}{V - W} = 2.75 \text{ gr/cm}^3$$



## 2. PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO

$$\frac{500}{V - W} = 2.78 \text{ gr/cm}^3$$

## 3. PESO ESPECÍFICO APARENTE

$$\frac{A}{(V - W) - (500 - A)} = 2.83 \text{ gr/cm}^3$$

## 4. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$\left(\frac{500 - A}{A}\right) * 100\% = 0.96\%$$



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

MTC E 206

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Cantera:** “Roca Fuerte”

<i>Descripción</i>	<i>SIMB</i>	<i>CANT</i>
<i>Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)</i>	<i>B</i>	<i>3020 gr</i>
<i>Peso de la muestra saturada superficialmente seca dentro del agua + canastilla (gr)</i>		<i>4100 gr</i>
<i>Peso de canastilla dentro del agua (gr)</i>		<i>2141 gr</i>
<i>Peso de la muestra saturada dentro del agua (gr)</i>	<i>C</i>	<i>1959 gr</i>
<i>Peso de la muestra seca (gr)</i>	<i>A</i>	<i>3005 gr</i>

**1. PESO ESPECÍFICO DE LA MASA**

$$\frac{A}{B - C} = 2.83 \text{ gr/cm}^3$$

**2. PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO**

$$\frac{B}{B - C} = 2.85 \text{ gr/cm}^3$$



### 3. PESO ESPECÍFICO APARENTE

$$\frac{A}{A - C} = 2.87 \text{ gr/cm}^3$$

### 4. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$\frac{B - A}{A} * 100 = 0.50\%$$



## ANEXO N° 02: DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO

### DISEÑO DE MEZCLAS $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ POR EL MÉTODO ACI – 211

**Tesis:** “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicado a una losa unidireccional para fines habitacionales”

**Lugar:** Universidad Nacional del Santa

#### I. ESPECIFICACIONES

Resistencia de diseño solicitada: 210 kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia de diseño a los 28 días es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se desconoce la desviación estándar.

##### 1.1. Materiales

###### 1.1.1. **Cemento Pacasmayo**

Tipo de cemento: I  
Peso Específico: 3.11 kg/cm<sup>3</sup>

###### 1.1.2. **Agregado Fino**

Cantera: Huambacho  
Peso Específico: 2.75 kg/cm<sup>3</sup>  
Absorción: 0.96 %  
Contenido de Humedad: 1.16 %  
Módulo de Fineza: 2.85  
Peso Unitario Suelto: 1464.65 kg/m<sup>3</sup>

###### 1.1.3. **Agregado Grueso**

Cantera: Roca Fuerte  
Tamaño Máximo Nominal: 3/4"  
Peso Seco Varillado: 1538.19 kg/m<sup>3</sup>



Peso Específico:	2.83 kg/cm <sup>3</sup>
Absorción:	0.50 %
Contenido de Humedad:	0.20 %
Peso Unitario Suelto:	1423.12 kg/m <sup>3</sup>

#### **1.1.4. Agua**

Agua Potable del Lugar:	3.46
-------------------------	------

## **II. SECUENCIA DE DISEÑO**

### **2.1. Selección de la Resistencia de Diseño ( $f'c$ )**

Debido a que se desconoce la desviación estándar, se aplicará lo siguiente:

Según fórmula:  $f'c = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$

### **2.2. Selección del Tamaño Máximo Nominal**

El tamaño máximo nominal es de: 3/4"

### **2.3. Selección del Asentamiento**

Tipo de construcción:	Cimentación simple, cajones, subestructura, muro
Slump Construcción:	3" a 1"
Tipo de Mezcla:	Mezcla plástica
Slump de Mezcla:	3" a 4"

### **2.4. Volumen Unitario de Agua**

Aire Incorporado:	no
Volumen unitario:	205 lt/m <sup>3</sup>

### **2.5. Contenido de Aire**



Contenido de Aire atrapado 2.00%

### **2.6. Relación Agua – Cemento**

Relación agua – cemento, resistencia: 0.56

### **2.7. Factor Cemento**

$205 / 0.56 =$  366.07 kg/m<sup>3</sup>  
8.613 bls/m<sup>3</sup>

### **2.8. Contenido de Agregado Grueso:**

Para un Módulo de Fineza de **2.85** y un tamaño Máximo Nominal de **3/4"** le corresponde un:

Volumen Unitario: 0.615 m<sup>3</sup> por unidad de concreto

Peso de Agregado:  $0.615 * 1538 = 945.99$  kg/m<sup>3</sup>

### **2.9. Cálculo de Volumen Absoluto:**

Cemento:	$366.07 / (3.11 * 1000) = 0.118$ m <sup>3</sup>
Agua:	$205.00 / (1.00 * 1000) = 0.205$ m <sup>3</sup>
Aire Atrapado:	2.00% = 0.020 m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	$945.99 / (2.83 * 1000) = 0.334$ m <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>= 0.677 m<sup>3</sup></b>

### **2.10. Contenido de Agregado Fino:**

Volumen absoluto de Agregado Fino:  $1.00 - 0.677 = 0.323$  m<sup>3</sup>

Peso de agregado seco:  $0.323 * 2.75 * 1000 = 888.3$  m<sup>3</sup>

### **2.11. Valores de Diseño**

Cemento:	366.07 kg/m <sup>3</sup>
Agua de Diseño:	205.00 lt/m <sup>3</sup>
Agregado Fino Seco:	888.31 kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso Seco:	945.99 kg/m <sup>3</sup>

### **Corrección por Humedad de los Agregados**

Agregado Fino:	$888.31 * 1.012 = 898.61 \text{ kg/m}^3$
Agregado Grueso:	$945.99 * 1.002 = 947.88 \text{ kg/m}^3$

### **Humedad Superficial:**

Agregado Fino:	$1.16 - 0.96 = 0.20 \%$
Agregado Grueso:	$0.20 - 0.50 = -0.30 \%$

### **Aporte de Humedad de los Agregados:**

Agregado Fino:	$888.31 * 0.002 = 1.78 \text{ lt/m}^3$
Agregado Grueso:	$945.99 * -0.003 = -2.84 \text{ lt/m}^3$
<b>Total</b>	<b>= -1.061 lt/m<sup>3</sup></b>

**Agua Efectiva Necesaria:**  $205.00 - (-1.06) = 206.06 \text{ lt/m}^3$

### **2.12. Peso de Materiales Corregidos:**

Cemento:	366.07 kg/m <sup>3</sup>
Agua:	206.06 lt/m <sup>3</sup>
Agregado Fino Húmedo:	898.61 kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso Húmedo:	947.88 kg/m <sup>3</sup>

### **2.13. Proporción en Peso Húmedo:**

Proporción en Peso Húmedo:	1: 2.59: 2.45: 0.56
Proporción en Saco (42.50 kg):	42.50: 110.05: 104.33: 23.92
Proporción en Volumen:	1: 2.73: 2.52: 23.92 lts/m <sup>3</sup>

**SE RECOMIENDA UTILIZAR 1: 2.73: 2.52: 23.92 lts/m<sup>3</sup>**

## ANEXO Nº 03: RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS AL CONCRETO

### I. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Descripción		Nº Probeta	Peso (kg)	Fuerza (kgf)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resist. Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Concreto Patrón	7 días	Probeta 01	13.20	25782.00	15.00	30.10	145.90	145.16 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 02	13.59	26144.00	15.15	30.20	145.03	
		Probeta 03	13.65	26230.00	15.20	30.10	144.55	
	14 días	Probeta 04	13.71	32492.00	15.00	30.00	183.87	182.43 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 05	13.68	31948.00	15.00	30.30	180.79	
		Probeta 06	13.71	32274.00	15.00	30.25	182.63	
	28 días	Probeta 07	13.15	39201.00	15.05	30.30	220.36	216.04 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 08	13.26	37925.00	15.15	30.30	210.38	
		Probeta 09	13.68	38930.00	15.10	30.40	217.39	
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Adición 5% MEPS	7 días	Probeta 10	12.42	26881.00	15.00	30.00	152.12	152.23 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 11	12.52	26753.00	14.90	30.00	153.43	
		Probeta 12	12.55	26817.00	15.03	30.08	151.15	
	14 días	Probeta 13	12.93	31529.00	15.10	30.30	176.06	181.99 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 14	12.87	32804.00	15.10	30.20	183.18	
		Probeta 15	12.84	33436.00	15.10	30.30	186.71	
	28 días	Probeta 16	12.90	34130.00	15.10	30.20	190.59	192.29 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 17	12.71	34737.00	15.10	30.30	193.98	
		Probeta 18	12.48	34438.00	15.10	30.30	192.31	
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Adición 10% MEPS	7 días	Probeta 19	12.30	27050.00	15.20	30.25	149.07	151.69 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 20	12.44	27714.00	15.10	30.30	154.76	
		Probeta 21	12.45	27555.00	15.23	30.36	151.26	
	14 días	Probeta 22	12.44	28912.00	15.10	30.30	161.45	164.71 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 23	12.42	30038.00	15.10	30.30	167.74	
		Probeta 24	12.36	29148.00	15.00	30.10	164.94	
	28 días	Probeta 25	12.42	33676.00	15.10	30.30	188.05	181.06 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 26	12.51	30904.00	15.15	30.25	171.44	
		Probeta 27	12.05	32463.00	15.00	30.10	183.70	



Concreto $f'_c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> Adición 15% MEPS	7 días	Probeta 28	11.98	26764.00	15.10	30.20	149.45	150.65 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 29	11.85	27079.00	15.10	30.30	151.21	
		Probeta 30	11.43	27094.00	15.10	30.30	151.30	
	14 días	Probeta 31	12.06	28762.00	15.10	30.20	160.61	159.55 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 32	11.91	28183.00	15.15	30.25	156.34	
		Probeta 33	11.43	28576.00	15.00	30.10	161.71	
	28 días	Probeta 34	12.15	29934.00	15.15	30.30	166.05	167.68 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 35	12.07	30090.00	15.05	30.25	169.15	
		Probeta 36	11.47	30058.00	15.10	30.00	167.85	
Concreto $f'_c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> Adición 20% MEPS	7 días	Probeta 37	11.19	23438.00	15.10	30.30	130.88	134.34 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 38	10.77	24148.00	14.90	30.30	138.49	
		Probeta 39	10.68	23616.00	15.00	30.10	133.64	
	14 días	Probeta 40	11.17	26794.00	15.15	30.25	148.64	146.88 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 41	11.14	26484.00	15.20	30.30	145.95	
		Probeta 42	10.62	25812.00	15.00	30.10	146.07	
	28 días	Probeta 43	10.73	28873.00	15.10	30.15	161.23	158.70 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 44	11.50	27764.00	15.15	30.30	154.02	
		Probeta 45	10.61	28045.00	14.90	30.10	160.84	
Concreto $f'_c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> Adición 30% MEPS	7 días	Probeta 37	9.33	19438.00	14.90	30.30	111.48	110.36 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 38	9.32	19448.00	15.00	30.30	110.05	
		Probeta 39	9.34	19616.00	15.10	30.10	109.54	
	14 días	Probeta 40	9.44	22794.00	15.15	30.25	126.45	122.71 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 41	9.30	22484.00	15.20	30.30	123.91	
		Probeta 42	9.43	20812.00	15.00	30.10	117.77	
	28 días	Probeta 43	9.36	24003.00	15.10	30.15	134.04	135.48 kg/cm <sup>2</sup>
		Probeta 44	9.33	24064.00	15.10	30.30	134.38	
		Probeta 45	9.34	24068.00	14.90	30.10	138.03	



## II. MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL CONCRETO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**LABORATORIO N°1 ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"**

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por  
**ABET**  
Accreditation Board for engineering and Technology

Engineering Technology Accreditation Commission

---

**INFORME**

Del : Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales  
A : PEREZ PEREZ JHEYSON SMITH  
HEREDIA CISTERNA ERNESTO

TEMA DE TESIS : ANALISIS Y EVALUACIÓN DEL CONCRETO LIGERO COMO CONCRETO ESTRUCTURAL USANDO COMO ADICION CONTROLADA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS) APLICADO A UNA LOSA UNIDIRECCIONAL PARA FINES HABITACIONALES.

Asunto : Ensayo de Modulo Elastico del Concreto  
Expediente N° : 17-2351  
Recibo N° : 56401  
Fecha de emisión : 21/07/2017

---

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 02 probetas cilindricas de concreto de 15 x 30 cm, con una resistencia promedio de 163 kg/cm<sup>2</sup>.

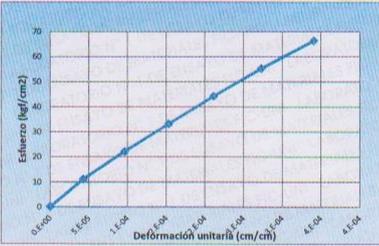
2. DEL EQUIPO : Máquina de ensayo universal TNIUS OLSEN  
Certificado de Calibración CMC-101-2016

3. MÉTODO DEL ENSAYO : Norma de referencia ASTM C-469

4. RESULTADOS : Fecha de ensayo : 21/07/2017

IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	MASA (g)	CARGA MAXIMA (kg)
PROBETA 01	09/06/2017	15.25	30.4	11241	30000
PROBETA 02	09/06/2017	15.22	30.4	11463	29400

Esfuerzo (kgf/cm <sup>2</sup> )	Deformación Unitaria (cm/cm)
0.00	0.000000
11.04	0.000043
22.09	0.000096
33.13	0.000153
44.17	0.000211
55.22	0.000273
66.26	0.000341



Módulo Elástico Estático [kgf/cm<sup>2</sup>]

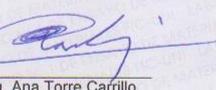
**251044**

Módulo Elástico Estático Teórico [kg/cm<sup>2</sup>]

$E=15100 (f_c)^{0.5}$     **192784**

5. OBSERVACIONES: 1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por Lic. J. Basurto  
Técnico Sr. E.G.V.

  
**Ms. Ing. Ana Torre Carrillo**  
 Jefe (e) del laboratorio

NOTAS:  
1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.  
2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.




---



**UNI-LEM**  
La Calidad es nuestro compromiso  
Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25  
apartado 1301 - Perú

(511) 381-3343  
(511) 481-1070 Anexo: 306

[www.lem.uni.edu.pe](http://www.lem.uni.edu.pe)  
[lem@uni.edu.pe](mailto:lem@uni.edu.pe)  
Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI





### III. ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DIAMETRAL

Descripción		Nº Probeta	Peso (kg)	Fuerza (kgf)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	Tracc. Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
Concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ Concreto Patrón	28 días	Probeta 46	13.65	18766.00	15.30	30.30	25.77	<b>25.32 kg/cm<sup>2</sup></b>
		Probeta 47	13.72	18359.00	15.30	30.40	25.13	
		Probeta 48	13.72	17953.00	15.00	30.40	25.06	
Concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ Adición 5% MEPS	28 días	Probeta 49	12.35	16603.00	15.00	30.10	23.41	<b>22.31 kg/cm<sup>2</sup></b>
		Probeta 50	12.98	15366.00	15.10	30.20	21.45	
		Probeta 51	12.82	15673.00	15.00	30.15	22.06	
Concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ Adición 10% MEPS	28 días	Probeta 52	12.05	14919.00	15.00	30.10	21.04	<b>22.15 kg/cm<sup>2</sup></b>
		Probeta 53	12.01	16385.00	15.00	30.00	23.18	
		Probeta 54	12.04	16034.00	15.20	30.20	22.24	
Concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ Adición 15% MEPS	28 días	Probeta 55	11.46	15737.00	15.00	30.10	22.19	<b>21.49 kg/cm<sup>2</sup></b>
		Probeta 56	11.58	15192.00	15.10	30.20	21.21	
		Probeta 57	11.67	15049.00	15.10	30.10	21.08	
Concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ Adición 20% MEPS	28 días	Probeta 58	11.23	12104.00	15.15	30.00	16.95	<b>17.57 kg/cm<sup>2</sup></b>
		Probeta 59	11.38	13497.00	15.10	30.10	18.90	
		Probeta 60	11.15	12031.00	15.10	30.10	16.85	
Concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ Adición 30% MEPS	28 días	Probeta 55	10.19	9482.00	15.15	30.15	13.22	<b>13.29 kg/cm<sup>2</sup></b>
		Probeta 56	9.89	8942.00	15.00	30.05	12.63	
		Probeta 57	10.01	9987.00	15.05	30.10	14.03	



## ANEXO Nº 04: DOSIFICACIONES DE AGREGADOS POR METRO CÚBICO DE CONCRETO CON MEPS

Material		Mezcla patrón	5% MEPS (real)	5% MEPS (1m3)	10% MEPS (real)	10% MEPS (1m3)	15% MEPS (real)	15% MEPS (1m3)	20% MEPS (real)	20% MEPS (1m3)	30% MEPS (real)	30% MEPS (1m3)
Cemento	kg	366.07	366.07	331.59	366.07	303.04	366.07	279.02	366.07	258.53	366.07	225.42
Piedra	kg	947.88	947.88	858.59	947.88	784.67	947.88	722.47	947.88	669.41	947.88	583.67
Arena	kg	898.61	898.61	813.96	898.61	743.89	898.61	684.92	898.61	634.62	898.61	553.34
Agua	kg	206.06	206.06	186.65	206.06	170.58	206.06	157.06	206.06	145.52	206.06	126.89
MEPS	kg	0.00	18.30	16.58	36.61	30.30	54.91	41.85	73.21	51.71	109.82	67.62
Total Peso	kg	2418.62	2436.93	2207.37	2455.23	2032.48	2473.53	1885.33	2491.84	1759.79	2528.45	1556.94
Total Vol.	m3	1.00	1.10	1.00	1.21	1.00	1.31	1.00	1.42	1.00	1.62	1.00



# PANEL FOTOGRAFICO

## PANEL FOTOGRÁFICO



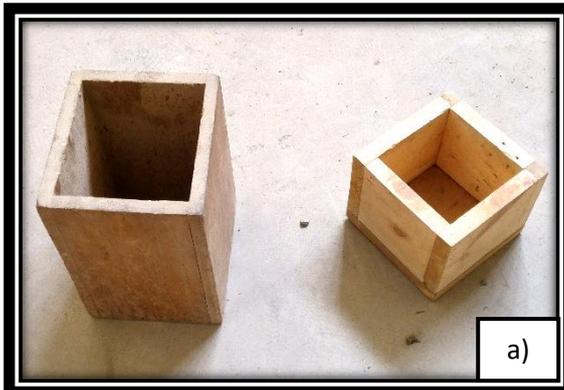
**FOTO 1:** Realizando la práctica estándar de reducción de muestras para el agregado grueso.

**FOTO 2:** Realizando la práctica estándar de reducción de muestras para el agregado fino.





**FOTO 3:** Tamizador mecánico para el ensayo granulométrico tanto de los agregados como del MEPS.



a)



b)

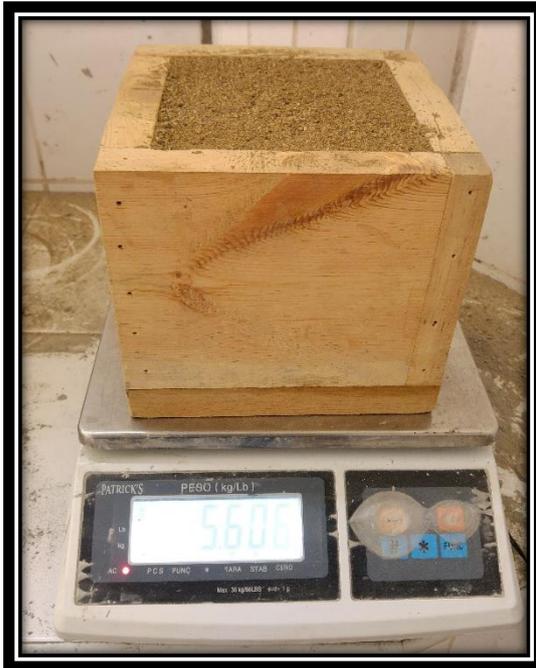
**FOTO 4:** a) Moldes para realizar el ensayo para determinar el peso unitario del agregado fino y grueso en estado suelto y compactado. b) Instrumentos a utilizar para determinar el peso unitario suelto y compactado de los agregados.



**FOTO 5:** Realizando la medición de los moldes para hallar el volumen del mismo.



**FOTO 6:** Vaciando el agregado fino o arena gruesa en el molde hasta que ocupe todo el espacio del molde y enrazar.



**FOTO 7:** Se determina el peso del molde con el agregado grueso para que mediante formula se calcule el peso unitario suelto del agregado fino.

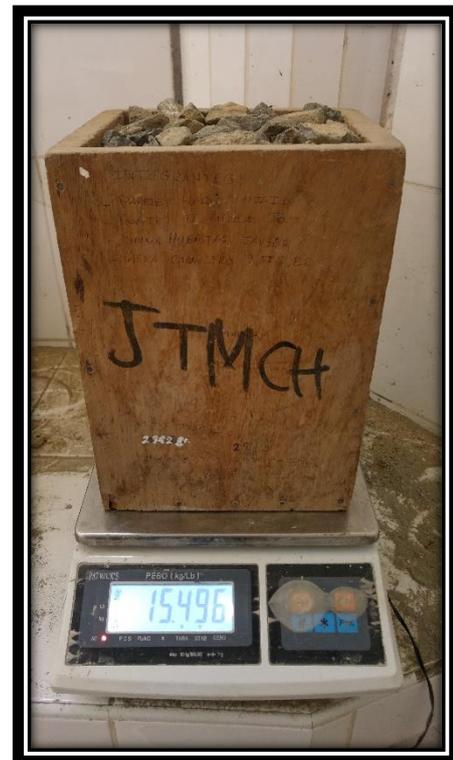
**FOTO 8:** Se realiza el vaciado del agregado grueso en el molde correspondiente para la determinación del peso unitario suelto del agregado grueso.





**FOTO 9:** Se realiza la compactación por capas del agregado grueso para determinar el peso unitario compactado.

**FOTO 10:** Se procede a pesar el molde más el agregado grueso para que mediante formula se calcule el peso unitario compactado.





**FOTO 11:** Se procede a ingresar los agregados al horno por 24 horas para determinar el peso seco de los mismos.

**FOTO 12:** Luego del horno se saturan los agregados por 24 horas.





**FOTO 13:** Realización del calentamiento de la fiola para la eliminación de las burbujas formadas en el interior de la muestra.



**FOTO 14:** Realización del secado del agregado grueso luego de ser saturados para el cálculo del peso saturado superficialmente seco.



**FOTO 15:** Se realiza el secado de la muestra saturada del agregado fino mediante una secadora.



**FOTO 16:** Se determina el peso de la fiola más agua más muestra de agregado fino para hallar la densidad relativa del agregado fino.



**FOTO 17:** Siguiendo el procedimiento del manual (NTP 400.022) para determinar la densidad relativa del agregado fino.



**FOTO 18:** Realizando el ensayo para determinar la densidad relativa del agregado grueso según la NTP 400.021



**FOTO 19:** Concreteira eléctrica para realizar el mezclado de los áridos, agua y cemento

**FOTO 20:** Realizando el vaciado y mezclado del agregado grueso, agregado fino con MEPS, cemento y agua.





**FOTO 20:** Realizando la prueba del asentamiento del concreto fresco mediante el método del cono de abrams.



**FOTO 21:** Curado de las probetas en una piscina con agua con 1gr/lit de cal.



**FOTO 22:** Limpieza de los moldes y colocación de petróleo para evitar que los moldes se peguen al concreto.

**FOTO 23:** Vaciado del concreto con MEPS al molde y compactado del mismo por capas con 25 golpes por capa.





**FOTO 24:** Varillado del concreto con MEPS para eliminar las burbujas de aire atrapadas en el concreto mediante el vaciado.



**FOTO 25:** Probetas de concreto con MEPS endurecidas luego de fraguar por 24 horas.



**FOTO 26:** Realizando el desmolde de las probetas con MEPS.

**FOTO 27:** Probetas curadas, dejándose a temperatura ambiente mínimo por 3 horas para su secado y posteriormente su ensayo a compresión.





**FOTO 28:** *Pesado de las probetas después de su secado a temperatura ambiente.*



**FOTO 29:** *Medición de las probetas de su altura previa al ensayo de compresión del mismo.*



**FOTO 30:** Medición de las probetas de su diámetro previa al ensayo de compresión del mismo.

**FOTO 31:** Colocación de las probetas en la prensa para la realización del ensayo a compresión.





**FOTO 32:** Ensayo a la compresión de la probeta patrón a los 28 días en el laboratorio de la UNS.



**FOTO 33:** Ensayo a compresión de las probetas con MEPS a los 28 días en el laboratorio de la UNS.



**FOTO 35:** Se presentan fisuras verticales a través de los cabezales, como no bien definido en el otro extremo.

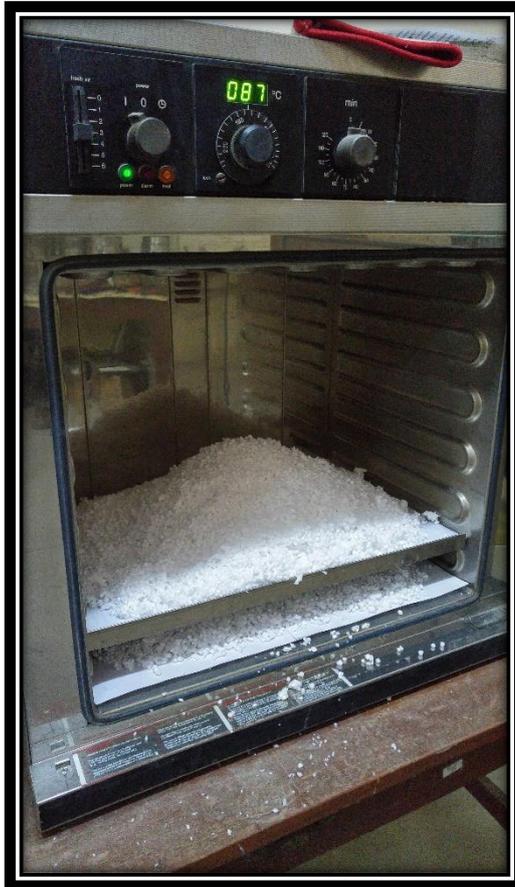


**FOTO 36:** Ensayo a la tracción de las probetas del concreto con MEPS a los 28 días.

**FOTO 37:** Falla de la probeta sometidos a ensayos de tracción.



**FOTO 38:** Rayado y disgregado de los bloques reciclados de EPS para obtención en perlitas de Tecnopor antes del tratamiento térmico.



**FOTO 39:** Colocación del EPS rayado en el horno a 130°C por 15 minutos para el tratamiento térmico deseado.



**FOTO 40:** EPS luego del tratamiento térmico deseado a 130°C durante 15 minutos.



**FOTO 41:** MEPS listo para ser utilizado como adición en el concreto diseñado para una resistencia de  $210\text{kg/cm}^2$ .



**FOTO 42:** Ensayo granulométrico del MEPS.



**FOTO 43:** Agregado grueso, agregado fino, cemento, agua y MEPS listos para ser mezclados.



**FOTO 44:** Porosidad del concreto a la adicional mayor cantidad de MEPS en la mezcla.



**FOTO 45:** *Ensayo de compresión de las probetas en el laboratorio de tecnología del concreto UNS.*



**FOTO 46:** *Armado del acero para el posterior colocado en la losa a ensayar.*



**FOTO 47:** Encofrado y colocado de la armadura de acero (6mm de diámetro) en la losa a escala 1:2.



**FOTO 48:** Colocado del petróleo a las paredes del encofrado para evitar que la madera se pegue con el concreto y colocado de dados para el recubrimiento respectivo. Listo para vaciar en concreto con MEPS al 20% de adición.



**FOTO 49:** *Materiales preparados para realizar el vaciado de la losa.*



**FOTO 50:** *Vaciado y nivelado de la losa con MEPS al 20% de adición.*



**FOTO 51:** difractómetro utilizado para ver las deformaciones de la losa.



**FOTO 52:** Losa simplemente apoyada lista para recibir las cargas requeridas.



**FOTO 53:** Losa con carga distribuida en toda su área, hasta los 1520 kg/m<sup>2</sup> que se empezó a fisurar.



**FOTO 54:** Se observaron 5 fisuras que empezaron a aparecer luego de 24 horas de cargada con 1520 kg/m<sup>2</sup> .



**FOTO 55:** Fisuras producidas por cargas permanentes a 1520kg/m<sup>2</sup>



**FOTO 56:** Ensayo para determinar el módulo de elasticidad del concreto con MEPS con 20% de adición.