

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**PROPUESTA Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y
ECONÓMICA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DENOMINADO
MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANADA (MRA), PARA
VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN ECUADOR**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JUAN PABLO HERRERA CALDERÓN

Mail: juanpablohc2009@hotmail.com

JONATHAN ANDRÉS NARVÁEZ ESPÍN

Mail: gbus045@hotmail.com

DIRECTOR: ING. MSc. FÉLIX VACA

Mail: felvaca@hotmail.com

Quito, octubre 2017

DECLARACIÓN

Nosotros, Juan Pablo Herrera Calderón y Jonathan Andrés Narváez Espín, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra auditoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

JUAN PABLO HERRERA CALDERÓN

**JONATHAN ANDRÉS NARVÁEZ
ESPÍN**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Pablo Herrera Calderón y Jonathan Andrés Narváez Espín, bajo mi supervisión.

ING. MSC. FÉLIX VACA
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Es para mí grato extender mis más sinceros agradecimientos especialmente al Sr. Ing. Félix Vaca y Sr. Arq. Rodrigo Rosas por brindarme su ayuda, apoyo y a la vez ser partícipes en la realización de este trabajo de investigación.

Del mismo modo, hago llegar mis retribuciones y reconocimientos a la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, y todo su equipo docente y administrativo, haciendo énfasis en la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental ya que gracias a todos los conocimientos, enseñanzas y lecciones de vida, han asistido a mi formación como persona y profesional.

Finalmente, y sin dejar de ser menos importantes, menciono mi gratificación hacia todo el equipo de profesionales y amigos que conforman el Centro de Investigación de la Vivienda, por su amistad y valiosa ayuda en el transcurso del desarrollo de este proyecto investigativo.

Juan Pablo

DEDICATORIA

A Dios por brindarme el regalo de la vida y la bendición de haber nacido en este hermoso país.

A mi hermoso Ecuador por darme todo cuanto soy y amo.

A la memoria de mi abuelo por llevar y enaltecer tu nombre.

A la memoria de mi madre porque sé que, aunque no estés físicamente, siempre estás conmigo cuidándome y dándome tu bendición.

A mi abuela Celia y a mi padre Joel por criarme y enseñarme mucho de lo que soy ahora.

A mis tíos Fernando y Pilar por apoyarme en la obtención de esta gran meta.

A mis hermanos Ismael, Gandhi y Camilo porque quiero ser un ejemplo para Uds.

Y por último a mí mismo por el esfuerzo y la entrega para cumplir todas las demás metas, para algún día llegar a nuestro gran sueño.

Juan Pablo

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Rodrigo y Mónica, por siempre apoyarme en todo, por los consejos, por su amor y apoyo incondicional, por los valores que me han inculcado. Ustedes son el pilar fundamental de mi vida.

Jonathan

DEDICATORIA

A Dios, por la salud y la vida.

A mi padre y a mi madre, por su apoyo, su sabiduría y paciencia.

A mis hermanos, Rebeca y Pablo, por su alegría y entusiasmo.

A mis sobrinos y cuñados, por su cariño y respeto.

A Karen, el amor de mi vida, por todo su amor, su tiempo, su bondad y su confianza.

A Juan Pablo, mi compañero de tesis, por siempre ser responsable.

Al Centro de Investigación de la Vivienda, por sus enseñanzas.

A todos quienes de alguna manera me acompañaron en mi carrera universitaria.

Jonathan

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS	VI
DEDICATORIA.....	VII
CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIX
RESUMEN	XXI
PRESENTACIÓN.....	XXIII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIONES IMPORTANTES.....	4
1.2.1 ESTRUCTURA	4
1.2.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO	4
1.2.3 SISTEMA CONSTRUCTIVO “PÓRTICO”	4
1.2.4 SISTEMA CONSTRUCTIVO “PAREDES PORTANTES”	5
1.2.5 SISTEMA CONSTRUCTIVO “ACERO ESTRUCTURAL”	5
1.2.6 MAMPOSTERÍA	5
1.2.7 HORMIGÓN.....	7
1.2.8 POLÍMERO.....	9
1.2.9 ACERO DE REFUERZO	11
1.3 TIPOLOGÍA.....	11
1.4 ESTADO DE ARTE DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON POLIESTIRENO EXPANDIDO	13
1.4.1 SISTEMA EMMEDUE.....	13
1.4.2 UNIDADES MODULARES CON POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) 16	16
1.4.3 MUROS CON MÓDULOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO	17

CAPÍTULO 2	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1 CONSTRUCCIÓN EN MAMPOSTERÍA.....	19
2.2 MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL	19
2.3 TIPOS DE MAMPOSTERÍA Y ESPECIFICACIONES.....	19
2.3.1 POR SU FUNCIÓN ESTRUCTURAL / SOLICITACIONES ACTUANTES	19
2.3.2 POR SU DISTRIBUCIÓN DEL REFUERZO.....	20
2.4 DESCRIPCIÓN Y CONSIDERACIONES GENERALES PREVIAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANADA.....	29
2.4.1 BLOQUES DE M.R.A	29
2.4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO M.R.A.....	31
2.5 ALCANCE Y OBJETIVOS	32
2.5.1 ALCANCE.....	32
2.5.2 OBJETIVOS.....	33
CAPÍTULO 3	35
DISEÑO DEL HORMIGÓN DE ALTA PLASTICIDAD	35
3.1 ENSAYOS PREVIOS DE LABORATORIO DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MICRO-HORMIGÓN.....	35
3.1.1 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	35
3.1.2 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS	36
3.1.3 DENSIDAD APARENTE DE LOS AGREGADOS.....	38
3.1.4 CONTENIDO ORGÁNICO EN LA ARENA	39
3.1.5 DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	40
3.2 DISEÑO DEL HORMIGÓN SEGÚN LAS TABLAS DEL ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTION)	40
3.2.1 ASENTAMIENTO Y TAMAÑO DE LOS AGREGADOS.....	41
3.2.2 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA	42
3.2.3 SELECCIÓN DEL RELACIÓN AGUA-CEMENTO.....	45
3.2.4 SELECCIÓN DEL VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO	47
3.2.5 CÁLCULO DE VOLUMENES Y PESOS DE LOS COMPONENTES DEL MICRO-HORMIGÓN	47

3.2.6	CORRECCIÓN DE LA CANTIDAD EN VOLUMEN DE AGUA POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN, POR ABSORCIÓN O CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS PÉTROS	49
3.2.7	ADICIÓN Y ESTIMACIÓN DE LAS CANTIDADES DE ADITIVOS EN EL MICRO-HORMIGÓN	51
3.2.8	DOSIFICACIÓN FINAL EN PESO Y VOLUMEN DEL MICRO-HORMIGÓN	52
CAPÍTULO 4		57
	MURETES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVINADA.....	57
4.1	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA	57
4.2	DISEÑO Y ESTIMACIÓN DE CARGA DE LOS MURETES.....	57
4.2.1	MURETES ANTE CARGA DE COMPRESIÓN AXIAL	57
4.2.2	MURETES ANTE CARGA DE COMPRESIÓN DIAGONAL ...	64
4.3	CONSTRUCCIÓN DE MURETES.....	65
4.4	ENSAYOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	68
4.4.1	ENSAYOS	68
4.4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	80
4.5	RESUMEN DE RESULTADOS EN MURETES DE M.R.A.....	83
CAPÍTULO 5		84
	MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVINADA	84
5.1	DISEÑO DEL MURO DE M.R.A.....	84
5.1.1	MAMPOSTERÍA DE BLOQUES DE POLIESTIRENO.....	84
5.1.2	COLUMNETAS LATERALES DEL MURO DE M.R.A.	85
5.1.3	VIGA SUPERIOR DE CARGA.....	86
5.1.4	VIGA INFERIOR DE CIMENTACIÓN	87
5.1.5	CARGA DE PRETENSIÓN EN LOS PERNOS DE ANCLAJE DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN	92
5.2	ESTIMACIÓN DE CARGA Y MODELACIÓN DEL MURO DE M.R.A.....	96
5.2.1	SIMULACIÓN DEL MURO EN ETABS 2015.....	96
5.2.2	ESTIMACIÓN DE CARGA MÁXIMA DEL MURO DE M.R.A. 101	
5.3	CONSTRUCCIÓN DEL MURO	103
5.3.1	VIGA DE CIMENTACIÓN	104
5.3.2	MURO DE M.R.A.....	109

5.4	ENSAYOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	116
5.4.1	ENSAYO DE CARGA LATERAL DEL MURO DE M.R.A.	117
5.4.2	ENSAYO DE COMBUSTIÓN	136
CAPÍTULO 6	.....	140
	ESTUDIO ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO M.R.A.....	140
6.1	ANTECEDENTES	140
6.2	VOLÚMENES DE OBRA.....	140
6.2.1	SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL (PÓRTICO)....	140
6.2.2	SISTEMA CONSTRUCTIVO NUEVO (MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANDA “M.R.A.”).....	141
6.3	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS “APUS”	144
6.4	PRESUPUESTO TOTAL.....	145
6.5	ANÁLISIS COMPARATIVO.....	146
CAPÍTULO 7	.....	148
	PROPUESTA ARQUITECTÓNICA CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO M.R.A.....	148
7.1	CIMENTACIÓN	148
7.2	ESTRUCTURA.....	149
7.3	LOSAS DE ENTREPISO.....	149
7.4	INSTALACIONES.....	150
7.5	PROPUESTA ARQUITECTÓNICA	150
CAPÍTULO 8	.....	156
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	156
8.1	CONCLUSIONES.....	156
8.2	RECOMENDACIONES	160
	BIBLIOGRAFÍA	162
	Anexo No.1	166
	Ensayo de peso específico y absorción de la arena	166
	Anexo No.2	168
	Ensayo de peso específico y absorción del ripio	168
	Anexo No.3	170
	Ensayo de granulometría de la arena	170
	Anexo No.4	172

Ensayo de granulometría del ripio tamizado	172
Anexo No.5	174
Ensayo de granulometría del ripio sin tamizar	174
Anexo No.6	177
Ensayo de densidad aparente de la arena.....	177
Anexo No.7	179
Ensayo de densidad aparente del ripio	179
Anexo No.8	181
Ensayo de contenido de impurezas orgánicas en la arena	181
Anexo No.9	183
Ensayo de contenido de impurezas orgánicas en la arena	183
Anexo No.10	185
Diseño preliminar del micro-hormigón expansivo de alta plasticidad	185
Anexo No.11	188
Diseño definitivo del micro-hormigón expansivo de alta plasticidad	188
Anexo No.12	191
Resistencia de los cilindros de micro-hormigón del muro de M.R.A. en función del tiempo de fraguado	191
Anexo No.13	193
Cubitaje y planilla del muro de M.R.A.	193
Anexo No.14	195
Diseño del hormigón de la viga de cimentación	195
Anexo No.15	198
Resistencia de los cilindros de hormigón de la viga de cimentación del muro de M.R.A. en función del tiempo de fraguado	198
Anexo No.16	200
Cubitaje y planilla del muro convencional "Pórtico"	200
Anexo No.17	202
Cálculo de salarios horarios utilizados en los rubros	202
Anexo No.18	204
Rubros del pórtico con mampostería de bloque.....	204
Anexo No.19	212
Rubros del muro de mampostería reforzada alivianada.....	212

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.1: Esquema de mampostería sin reforzar.	
Fuente: Normas INEN.	5
GRÁFICO 1.2: Esquema de mampostería reforzada.	
Fuente: Normas INEN.	6
GRÁFICO 1.3: Condiciones necesarias para confinar una mampostería.	
Fuente: Normas INEN.	6
GRÁFICO 1.4: Esquema de mampostería en seco.	
Fuente: El Libro de los Materiales.	7
GRÁFICO 1.5: Anclaje y nivelación de estructura de hormigón mediante grout cementico. Fuente: Ingeniería y Construcción.	8
GRÁFICO 1.6: Anclaje y nivelación de estructuras de hormigón mediante grout epóxico. Fuente: Ingeniería y construcción.	8
GRÁFICO 1.7: Molécula de Vinil-Benceno.	
Fuente: EPS - Unicel	9
GRÁFICO 1.8: Perlas de poliestireno antes de ser expandidas.	
Fuente: EPS- Unicel	10
GRÁFICO 1.9: Esquema análogo de mampostería portante y el sistema constructivo M.R.A. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	12
GRÁFICO 1.10: Logo internacional del sistema EMMEDUE.	
Fuente: EMMEDUE.	13
GRÁFICO 1.11: Esquema de panel de EMMEDUE.	
Fuente: Durapanel.....	14
GRÁFICO 1.12: Panel de EMMEDUE.	
Fuente: Sistema EMEDOS Venezuela.	15
GRÁFICO 1.13: Bloques de poliestireno expandido.	
Fuente: Internet.	16
GRÁFICO 1.14: Losas y techos con poliestireno expandido.	
Fuente: Syntheon.	17
GRÁFICO 1.15: Muros de poliestireno expandido.	
Fuente: Tectónica-online.	17
GRÁFICO 2.1: Mampostería no portante, sujeta a carga lateral.	
Fuente: Internet.	20
GRÁFICO 2.2: Esquema de mampostería portante, sujeta a carga vertical.	
Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica	20
GRÁFICO 2.3: Esquema de mampostería simple sin refuerzo.	
Fuente: Internet	21
GRÁFICO 2.4: Espesor efectivo de un muro "t".	
Fuente: Construcción de Albañilería.....	21
GRÁFICO 2.5: Representación de Mampostería Reforzada.	
Fuente: Construdata	22

GRÁFICO 2.6: Recubrimiento y dimensiones mínimas de las cavidades en mampostería. Fuente: Construcción de Albañilería.....	23
GRÁFICO 2.7: Asentamiento del concreto “plasticidad”. Fuente: Blog del Ingeniero Civil.....	23
GRÁFICO 2.8: Sección transversal de muro laminar. Fuente: Construcción de Albañilería.....	24
GRÁFICO 2.9: Mampostería Confinada. Fuente: Construcción y Diseño en VIS.....	25
GRÁFICO 2.10: Carga cíclica sísmica. Fuente: Construcción en Albañilería.....	26
GRÁFICO 2.11: Requerimientos mínimos para un muro confinado. Fuente: Construcción en Albañilería.....	26
GRÁFICO 2.12: Disposición mínima de estribos. Fuente: Construcción en Albañilería.....	27
GRÁFICO 2.13: Detalle de refuerzo horizontal continuo en mampostería confinada. Fuente: Construcción en Albañilería.	28
GRÁFICO 2.14: Bloque “A” de M.R.A. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	30
GRÁFICO 2.15: Bloque “B” de M.R.A. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	30
GRÁFICO 2.16: Transporte de bloques de M.R.A. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	32
GRÁFICO 3.1: Vista en perspectiva del bloque “A”. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	37
GRÁFICO 3.2: Diámetro máximo de agregado grueso. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	37
GRÁFICO 3.3: Asentamientos recomendados para diferentes tipos de hormigón. Fuente: Alubry.	55
GRÁFICO 3.4: <i>Curva de esfuerzo vs. Tiempo de fraguado.</i> Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	56
GRÁFICO 3.5: <i>Curva de porcentaje de resistencia alcanzado vs. Tiempo de fraguado.</i> Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	56
GRÁFICO 4.1: Configuración y geometría de muretes. Fuente: JP. Herrera y Narváez.	59
GRÁFICO 4.2: Cuantía de refuerzo por ducto de mampostería rellena de micro-hormigón. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	59
GRÁFICO 4.3: Predicción de carga axial aplicada en muretes. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	62
GRÁFICO 4.4: Predicción de carga axial aplicada en muretes. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	65
GRÁFICO 4.5: Disposición de bloques dentro del enofrado. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	66
GRÁFICO 4.6: Refuerzo y encofrado de muretes. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	66

GRÁFICO 4.7: Preparación y asentamiento del micro-hormigón.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	67
GRÁFICO 4.8: Proceso de fundición de muretes de M.R.A	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	67
GRÁFICO 4.9: Esquema de ensayo de compresión axial.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	69
GRÁFICO 4.10: Vista exterior “Murete A”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	70
GRÁFICO 4.11: Vista interior “Murete A”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	70
GRÁFICO 4.12: Vista exterior “Murete B”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	71
GRÁFICO 4.13: Vista interior “Murete B”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	72
GRÁFICO 4.14: Vista exterior “Murete C”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	73
GRÁFICO 4.15: Vista interior “Murete C”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	74
GRÁFICO 4.16: Esquema de ensayo de compresión diagonal.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	74
GRÁFICO 4.17: Vista exterior “Murete A”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	75
GRÁFICO 4.18: Vista interior “Murete A”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	76
GRÁFICO 4.19: Detalle de falla del “Murete A”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	76
GRÁFICO 4.20: Vista exterior “Murete B”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	77
GRÁFICO 4.21: Vista interior “Murete B”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	78
GRÁFICO 4.22: Detalle de falla del “Murete B”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	78
GRÁFICO 4.23: Vista exterior “Murete C”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	79
GRÁFICO 4.24: Vista interior “Murete C”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	79
GRÁFICO 4.25: Detalle de falla del “Murete C”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	80
GRÁFICO 4.26: Carga vs. Deformación en muretes a carga de compresión axial. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	81
GRÁFICO 4.27: Carga vs. Deformación en muretes a carga de compresión diagonal. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	82
GRÁFICO 5.1: Esquema de la mampostería de poliestireno dentro del muro.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	84

GRÁFICO 5.2: Uso y geometría de columneta de confinamiento.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	85
GRÁFICO 5.3: Cimentación de las columnetas de confinamiento.	
Fuente: Casiopea.	88
GRÁFICO 5.4: <i>Diagrama de cuerpo libre del ensayo del muro de M.R.A. a carga lateral.</i> Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.....	92
GRÁFICO 5.5: Diagrama de momento volcante en el muro “Fuerzas generadas en las columnetas”. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	94
GRÁFICO 5.6: Características de nervios en Etabs.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	97
GRÁFICO 5.7: Características de la viga de carga en Etabs.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	98
GRÁFICO 5.8: Características de la columneta en Etabs.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	99
GRÁFICO 5.9: Características de la viga de cimentación en Etabs2015.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	99
GRÁFICO 5.10: Disposición de elementos para la simulación en Etabs 2015.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	100
GRÁFICO 5.11: Deformación ante carga lateral en Etbas 2015.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	101
GRÁFICO 5.12: Muro de Mampostería Reforzada Alivianada (M.R.A.).	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	104
GRÁFICO 5.13: Construcción de la viga de cimentación del muro de M.R.A..	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	105
GRÁFICO 5.14: Fotos de viga de cimentación.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	106
GRÁFICO 5.15: Armado de viga de cimentación.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	109
GRÁFICO 5.16: Disposición de bloques de M.R.A.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	110
GRÁFICO 5.17: Conexiones y ganchos de ductos.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	111
GRÁFICO 5.18: Encofrado del muro de M.R.A.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	112
GRÁFICO 5.19: Encofrado y apuntalado del muro.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	113
GRÁFICO 5.20: Viga de carga del muro de M.R.A.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	114
GRÁFICO 5.21: Ensayos del micro-hormigón.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	114
GRÁFICO 5.22: Muro de Mampostería Reforzada Alivianada.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	115
GRÁFICO 5.23: Pretensión de los pernos de anclaje.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	116

GRÁFICO 5.24: Pernos de pretensión y anclaje.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	117
GRÁFICO 5.25: Bomba y gato de pretensión.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	117
GRÁFICO 5.26: Cilindro hidráulico de doble acción.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	117
GRÁFICO 5.27: Bomba eléctrica manual.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	118
GRÁFICO 5.28: Celda y placa de carga.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	118
GRÁFICO 5.29: Puente grúa.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	118
GRÁFICO 5.30: Sistema UPM100 HBM.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	119
GRÁFICO 5.31: LVDT “medidor digital de desplazamiento”.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	119
GRÁFICO 5.32: Dispositivo transmisor de información.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	119
GRÁFICO 5.33: Plomada.	
Fuente: Internet.	120
GRÁFICO 5.34: Ensayo a carga lateral del muro de M.R.A.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	120
GRÁFICO 5.35: Ciclos de carga lateral en el muro.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	121
GRÁFICO 5.36: Muro de M.R.A. posterior al primer ciclo de carga lateral.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	122
GRÁFICO 5.37: Fisuras internas sobre el muro de M.R.A.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	123
GRÁFICO 5.38: Fisuras externas sobre el muro de M.R.A.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	124
GRÁFICO 5.39: Evaluación visual de fisuras internas del muro de M.R.A.	
Fuente: Según JP. Herrera y J. Narváez.	126
GRÁFICO 5.40: Fuerza vs. Desplazamiento del muro de M.R.A. ante carga lateral. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	127
GRÁFICO 5.41: Comportamiento elasto-plástico idealizado.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	129
GRÁFICO 5.42: Determinación de la deformación de fluencia.	
Fuente: Albañilería Estructural.	130
GRÁFICO 5.43: Determinación de la deformación última.	
Fuente: Albañilería Estructural.	130
GRÁFICO 5.44: Envolvente histórica del muro de M.R.A.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	131
GRÁFICO 5.45: Comparación entre envolventes de muro de M.R.A.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	132

GRÁFICO 5.46: Rigidez secante, Energía disipada y Amortiguamiento viscoso equivalente. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	133
GRÁFICO 5.47: Reducción de la rigidez en función de la carga y desplazamiento. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	135
GRÁFICO 5.48: Energía disipada por amortiguamiento en función de la carga y desplazamiento. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.....	135
GRÁFICO 5.49: Amortiguamiento viscoso equivalente en función de la carga y desplazamiento. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	136
GRÁFICO 5.50: Cilindro de gas. Fuente: Internet	136
GRÁFICO 5.51: Soplete a gas. Fuente: Internet.	137
GRÁFICO 5.52: Termómetro para hormigón. Fuente: Internet.	137
GRÁFICO 5.53: Cronómetro digital. Fuente: Internet.	137
GRÁFICO 5.54: Implementación de enlucido como solución para la combustión. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	138
GRÁFICO 5.55: Ensayo de combustión de bloques de M.R.A.. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	139
GRÁFICO 7.1: Cimentación propuesta para el sistema constructivo M.R.A. Fuente: Constructor Civil.	148
GRÁFICO 7.2: Criterios de robustez. Fuente: Estructuras Pared Portante de Mampostería y Hormigón Armado.....	149
GRÁFICO 7.3: Propuesta para losa de entrepiso. Fuente: Novacero.	150
GRÁFICO 7.4: Instalaciones en muro de M.R.A. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	151

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: Tipos de paneles de EMMEDUE.	
Fuente: PANECONS.	15
TABLA 3.1: Capacidad de los moldes para ensayo de densidad del árido grueso. Fuente: INEN.	39
TABLA 3.2: Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción. Fuente: Estudio del Hormigón.	42
TABLA 3.3: Tamaño máximo de agregados recomendado para varias obras Fuente: Estudio del Hormigón.	42
TABLA 3.4: Exigencias de graduación para agregado fino. Fuente: Estudio del Hormigón.	43
TABLA 3.5: Comparación de granulometría recomendada del agregado fino. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	43
TABLA 3.6: Exigencias de graduación para agregado grueso. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	44
TABLA 3.7: Comparación de granulometría recomendada del agregado grueso. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	44
TABLA 3.8: Cantidad de agua por metro cúbico de mezcla de hormigón. Fuente: Estudio del Hormigón.	45
TABLA 3.9: Relación a/c máxima permisible, para diferentes tipos de estructuras. Fuente: Estudio del Hormigón.	46
TABLA 3.10: Relación a/c para diferentes resistencias a compresión, con o sin inclusión de aire. Fuente: Estudio del Hormigón.	47
TABLA 3.11: Volumen de agregado grueso, por unidad de volumen de hormigón. Fuente: Estudio del Hormigón.	47
TABLA 3.12: Dosificación en peso del micro-hormigón para condiciones S.S.S de los agregados. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	49
TABLA 3.13: Dosificación en volumen del hormigón para condiciones de obra de los agregados. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	51
TABLA 3.14: Dosificación en volumen del hormigón con aditivos, para condiciones en obra de los agregados. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	52
TABLA 3.15: Dosificación “definitiva” en volumen del hormigón con aditivos, para condiciones en obra de los agregados. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez. ..	53
TABLA 3.16: Tolerancia para el tipo de micro-hormigón. Fuente: Alubry.	53
TABLA 3.17: Tolerancia para tipo de micro-hormigón. Fuente: Alubry.	54
TABLA 3.18: Comparación en volumen de componentes del micro-hormigón Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	54
TABLA 3.19: Resistencia de los cilindros de micro-hormigón. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	55

TABLA 4.1: Cargas y desplazamientos referenciales en muretes.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	83
TABLA 5.1: Resistencia a la compresión del micro-hormigón del muro de M.R.A. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	115
TABLA 5.2: Resumen y registro de valores de los estados de carga, del ensayo a carga lateral del muro de M.R.A. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez. .	125
TABLA 5.3: Tabla de resumen por ciclos.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	128
TABLA 5.4: Tabla de envolventes.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	131
TABLA 6.1: Tabla de salarios con beneficios de ley.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	144
TABLA 6.2: Rubros referenciales de la construcción del Pórtico con mampostería de bloque. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	144
TABLA 6.3: Rubros referenciales de la construcción del Muro de Mampostería Reforzada Alivianada. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	145
TABLA 6.4: Presupuesto del Pórtico con Mampostería de Bloque.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	145
TABLA 6.5: Presupuesto del Muro de Mampostería Reforzada Alivianada.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	145
TABLA 6.6: Tabla comparativa de sistemas constructivos.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	146
TABLA 8.1: Esfuerzos de compresión axial y diagonal de mampostería.	
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.	157
TABLA 8.2: Ductilidad de diversos sistemas constructivos.	
Fuente: Aedo.	159

RESUMEN

Esta investigación estuvo encaminada al uso de nuevos métodos y tecnologías constructivas que se necesitan para suplir la demanda de infraestructura segura y asequible para todos los sectores nuestra sociedad. Es así como, se presentan unos nuevos e innovadores bloques construidos de poliestireno expandido “más conocido en este medio como espuma flex”, que se disponen a manera de legos para conformar una estructura que en su interior alberga unos ductos inclinados en ambos sentidos “semejante a una malla”, donde se dispone un micro-hormigón de alta plasticidad y a su vez tiene embebido en su interior acero de refuerzo. Debido a esto, el acero incrustado dentro de las diagonales llega a converger con un acero de refuerzo de los elementos confinantes, ubicados en los extremos de la estructura. Estos bloques fueron creados y diseñados por el Arq. Rodrigo Rosas, quien gracias a su experiencia supo ver el potencial de este innovador sistema constructivo. Esta investigación tuvo la gran colaboración y el asesoramiento técnico del Ing. Félix Vaca quien nos brindó criterios de comportamiento estructural y consejos para optimizar la resistencia, trabajabilidad y economía del sistema.

A causa de las limitaciones geométricas de los ductos de la mampostería, se necesita que las características del micro-hormigón sean muy peculiares, es por ello por lo que se inició desde su diseño, para posteriormente proponer una cuantía de acero de refuerzo con las cuales se construyó todas probetas a ensayarse bajo diversas demandas de carga.

Para el diseño del muro, se partió con la elaboración previa de muretes los cuales fueron ensayados a compresión axial y diagonal, y así haciendo uso de estos resultados, se incurrió en el diseño de la probeta y estimación de la carga de la misma. Además, también se realizó la modelación en un programa computacional estructural a partir de la cual se obtuvo una curva de capacidad que fue comparada con la obtenida experimentalmente. Del registro de los bucles históricos conformados por la carga y deformación del ensayo del muro ante diversos ciclos de carga, se obtuvo un diagrama esquelético de capacidad; así como también parámetros estructurales tales como: su ductilidad, factor de comportamiento sísmico, rigidez secante, energía disipada por amortiguamiento, energía máxima de deformación, amortiguamiento viscoso equivalente y tipos de fisuras. Por otro lado, también se realizaron ensayos utilizando equipos sísmicos para poder calcular el período de la estructura de forma experimental el cual se lo comparó con el obtenido mediante la modelación.

Asimismo, conociendo que la combustión del poliestireno expandido es tóxica y que no presenta un acabado sólido resistente, se propuso una posible solución con un recubrimiento de malla de acero y mortero para evitar su contacto directo con el fuego; la cual fue puesta a prueba con un ensayo de combustión. Todos los ensayos

tuvieron lugar en las instalaciones de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador.

Una vez culminada la fase de ensayos, se realizó un análisis económico comparativo en función a los rubros involucrados en la construcción de un muro construido con el nuevo sistema constructivo propuesto denominado “Mampostería Reforzada Alivianada (M.R.A.)”, y otro muro de similares características construido de forma convencional en el medio “pórtico” (cuya resistencia se basa principalmente, en la dotada por su estructura conformada por vigas y columnas).

Para finalizar, se planteó un diseño arquitectónico con el asesoramiento técnico de un profesional en el área, haciendo uso de este nuevo e innovador sistema constructivo (M.R.A.), así también se propuso soluciones para aspectos inmersos en la construcción tales como instalaciones y sistemas de entrepiso para una vivienda de dos pisos de una familia tipo, según el INEC.

PRESENTACIÓN

En nuestra introducción se hace referencia al desarrollo y usos de sistemas constructivos desarrollados desde la antigüedad hasta nuestros días, para constatar su evolución y la innovación en el uso de diferentes materiales para la construcción de edificaciones. Por otro lado, se dan a conocer algunas definiciones básicas, así como también materiales y sus características, para posteriormente llegar a relacionar nuestro nuevo sistema constructivo con alguna tipología estructural, y así finalmente conocer el estado del arte de este tipo de construcciones en nuestro medio.

Para el segundo capítulo, se realiza una investigación de los tipos de muros portantes, junto a sus requerimientos y recomendaciones estructurales, para posteriormente referenciarlos en estos para la propuesta y diseño de nuestro sistema estructural. Además, se describen las características, consideraciones, ventajas y desventajas prevista en el uso de este nuevo e innovador sistema constructivo bautizado por nosotros como Mampostería Reforzada Alivianada (M.R.A.), para así llegar a establecer el alcance y los objetivos de esta investigación.

En el tercer capítulo, se registran todas las consideraciones y ensayos previos de los componentes constitutivos del micro-hormigón de alta plasticidad, para el posterior diseño del mismo. Es así que, se explica detalladamente todo el proceso seguido para obtener el micro-hormigón que será utilizado en la elaboración de nuestras probetas a ensayarse ante diversas demandas de carga.

Seguidamente, damos paso a nuestros cuatro capítulos, donde se realiza el diseño, dimensionamiento de nuestros muretes y la propuesta de la cuantía del acero de refuerzo que iría embebido dentro de los ductos rellenos con el micro-hormigón. Previo a los ensayos, se realiza una estimación de carga tanto a compresión axial como diagonal, para posteriormente compararlas con los valores promedios experimentales. Estos valores serían utilizados para el diseño y predicción de carga de nuestro muro de M.R.A. en el siguiente capítulo.

En nuestro quinto capítulo, iniciamos con el diseño de los elementos constitutivos del muro de M.R.A., para de este modo proseguir con su modelación en el programa computacional ETABS 2015, y así poder llegar a la estimación de una carga máxima bajo algunos criterios supuestos de su comportamiento. También, expondremos minuciosamente el proceso constructivo del muro, para llegar al final del capítulo donde se describen todos los tipos de ensayos realizados, junto a sus parámetros estructurales y no estructurales cuantificados y registrados de ellos.

El sexto capítulo presenta los rubros y cubitaje involucrados en la construcción de un muro hecho convencionalmente de nuestro medio y otro hecho con el nuevo sistema constructivo propuesto, para crear sus APUS “Análisis de precios unitarios” que nos permitan obtener un presupuesto referencial en la construcción de cada uno de ellos; para de este modo compararlos y sacar conclusiones y recomendaciones en el uso del sistema constructivo denominado M.R.A..

Para el séptimo capítulo, presentamos propuestas para todos los campos involucrados en la construcción, tales como: cimentación, sistema de entepiso, instalaciones eléctricas e hidro-sanitaria haciendo uso del sistema constructivo propuesto. De este modo, realizamos un planteamiento y propuesta de un diseño arquitectónico adaptado para el uso del sistema constructivo M.R.A., para que pueda ser implementado en nuestro medio.

En el capítulo final de este trabajo investigativo, presentamos conclusiones de la investigación con referencia al sistema constructivo tradicional, así también como recomendaciones para seguir realizando investigaciones relacionadas con este sistema constructivo, para de este modo mejorar sus características, funcionamiento y desempeño, de modo que pueda ser utilizado en el ámbito nacional supliendo la demanda de vivienda de interés social segura y asequible.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El uso de la mampostería como elemento estructural para dotar de un sitio de alojamiento al ser humano data desde hace muchos años atrás, desde que el hombre adquirió una capacidad de pensamiento/raciocinio; y además, pasó de ser en gran medida de nómada a sedentario, buscando la manera de acondicionar su entorno para su protección y comodidad ante diversas causas y circunstancias.

Es así como, durante el paso de la humanidad por la Tierra se han podido evidenciar, como data la historia el desarrollo de diversas técnicas y estilos de construcción, y en algunos de los casos majestuosas construcciones con un sinnúmero de objetivos y funciones a desempeñar. El uso de diversos materiales como mampostería es extremadamente diverso y versátil como lo podemos visualizar en nuestro entorno, tales como: bloques de roca, bloques de hormigón, bloques de hielo, ladrillos de arcilla, adobes de tierra con paja, madera, caña guadua, vidrio, gypsum, hormi², paneles metálicos y la combinación de todos estos. Cada mampostería conjuntamente con el material del cual están elaborados presentan sus ventajas y desventajas en aspectos tales como: peso, disponibilidad, trabajabilidad, ductilidad, costos, resistencia, tiempo de vida útil, aislamiento térmico y acústico, capacidad de combustión, disponibilidad de mano de obra calificada, etc. Además, cada mampostería requiere de un conglomerado o artículo que sirva para unir estos elementos, siendo de igual manera muy extensa la lista de materiales disponibles y que se seleccionarán de acuerdo a su caso particular.

De tal modo hemos podido constatar, que a pesar de las ventajas y dificultades que presentan cada una de estas mamposterías, el hombre gracias a su ingenio ha levantado emblemáticas estructuras que maravillan a la humanidad. Así podemos citar algunos casos para sustentar esta aseveración, tales como: las Pirámides de Egipto, la Gran Muralla China, el Templo de Artemisa y El Partenón "Grecia", el Arco del Triunfo "Francia", las Ruinas de Machi Pichu "Perú", el Coliseo Romano "Italia", el Taj Mahal "La India", el Kremlin "Rusia", y entre otros muchos por citar. (Xexar, 2009)

Remontándonos en la historia, se tiene vestigios que las culturas nativas americanas desarrollaron construcciones constituidas por piedra labrada ajustadas milimétricamente, y en otros casos con conglomerados constituidos por tierra y raíces, postes de madera, paredes de carrizo repelladas con lodo, techos de palma y pisos de tierra apisonada, con o sin subestructura. (Marcano Quijada, 2016)

Específicamente en nuestro país “Ecuador”, en sus 208 años de existencia, el sector de la construcción ha experimentado diversos cambios hasta alcanzar la evolución que se evidencia en nuestros días. En un principio, los sistemas tradicionales y populares preferidos por la sociedad en las zonas pobladas para edificar sus casas, templos y edificios estaban conformados por paredes de molón, tapial, adobe, bareque o simplemente paredes hechas a mano, todos combinados con madera y que en conjunto dotaban de toda la resistencia a la estructura por lo que eran necesariamente robustas para resistir el peso de las cubiertas, limitando el aprovechamiento de la propiedad horizontal ; estas se pueden apreciar en casos muy particulares que siguen aún en pie y que son catalogadas como patrimoniales por su valor histórico. Sus cubiertas eran regularmente cobijadas por tejas de barro cocido, apoyados sobre vigas peraltadas de eucalipto amarradas con chilpes, que además cumplían la función de sostener las paredes para que no se abran. Hoy en día, su uso junto con sus técnicas ancestrales combinadas con las actuales “también materiales” se limita a pequeña escala en zonas rurales, ya que ha sido desplazada en gran medida por el uso de nuevos materiales como el hormigón y el hierro.

En el siglo XX, las edificaciones se cimentaban en grandes bloques constituidos por piedra tallada fundida con lodo a modo de pegante. De la envergadura de sus cimientos, dependía la talla y período de vida útil que podía alcanzar la construcción, si se necesitaba de una mayor capacidad y durabilidad se ayudaban de una aleación de caliza y arcilla (componentes del cemento) para la construcción de elementos que sostengan la estructura.

El primer gran paso en la evolución de la construcción se dio con la aparición del adobe, cuyo nombre proviene de la palabra árabe “atob” que significa ladrillo secado al sol. (Mampostería Antigua, s.f.) Estos elementos estaban constituidos por una mezcla de barro, agua y paja de páramo; este último elemento constitutivo dotaba de consistencia, durabilidad, e impedía que se rompan con facilidad. La principal ventaja del uso de esta mampostería fue la disminución significativa del espesor de las paredes, reduciéndolas a casi la mitad “80cm - dependiendo de la altura de la construcción” del espesor tradicional que se lograba con las paredes hechas a mano; y trabándolos para alcanzar una mayor estabilidad en las esquinas. Su uso se extendió incluso hasta después de la aparición del ladrillo por todas sus ventajas, y decayó a partir de 1940 cuando el hierro incursionó en el mercado local, dejando atrás el sistema constructivo de paredes portantes.

Hasta ese entonces, la altura alcanzada por las edificaciones se veía limitada hasta 3 pisos por las características brindadas del adobe y ladrillo; pero la incursión del hierro no vino sola, consigo trajo un gran aliado “el cemento” con el que fusionados permitirían sobrepasar el límite de la altura. El cemento mezclado con otros agregados pétreos (ripio y arena) conformaban una mezcla pastosa y moldeable

que después de su fraguado alcanzaba una gran resistencia simulando a la roca, y junto al acero incrustado en su interior constituían las columnas y vigas que agrupadas formarían el nuevo sistema constructivo llamado pórtico, al que debían su capacidad de soportar las demandas de carga. A este sistema estuvo ligado el uso del ladrillo para conformar la mampostería y poder separar espacios.

Llegaban los años de 1970, y uno de los problemas para ese entonces era el gran peso y el tiempo para elevar paredes que conllevaban el uso del ladrillo como mampuesto. Los ingenieros de ese entonces se vieron obligados a diseñar y elaborar un nuevo mampuesto para aliviar el peso de las estructuras, disminuir costos y mejorar el rendimiento de la mano de obra; por lo que un bloque conformado de concreto y agujerado en su interior sería una de las mejores alternativas a utilizarse.

Si bien la combinación del concreto y hierro, junto con los bloques de hormigón dieron un resultado favorable para la edificación de casas, edificios y otras estructuras; la ambición y el ingenio del hombre por sobrepasar limitantes, desarrollaron el uso del acero como elemento estructural. Al llegar a Ecuador este otro nuevo sistema constructivo en el año de 1985 ya estaba respaldado su uso en otros países, donde se habían construido majestuosos edificios que hasta entonces constituían los más altos del mundo, como por ejemplo las Torres Gemelas inauguradas el 4 de abril de 1973 que poseían el récord mundial de altura con 526.3 metros entre los años de 1971 y 1973.

La evolución de los materiales y nuevas tecnologías han hecho que las columnas de concreto armado, las columnas metálicas y compuestas (perfiles tubulares rellenos de hormigón) sean insustituibles para el levantamiento de grandes edificios. Por otro lado, para la construcción de edificaciones de menor envergadura existen una variedad de sistemas “nuevos y antiguos” y combinaciones de estos, de las cuales la sociedad hace uso en la actualidad. (Ibarra, 2008)

Como en un principio lo dijimos, cada sistema constructivo presenta sus ventajas y desventajas simultáneamente; además, muchas de las construcciones que se edifican en nuestro país y sin importar el sistema constructivo utilizado son hechas empíricamente sin un sustento técnico o científico que validen su seguridad y confiabilidad en los diferentes campos de la construcción. De lo cual sin irnos muy lejos, y haciendo referencia a un suceso no muy lejano “El Terremoto suscitado el 16 de abril del 2016 en la costa ecuatoriana”, nos deja una gran lección y ha activado las alarmas sobre la situación de la infraestructura de nuestro país.

Según un estudio realizado en el Distrito Metropolitano de Quito, cerca del 60% de las edificaciones son informales. Es decir, de un aproximado de 500 000 viviendas existentes en la urbe, 300 000 de éstas no fueron construidas con algún sustento técnico ni son regularizadas, siendo altamente vulnerables ante cualquier riesgo por parte de la naturaleza o de otro tipo. (Jácome, 2017)

Es por dicha razón, que ésta investigación viene encaminada a la propuesta de un nuevo sistema constructivo, la cual debido a sus semejanzas hace referencia al sistema constructivo denominado “paredes portantes”; donde se hace uso de un material ya utilizado en la construcción “Poliestireno expandido, conocido como Espuma Flex” junto con acero de refuerzo y un hormigón específico, para dar una configuración novedosa a las nuevas estructura teniendo en cuenta las filosofías de diseño y un comportamiento sismorresistente estudiado hasta la actualidad ante diversas demandas reales de carga.

1.2 DEFINICIONES IMPORTANTES

1.2.1 ESTRUCTURA

Conjunto de elementos estructurales que, dispuestos según una configuración y diseño resisten cargas verticales, sísmicas o de cualquier otro tipo. (Min.. de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador, 2015)

1.2.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO

Es un conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos; que, combinados racionalmente y enmarcados en un método, generan un tipo de edificación en particular. Cada sistema se diferencia por su forma de reaccionar o comportarse frente a las sollicitaciones de carga a las que están sometidas, pero un sistema no siempre define una edificación en su totalidad puesto que también se da la combinación de estos en cada uno de sus elementos. Muchas de las veces, la selección de un determinado tipo de sistema se lo hace en función a sus exigencias funcionales, acciones a las que van a estar sometidas, cualidades, costos de construcción, grado de vulnerabilidad, disponibilidad de materiales y mano de obra calificada. (Huahuamullo Taboada, s.f.)

1.2.3 SISTEMA CONSTRUCTIVO “PÓRTICO”

Sistema estructural conformado por columnas y vigas descolgadas, donde la prioridad de su diseño debe enfocarse en la conexión viga columna, haciendo que esta sea rígida para garantizar un buen desempeño de la estructura ante las distintas demandas de carga. Además, otra de sus filosofías de diseño son la de garantizar que la capacidad que la de las columnas sea por lo menos 1.2 a 1.4 veces mayor a la capacidad de las vigas.

Otra característica de este tipo de sistema estructural es que los vanos conformados entre columna y vigas son completados por mampostería o algún otro tipo de cerramiento equivalente para dividir espacios. (Ochoa Román & Ulcuango Merino, 2014) (Huahuamullo Taboada, s.f.)

1.2.4 SISTEMA CONSTRUCTIVO “PAREDES PORTANTES”

Es un tipo de sistema estructural que basa su resistencia en la dotada por su diseño y las características de la mampostería de la cual están conformada. La filosofía de su diseño se basa en el chequeo a flexo compresión, siendo este su punto más crítico. (Ochoa Román & Ulcuango Merino, 2014)

1.2.5 SISTEMA CONSTRUCTIVO “ACERO ESTRUCTURAL”

Es un sistema estructural conformado por acero laminado en caliente y moldeado en frío que se emplea como elemento portante. Gracias a las características de este material se pueden aprovechar de mejor manera la propiedad horizontal al reducir sus secciones, y con un correcto diseño podemos tener un excelente desempeño sismorresistente. (Kika, 2017)

1.2.6 MAMPOSTERÍA

Son elementos estructurales conformados por unidades trabadas con mortero/aglomerante para su unión. El conjunto de estos nos proporciona un sistema monolítico que soporta carga estructural, divide ambientes y limita un predio dotando seguridad. (INEN, 1978)

1.2.6.1 Mampostería simple (no reforzada)

Estructura conformada por piezas de mampostería y mortero, que no poseen acero de refuerzo o en el caso de tenerlo su cuantía es inferior a la mínima. (Ochoa Román & Ulcuango Merino, 2014)

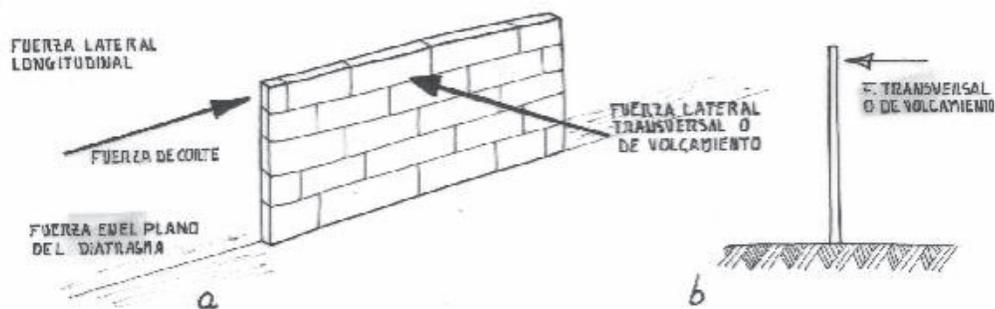


GRÁFICO 0.1: Esquema de mampostería sin reforzar.

Fuente: Normas INEN.

1.2.6.2 Mampostería reforzada

Mampostería perforada en cuyo interior alberga acero en forma de varillas o en su exterior en forma de malla, embebido en hormigón plástico o enlucido,

respectivamente; para fusionarse con la mampostería de modo que trabajen conjuntamente como un todo. (Min. de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador, 2015)

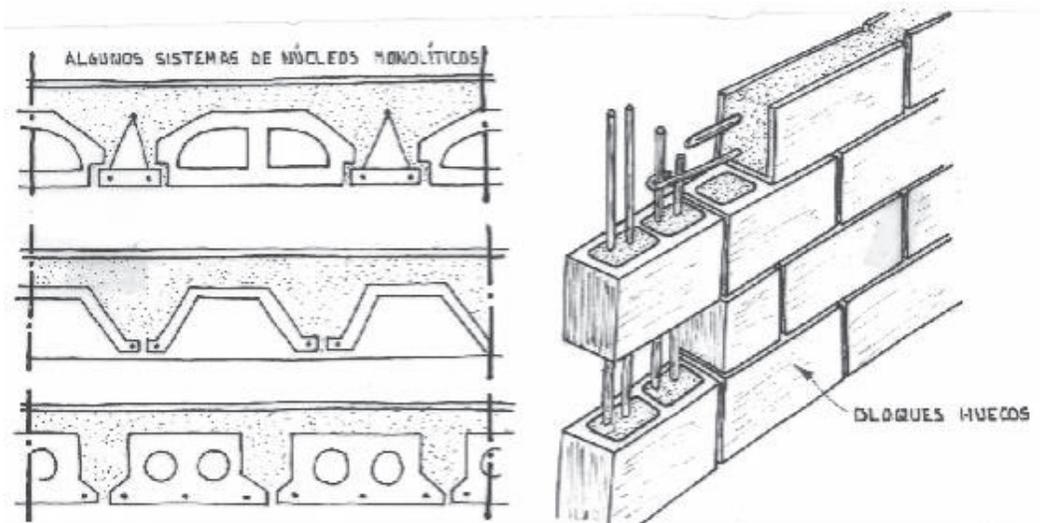


GRÁFICO 0.2: Esquema de mampostería reforzada.
Fuente: Normas INEN.

1.2.6.3 Mampostería confinada

Son muros rígidos enmarcados en todos sus extremos por viga y columnas armadas. Cabe recalcar que el confinamiento, no proporciona una buena resistencia lateral a la mampostería, pero si en el plano en el que actúa. Para considerar que una mampostería está bien confinada, esta debe cumplir con las siguientes condiciones: (INEN, 1978)

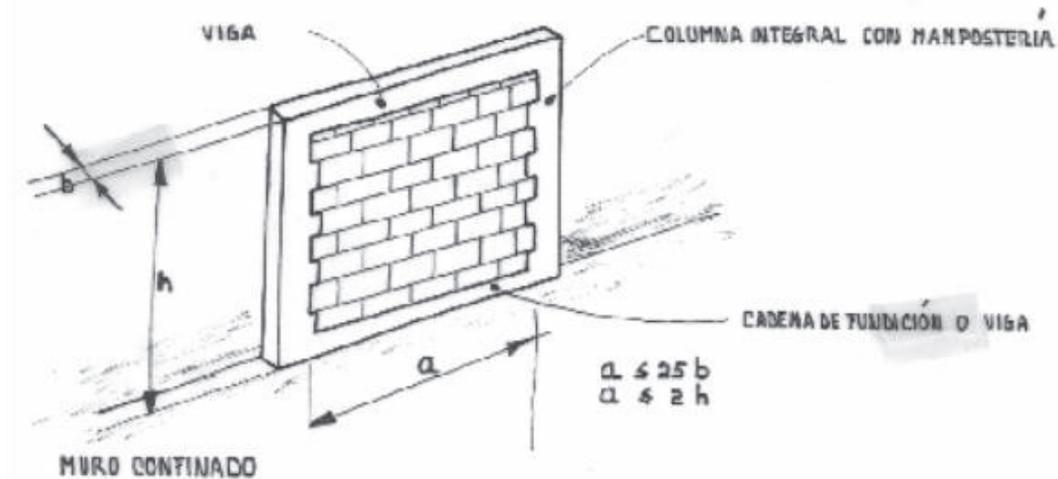


GRÁFICO 0.3: Condiciones necesarias para confinar una mampostería.
Fuente: Normas INEN.

1.2.6.4 Mampostería en seco

Son aquellos tipos de mampostería que no necesitan de un mortero/conglomerado para su disposición o aparejo. Regularmente están diseñadas para que mediante su geometría se puedan levantar, trabándose unas a otras conjuntamente y así dotar de resistencia a la estructura.



GRÁFICO 0.4: Esquema de mampostería en seco. **Fuente:** El Libro de los Materiales.

1.2.7 HORMIGÓN

Mezcla moldeable y heterogénea constituida por cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, con agregados pétreos (arena y ripio) con o sin aditivos; utilizado en diferentes campos de la construcción, ya que después de su fraguado simula una roca. (Min., De Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador, 2015)

1.2.7.1 Grout

Es una mezcla de aglomerantes cementicios o epóxicos, agregados finos, agua, aditivos químicos y adiciones minerales, que hacen de este un material fluido, autonivelante o eventualmente de consistencia plástica, utilizado principalmente para rellenar espacios estrechos en la construcción. Poseen un conjunto de características que lo hacen propicio para ser usado en rellenar anclajes, perforaciones, fijación de placas base de máquinas o estructuras metálicas. Una de las particularidades que lo diferencian de cualquier otro material conformado por cemento y materiales pétreos, es la ausencia de áridos gruesos. Existen básicamente dos tipos de que serán utilizados de acuerdo con su necesidad: grout cementicios y grout epóxicos. (Arancibia C., 2006)

1.2.7.1.1 Grout cementicios

Este material de alta fluidez, sin segregación o exudación, posee la capacidad de endurecimiento rápido por lo que son muy utilizados para realizar rellenos. Debido

a que están compuestos por materiales cementícos, se deben tener condiciones adecuadas para su fraguado tales como las del hormigón. (Arancibia C., 2006)

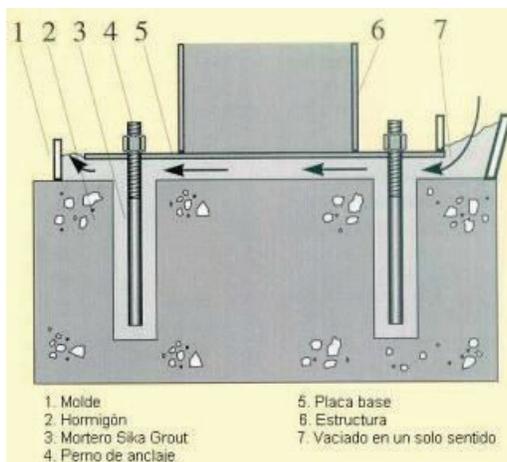


GRÁFICO 0.5: Anclaje y nivelación de estructura de hormigón mediante grout cementicio. **Fuente:** Ingeniería y Construcción.

1.2.7.1.2 Grout epóxicos

Este material dota de mayores resistencias mecánicas y alta resistencia química a edades tempranas; además, está compuesto por tres componentes, dos líquidos y uno en polvo.

Para su correcta ejecución se deben dar condiciones adecuadas que favorezcan su curado; tales como: superficies limpias y secas, una temperatura moderada en el ambiente y las superficies de contacto.

Generalmente este tipo de grout se lo utiliza para anclaje y nivelación de maquinaria y estructuras. (Arancibia C., 2006)

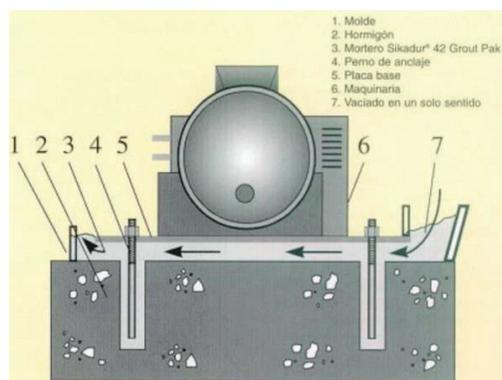


GRÁFICO 0.6: Anclaje y nivelación de estructuras de hormigón mediante grout epóxico. **Fuente:** Ingeniería y construcción.

1.2.7.2 Micro-hormigón

Es uno de los elementos fundamentales que constituyen la mampostería reforzada, y que poseen características y funciones propias que lo diferencian del hormigón empleado regularmente, debido a que tiene que tener una fluidez y un tamaño de agregados específico para rellenar las cavidades de la mampostería y dejar embebido el acero de refuerzo en su interior. (Alubry San Luis S.A., s.f.)

1.2.8 POLÍMERO

Es una nueva clase de materiales creado por el hombre a base de polímeros naturales “algodón”, sintético “generalmente petróleo” o la combinación de ambas, con propiedades similares o mejores que otros materiales y a un menor costo de producción. Se estima que alrededor del 4% de producción anual de petróleo se convierten en polímeros.

Su nombre proviene del griego poli (muchos) y mero que reducido a mear significa (partes); es así como los polímeros están constituidos por estructuras de carbono, por lo que se les consideran compuestos orgánicos.

Generalmente los polímeros poseen una buena resistencia mecánica debido a las grandes cadenas poliméricas que lo componen. Estos materiales se obtienen de un proceso denominado polimerización, donde la fusión de muchas moléculas pequeñas de monómeros “estireno conocido también como vinil benceno” genera una molécula de mayor tamaño. (Godínez, 2014)

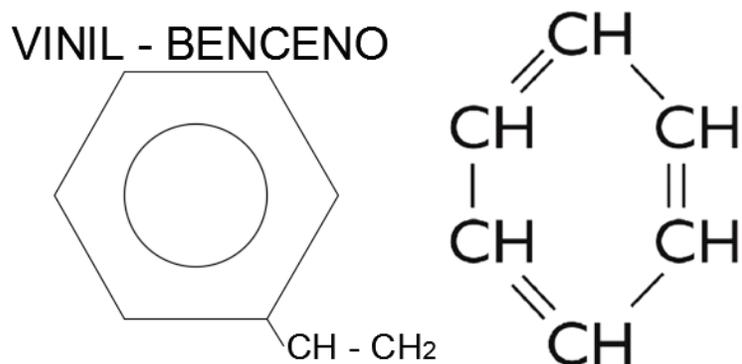


GRÁFICO 0.7: Molécula de Vinil-Benceno.

Fuente: EPS – Unicel

1.2.8.1 Clasificación:

Su clasificación es muy extensa y se puede dividir en las siguientes áreas como: por la naturaleza de los monómeros, por la estructura de su cadena, tamaño y copolímeros. Sin embargo, existen un grupo de polímeros más conocidos en el medio que los citaremos a continuación:

Poliestireno de cristal (GPPS). – Este tipo de polímeros se caracterizan por ser rígidos y quebradizos.

Poliestireno de alto impacto o de choque (HIPS). – Producto de la mezcla de estireno más caucho, lo que otorga su aspecto opaco y le da una mayor resistencia.

Poliestireno expandido (EPS). – Es un hidrocarburo de cadena larga con 95% de poliestireno y 5% de gas pentano “antes de la expansión”; que permite reducir la densidad del material, lo que lo hace muy liviano. Su fórmula química es “C₈H₈”.

Su estructura molecular es cerrada y rellena de aire; conformada a partir de perlas de poliestireno, lo que lo hace un material plástico rígido, compacto, impermeable y que es un muy buen aislante térmico y acústico. Además, debido a sus bondades es empleada en diferentes áreas como: la construcción, la industria alimenticia, industria de plásticos, el comercio, entre otros.



GRÁFICO 0.8: Perlas de poliestireno antes de ser expandidas.

Fuente: EPS- Unicel

1.2.8.2 Proceso de transformación del Poliestireno Expandido:

1) Pre-expansión

El plástico de poliestireno en forma de perlas se calienta con vapor de agua a temperaturas entre 80 y 110 c y su densidad disminuye de 600 [Kg/m³] a 10-30 [Kg/m³] debido a que se libera el pentano y entra aire en su interior haciendo que se expandan las perlas hasta 40 veces su tamaño original.

2) Reposo y estabilización

Se deja que se enfríen las perlas de poliestireno para que se cree un vacío interior que posteriormente, será 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.

3) Expansión y moldeo final

Se transportan las perlas expandidas a moldes según la figura determinada que desea obtenerse, para ahí fusionarlas transmitiéndoles por segunda vez vapor de agua, para que de este modo adopten la forma del molde que las contienen; cuantas más perlas pre-expandidas existan por m³ cúbico, más denso será el producto final.

1.2.8.3 Ventajas / Desventajas del Poliestireno Expandido

Ventajas

- ✓ Bajo peso específico
- ✓ Se le puede dar un modelado perfecto y diverso
- ✓ Fácil de transportar
- ✓ Buen amortiguador y altamente resistente a la absorción de agua
- ✓ Aislador térmico y acústico
- ✓ Inocuo (no posee olor, ni sabor)
- ✓ Impermeable

Desventajas

- ✓ Baja resistencia y fácilmente atacable por la radiación ultravioleta por lo que se debe proteger de la luz del sol.
- ✓ Su consumo es nocivo, especialmente para los animales que habitan en lechos marinos, ya que debido a que muchos de estos van a parar en océanos por no ser debidamente reciclados.
- ✓ Son muy tóxicos al contacto con el calor, ya que liberan dioxinas que afectan gravemente a la salud de los seres vivos. Su quema produce ácidos cianhídricos venenosos que a su vez afectan a la capa de ozono por la formación de gases de efecto invernadero, por eso es recomendable utilizar poliestireno expandido ignífugo.
- ✓ No es biodegradable y su proceso degradatorio puede extenderse hasta los 1000 años.

1.2.9 ACERO DE REFUERZO

Es aquel acero que está incrustado en el concreto, y que está para absorber todos los esfuerzos provocados por la dilatación, tensión y flexión; para los cuales el concreto tiene una baja capacidad, o un comportamiento inadecuado. (C.R., s.f.)

1.3 TIPOLOGÍA

Este trabajo investigativo, se desarrolla para el estudio de la propuesta del nuevo sistema constructivo denominado "Mampostería Reforzada Alivianada" también

referenciada bajo la siguiente denominación (M.R.A.) y de la cual de aquí en adelante haremos uso.

Este sistema está encaminado a comportarse como paredes portantes “también conocidos como muros de carga”; ya que comportamiento estructural es soportar otros elementos estructurales y demandas de cargas implicados en la construcción de una edificación. Por otro lado, para que su aplicación resulte efectiva, los muros dentro de una edificación deben estar estratégicamente dispuestos “Buena configuración estructural” y con medidas y requerimientos adecuados “Buen diseño estructural”, para que cumplan con un buen desempeño ante todas las exigencias que pudiesen presentarse.

Sin embargo, debido a la geometría y a sus consideraciones para su aplicación en el campo de la infraestructura, se prevé que su comportamiento ante las diferentes demandas de carga gravitacional y lateral es análogo a la de una estructura tipo cercha “también conocida como armadura”. Esta suposición la hemos corroborado con previas simulaciones hechas en programas computacionales, donde efectivamente visualizamos que los esfuerzos predominantes son los axiales (tracción y compresión).

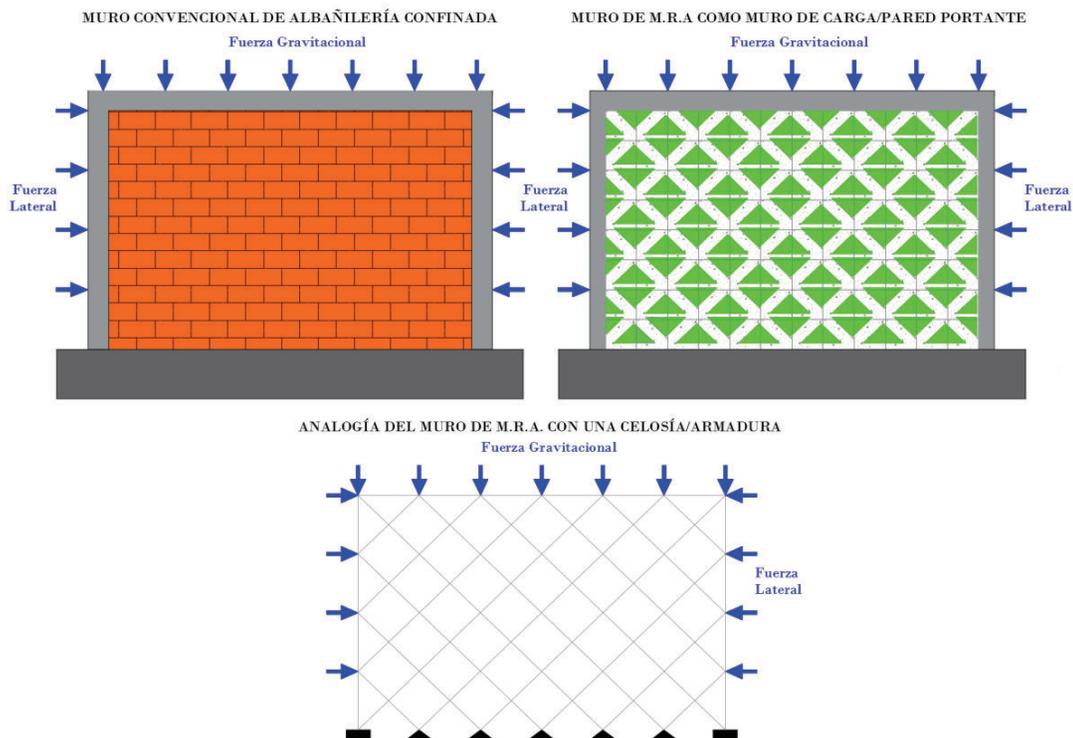


GRÁFICO 0.9: Esquema análogo de mampostería portante y el sistema constructivo M.R.A. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

1.4 ESTADO DE ARTE DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON POLIESTIRENO EXPANDIDO

La gran demanda por parte de la industria de la construcción por alcanzar estructuras más resistentes, livianas, baratas y con un proceso constructivo más rápido y eficaz, ha ocasionado que el poliestireno expandido, más comúnmente conocido en nuestro país como “Espuma flex”, se convierte en una alternativa viable e innovadora, ya que este material posee bondadosas cualidades constructivas, estructurales, sísmicas, acústicas y térmicas. (Méndez Lora, 2014)

Debido a estas ventajas, en tiempos recientes han aparecido varios sistemas constructivos que pretenden aprovechar los beneficios que otorga la construcción con poliestireno expandido; es por eso por lo que a continuación enumeramos algunos de estos sistemas constructivos, para conocerlos un poco más de cerca:

1.4.1 SISTEMA EMMEDUE

Este es un sistema constructivo de origen italiano desarrollado hace más de 30 años; que ha sido difundido y está siendo usado en varios países de Europa y América, incluyendo Ecuador, y que cada vez ocupa un terreno más preponderante en el sector de la construcción a nivel mundial. Este sistema constructivo aprovecha de manera eficiente las ventajas que otorga el uso del poliestireno expandido, que incluye: resistencia mecánica, capacidad estructural, fácil ejecución en obra, optimización de recursos, aislamiento térmico y acústico, resistencia al fuego, no requiere el uso de mano de obra avanzada y además nos brinda una mayor versatilidad en cuanto al diseño arquitectónico se refiere. (Velasteguí Caraballo, 2013)

Generalmente este sistema se lo utiliza en edificios que no sobrepasen los 4 pisos, es decir en edificaciones de baja altura.

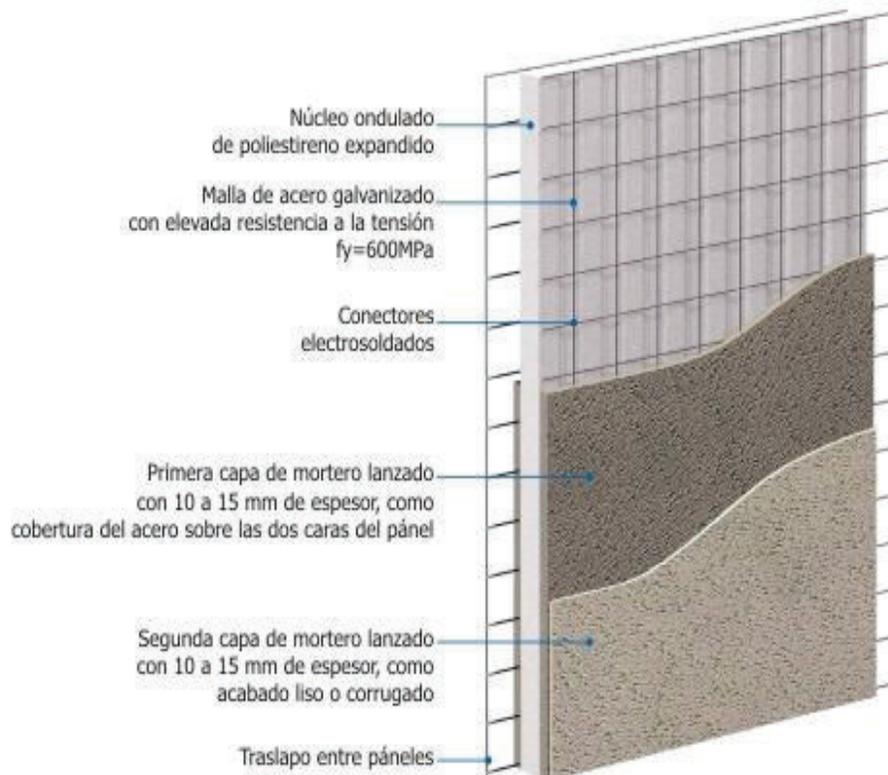


GRÁFICO 0.10: Logo internacional del sistema EMMEDUE. **Fuente:** EMMEDUE.

Características

Como lo dice las especificaciones técnicas de la empresa EMMEDUE, el sistema constructivo está constituido por una lámina de poliestireno expandido que incluyen dos mallas electro soldadas (trefiladas y galvanizadas), unidas entre sí por medio

de unos conectores con las mismas propiedades de las mallas, formando de esta manera un panel, el cual poseen un recubrimiento de hormigón lanzado que debe ser realizado en obra “resultando una superficie continua sin juntas”. Este sistema en comparación con los sistemas tradicionales representa un ahorro del 30 % en el tiempo de ejecución de obra. (Barrientos Correa, 2011)



Nota: el espesor final del muro depende de los requerimientos estructurales

GRÁFICO 0.11: Esquema de panel de EMMEDUE. **Fuente:** Durapanel.

Por otro lado, existen diferentes productos del sistema Emmedue, todos fabricados bajo la misma premisa, con paneles de poliestireno expandido reforzados con malla y con un revestimiento de hormigón lanzado. A continuación, citamos diversos tipos de paneles usados en la construcción de obras civiles, con el sistema EMMEDUE.

Tipos de Paneles

Las medidas de los paneles son nominales, pero pueden fabricarse de cualquier dimensión bajo pedido, además estos pueden ser paneles simples o dobles; estos últimos poseen un relleno de hormigón a modo de sándwich. Por otro lado, tienen un peso de entre 4 y 10 kg/m², un peso pequeño en comparación con las paredes elaboradas con los sistemas constructivos convencionales.

TIPO	APLICACIÓN	∅ DEL ALAMBRE	RESISTENCIA DEL MORTERO REQUERIDA
PSE (Panel simple Modular Estructural)	Construcción integral de mamposterías	Longitudinal: 2.5 Transversal: 2.5	210 Kg/cm ²
PSC (Panel simple Modular de Cerramiento)	Aplicación en estructuras mixtas cerramientos	Longitudinal: 2.5 Transversal: 2.5	Entre 90 Kg/cm ² y 110 Kg/cm ²
PSR (Panel Simple Modular Reforzado)	Losas de cubierta Conformación de gradas	Longitudinal: 3.0 Transversal: 2.5	210 Kg/cm ² para la carpeta superior de compresión o la que resulte del cálculo estructural (e=5 cm) 210 Kg/cm ² para la carpeta inferior (e= 3cm)
PS2R (Panel simple Modular doblemente Reforzado)	Losas de entrepiso Conformación de gradas	Longitudinal: 3.0 Transversal: 3.0	210 Kg/cm ² para la carpeta superior de compresión o la que se proponga el calculista. 210 Kg/cm ² para la carpeta inferior

TABLA 0.1: Tipos de paneles de EMMEDUE. Fuente: PANECONS.



GRÁFICO 0.12: Panel de EMMEDUE. Fuente: Sistema EMEDOS Venezuela.

Tiempo y Costos de Obra

La facilidad que existe en la colocación de los paneles de EMMEDUE, debido a su peso mucho más liviano que las paredes convencionales y sin necesidad de encofrado, reducen el tiempo de ejecución de la obra, ya que hay una mayor facilidad en su manejo y transporte, influyendo directamente en el costo al reducir el tiempo, mejorando el rendimiento y también disminuyendo la cantidad de mano de obra, lo que al final se traduce en un ahorro de recurso que representan dinero.

Resistencia Estructural

El sistema EMMEDUE, presenta un incremento notable en la flexibilidad de la estructura en comparación con los sistemas tradicionales, eso si cabe recalcar que las deformaciones generadas se hallan dentro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción; además, existe una reducción del peso de alrededor del 7.4% lo que ocasiona una disminución notoria del cortante basal. Además, este sistema posee una mayor rigidez lateral de tal manera que absorbe de una mejor manera las fuerzas sísmicas. (Sagñay Novay & Villa Ramos, 2014)

1.4.2 UNIDADES MODULARES CON POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

Esta es una propuesta constructiva presentada por Syntheon, que se basa en la combinación de bloques perforados de poliestireno expandido con hormigón armado; brindando soluciones que permiten mejorar las condiciones de vida de sus habitantes, gracias a las bondades de los materiales y de los elementos rígidos que la constituyen. (Materials, 2015)



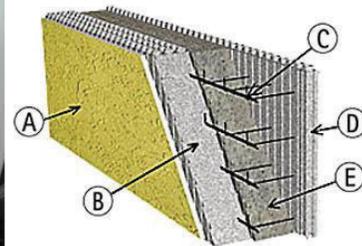
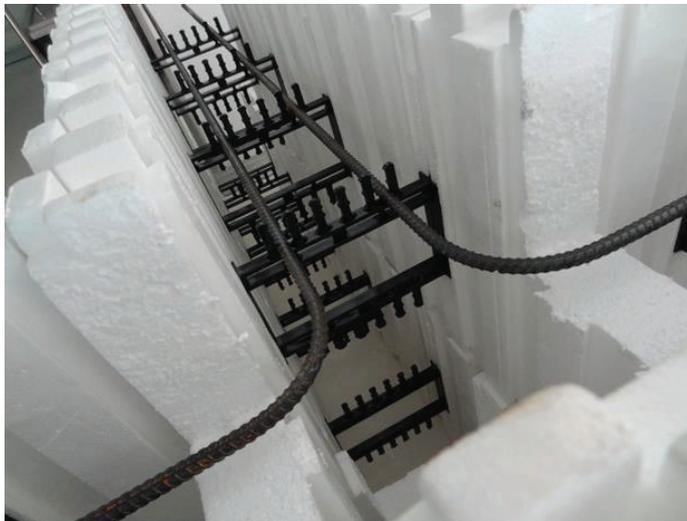
GRÁFICO 0.13: Bloques de poliestireno expandido. **Fuente:** Internet.

Esta empresa brinda también, soluciones haciendo uso del poliestireno expandido para los demás elementos estructurales que conforman la edificación tales como: losas de entrepiso, techos, entre otros.



GRÁFICO 0.14: Losas y techos con poliestireno expandido. **Fuente:** Syntheon.

1.4.3 MUROS CON MÓDULOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO



Detalle de los componentes del muro:
 A- Acabado exterior.
 B- Elemento de aislamiento exterior de poliestireno expandido.
 C- Armado.
 D- Elemento de aislamiento interior de poliestireno expandido.
 E- Hormigón.

GRÁFICO 0.15: Muros de poliestireno expandido. **Fuente:** Tectónica-online.

Euromac 2 es un sistema constructivo que también hace uso del poliestireno expandido con un espesor de 25 cm, empleado en la construcción de muros o pilares como encofrado relleno de hormigón, que está basado en módulos construidos a base del polímero y con un recubrimiento mineral en sus caras, que permite dar agarre para colocar acabados. El sistema proporciona un gran aislamiento acústico y térmico, teniendo un coeficiente de conductividad muy bueno de 0.11 a 0.35 para muros con acabados en las dos caras, y 0.07 [W/m.°C] para unión de fachada con pared interior no aislada o con forjado. (Consigny, s.f.)

Este sistema consta de una amplia gama de piezas para solucionar cualquier requerimiento en muros rectos y curvos, pilares de varias medidas, cerramientos, aberturas en muros, dinteles, losas, etc. y que además es ligero y maleable ya que puede ser transportado y cortado fácilmente.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 CONSTRUCCIÓN EN MAMPOSTERÍA

Se define como aquella construcción conformada solo por mampostería, sin particularizar el material del q estén elaboradas, ni del tipo de pegante o artículo que sea utilizado para su adherencia. (San Bartolome, 1994)

2.2 MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

Es un sistema estructural conformado por mampostería, que ha sido diseñado técnicamente para que, en el transcurso de su vida útil, transmita las cargas actuantes a estos elementos y su vez a la cimentación de una forma adecuada. Su uso es recomendado especialmente para estructuras que posean una gran cantidad de paredes divisorias en su interior (hoteles, multifamiliares, etc.), ya que la resistencia de la estructura está ligada a la densidad de paredes que la constituyen. Sin embargo, este tipo de sistema también puede hacer uso de columnas, muros de hormigón armado u otros elementos estructurales para ayudar a transmitir la carga vertical al suelo; pero, el sistema constructivo predominante será el compuesto por la mampostería.

2.3 TIPOS DE MAMPOSTERÍA Y ESPECIFICACIONES

2.3.1 POR SU FUNCIÓN ESTRUCTURAL / SOLICITACIONES ACTUANTES

2.3.1.1 Muros de Mampostería No Portantes

Son aquellos tipos de muros los cuales están únicamente sujetos a cargas ortogonales a su plano principal tales como: viento, sísmica o de empuje. Su uso está ligado a implementarse como cercos, paredes, antepechos, etc. (San Bartolome, 1994)



GRÁFICO 0.1: Mampostería no portante, sujeta a carga lateral. **Fuente:** Internet.

2.3.1.2 Muros de Mampostería Portantes

Son muros conformados por mampostería, generalmente armados que cumplen una función netamente estructural. Están sujetas a cargas permanentes como las verticales, y eventualmente a cargas laterales o perpendiculares a su plano principal. (San Bartolome, 1994)



GRÁFICO 0.2: Esquema de mampostería portante, sujeta a carga vertical. **Fuente:** Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica

2.3.2 POR SU DISTRIBUCIÓN DEL REFUERZO

2.3.2.1 Muros No Reforzados o de Mampostería Simple

Son muros en donde el refuerzo es ausente o en caso de poseerlo, la cuantía de éstos son inferior a las reglamentarias para ser considerado armado o semi-armado. Su uso es recomendado para edificaciones de un solo nivel y suelos de buena calidad que garanticen un comportamiento elástico ante la demanda de carga sísmica; además, su comportamiento presenta una falla frágil ante asentamientos diferenciales o carga lateral por lo que su factor de seguridad en los diseños es el doble de una mampostería reforzada.



GRÁFICO 0.3: Esquema de mampostería simple sin refuerzo. **Fuente:** Internet

Uno de los aspectos más importantes a considerarse en el diseño de estructuras con este tipo de sistema constructivo es la consideración del espesor efectivo. Este espesor es la longitud considerada entre caras paralelas del muro, con la dirección de la carga vertical actuante, y esta debe ser considerada sin ningún tipo de acabado sobre ella, ya que la experiencia por sucesos anteriores nos enseña que tienden a desprenderse cuando están sujetos a cargas sísmicas.

Se recomienda que el espesor efectivo de la mampostería tenga una relación de $t=h/20$, debido a los problemas de pandeo por su esbeltez, que se puede presentar cuando fuerzas perpendiculares o verticales excéntricas al muro actúen sobre él. (San Bartolome, 1994)

Donde:

t = Espesor efectivo del muro

h = Altura de pandeo o altura de entrepiso del muro

t_1 = Espesor lateral de un bloque de mampostería con cavidades huecas en su interior para disminuir su peso

Hilada= Distancia comprendida entre el espesor de un mampuesto y el espesor del mortero o junta de unión

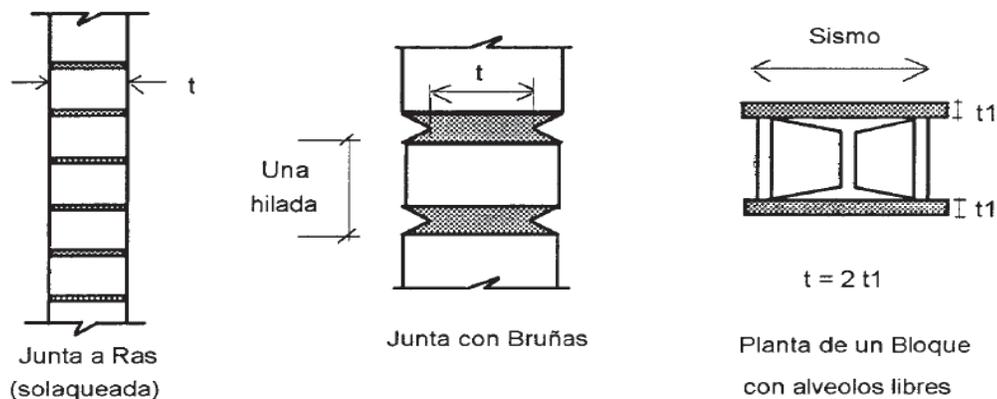


GRÁFICO 0.4: Espesor efectivo de un muro “t”.
Fuente: Construcción de Albañilería.

2.3.2.2 Muros Reforzados (Armados, Laminares y Confinados)

Según la Norma E-070 “peruana”, el espesor efectivo para cualquier mampostería reforzada corresponde a $t=h/26$; por otro lado, según H. Gallegos en su libro “Albañilería Estructural” recomienda un espesor efectivo de $t=h/20$, a fin de facilitar la colocación del refuerzo, evitar problemas de excentricidad y por la falta de verticalidad en su construcción. (San Bartolome, 1994)

2.3.2.2.1 Muros de Mampostería Armada

Son muros compuestos por mampostería hueca unida por mortero o geoméricamente trabadas, que en su interior alberga acero de refuerzo longitudinal y transversal embebido en hormigón de alta plasticidad para controlar las deformaciones producidas por esfuerzos de corte y de tensión.

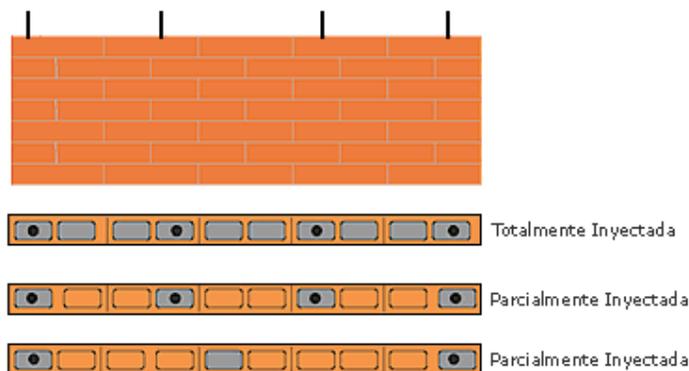


GRÁFICO 0.5: Representación de Mampostería Reforzada. **Fuente:** Construdata

Los requerimientos de diseño que deben cumplirse para un correcto y adecuado desempeño son:

- ✓ El recubrimiento de cualquier barra de acero de refuerzo debe ser mínimo 1.5 veces el diámetro de estas o en su defecto no menor a 10mm.
- ✓ El espesor de las juntas horizontales entre mampostería debe ser 6 mm mayor que el diámetro de refuerzo en ese sentido, y este se debe extender durante toda su longitud anclándose en sus extremos.
- ✓ El área que debe tener la cavidad de la mampostería que aloja el refuerzo vertical, debe ser equivalente al área albergada por una circunferencia de 4 veces el diámetro de la varilla de refuerzo, multiplicada por el número de varillas; y en su defecto no debe ser menor a 19.6 cm² por cada varilla.
- ✓ La cuantía correspondiente al refuerzo vertical debe ser 0.002; mientras el refuerzo horizontal deberá ser los 2/3 del vertical, es decir el 0.0013; pero en ninguno de los casos debe ser menor a 0.001. Además, el máximo espaciamiento entre hiladas de refuerzo en los dos sentidos no debe ser mayor a 90 cm o 6t “espesor efectivo”.

- ✓ Todos los bordes, intersecciones entre muros y cada 3m de libre recorrido, deben estar bien reforzados; además, si existiesen cavidades dentro de los muros mayores a 60 cm., éstas necesariamente también deberán tener un refuerzo correspondiente a $2\Phi 3/8$ " o su equivalente $1\Phi 1/2$ ".
- ✓ La longitud de traslape mínima debe ser 60Φ , y todo acero de refuerzo debe estar incrustado entre un grout o hormigón fluido de resistencia mínima $f'c = 240 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$.

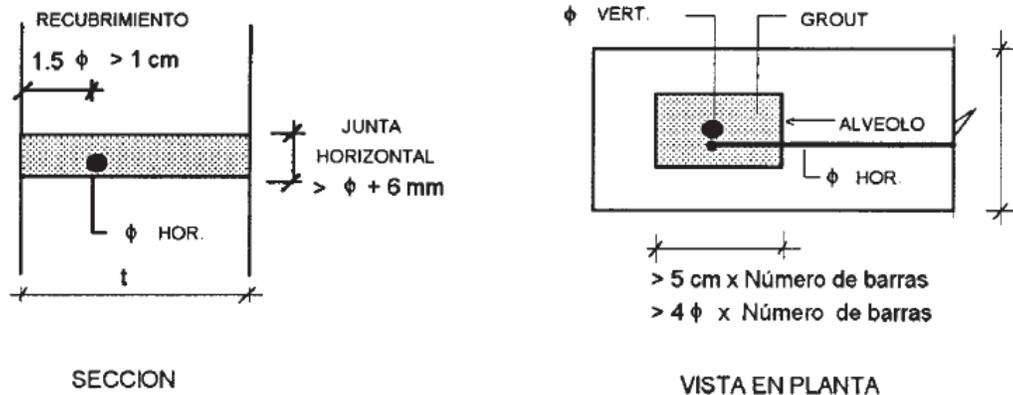


GRÁFICO 0.6: Recubrimiento y dimensiones mínimas de las cavidades en mampostería. **Fuente:** Construcción de Albañilería.

Debido a experiencia en ensayos de este tipo de sistema se recomienda que la cuantía mínima de acero tanto longitudinal como transversal no debe ser menos a 0.001 y todas las cavidades de la mampostería estén o no reforzadas deben ser llenadas de concreto o mortero fluido para evitar fallas frágiles por concentración de esfuerzos de compresión que se generan en los bloques vacíos.

El uso del mortero "grout" o hormigón líquido está netamente ligado al tamaño de las cavidades de la mampostería por donde este va a fluir y a la plasticidad "asentamiento" requerida, tratando en su mayoría de llenar todos los espacios para que de esta manera el refuerzo llegue a obtener la mayor adherencia y así garantizar un buen desempeño del sistema constructivo. (San Bartolome, 1994)

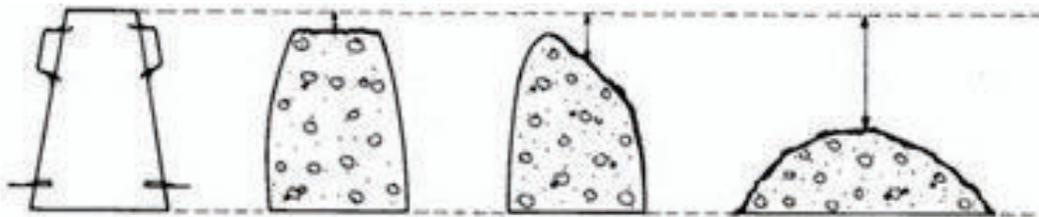


GRÁFICO 0.7: Asentamiento del concreto "plasticidad". **Fuente:** Blog del Ingeniero Civil

2.3.2.2.2 Muros laminares “Sándwich”

Este tipo de sistema constructivo está constituido por dos paneles de mampostería simple laterales, que en su interior confinan una capa de hormigón reforzado (de 1” a 4”) con varillas o malla de acero. Para garantizar su estabilidad durante el proceso de función y el empuje generado por el concreto, adicional se disponen conectores de muros de acero que a su vez ayudan a la disposición del acero horizontal de la placa.

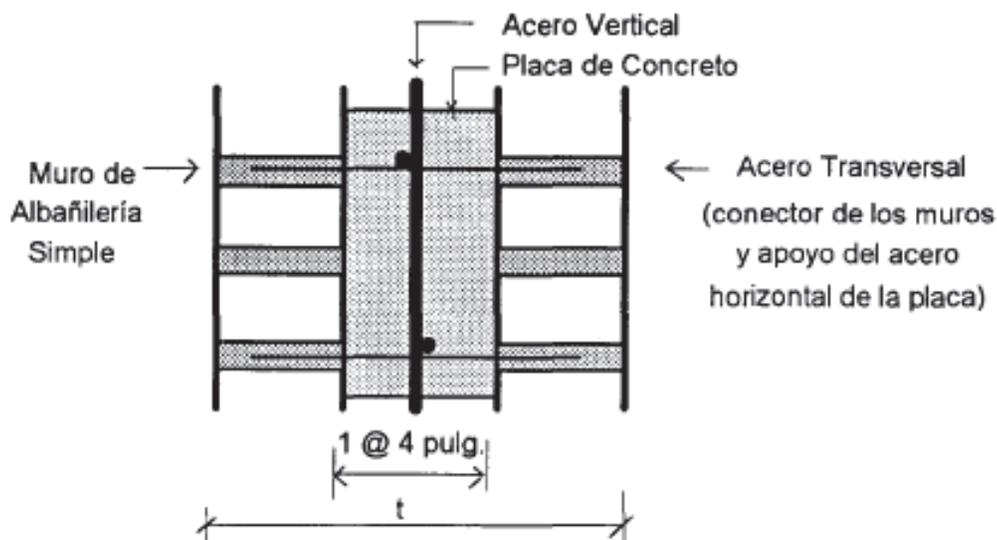


GRÁFICO 0.8: Sección transversal de muro laminar.

Fuente: Construcción de Albañilería.

Este sistema posee una gran integración entre la mampostería y la placa de hormigón debido a su adherencia y la disposición de los conectores de muros. Sin embargo, en ensayos realizados, registrados por el Ing. H. Gallegos, se pudo evidenciar que el sistema posee un buen comportamiento elástico, con una elevada rigidez lateral y resistencia al corte; aunque posterior al agrietamiento diagonal de la placa de concreto, su resistencia y rigidez decaen súbitamente “falla frágil”, consecuencia principalmente del desprendimiento y pérdida de adherencia entre capas. (San Bartolome, 1994)

2.3.2.2.3 Muros de Mampostería Confinada

Es un sistema constructivo, constituido por un panel de mampostería simple enmarcada posteriormente de su construcción, por columnas y una viga superior de hormigón armado. Las cuantías de refuerzo en los elementos que constituyen al pórtico son bajas, así también sus secciones son pequeñas, pero de manera evidente tienen que ser especialmente diseñadas con el fin que la mampostería después de haberse fragmentado siga trabajando; por otro lado, el pórtico funciona

como elementos de arriostre para la mampostería cuando fuerzas actúan especialmente perpendiculares al plano principal. La trabazón entre los elementos de confinamiento puede ser dentado o al ras, dependiendo de las exigencias a las que este sujeto el sistema, ya que los dos casos han demostrado tener un buen comportamiento estructural. Este sistema es el más común empleado en Latinoamérica en el campo de mampostería portante, ya que su empleo dota de ductilidad al sistema, da capacidad de deformación inelástica y eleva un poco la resistencia.

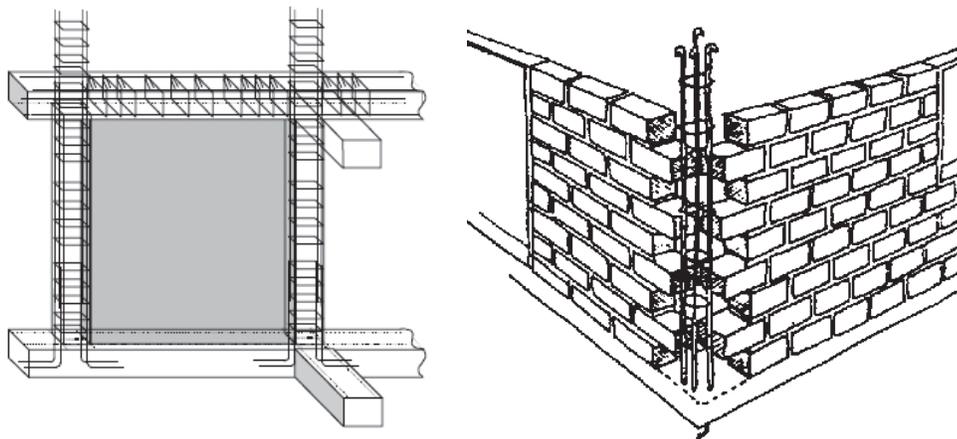


GRÁFICO 0.9: Mampostería Confinada. **Fuente:** Construcción y Diseño en VIS.

Cabe recalcar que su diferencia con el sistema constructivo “pórticos” está principalmente en su proceso constructivo, ya que la construcción de los elementos de confinamiento después de levantada la mampostería, añade una mayor adherencia y mejora la distribución de cargas, debido a una mejor integración del sistema.

Los requerimientos de diseño que deben cumplirse para un correcto y adecuado desempeño son:

- ✓ A causa del efecto sísmico cíclico “en ambas direcciones”, la mampostería debe estar enmarcada en sus cuatro extremos.

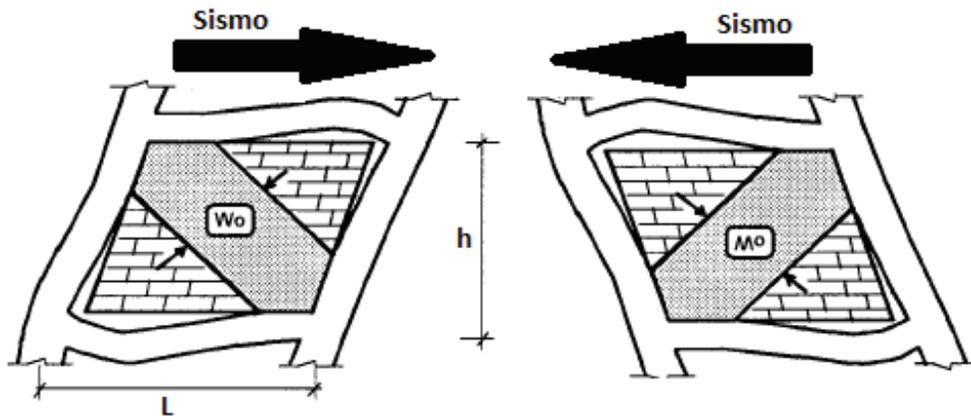


GRÁFICO 0.10: Carga cíclica sísmica. **Fuente:** Construcción en Albañilería.

- ✓ La distancia entre elementos confinantes para garantizar un adecuado comportamiento en todas las regiones de la mampostería debe: según la Norma mexicana la altura máxima de entrepiso debe ser 3m.; mientras que la distancia máxima entre columnas será dos veces la altura de entrepiso.

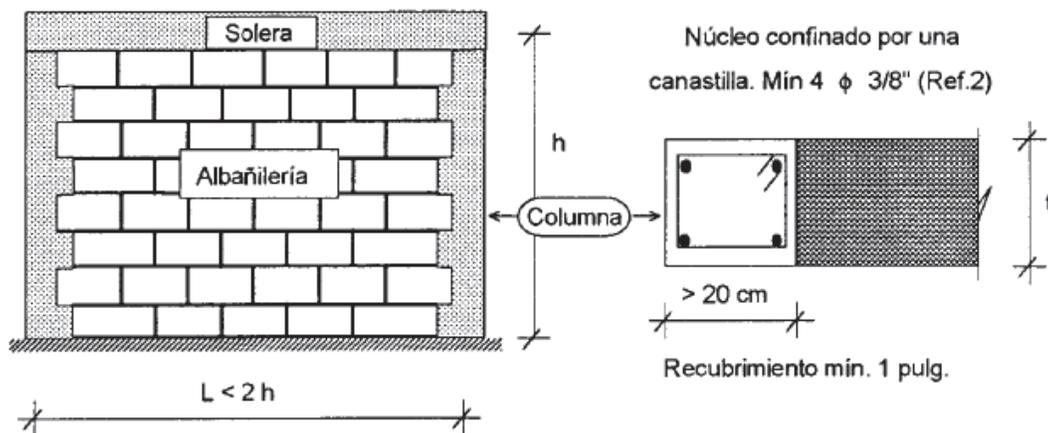


GRÁFICO 0.11: Requerimientos mínimos para un muro confinado.

Fuente: Construcción en Albañilería.

- ✓ El peralte de la viga deberá ser del espesor de la losa y tener un área suficiente para albergar en su interior el refuerzo correspondiente; ya que se ha demostrado que los esfuerzos provocados por carga vertical transmitidos a las columnas y mampostería son independientes de esa variable. Por otro lado, el área mínima de las columnas corresponde a:

$$A_c (\text{mín.}) = 20 t \text{ [cm}^2\text{]}$$

Donde: t = espesor efectivo del muro [cm]

- ✓ La resistencia mínima del concreto a emplearse en la construcción de los elementos confinantes debe ser $f'c = 175$ [Kg/cm²], y la cuantía del refuerzo mínima para cualquier elemento confinante viene dada por la necesidad de que en caso del fisuramiento del concreto por tracción, éste debe absorber los esfuerzos.

$$T = f'c * Ac = (0.1 f'c) * Ac \leq As * fy$$

$$\therefore As \text{ (mín.)} \geq 0.1 f'c * Ac / fy$$

- ✓ Tanto los anclajes como los ganchos tienen que estar diseñados a tracción “de todos los elementos del pórtico”, y deberán cumplir los siguientes requerimientos mínimos:
 - a) Longitud de traslape

$$L_T = 1.7 * 0.006 * D * fy \approx 45 * D$$

Donde:

D= diámetro de la varilla de acero ≤ 18 [mm]

fy= esfuerzo de fluencia del acero ≈ 4200 [Kg/cm²]

- b) Longitud de desarrollo del gancho

$$L_{dg} = 318 * D / f'c^{0.5} \geq 8 * D \text{ o } 15 \text{ [cm]}$$

- ✓ Se aconseja no poner una alta densidad de estribos en los nudos del pórtico, para evitar que la falla diagonal del muro se transmita a los elementos confinantes. Mientras que, según ensayos realizados en la Universidad Católica del Perú se ha llegado a la conclusión que con un confinamiento poco denso en los extremos y otro más holgado en el interior de los elementos confinantes se garantiza un buen desempeño del sistema, como indica la figura.

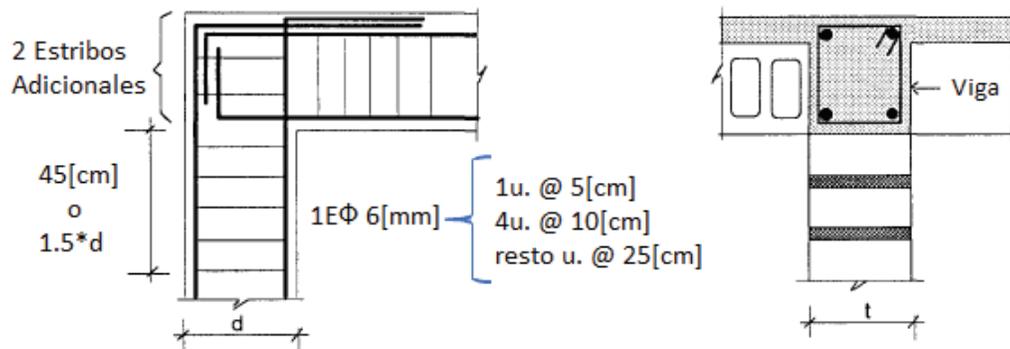


GRÁFICO 0.12: Disposición mínima de estribos.

Fuente: Construcción en Albañilería.

- ✓ Cuando el esfuerzo axial actuante sobre la mampostería sobrepasa el 5% de su capacidad a compresión " $f'm$ ", se debe realizar un reforzamiento horizontal con una cuantía mínima equivalente al 0.001. Esta recomendación se la hace debido a que cuando está sujeta, a esta o a una mayor carga vertical el comportamiento de la mampostería ante carga lateral se vuelve extremadamente frágil por la pérdida de su ductilidad.

El refuerzo horizontal debe ser continuo durante todo su trayecto y debe estar incrustado en las columnas con ganchos a 90° . Es importante destacar que, con todas las medidas tomadas, aún se debe garantizar que el esfuerzo en la mampostería jamás exceda del 15% de su capacidad a compresión.

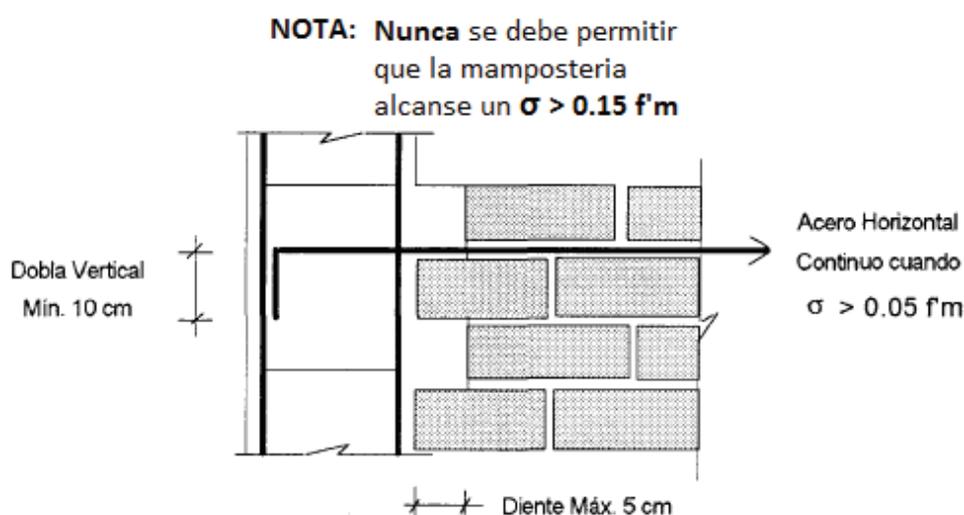


GRÁFICO 0.13: Detalle de refuerzo horizontal continuo en mampostería confinada. **Fuente:** Construcción en Albañilería.

Por otro lado, el llenado de los ductos en la mampostería ya sea con grout o hormigón líquido dependiendo del caso, debe hacerse de modo que el aglomerante y la unidad de mampostería se integren conjuntamente formando un solo cuerpo. Además, es concierne que se escatime que el acero embebido debe estar recto ya que así se asegura que trabaje correctamente resistiendo esfuerzos por corte-fricción y tracción.

Normalmente se acostumbra a realizar agujeros en la primera línea de mampostería donde se coloca una cama de arena para de esta forma poder sacar los residuos de mortero utilizado en las juntas ya que obstaculizarían el libre fluido del mortero o hormigón líquido por los ductos. Además, haciendo uso de estos mismos agujeros se puede eliminar la posibilidad de que el aire quede almacenado dentro de las cavidades de la mampostería y se formen vacíos.

2.4 DESCRIPCIÓN Y CONSIDERACIONES GENERALES PREVIAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANADA

Este es un innovador sistema constructivo, que utiliza materiales ya usados en la construcción pero con una nueva configuración, su creación en el diseño de los bloques se le adjudica al Arq. Rodrigo Rosas, quien gracias a sus años de experiencia profesional y con el ayuda y asesoramiento técnico del Ing. Félix Vaca, han sabido emplear y canalizar los conceptos del comportamiento estructural ante las diferentes demandas de carga para proponer esta configuración tan novedosa; sin embargo, el desarrollo de la investigación se nos ha encargado a los estudiantes quienes presentamos este trabajo como Proyecto de Titulación a la facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional.

En un inicio los bloques fueron esquematizados en poliestireno expandido para facilita su construcción y representación física, los cuales pretendían ser construidos o hechos de hormigón posteriormente. Pero, bajo la propuesta de nosotros como estudiantes y del apoyo del Ing. Félix Vaca se ha decidido implementar el poliestireno expandido como material constitutivo de los bloques debido a sus características en general, y a partir de estas consideraciones realizar un estudio, diseño y propuesta de todos los elementos y componentes estructurales que constituirán este nuevo sistema

Es así como, debido a sus características físicas y semejanzas estructurales con los muros de mampostería armada y los muros laminares “tipo sándwich”, hemos creído conveniente bautizar al sistema con el nombre de MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVINADA, al cual de aquí en adelante también nos referiremos con la abreviatura de (M.R.A.).

A continuación, presentamos la geometría y caracterización de los dos tipos bloques de poliestireno expandido que conforman el sistema:

2.4.1 BLOQUES DE M.R.A

2.4.1.1 Bloque “A”

El bloque tipo “A” consta de tres capas de poliestireno. Las dos capas exteriores son cuadrados de 30.0 [cm] de arista y un espesor de 4.5[cm]; por otro lado, en su interior se encuentran dos triángulos rectángulos de 19.5[cm] de arista, con un espesor de 6.0[cm] los cuales se encargarán de encajar con el bloque “B” gracias a sus desfaces de 2.0[cm] y a la vez darnos la configuración inclinada en los ductos.

Esquema y Características del Bloque A

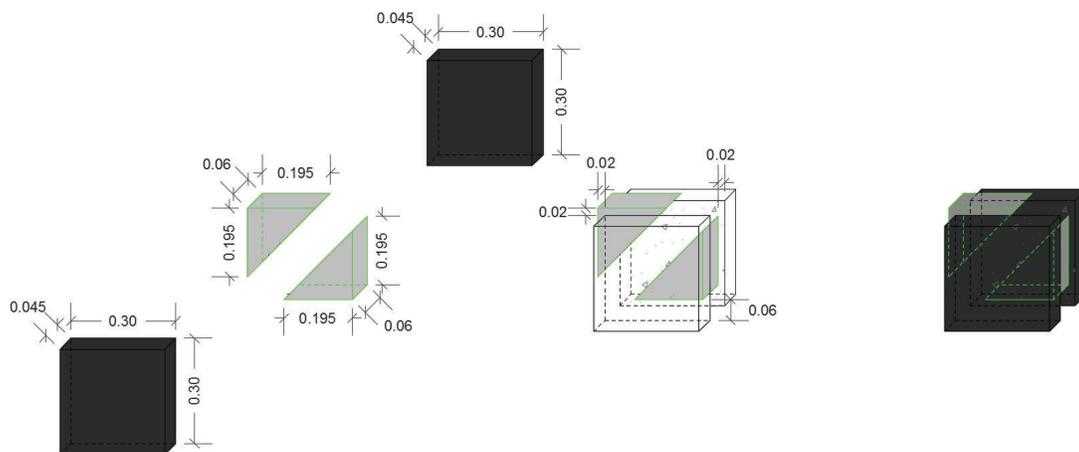


GRÁFICO 0.14: Bloque “A” de M.R.A. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

2.4.1.2 Bloque “B”

Al igual que el bloque “A”, el bloque “B” presenta las mismas características en cuanto a sus capas y dimensiones de estas. La principal y única diferencia que existe entre estos bloques está en la dirección de los triángulos y en sus desfases, esto para que tanto el bloque “A” como el “B”, encajen a manera de legos y a la vez formen los ductos inclinados en los dos sentidos simultáneamente.

Esquema y Características del Bloque B

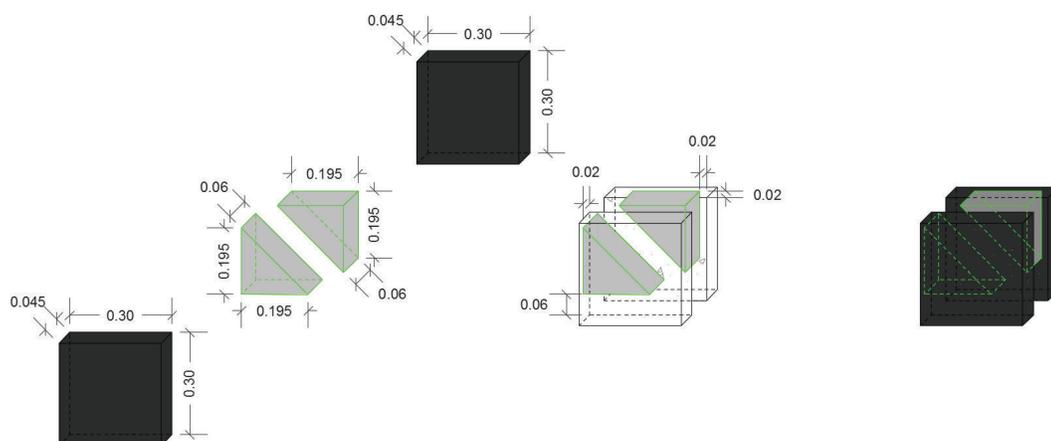


GRÁFICO 0.15: Bloque “B” de M.R.A. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

2.4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO M.R.A.

2.4.2.1 VENTAJAS

- ✓ Es muy fácil su transporte debido a su ligereza y al tamaño de las unidades de bloques. Ver “Gráfico 2.16”
- ✓ Fácil montaje ya que solo existen dos tipos de bloques (A y B), que a manera de legos se van incrustando para formar las diagonales en los dos sentidos simultáneamente. Para asegurar el trabado, se puede disponer de un pegamento especial, que es análogo al mortero de arena y cemento utilizado en la mampostería de bloque de concreto.
- ✓ Debido a su bajo peso, pronosticamos una reducción significativa del peso en comparación con un muro construido tradicionalmente de igual dimensiones.
- ✓ A consecuencia de su bajo peso y facilidad de montaje se espera acelerar los procesos constructivos mejorando los rendimientos de la mano de obra.
- ✓ Una de las cualidades reseñables es su resistencia a la humedad, que constituye un gran problema principalmente en las plantas “a nivel del suelo”, con lo que quedaría resuelto este problema.
- ✓ Gran capacidad de absorber impactos por su capacidad de amortiguamiento.
- ✓ Necesita de un pequeño porcentaje de mano de obra especializada, ya que gran parte del proceso constructivo se lo puede realizar con gente sin ninguna experiencia en el ámbito de la construcción.
- ✓ Gracias a las dimensiones y disposición de los bloques se posee libertad de diseño arquitectónico, siempre y cuando se cumpla con las recomendaciones de una configuración y un diseño sismorresistente.
- ✓ Aislador térmico y acústico en edificaciones y obras civiles, debido a la bondad de sus cualidades.
- ✓ Se estima disminución de costos constructivos correspondientes a la parte estructural, ya que en acabados no habría una gran diferencia con el sistema convencional.
- ✓ Facilita la colocación de las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias que pueden ser dispuestas previamente a la colocación de un acabado estético. Además, su reparación se facilita ya que estarán colocadas en la zona correspondiente solamente al poliestireno expandido “EPS”, evitando el proceso dificultoso de picado y resane.
- ✓ Es higiénico, ya que no constituye un sustrato nutritivo para ningún microorganismo, es decir que: no se pudre, no se enmohece, ni se descompone.
- ✓ Facilidad, rapidez y bajos costos en producción de este tipo de mampostería, ya que está constituido por perlas de poliestireno que contiene un agente expansor (habitualmente pentano), que en presencia de energía térmica se

adaptan fácilmente al molde que lo contienen, obteniendo las formas diseñadas de los bloques.



GRÁFICO 0.16: Transporte de bloques de M.R.A.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

2.4.2.2 DESVENTAJAS

- ✓ El humo producto de su combustión es tóxico, si el polímero no es ignífugo.
- ✓ No posee un acabado rígido ni estético de la mampostería, por lo cual un recubrimiento es necesario.
- ✓ Se estima facilidad de desprendimiento del “EPS”, por consiguiente, se podría relacionar con un alto nivel de insegura frente a robos.
- ✓ Para el uso del sistema constructivo se necesita un encofrado durante el proceso de fundición, lo que eleva el presupuesto del uso del sistema.
- ✓ Si bien es cierto el sistema constructivo nos da libertad para poder realizar muros de varias dimensiones, pero estas se ven limitadas a que sean múltiplos de 60.0[cm] para que exista intersección en las esquinas entre los nervios y los elementos confinantes.

2.5 ALCANCE Y OBJETIVOS

2.5.1 ALCANCE

El presente estudio estuvo encaminado a la realización de una serie diseños y ensayos que fueron parte del sistema constructivo que lo hemos definido como

Mampostería Reforzada Alivianada. Partiremos por el planteamiento de un hormigón que cumpla con las exigencias necesarias para ser dispuesto dentro de un muro de dimensiones generales en nuestro medio, a escala real. Por otro lado, propondremos una cuantía mínima de acero de refuerzo necesario que será dispuesto en sus intersticios, que junto al hormigón de relleno darán la resistencia al sistema constructivo.

Siguiendo nuestra planificación elaboraremos seis muretes, tres de los cuales serán ensayados a compresión diagonal y los otros tres restantes a compresión simple. De los resultados aquí obtenidos, nos valdremos para junto a una modelación en un programa computacional de estructuras, proceder al diseño y estimación de la fuerza y deformación máximas que podría soportar el muro a escala natural ante carga lateral; que posteriormente fue construido y ensayado en las instalaciones del Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional.

Después de la culminación de una serie de ensayos, analizamos los resultados obtenidos para obtener parámetros de comportamiento estructural básicos, y realizaremos un análisis comparativo de costos en la construcción entre un muro construido convencionalmente y otro con el nuevo sistema constructivo propuesto, para inquirir en la factibilidad técnica y económica de su uso, y así haciendo uso del sistema constructivo M.R.A proponer un diseño arquitectónico de una vivienda de interés social “2 pisos” que cumpla con todas las demandas y exigencias, para brindar bienestar a sus ocupantes y dotar de un buen comportamiento sismorresistente a la edificación.

2.5.2 OBJETIVOS

2.5.2.1 Objetivo General

Evaluar la factibilidad técnica y económica del sistema MRA (Mampostería Reforzada Alivianada), usando los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción y bajo la filosofía de diseño sismo resistente, para vivienda de interés social (dos pisos) en el Ecuador.

2.5.2.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar las características físicas y estructurales del sistema MRA y compararlas con el sistema de construcción habitual “pórtico”.
- b) Analizar el comportamiento de una estructura construida con el sistema MRA ante carga vertical y lateral, bajo los criterios de la filosofía de diseño sismo resistente.
- c) Presentar las ventajas, desventajas y costos constructivos de la implementación del sistema MRA con respecto al uso del pórtico.

- d) Establecer una configuración arquitectónica que cumpla con las demandas y requerimientos según la Norma Ecuatoriana de la Construcción y la filosofía de diseño sismorresistente, para un buen desempeño del sistema constructivo.
- e) Dar recomendaciones técnicas y constructivas para el mejoramiento y uso del sistema M.R.A. como una opción para dotar de vivienda segura y de interés social en nuestro país.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL HORMIGÓN DE ALTA PLASTICIDAD

3.1 ENSAYOS PREVIOS DE LABORATORIO DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MICRO-HORMIGÓN

Iniciando el proceso de esta investigación se procedió a comprar un lote de cada uno de los pétreos que conforman la elaboración de un hormigón (ripio y arena), de las cuales se obtuvieron mediante ensayos de laboratorio (que tuvieron lugar en el Laboratorio de Ensayos De Materiales, Suelos y Rocas de la Escuela Politécnica Nacional) sus características, para de este modo garantizar la calidad y tener parámetros importantes de los materiales para el diseño del micro-hormigón.

A continuación, se explica el proceso de cada uno de los ensayos realizados en los agregados, para obtener sus características:

3.1.1 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

3.1.1.1 Agregado Fino (Arena / Polvo de Piedra)

- ✓ Se lava aproximadamente 1.0 [Kg] del agregado hasta que el agua que lo contiene sea casi transparente, y dejarlo saturar por 24 horas.
- ✓ Escurrir el agua en exceso del recipiente que contiene el agregado, y ponerlo a secar en el horno eléctrico a una temperatura que oscila entre los $\pm 110^{\circ}\text{C}$., hasta que la superficie del agregado pierda brillo o no deje huella de humedad en el fondo del recipiente.
- ✓ Posteriormente llenar el troncocónico con el agregado y apisonar con el pistilo 25 veces desde una altura aproximada de ± 3.5 [cm], enrazar con la superficie del cono y limpiar los residuos de su alrededor. Levantar el cono y visualizar que las fuerzas de cohesión entre partículas se pierden al desmoronarse el cono, logrando la condición SSS.
- ✓ Pesar 500 [gr] de este agregado he introducirlos en el picnómetro, llenar con unos 250 [ml] de agua para poder agitar y permitir que el aire salga del espacio de vacíos con ayuda de una bomba. Llenar con agua hasta la marca de aforo con ayuda de una pipeta, pesar y verter todo su contenido en un recipiente para secarlo en el horno, ya que luego deberá ser pesado nuevamente.
- ✓ Adicional se necesita pesar el picnómetro lleno de agua y tomar su temperatura, para con ayuda de la curva de calibración calcular su peso.

ANEXO No. 1

3.1.1.2 Agregado Grueso (Ripio)

- ✓ Lavar aproximadamente 2.5 [Kg] del agregado hasta que el agua que lo contiene sea transparente y dejarlo saturar por 24 horas.
- ✓ Escurrir el agua en exceso del recipiente que contiene el agregado, y ponerlo a secar en el horno eléctrico a una temperatura que oscila entre los $\pm 110^{\circ}\text{C}$., hasta que la superficie del agregado pierda brillo superficial
- ✓ Encerar la balanza, y luego pesar la canastilla sumergida.
- ✓ Pesar 2 [Kg] de agregado para luego ser colocados dentro de la canastilla sumergida, y así volverlos a pesar.
- ✓ Poner todo el contenido de la canastilla en un recipiente y llevarlo al horno eléctrico hasta que este completamente seco, y pesar el agregado por última vez.

ANEXO No. 2

3.1.2 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

Debido a que el mismo lote de áridos se utilizarán en todos los elementos y procesos constructivos, es necesario separarlos en dos grupos “solamente el agregado grueso”, ya que su granulometría debe estar en función del mínimo tamaño en donde se va a disponer el hormigón y de la menor distancia libre entre las varillas de refuerzo.

Es así como, en particular para el hormigón de relleno de la mampostería; este debe ser de un tamaño máximo de $\frac{1}{2}$ ” “correspondiente al agregado grueso”, de acuerdo con las exigencias mencionadas en el libro Estudio del Hormigón del Ing. G. Luna. Este valor se lo ha obtenido ya que se recomienda que el tamaño máximo del agregado grueso debe ser a lo mucho $\frac{1}{5}$ de la longitud de la menor dimensión por donde va a incurrir el hormigón. Además, el máximo tamaño del ripio correspondiente a la menor distancia entre varillas de refuerzo debe ser $\frac{3}{4}$ la menor distancia, lo que equivale a $\frac{3}{4}$ ”. (Luna Hermosa, 2014)

Es así que, descartando la segunda consideración por el limitante del área de los ductos se tiene:

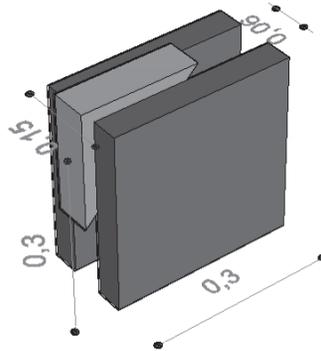


GRÁFICO 0.1: Vista en perspectiva del bloque “A”. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Entonces, siendo la menor distancia lineal de los conductos a ser llenado 6.0 [cm], se obtuvo que el tamaño máximo de agregado a ser utilizado corresponde a:

$$6 \text{ [cm]} * 1/5 = 1.2 \text{ [cm]} \approx 1/2''$$



GRÁFICO 0.2: Diámetro máximo de agregado grueso. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

3.1.2.1 Agregado Fino (Arena / Polvo de Piedra)

- ✓ Tomar 350 [gr] de agregado.
- ✓ Disponer los tamices secuencialmente desde la malla más pequeña a la más grande, desde abajo hacia arriba y colocar sobre la máquina agitadora por el lapso de 3:00 [min] con el agregado dentro.
- ✓ Pesar las cantidades retenidas en cada tamiz.

ANEXO No. 3

3.1.2.2 Agregado Grueso (Ripio)

- ✓ Tomar 10500.0 [gr] de agregado.
- ✓ Visualizar el agregado de máximo tamaño y hacerlo pasar por la abertura de un tamiz para conocer su tamaño máximo.
- ✓ El tamaño máximo nominal corresponderá al subsiguiente inferior del tamaño máximo.

- ✓ De acuerdo con el tamaño máximo nominal se escogerá los tamices / bandejas que vamos a utilizar, estos deberán ser dispuestos de acuerdo con sus aberturas de mayor a menor, de arriba hacia abajo.
- ✓ Verter el agredo por la parte superior y encender la maquina tamizadora por el lapso de 3:00 [min]. Una vez finalizado, medir el peso de agregado retenido en cada tamiz.

Granulometría de agregado grueso tamizado:

ANEXO No. 4

Granulometría de agregado grueso sin tamizar:

ANEXO No. 5

3.1.3 DENSIDAD APARENTE DE LOS AGREGADOS

3.1.3.1 Agregado Fino (Arena / Polvo de Piedra)

3.1.3.1.1 *Suelta*

- ✓ Pesar y tomar las medidas de un molde para sacar su volumen.
- ✓ Llenar el molde con agregado, tratando de no producir fuertes impactos ni vibraciones entre los agregados; enrazando y proceder a pesar todo el conjunto.

ANEXO No. 6

3.1.3.1.2 *Compacta*

- ✓ Pesar y tomar las medidas de un molde para sacar su volumen.
- ✓ Llenar el molde con agregado en tres capas iguales. Cada una de estas capas debió ser compactada con ayuda de la barra de compactación con 25 golpes a una altura aproximada de ± 2.5 [cm]; enrazar con el borde y proceder a pesar todo el conjunto.

ANEXO No. 6

3.1.3.2 Agregado Grueso (Ripio)

3.1.3.2.1 *Suelta*

- ✓ De acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado, se selecciona el tamaño del molde en la Norma INEN 0858 "Tabla 3.1". Para el caso, se seleccionó el molde de volumen 9.3 [lt].

CAPACIDAD DE LOS MOLDES	
Tamaño máximo nominal del árido [mm]	Capacidad nominal del molde* (m ³) [litros]
12.5	(0.0028) [2.8]
25	(0.0093) [9.3]
37.5	(0.014) [14]
75	(0.028) [28]
100	(0.070) [70]
125	(0.100) [100]

* Capacidad del molde a utilizar para ensayar áridos de un tamaño máximo nominal igual o menor que el correspondiente en la lista. El volumen real del molde debe ser de al menos el 95% del volumen nominal indicado.

TABLA 0.1: Capacidad de los moldes para ensayo de densidad del árido grueso.
Fuente: INEN.

- ✓ Pesar y tomar las medidas del molde para sacar su volumen.
- ✓ Llenar el molde con agregado, tratando de no producir fuertes impactos ni vibraciones entre los agregados; enrazar con el borde y proceder a pesar todo el conjunto.

ANEXO No. 7

3.1.3.2.2 *Compacta*

- ✓ De acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado, se seleccionó el tamaño del molde en la Norma INEN 0858 "Tabla 1". Para el caso, se seleccionó el molde de volumen 9.3 [lt].
- ✓ Pesar y tomar las medidas del molde para sacar su volumen.
- ✓ Llenar el molde con agregado en tres capas iguales. Cada una de estas capas deberá ser compactada con ayuda de la barra de compactación con 25 golpes a una altura aproximada de ± 2.5 [cm]; enrazar con el borde y proceder a pesar todo el conjunto.

ANEXO No. 7

3.1.4 CONTENIDO ORGÁNICO EN LA ARENA

- ✓ Conocido como el ensayo de colorimetría. Este ensayo consiste en agregar alrededor de 100 [gr] de agregado fino en una solución de hidróxido de sodio, según la norma INEN 858; agitando y dejándolo reposar por el lapso de 24 horas.
- ✓ Una vez cumplido el tiempo estipulado anteriormente, comparar el tinte de la solución con una regleta de colores denominada Escala de Gardner. Esta escala consta de 5 colores, partiendo desde un claro hasta otros cada vez

más opacos; el máximo tono que puede tomar la solución para que el agregado sea aceptable y poder ser utilizado como componente del hormigón, debe ser el tercero.

ANEXO No. 8

3.1.5 DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

- ✓ Introducir gasolina dentro del frasco de Le Chatelier hasta la marca del cuello entre 0 y 1[ml]; introducir el conjunto en agua a 23°C por el lapso de un minuto para posteriormente pesar y tomar la medida de su volumen.
- ✓ Por otro lado, pesar 64 [gr] de cemento portland e introducirlo en el frasco con ayuda de un embudo; dejar el conjunto dentro de agua a 23°C por el lapso de 1 minuto para posteriormente pesarlo y tomar la medida de su volumen.

ANEXO No. 9

3.2 DISEÑO DEL HORMIGÓN SEGÚN LAS TABLAS DEL ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTION)

Existe una variedad de métodos para el diseño del hormigón, que están en función de las características de sus componentes, que sirve para determinar la cantidad de cada uno de ellos; y que buscan una resistencia, consistencia y durabilidad según uso en la construcción.

Es así como, para este diseño se utilizó el método empírico del ACI (American Concrete Institution) ya que se basa en la experiencia y es el más difundido en nuestro medio; sin embargo, esto no es sino solo una relación de dosificaciones que nos permitieron acercarnos a la dosificación óptima que debió ser probada mediante ensayos destructivos de cilindros de hormigón.

Cuando se requiera el uso de aditivos, se debe tener en cuenta que mientras los volúmenes y características de los materiales que conforman el hormigón y la relación agua/cemento se mantengan constantes, la resistencia final no tiene por qué verse afectada. En consecuencia, si llegamos a cambiar de agregados o tipo de cemento, las características se verán afectadas por lo que así se mantengan las cantidades en volúmenes no se conseguirá el mismo resultado.

En ocasiones, la necesidad de introducir aire en el hormigón para mejorar su trabajabilidad, resistencia a la intemperie o garantizar un llenado de todas las cavidades es necesaria. A fin de cumplir con estos propósitos se puede utilizar cementos introductores de aire o aditivos adecuados que deberán ser correctamente dosificados, ya que en mezclas ricas “más de 353.25 [Kg]” de

cemento por m³ de hormigón tienden a disminuir la resistencia y en mezclas pobres “menos de 265.5 [Kg]” de cemento por m³ de hormigón tienden a aumentar.

Para la selección de las proporciones de la mezcla de hormigón se debe procurar que su consistencia sea lo más consistente posible, ya que así se logra alcanzar la máxima resistencia, mayor durabilidad y otras propiedades beneficiosas; pero ante todo se debe garantizar que su trabajabilidad sea la apropiada para el tipo de obra que se vaya a construir. En cambio, si un hormigón es muy húmedo no se puede colocarlo en obra sin segregación y en consecuencia su resistencia será pobre, poco durable y su densidad muy porosa. (Luna Hermosa, 2014)

Para el diseño de un buen hormigón, se debe tender a que este cumpla con las siguientes especificaciones:

- ✓ Deberá ser una masa homogénea, de consistencia rígida la cual podrá ser puesta a prueba con el Cono de Abrams procurando el menor asentamiento posible.
- ✓ Tratar de economizar en la dosificación de la mezcla, tratando de utilizar el mayor tamaño del agregado, pero sin tener de lado las consideraciones para una buena trabajabilidad según su uso.
- ✓ Durabilidad necesaria para hacer frente a los agentes externos e intemperie a la que estará expuesto.
- ✓ Alcance la resistencia requerida según su diseño y el uso que se le va a dar.

A continuación, se describe paso a paso según las tablas de diseño de hormigón del ACI y las consideraciones tomadas, el procedimiento seguido para el diseño del micro-hormigón de alta plasticidad:

3.2.1 ASENTAMIENTO Y TAMAÑO DE LOS AGREGADOS

Como se mencionó anteriormente el asentamiento y el tamaño máximo de los agregados deberán estar en función de un buen desempeño del hormigón para el tipo de estructura a construirse. Se siguen las recomendaciones consideradas en el punto **2.6.1.2** y con la ayuda de las Tablas No.1 y No.2 se define el asentamiento y el tamaño del agregado grueso según los requerimientos. Cabe mencionar que, si hay la necesidad de utilizar agregados más finos, por condiciones de disponibilidad se lo puede hacer “aunque esto signifique mayor requerimiento de cemento”, siempre y cuando se cumpla con la resistencia solicitada. (Luna Hermosa, 2014)

TABLA No. 1		
ASENTAMIENTO RECOMENDADO PARA VARIOS TIPOS DE CONTRUCCIÓN		
TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	ASENTAMIENTOS* [cm]	
	MÁXIMO	MÍNIMO
Fundaciones: Paredes y Zapatas reforzadas	12.7	5.0
Zapatas simples, Caissons y Muros de subestructura	10.0	2.5
Losas, Vigas y Paredes reforzadas	15.0	7.6
Columnas de edificaciones	15.0	7.6
Pavimentos y veredas	7.6	5.0
Construcción	7.6	2.5

* Cuando se empleen vibradores de alta frecuencia en la obra, los valores dados deberían reducirse en alrededor de un tercio.

TABLA 0.2: Asentamiento recomendado para varios tipos de construcción.

Fuente: Estudio del Hormigón.

Entonces, se siguen las recomendaciones estipuladas en el folleto Estructuras Paredes Portantes y Hormigón Armado del Ing. Félix Vaca; el hormigón plástico de relleno deberá tener una trabajabilidad mínima de 11 [pulg], lo que equivale a 27.5 [cm]. Por lo tanto, se hace uso de la Tabla No.1 del ACI para seleccionar el máximo valor de asentamiento correspondiente a Paredes reforzadas para el diseño, siendo este valor 15 [cm].

Seguidamente se procede con la selección del tamaño máximo de los agregados, de donde según la dimensión mínima de la sección a ser llenada y el tipo de construcción, se tiene que se puede utilizar un tamaño máximo de entre $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ "; lo que corresponde al valor que obtenido con anterioridad en el inciso 2.6.1.2, es decir $\frac{1}{2}$ ".

TABLA No. 2				
TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADOS RECOMENDADO PARA VARIAS OBRAS				
DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN, [cm] (pulg)	TIPOS DE CONSTRUCCIÓN			
	Paredes, Vigas y Columnas	Muros sin refuerzo	Losas fuertemente armadas	Losas ligeramente armadas o sin refuerzo
[6.4 a 12.7] (2.5 a 5)	[1.27 a 1.9] (1/2 a 3/4)	[1.9] (3/4)	[1.9 a 2.5] (3/4 a 1)	[1.9 a 3.8] (3/4 a 1 1/2)
[15.2 a 28.0] (6 a 11)	[1.9 a 3.8] (3/4 a 1 1/2)	[3.8] (1 1/2)	[3.8] (1 1/2)	[3.8 a 7.6] (1 1/2 a 3)
[30.5 a 73.7] (12 a 29)	[3.8 a 7.6] (1 1/2 a 3)	[7.6] (3)	[3.8 7.6] (1 1/2 a 3)	[7.6] (3)
[76.2 o más] (30 o más)	[3.8 a 7.6] (1 1/2 a 3)	[15.2] (6)	[3.8 a 7.6] (1 1/2 a 3)	[7.6 a 15.2] (3 a 6)

TABLA 0.3: Tamaño máximo de agregados recomendado para varias obras.

Fuente: Estudio del Hormigón.

3.2.2 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA

La cantidad de agua es la necesaria para lograr una mezcla de la consistencia deseada; pero esta su a su vez depende de las características de los elementos

componentes del hormigón tales como: tamaño máximo de las partículas, de su forma, gradación de los agregados y la cantidad de cemento.

Según el tamaño nominal de cada uno de nuestros agregados, se puede referenciar en las Tablas No.3 y No.4 para ver si poseen una buena gradación, ya que esta influenciará en el resultado final del diseño del micro-hormigón.

TABLA No. 3									
EXIGENCIAS DE GRADUACIÓN PARA AGREGADOS FINOS									
TAMAÑO NOMINAL [pulg]	[mm]	PORCENTAJES EN PESO, QUE PASA POR CADA TAMIZ							
		3/8	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200
3/8 a No.200		100	95 a 100	80 a 100	50 a 85	25 a 60	10 a 30	2 a 10	0 a 5
		9.50	4.76	2.36	1.19	0.60	0.30	0.15	0.075

TABLA 0.4: Exigencias de graduación para agregado fino.

Fuente: Estudio del Hormigón.

Según el Anexo No. 3, se observa que en el ensayo correspondiente a la granulometría del agregado fino se tiene valores de porcentajes que pasan, que al ser comparados con los de la "Tabla No. 3" se distancian un poco en algunos casos, pero no existe una gran diferencia por lo que se da como apta la arena como elemento constitutivo del hormigón.

En el siguiente cuadro, se calcula la desviación que existe en cada uno de los tamices:

MALLA No. [#]	ABERTURA [mm]	PORCENTAJE QUE PASA "Exigido" [%]	PORCENTAJE QUE PASA "Ensayo" [%]	Cumple [Si, No]	Desviación [%]
3/8	9.5	100	100.00	Si	0.00
4	4.76	95 a 100	94.57	No	0.45
8	2.36	80 a 100	73.91	No	7.61
16	1.19	50 a 85	54.35	Si	0.00
30	0.6	25 a 60	39.59	Si	0.00
50	0.3	10 a 30	26.89	Si	0.00
100	0.15	2 a 10	17.50	No	74.96
BANDEJA	0	0 a 5	0.00	Si	0.00

TABLA 0.5: Comparación de granulometría recomendada del agregado fino.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Asimismo, se hace uso de la "Tabla No. 4" para comparar el error de graduación existente en el agregado grueso "Anexo No. 5", para ver si este, es apto o no como elemento compositor del micro-hormigón.

TABLA No. 4														
EXIGENCIAS DE GRADUACIÓN PARA AGREGADOS GRUESOS														
TAMAÑO No.	TAMAÑO NOMINAL [pulg] [mm]	PORCENTAJES EN PESO, QUE PASA POR CADA TAMIZ												
		4	3 1/2	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	No. 4	No. 8	No. 16
		100.00	87.50	75.00	63.00	50.00	38.10	25.00	19.00	12.50	9.50	4.76	2.30	1.19
1	3 1/2 a 1 1/2	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
2	2 1/2 a 1 1/2	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
3	2 a 1	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
4	1 1/2 a 3/4	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 35	0 a 15	---	---	---	---	---
7	1/2 a No. 4	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---
8	3/8 a No. 8	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
357	2 a No. 4	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---
467	1 1/2 a No. 4	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---
57	1 a No. 4	---	---	---	---	---	---	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---
67	3/4 a No. 4	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---

TABLA 0.6: Exigencias de graduación para agregado grueso.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Entonces se tiene que, al igual que el agregado fino, existen variaciones en cuanto a las exigencias de granulometría, pero debido a que serán condiciones que se presentarán en campo, se aceptó para el diseño.

MALLA No. [#]	ABERTURA [mm]	PORCENTAJE QUE PASA "Exigido" [%]	PORCENTAJE QUE PASA "Ensayo" [%]	Cumple [Si, No]	Desviación [%]
3/4	25.00	100	100.00	Si	0.00
1/2	19.00	90 a 100	98.57	Si	0.00
3/8	12.50	40 a 70	74.08	No	5.84
4	9.50	0 a 15	26.54	No	76.93
8	4.76	0 a 5	9.16	No	83.16
BANDEJA	0.00	0	0.00	Si	0.00

TABLA 0.7: Comparación de granulometría recomendada del agregado grueso.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Seguidamente se selecciona la cantidad de agua por metro cúbico de hormigón, para lo cual se hace uso de la "Tabla No.5" que fue realizada por estimaciones preliminares de dosificaciones, siempre y cuando los agregados tengan una buena forma "piedras trituradas angulosas" y granulometría.

TABLA No. 5								
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO [L/M ³], REQUERIDA EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO UTILIZADO EN OBRA, PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS								
ASENTAMIENTO [cm] (pulg)	TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO, [cm] (pulg)							
	[0.95] (3/8)	[1.27] (1/2)	[1.9] (3/4)	[2.54] (1)	[3.81] (1 1/2)	[5.08] (1 1/2)	[7.62] (3)	[15.24] (6)
HORMIGÓN SIN INCLUSIÓN DE AIRE								
[2.5 a 5.1] (1 a 2)	208.0	198.0	183.0	178.0	163.0	153.0	144.0	124.0
[7.6 a 10.2] (3 a 4)	228.0	218.0	203.0	193.0	178.0	168.0	158.0	139.0
[15.2 o 17.8] (6 o 7)	243.0	228.0	213.0	203.0	188.0	178.0	168.0	149.0
Porcentaje de aire atrapado [%]	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE AIRE								
[2.5 a 5.1] (1 a 2)	183.0	178.0	163.0	153.0	144.0	134.0	124.0	109.0
[7.6 a 10.2] (3 a 4)	203.0	193.0	178.0	168.0	158.0	149.0	139.0	119.0
[15.2 o 17.8] (6 o 7)	213.0	203.0	188.0	178.0	168.0	158.0	149.0	129.0
Porcentaje de aire atrapado [%]	8.0	7.0	6.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0

TABLA 0.8: Cantidad de agua por metro cúbico de mezcla de hormigón.

Fuente: Estudio del Hormigón.

Debido a que se utilizó un aditivo expansor “EPS EXPANDHOR” para reducir la posibilidad de que se formen vacíos dentro de la mampostería, el hormigón tuvo inclusión de aire, y correlacionando con el tamaño máximo del agregado grueso se obtiene que la cantidad de agua por metro cúbico es 203.0 litros, con un 7% de aire atrapado en su interior.

3.2.3 SELECCIÓN DEL RELACIÓN AGUA-CEMENTO

De acuerdo con las condiciones de exposición del hormigón y el tipo de estructura, se elige con ayuda de la “Tabla No.6” la relación agua/cemento para la dosificación. Cabe recalcar que cuando el hormigón está sujeto a condiciones hostiles se recomienda la inclusión de aire ya que extiende la vida útil del hormigón; aunque este no sea el caso, la inclusión de aire fue necesaria ya que se necesitó reducir la probabilidad de que no se produzca un llenado completo de la mampostería.

Dadas las condiciones moderadas de temperatura del medio, las características y configuración del sistema; el hormigón estará protegido por lo que no presenta un alto grado de humedecimiento. Por otro lado, correlacionando con las secciones a fundir de área moderada, se obtuvo que nos corresponde la opción (4) de dicha tabla, que indica que se debe seleccionar la relación agua/cemento de acuerdo con las exigencias de resistencia a la compresión y la trabajabilidad deseada; por lo que es necesario dirigirse a la “Tabla No.7”, para seleccionar este valor.

TABLA No. 6						
RELACIÓN AGUA-CEMENTO (A/C) MÁXIMA PERMISIBLE, EN [L/Kg cemento], PARA DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS Y CON DISTINTAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN						
TIPO DE ESTRUCTURA	CONDICIONES DE EXPOSICIÓN (1)					
	Fluctuaciones muy severas de temperatura o cambios frecuentes de congelación y deshielo (hormigón con inclusión de aire, solamente)			Temperatura moderada, rara vez bajo el punto de congelación o lluvioso o árido		
	En aire	A nivel del agua o dentro del rango de fluctuación del nivel de agua o humedecimiento		En aire	A nivel del agua o dentro del rango de fluctuación del nivel de agua o humedecimiento	
		En agua dulce	En agua salada o con sulfatos (2)		En agua dulce	En agua salada o con sulfatos (2)
Secciones delgadas como: pasamanos, bordillos de aceras, dinteles, rebordes, hormigón ornamental o arquitectónico, pilotes reforzados, tuberías y todas las secciones con menos de 1 pulg. (2.54 cm) de recubrimiento sobre el refuerzo.	0.49	0.45	0.43 (3)	0.53	0.49	0.40 (3)
Secciones moderadas como: muros de contención, estribos y pilas de puentes, viguetas, vigas. Partes exteriores de secciones masivas.	0.53	0.49	0.49 (3)	(4)	0.53	0.49 (3)
Hormigón depositado con embudo metálico bajo el agua.	---	0.45	0.49	---	0.45	0.49
Losas de hormigón fabricadas sobre el suelo.	0.53	---	---	(4)	---	---
Hormigón protegido de la interperie, interiores de edificios, hormigón bajo tierra.	(4)	---	---	(4)	---	---
Hormigón que posteriormente será protegido por un cerramiento	0.53	---	---	(4)	---	---

(1) El hormigón con inclusión de aire debe utilizarse bajo todas las condiciones que se contempla exposición ambiental severa, y puede utilizarse bajo condiciones de exposición moderada para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

(2) Suelos o agua freáticas que tengan concentraciones de sulfatos mayores 0.2%.

(3) Cuando se utiliza cemento resistente a los sulfatos, las relación agua/cemento, máximo pueden incrementarse a 0.045 [l/Kg].

(4) La relación agua/cemento, debe seleccionarse sobre la base de las exigencias de resistencia a la compresión y trabajabilidad.

TABLA 0.9: Relación a/c máxima permisible, para diferentes tipos de estructuras.
Fuente: Estudio del Hormigón.

Con referencia al folleto Estructuras Paredes Portantes y Hormigón Armado en la sección del concreto líquido, se indica que la resistencia aproximada de un hormigón a compresión con estas características debe acercarse a los 140 [Kg/cm²], con una relación agua cemento oscilante entre (0.8 a 1.1). (Vaca Moncayo, 2011)

Comparando con los valores de relación a/c de la “Tabla No.7”, para hormigones con inclusión de aire, se visualiza que para la resistencia recomendada la relación agua/cemento corresponde a 0.705, pero debido a que las Tablas del ACI solo permiten un asentamiento máximo de 15[cm], y el recomendado es 27.5[cm] se escoge los valores de relación a/c del folleto del Ing. Vaca; es decir de 0.8 a 1.1 en [L agua/Kg cemento].

Finalmente, teniendo en cuenta que a menor relación agua/cemento se logra una mayor resistencia a la compresión y demás beneficios en el hormigón, se toma la decisión de adoptar en el diseño el valor de 0.8; para que de esta manera se proceda a calcular la relación en pesos y volúmenes del hormigón, y así posteriormente realizar una serie de ensayos destructivos que permitan ver que tan cerca o lejos se estuvo de alcanzar los requerimientos y las especificaciones técnicas previstas.

TABLA No. 7			
RELACIÓN AGUA-CEMENTO (A/C) RECOMENDADA, EN [L/Kg cemento], PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, CON Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE*			
RELACIÓN AGUA-CEMENTO, (A/C) [L/Kg cemento]	LITROS DE AGUA POR CADA SACO DE 50 [Kg] DE CEMENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBABLE A LOS 28 DÍAS [Kg/cm ²]	
		HORMIGÓN SIN INCLUSIÓN DE AIRE	HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE AIRE
0.353	17.5	425	325
0.445	22.5	350	280
0.530	26.5	280	210
0.623	31.0	210	180
0.705	35.5	180	140
0.800	40.0	140	110

* Estas resistencias promedio son para hormigones que contienen no más de los porcentajes de aire incluido y/o aire atrapado en la Tabla No.5. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del hormigón se reduce proporcionalmente a medida que el contenido de aire aumenta.

TABLA 0.10: Relación a/c para diferentes resistencias a compresión, con o sin inclusión de aire. **Fuente:** Estudio del Hormigón.

3.2.4 SELECCIÓN DEL VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO

Seguidamente, se seleccionó el volumen de agregado grueso por metro cúbico de hormigón en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso “3/8””, y del módulo de finura del agregado fino 2.93 “Anexo No. 3”, y mediante interpolación se obtiene un valor de 0.407 [m³] de ripio seco y compactado por cada metro cúbico de micro-hormigón.

TABLA No. 8									
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO, EN [m ³], POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN*									
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO		VOLUMEN EN [m ³], DE AGREGADO GRUESO SECO Y COMPACTADO, POR [m ³] DE HORMIGÓN							
		MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO							
[cm]	[pulg]	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00
1.00	3/8	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40
1.25	1/2	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49
1.90	3/4	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59
2.54	1	0.71	0.70	0.59	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64
3.81	1 1/2	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70
5.08	2	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73
7.62	3	0.84	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
15.24	6	0.90	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84

* Los volúmenes de la Tabla No.8 se basan en agregados que se encuentren en el estado seco y compactado.

TABLA 0.11: Volumen de agregado grueso, por unidad de volumen de hormigón. **Fuente:** Estudio del Hormigón.

3.2.5 CÁLCULO DE VOLUMENES Y PESOS DE LOS COMPONENTES DEL MICRO-HORMIGÓN

Prosiguiendo con el proceso de diseño del micro-hormigón, se calculó el factor de cemento (peso de cemento por metro cúbico de hormigón), en función de la relación agua/cemento anteriormente considerada:

$$\text{Factor de cemento} = \frac{\text{Cantidad de agua por metro cúbico}}{\text{Relación agua/cemento}}$$

$$\text{Factor de cemento} = \frac{203 \left[\frac{l \text{ agua}}{m^3 \text{ hormigón}} \right]}{0.80 \left[\frac{l \text{ agua}}{kg \text{ cemento}} \right]}$$

$$\begin{aligned} \text{Factor de cemento} &= 253.75 \left[\frac{kg \text{ cemento}}{m^3 \text{ hormigón}} \right] \\ &\equiv 5.08 \text{ quintales de cemento de } 50 [kg] \end{aligned}$$

$$\text{Factor de cemento} \equiv 5.08 \left[\frac{\text{Quintales cemento de } 50 [kg]}{m^3 \text{ hormigón}} \right]$$

Para obtener su volumen, se dividió la masa para la densidad real del cemento utilizado 2.83 [g/ml] "Anexo No. 9":

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{253.75 \left[\frac{kg \text{ cemento}}{m^3 \text{ hormigón}} \right]}{2.83 \left[\frac{kg \text{ cemento}}{dm^3 \text{ cemento}} \right]}$$

$$\text{Volumen de cemento} = 89.66 \left[\frac{dm^3 \text{ cemento}}{m^3 \text{ hormigón}} \right]$$

Haciendo uso del volumen aparente compactado del ripio, se calculó el volumen de sólidos gruesos en condición S.S.S. por metro cúbico de hormigón:

$$\text{Volumen real S.S.S} = \text{Volumen aparente compactado} * \frac{\text{Densidad Compactada}}{\text{Densidad real S.S.S}}$$

$$\text{Volumen real S.S.S} = 407 [dm^3] * \frac{1.71 \left[\frac{kg}{dm^3} \right]}{2.52 \left[\frac{kg}{dm^3} \right]}$$

$$\text{Volumen real S.S.S} = 276.18 [dm^3]$$

Teniendo casi el conocimiento de todos los volúmenes de los elementos que constituyen el micro-hormigón, solo queda por determinar el volumen de arena o sólidos finos.

Entonces del total de un metro cúbico de mezcla, se restó todos los volúmenes ya conocidos, de este modo:

$$1000 [dm^3] = V. aire + V. agua + V. cemento + V. arena + V. ripio$$

$$V. arena = 1000 [dm^3] - V. aire - V. agua - V. cemento - V. arena - V. ripio$$

$$V. arena = 1000 [dm^3] - 70 [dm^3] - 203 [dm^3] - 89.66 [dm^3] - 276.18 [dm^3]$$

$$V. arena = 361.16 [dm^3]$$

Antes de culminar y sabiendo sus densidades reales y en condiciones S.S.S, se calculó su relación en peso:

DOSIFICACIÓN EN PESOS DE LOS ELEMENTOS DEL HORMIGÓN EN CONDICIÓN S.S.S.				
COMPONENTE	CANTIDAD EN VOLUMEN REAL	DENSIDAD REAL	CANTIDAD EN PESO	CANTIDAD RELATIVA EN PESO
[-]	[dm3]	[Kg/dm3]	[Kg]	[elemento/cemento]
AIRE	70.00	0.001	0.09	0.00
AGUA	203.00	1.000	203.00	0.80
CEMENTO	89.66	2.830	253.75	1.00
ARENA	361.16	2.620	946.23	3.73
RIPIO	276.18	2.520	695.97	2.74
	1000.00		2099.04	

Dosificación en peso en condiciones S.S.S: **0.00 : 0.80 : 1.00 : 3.73 : 2.74**

TABLA 0.12: Dosificación en peso del micro-hormigón para condiciones S.S.S de los agregados. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

3.2.6 CORRECCIÓN DE LA CANTIDAD EN VOLUMEN DE AGUA POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN, POR ABSORCIÓN O CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS PÉTROS

Para finalizar, y conociendo que en obra los materiales no presentan condiciones ideales de humedad y compactación, se debió realizar una corrección en peso según su grado de humedad y luego se dividió para la densidad suelta del agregado correspondiente, de esta manera se encontró su dosificación en volumen que podrá ser usada en campo.

Entonces, para realizar las correcciones correspondientes se usó la siguiente fórmula y nomenclatura, donde:

ΔW = diferencia de agua, entre condición saturada y estado natural

W_m = peso del material en estado natural

$\%Ab$ = porcentaje de absorción del material, expresado en fracción

$\%W$ = contenido de humedad del agregado, expresado en fracción

$$\Delta W = W_m \frac{100 + \%Ab}{100 + \%W} - 1$$

Por otro lado, para tener un mejor manejo de los valores usados en el diseño; se procedió a secar completamente todos los lotes de nuestros agregados en un horno eléctrico (por lo tanto $\%W=0.00$, para ambos casos) y así de esta forma se trató de eliminar la dispersión o errores en la investigación, que se pudiesen haber generado.

Para el agregado fino, datos "Anexo No. 1":

$$\Delta W_{arena} = 946.23 [kg] \left(\frac{100 + 3.47}{100 + 0.00} - 1 \right)$$

$$\Delta W_{arena} = 32.83 [kg]$$

Para el agregado grueso, datos "Anexo No. 2":

$$\Delta W_{ripio} = 695.97 [kg] \left(\frac{100 + 4.99}{100 + 0.00} - 1 \right)$$

$$\Delta W_{ripio} = 34.73 [kg]$$

Nota:

En el caso de que el agregado este extremadamente seco, la diferencia será positiva; del mismo modo, si este llegase a estar muy húmedo la diferencia será negativa lo que conlleva una disminución en peso del agua de amasado y un aumento en peso del árido correspondiente, en la misma proporción.

Por lo tanto, se tuvo que nuestra nueva cantidad de agua será el peso con áridos en condición S.S.S, más los ΔW de la corrección de los áridos.

$$\begin{aligned} & \text{Volumen de agua corregido} \\ & = \text{Vol. de agua en condición S.S.S} + \Delta W_{arena} + \Delta W_{ripio} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de agua corregido} = 203 [l] + 32.83[l] + 34.73[l]$$

$$\text{Volumen de agua corregido} = 270.56 [l]$$

Del mismo modo, se procedió a corregir nuestros agregados.

Para el agregado fino:

$$\text{Peso del arena corregido} = \text{Peso del arena en condiciones S.S.S} - \Delta W_{\text{arena}}$$

$$\text{Peso del arena corregido} = 946.23 \text{ [kg]} - 32.83 \text{ [kg]}$$

$$\text{Peso de arena corregido} = 913.40 \text{ [kg]}$$

Para el agregado grueso:

$$\text{Peso del ripio corregido} = \text{Peso del ripio en condiciones S.S.S} - \Delta W_{\text{ripio}}$$

$$\text{Peso del ripio corregido} = 695.97 \text{ [Kg]} - 34.73 \text{ [kg]}$$

$$\text{Peso de arena corregido} = 661.24 \text{ [kg]}$$

Una vez realizada la corrección por humedad de los agregados, se corrigió la dosificación por su relación de vacíos, dividiendo el peso por la densidad suelta según corresponda. Para esto se utilizó los valores de los ensayos de densidades sueltas y compactadas realizados para los agregados fino y grueso, y cuyos valores se encuentran calculados en los “Anexos No. 5 y No. 6”, respectivamente.

DOSIFICACIÓN EN VOLÚMENES DE LOS ELEMENTOS DEL HORMIGÓN EN CONDICIÓN DE OBRA					
COMPONENTE [-]	CANTIDAD EN PESO CORREGIDO [Kg]	CANTIDAD RELATIVA EN PESO [elemento/cemento]	DENSIDAD SUELTA [Kg/dm3]	CANTIDAD EN VOLUMEN SUELTO [dm3]	CANTIDAD RELATIVA EN VOLUMEN [elemento/cemento]
AIRE	0.09	0.00	0.001	70.00	0.78
AGUA	270.56	1.07	1.000	270.56	3.02
CEMENTO	253.75	1.00	2.830	89.66	1.00
ARENA	913.40	3.60	1.330	686.76	7.66
RIPIO	661.24	2.61	1.600	413.28	4.61
	2099.04				

Dosificación en peso en condiciones de obra:

0.00 : 1.07 : 1.00 : 3.60 : 2.61

Dosificación en volumen en condiciones de obra:

0.78 : 3.02 : 1.00 : 7.66 : 4.61

TABLA 0.13: Dosificación en volumen del hormigón para condiciones de obra de los agregados. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

3.2.7 ADICIÓN Y ESTIMACIÓN DE LAS CANTIDADES DE ADITIVOS EN EL MICRO-HORMIGÓN

Con mención a los aditivos empleados en el diseño, se utilizó un plastificante “EPS 413-AR” y el expansivo “EPS EXPANDHOR” para ayudar a favorecer los requerimientos y poder tener un buen desempeño en obra. En el primer caso, la dosificación recomendada por los proveedores está en el rango de 180 a 300 centímetros cúbicos por cada 50 [kg] de cemento, y debido a las exigencias se tomó el mayor valor permitido correspondiente a 300cc. para nuestra dosificación. Por

consiguiente, la selección de la dosificación del expansivo de la misma manera que el plastificante se lo hizo en función de la cantidad de cemento, la cual corresponde al rango de 0.50 a 1.00 [Kg] de expansivo por cada 50.0 [kg] de cemento, de la cual se seleccionó la menor “0.50” ya que como se mencionaba en las recomendaciones del ACI, a mayor inclusión de aire menor será la resistencia desarrollada por el hormigón.

Debido a recomendaciones hechas por el proveedor, la cantidad de plastificante añadido en volumen a la mezcla debió ser restada del volumen de agua de amasado. Tomando en cuenta todas estas consideraciones, y operando se obtuvo que la dosificación en peso será:

DOSIFICACIÓN EN VOLÚMENES DE LOS ELEMENTOS DEL HORMIGÓN EN CONDICIÓN DE OBRA CON ADITIVOS					
COMPONENTE	CANTIDAD EN PESO CORREGIDO	CANTIDAD RELATIVA EN PESO	DENSIDAD SUELTA	CANTIDAD EN VOLUMEN SUELTO	CANTIDAD RELATIVA EN VOLUMEN
[-]	[Kg]	[elemento/cemento]	[Kg/dm ³]	[dm ³]	[elemento/cemento]
AIRE	0.090	0.000	0.001	70.000	0.781
AGUA	269.041	1.060	1.000	269.041	3.001
CEMENTO	253.750	1.000	2.830	89.664	1.000
ARENA	913.397	3.600	1.330	686.765	7.659
RIPIO	661.241	2.606	1.600	413.276	4.609
EXPANSIVO	2.538	0.010	2.830	0.897	0.010
PLASTIFICANTE	1.629	0.006	1.070	1.523	0.017
	2101.69				

Dosificación en peso en condiciones de obra:

0.00 : 1.06 : 1.00 : 3.60 : 2.61 : 0.01 : 0.01

Dosificación en volumen en condiciones de obra:

0.78 : 3.00 : 1.00 : 7.66 : 4.61 : 0.01 : 0.02

TABLA 0.14: Dosificación en volumen del hormigón con aditivos, para condiciones en obra de los agregados. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

En el “Anexo No. 10”, está detallado el resumen de la primera dosificación previa.

3.2.8 DOSIFICACIÓN FINAL EN PESO Y VOLUMEN DEL MICRO-HORMIGÓN

Puesto que, en el diseño previo de la mezcla en laboratorio, no se cumplió con el asentamiento ni la trabajabilidad requerida, y mediante una serie de variaciones en el diseño, se llegó a la siguiente dosificación, la cual se detalla en el “Anexo No. 11”. Este diseño de la dosificación constó con la aprobación y el visto bueno, dado por nuestro tutor de tesis Ing. Félix Vaca.

DOSIFICACIÓN EN VOLÚMENES DE LOS ELEMENTOS DEL HORMIGÓN EN CONDICIÓN DE OBRA CON ADITIVOS					
COMPONENTE	CANTIDAD EN PESO CORREGIDO	CANTIDAD RELATIVA EN PESO	DENSIDAD SUELTA	CANTIDAD EN VOLUMEN SUELTO	CANTIDAD RELATIVA EN VOLUMEN
[-]	[Kg]	[elemento/cemento]	[Kg/dm ³]	[dm ³]	[elemento/cemento]
AIRE	0.090	0.000	0.001	70.000	0.618
AGUA	309.057	0.964	1.000	307.134	2.712
CEMENTO	320.513	1.000	2.830	113.255	1.000
ARENA	746.880	2.330	1.330	561.564	4.958
RIPIO	649.868	2.028	1.600	406.168	3.586
EXPANSIVO	3.205	0.010	2.830	1.133	0.010
PLASTIFICANTE	2.058	0.006	1.070	1.923	0.017
	2031.67				

Dosificación en peso en condiciones de obra:

0.00 : 0.96 : 1.00 : 2.33 : 2.03 : 0.01 : 0.01

Dosificación en volumen en condiciones de obra:

0.62 : 2.71 : 1.00 : 4.96 : 3.59 : 0.01 : 0.02

TABLA 0.15: Dosificación “definitiva” en volumen del hormigón con aditivos, para condiciones en obra de los agregados. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Por otro lado, según el boletín técnico de micro-hormigón por la empresa argentina Alubry, dedicada a la producción de áridos y a la elaboración de hormigones, hace referencia a recomendaciones sobre las características del tipo de micro-hormigón que deberá emplearse en función de la altura desde la cual se realizará el relleno y las dimensiones del área transversal de las cavidades de la mampostería. Es así como, se recomienda también el uso de un agregado de tamaño máximo de ½” cuando su llenado es vertical con dimensiones horizontales alrededor de los 8 [cm].

Siguiendo el paper, y para el muro que a futuro se tenía previsto construir de dimensiones (largo= 3.60 [m] y alto= 2.40[m]), y guiándonos en las recomendaciones de la “Tabla 3.16” que está en función de la altura de llenado y las dimensiones de los ductos a fundirse, se seleccionó el tipo de micro-hormigón que necesitaba.

TOLERANCIA PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE MICRO-HORMIGÓN		
Máxima altura	Tipo de micro-hormigón	Dimensiones mínimas de celdas a ser llenadas con micro-hormigón
[m]	[-]	[mm]
0.3	Fino	40 x 50
	Grueso	40 x 75
1.5	Fino	50 x 75
	Grueso	65 x 75
3.7	Fino	65 x 75
	Grueso	75 x 75
7.3	Fino	75 x 75
	Grueso	75 x 75

TABLA 0.16: Tolerancia para el tipo de micro-hormigón. **Fuente:** Alubry.

Entonces, con referencia a la tabla anterior y correlacionado con las características del muro, para la altura de 3.7 [m] y una sección de 75x75 [mm], corresponde un micro-hormigón grueso. Por tanto, se comparó con el diseño realizado en referencia al ACI “American Concrete Institution”, y se evidenció que estaba bien encaminado. Procediendo con la lectura del folleto técnico, se halló la “Tabla 3.17”, donde da un estimado en partes de componentes del micro-hormigón, según este sea fino o

grueso. Entonces, para el caso que nos correspondía la siguiente dosificación: 1 parte de cemento, de 2 ¼ a 3 partes de agregado fino y por último de 1 a 2 partes de grueso, siendo la cantidad de agua, la necesaria para que el asentamiento y la trabajabilidad del micro-hormigón cumplan con un buen desempeño.

DOSIFICACIONES RECOMENDADAS DE MICRO-HORMIGÓN SEGÚN SU TIPO			
Micro-hormigón	Partes de Cemento Portland en volumen	Agregado medido en condición húmedo y suelto	
		Fino	Grueso
Fino	1	2 1/4 a 3	-
Grueso	1	2 1/4 a 3	1 a 2

TABLA 0.17: Tolerancia para tipo de micro-hormigón. **Fuente:** Alubry.

Estas proporciones corresponden a volúmenes de material en condiciones húmedas y sueltas. Entonces, comparando con los valores en volumen de los componentes del micro-hormigón del diseño con las Tablas de ACI, se obtuvo:

PROPORCIÓN EN VOLUMEN DE COMPONENTES DEL MICRO-HORMIGÓN		
COMPONENTE	ACI	ALUBRY
Cemento	1.00	1.00
Arena	4.96	2.25 a 3.00
Ripio	3.59	1.00 a 2.00

TABLA 0.18: Comparación en volumen de componentes del micro-hormigón. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Como se evidenció, no se estuvo cerca de las recomendaciones del folleto técnico, pero como los valores del diseño con las tablas del ACI fueron mayores a los recomendados, lo que implicó un menor costo de producción del micro-hormigón, se decidió probar la dosificación para ver la resistencia alcanzada, ya que esta mezcla tenía una excelente trabajabilidad.

Además, para cerciorarse una vez más, el asentamiento recomendado por este folleto técnico corresponde con el expuesto por el Ing. Félix Vaca en su libro “Estructura Pared Portante de Mampostería y Hormigón Armado”.

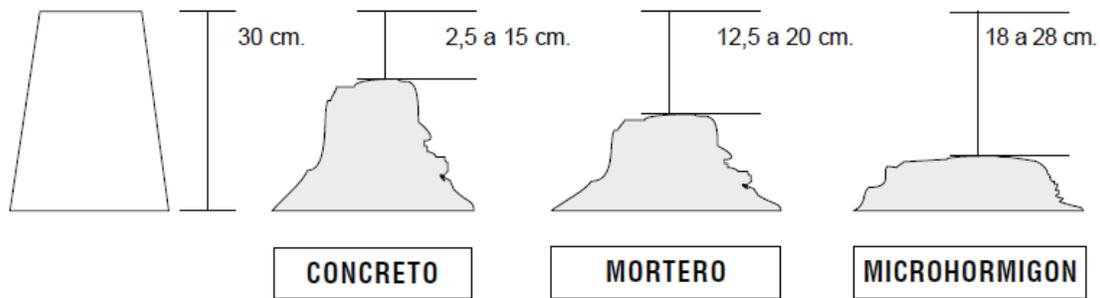


GRÁFICO 0.3: Asentamientos recomendados para diferentes tipos de hormigón.

Fuente: Alubry.

Es así como, se realizó una muestra de micro-hormigón que constó de 9 cilindros para obtener la curva de resistencia alcanzada en función del tiempo de fraguado, la cual se expone a continuación:

Cabe mencionar que el asentamiento logrado con esta dosificación fue de 24.50 [cm] aproximadamente 10.00 [pulg], teniendo una muy buena plasticidad para el uso que se le va a dar en obra. Además, se tenía prevista que alcanzaría una resistencia aproximada de 140.00 [kg/cm²].

RESISTENCIA DE LOS CILINDROS DE MICRO-HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE SU TIEMPO DE FRAGADO

Resistencia requerida del micro-hormigón [kg/cm ²]= 140.00									
	7 Días			14 Días			28 Días		
	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C
Diámetro 1 [cm]	10.400	10.200	10.200	10.000	9.800	10.500	10.400	10.100	10.300
Diámetro 2 [cm]	10.000	10.200	10.100	10.100	10.200	9.900	10.100	10.400	10.300
Diámetro 3 [cm]	10.200	10.200	10.300	10.000	10.000	10.300	10.500	10.200	10.200
Altura 1 [cm]	20.000	19.800	19.600	19.200	19.800	19.800	19.900	20.200	20.000
Altura 2 [cm]	20.000	19.800	19.600	19.300	19.700	19.600	20.100	20.000	20.000
Altura 3 [cm]	19.900	19.900	19.700	19.300	19.800	19.700	20.100	20.000	20.000
Peso [gr]	3484.700	3526.800	3483.300	3339.200	3422.100	3556.300	3420.900	3409.400	3437.600
Carga [T]	4.399	5.620	5.784	5.552	5.390	6.365	7.832	5.644	8.266
Área [cm²]	81.711	81.711	81.711	79.062	78.538	82.246	83.861	82.246	82.782
Volumen [cm³]	1631.493	1620.598	1604.256	1523.268	1552.432	1620.242	1680.016	1650.398	1655.649
Peso esp. [gr/cm³]	2.136	2.176	2.171	2.192	2.204	2.195	2.036	2.066	2.076
Resistencia [Kg/cm²]	53.836	68.779	70.786	70.223	68.629	77.390	93.393	68.624	99.852
Por. Alcazado [%]	38.454	49.128	50.562	50.169	49.021	55.279	66.709	49.017	71.323

TABLA 0.19: Resistencia de los cilindros de micro-hormigón.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

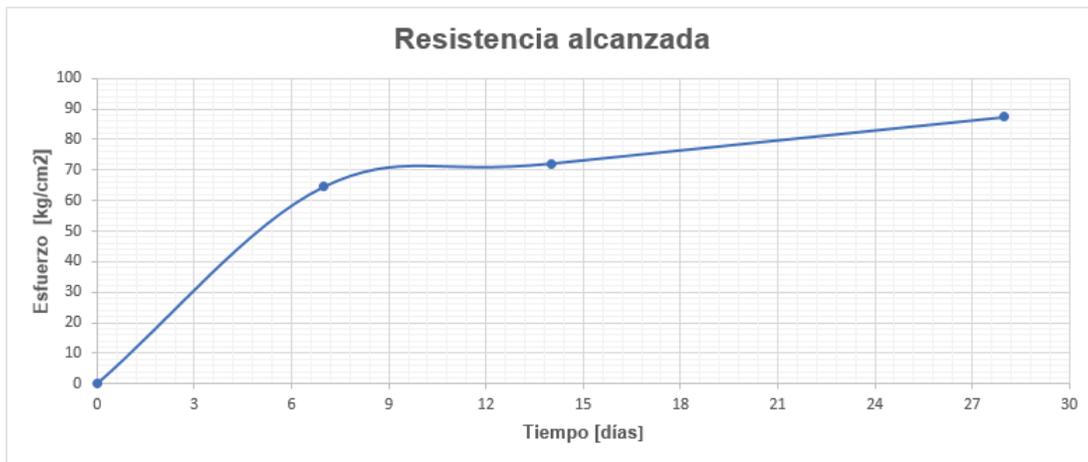


GRÁFICO 0.4: *Curva de esfuerzo vs. Tiempo de fraguado.*
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.



GRÁFICO 0.5: *Curva de porcentaje de resistencia alcanzado vs. Tiempo de fraguado.* **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Las curvas fueron hechas con el promedio de los tres valores para cada tiempo de fraguado; sin embargo, podemos constatar que a los 28 días, dos de los tres cilindros alcanzan una resistencia cercana a los ± 100 [kg/cm²], y según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), en su capítulo Mampostería Estructural, inciso 3.3 “Mortero de relleno”, indica que la resistencia a la compresión de este tipo de hormigón a los 28 días, deberá tener un valor tal como $f'_{cr} \geq 10.00$ MPa, cuyo equivalente aproximado en [kg/cm²] es cercano a los 100.00, por lo que se aceptó el diseño para de esta forma proseguir con el proyecto de investigación. (Min. de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador, 2015)

CAPÍTULO 4

MURETES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVINADA

Debido a que este sistema constructivo es completamente nuevo, se vio la necesidad de la construcción de unos pequeños muretes para obtener datos de la carga y deformación, que estos resistan ante compresión simple y diagonal; y así posteriormente con estos valores y la utilización de programas computacionales, se trató de estimar la fuerza que sería aplicada para nuestro ensayo final del muro de M.R.A., en el que se podría evidenciar su comportamiento a escala real, ante carga lateral en el Laboratorio de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador.

4.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA

Como hace referencia la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su capítulo de Mampostería Estructural, cada mampostería posee propiedades mecánicas intrínsecas que la caracterizan y de las cuales depende su comportamiento, entre las cuales se cita las siguientes:

- ✓ Resistencia a la compresión simple (f_m)
- ✓ Resistencia a la compresión diagonal (v_m)
- ✓ Resistencia a corte (f_v)
- ✓ Relación esfuerzo-deformación (σ - ξ)

4.2 DISEÑO Y ESTIMACIÓN DE CARGA DE LOS MURETES

Siguiendo con la investigación, se procedió al diseño de muretes para someterlos a compresión axial y compresión diagonal, los cuales están normalizados en el NEC, y de los cuales obtuvimos parámetros para el diseño del muro.

Es así que, se utilizó la norma y según sus recomendaciones se procedió a proponer una cuantía de acero de refuerzo que estaría embebido en el microhormigón, y cuya función sería trabajar ante las sollicitaciones de esfuerzos de tensión.

4.2.1 MURETES ANTE CARGA DE COMPRESIÓN AXIAL

Se empezó definiendo las medidas de nuestros muretes, para posteriormente decidir una cuantía de acero de refuerzo, y así culminar este punto con la estimación de una carga aproximada para ejecutarla en el ensayo. Todos estos

pasos se explican de mejor manera en los incisos subsiguientes, los cuales están debidamente justificados para la toma de cada una de las decisiones.

4.2.1.1 Dimensiones de los muretes

Es así como, en los anexos del capítulo de Mampostería Reforzada del NEC 2015, se dan parámetros a considerar para tenerse en cuenta a la hora del diseño, los cuales están aquí expuestos:

a) Espesor

El espesor del murete debe coincidir con el espesor del muro y sus vigas de transmisión de carga. Entonces, de acuerdo con la geometría de los bloques de M.R.A., estos tendrán un espesor constante de 15 [cm].

b) Altura

En este punto, la norma cita que el murete debe estar constituido de al menos 3 hiladas y su relación entre altura y espesor debe ser mayor o igual a 3. Se correlacionó con estas exigencias y la geometría de los bloques de poliestireno expandido, para tener que la altura alcanzada para tres hileras corresponde a 90[cm] y la relación entre altura y espesor correspondería a 6.

c) Longitud

Para la longitud del murete, esta medida debía ser por lo menos del largo de una unidad de mampostería, y mayor o igual al espesor de esta. Es así como, debido a facilidades de construcción y a las características del sistema constructivo, se optó por hacer muretes con una relación igual a 1.0 con relación a su altura y longitud.

Por consiguiente, las medidas definitivas de los muretes para estos estados de carga quedan expresadas en el siguiente esquema.

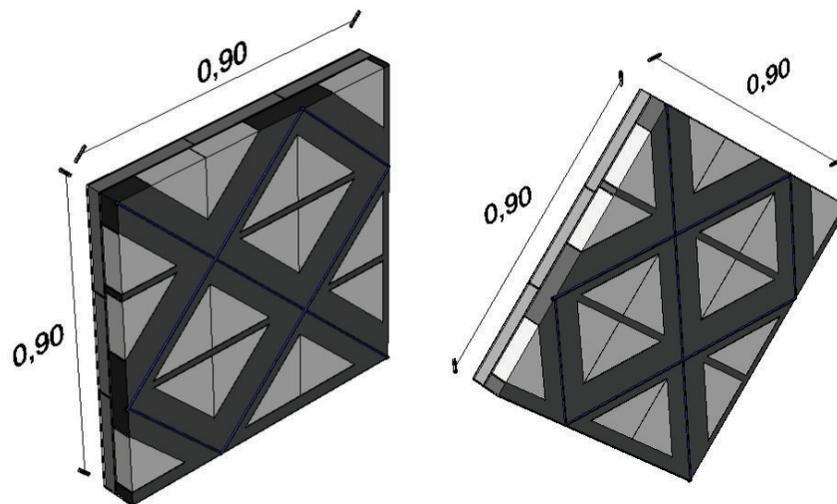


GRÁFICO 0.1: Configuración y geometría de muretes.

Fuente: JP. Herrera y Narváez.

4.2.1.2 Cuantía y propuesta de acero de refuerzo

En el inciso 6.2 del capítulo de Mampostería Estructural de NEC 2015, se establecieron cuantías mínimas de acero de refuerzo que debe cumplir la mampostería reforzada, construida con unidades de perforación vertical.

La propuesta de acero de refuerzo en aras de economizar y hacer más eficiente el sistema, viene dada por una varilla corrugada de 8 [mm] para cada ducto o cavidad de la mampostería “en cada una de sus direcciones”, la cual corresponde a una cuantía inferior al 1% del área transversal de cada ducto, como se explica y esquematiza a continuación:

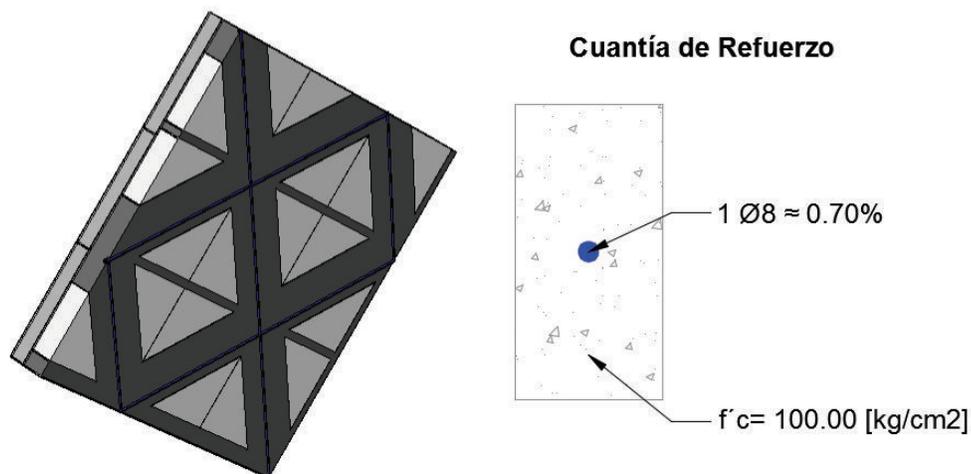


GRÁFICO 0.2: Cuantía de refuerzo por ducto de mampostería rellena de microhormigón. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

$$\text{Área transversal del ducto} = b * h = 6.00 \text{ [cm]} * 12.00 \text{ [cm]} = 72.00 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\text{Área transversal varilla de refuerzo} = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{(0.80 \text{ [cm]})^2}{4} = 0.50 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\text{Cuantía de acero por ducto} = \frac{0.50 \text{ [cm}^2\text{]}}{72.00 \text{ [cm}^2\text{]}} = 0.70 \approx 0.70\%$$

Ahora bien, comparando con las solicitaciones especificadas en la norma se tiene:

4.2.1.2.1 Refuerzo vertical mínimo

- ✓ Los aceros de refuerzo no deben estar espaciados más allá de 1200 [mm]. Con lo cual el sistema constructivo no presenta ningún inconveniente; por lo que la distancia entre refuerzos está diseñada a una distancia constante de 600 [cm].
- ✓ En los elementos localizados en los extremos del muro se debe disponer como mínimo una varilla de 12 [mm]. Y de acuerdo con lo que se tenía previsto para el diseño del muro que sería construido posteriormente, de igual manera que en el punto anterior no se tuvo ningún inconveniente; ya que todas las varillas inclinadas embebidas en los ductos llegarían a una varilla vertical de 12 [mm], a la cual estarían sujetas por medio de un gancho de 135° y amarradas con alambre cocido para fijar su posición.
- ✓ Cuando existan aberturas (ventanas, puertas) mayores a 600 [mm], se deben disponer en sus linderos, varillas de refuerzo en toda su longitud. En este caso, el muro no tendría aberturas, por lo que también se dio por cumplido este requerimiento.

4.2.1.2.2 Refuerzo horizontal mínimo

- ✓ El refuerzo ubicado en las juntas de mortero entre hileras de mampostería no debe ser menor a 4 [mm] y no debe exceder un espaciamiento de 600 [mm] entre cada una de ellas. La conformación del nuevo sistema constructivo no requiere de mortero para la unión entre hileras de la mampostería; por lo que se dio por cumplido con este punto.
- ✓ Al igual que el espaciamiento del refuerzo en sentido vertical en ductos, aquí también se debe cumplir con el mismo requerimiento en sentido horizontal, es decir no debe ser mayor a 1200 [mm]. Entonces, siendo el nuevo sistema constructivo simétrico en los dos sentidos, al igual que en el sentido vertical, en el sentido horizontal también está ubicado a una distancia constante de 600 [mm], cumpliendo una vez más con otra exigencia.

- ✓ Tanto para extremos de pie y cabeza de muro, se debe colocar mínimo dos varillas de 10 [mm] como refuerzo horizontal. En lo previsto para el diseño del muro de M.R.A., no se tenía planeado colocar más del refuerzo que llega por intersección del ducto con los elementos de confinamiento, entonces se mantuvo el diseño con el afán de economizar recursos, no cumpliendo con esta solicitud ya que no se relaciona con las consideraciones de este sistema constructivo.
- ✓ De existir aberturas mayores a 600 [mm], se debe disponer al menos dos varillas de 10[mm] en los límites de esta, y además deberán estar incrustadas por lo menos 600 [mm] dentro del muro. En este caso, el muro no tendría aberturas, por lo que también se dio por cumplido con este requerimiento.

4.2.1.3 Estimación de carga

Para la preparación y la posterior ejecución del ensayo, se necesitó realizar una predicción de carga, y en cuanto a los parámetros y datos que se tenía de la investigación y diseño, se encaminó por relacionar la capacidad de resistencia de carga, con la resistencia proporcionada por el micro-hormigón y la del acero de refuerzo propuesto en un elemento en cantilever.

Se inició realizando una simulación en el programa computacional ETABS 2015, para ver el comportamiento del murete ante una carga axial uniforme, para cuantificar el porcentaje de carga tomado por cada miembro, ya que por su geometría se estimaba que el elemento estructural que gobernaría el ensayo, es aquel que termina en voladizo “ubicado en la parte superior izquierda del murete”, como se muestra en el “Gráfico 4.3” y que absorbe aproximadamente el 25% de la carga actuante sobre la probeta al aplicar la carga en sentido gravitacional.

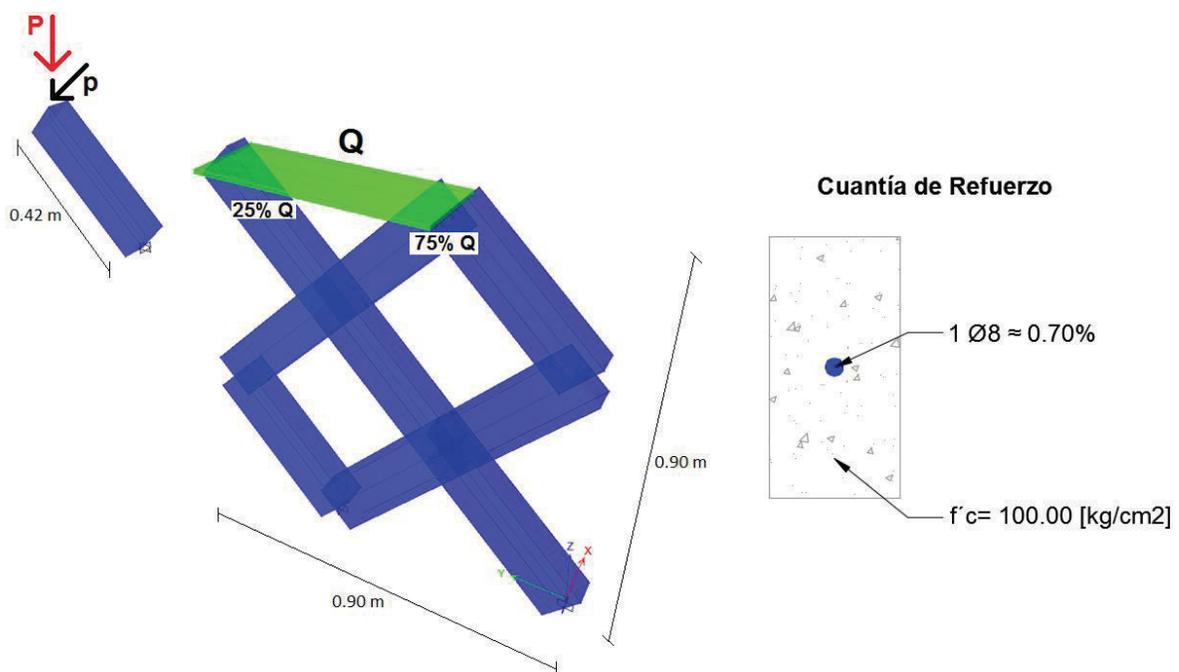


GRÁFICO 0.3: Predicción de carga axial aplicada en muretes.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Visto que, se tomó un solo elemento el cual estaría trabajando a esfuerzos predominantes de flexión y corte debido a la forma de aplicación de la carga, se lo relacionó con una viga en cantilever para estimar su resistencia.

Entonces, se inició aplicando la fórmula de momento último resistente, estudiada en la materia de “Hormigón I” impartida por el Ing. Arq. Paúl Gachet, para después descomponer esta fuerza y obtener la carga estimada para el ensayo.

A continuación, se explica de mejor manera, según los cálculos.

$$Mult. resistente = \phi As fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Donde,

$$a = \frac{As fy}{0.85 f'c b}$$

Remplazando,

$$a = \frac{0.5[cm^2] * 4200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{0.85 * 100 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] * 6[cm]} = 4.12 [cm]$$

$$\begin{aligned} \text{Mult. resistente} &= 0.9 * 0.5[\text{cm}^2] * 4200 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] * \left(6[\text{cm}] - \frac{4.12[\text{cm}]}{2} \right) \\ &= 7446.6[\text{kg} \cdot \text{cm}] \end{aligned}$$

$$\text{Mult. resistente} = 0.07 [\text{T} \cdot \text{m}]$$

Se reemplaza, según la definición de Momento

$$p l = 0.07 [\text{T} \cdot \text{m}]$$

$$p = \frac{0.07 [\text{T} \cdot \text{m}]}{0.42[\text{m}]} = 0.18 [\text{T}]$$

Se descompone, a su componente vertical

$$P = \frac{0.18 [\text{T}]}{\cos(45)} = 0.25 [\text{T}]$$

Por lo tanto, Q correspondería al valor de:

$$Q = \frac{0.25[\text{T}] * 1.00}{0.25[\text{T}]} = 1.00 [\text{T}]$$

Por otro lado, la resistencia a corte del elemento sería únicamente, la dotada por la contribución o resistencia del hormigón, ya que los nervios de micro-hormigón carecerían de la presencia de estribos. Entonces, al aplicar de igual manera los conocimientos adquiridos en la cátedra de "hormigón I", se obtuvo:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b d$$

Se reemplaza,

$$\begin{aligned} V_c &= 0.53 * \sqrt{100} \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] * 6[\text{cm}] * 6[\text{cm}] = 190.8 [\text{kg}] = 0.19 [\text{T}] \\ p &= 0.19 [\text{T}] \end{aligned}$$

Se transforma a su componente vertical,

$$P = \frac{0.19 [\text{T}]}{\cos(45)} = 0.27 [\text{T}]$$

Por lo tanto, Q correspondería al valor de:

$$Q = \frac{0.27[T] * 1.00}{0.25[T]} = 1.08 [T]$$

Por lo tanto, $Q = 1.00 [T]$ ya que este valor gobierna la carga de predicción.

4.2.2 MURETES ANTE CARGA DE COMPRESIÓN DIAGONAL

Debido a que en ensayos hechos con anterioridad se ha evidenciado que ante carga lateral la principal falla sucede diagonalmente entre los nudos opuesto del marco de carga, formando una "X"; se vio la necesidad de realizar ensayos de compresión diagonal, para de esta forma tratar de estimar la carga que podría soportar el muro ante una situación similar.

4.2.2.1 Dimensiones de los muretes

Por facilidad constructiva, y de acuerdo con las características del sistema constructivo, se consideró hacer muretes de las mismas medidas que los usados en los ensayos de compresión axial (90X90 [cm]). Ver "Gráfico 4.1"

4.2.2.2 Cuantía y propuesta de acero de refuerzo

De igual forma que en el inciso anterior, se adoptó las mismas cuantías de acero de refuerzo en referencia a las usadas en los ensayos de compresión axial.

$$1\Phi 8 @ \text{ducto} \approx 0.7\% \text{ área bruta}$$

4.2.2.3 Estimación de carga

Debido a la geometría y la disposición de los ductos, la carga que sería aplicada en una de la esquina del murete debería actuar comprimiendo al hormigón en toda su longitud; por lo que, los esfuerzos predominantes en este ensayo deberían ser de compresión. Es así como, para la predicción de carga en este ensayo, se procedió calculando el área transversal del ducto en donde se aplicaría la carga, y se multiplicó por el esfuerzo de compresión del micro-hormigón. Debido a la esbeltez del acero de refuerzo en relación con la longitud del ducto, se despreció la resistencia que este nos podría haber proporcionado a compresión.

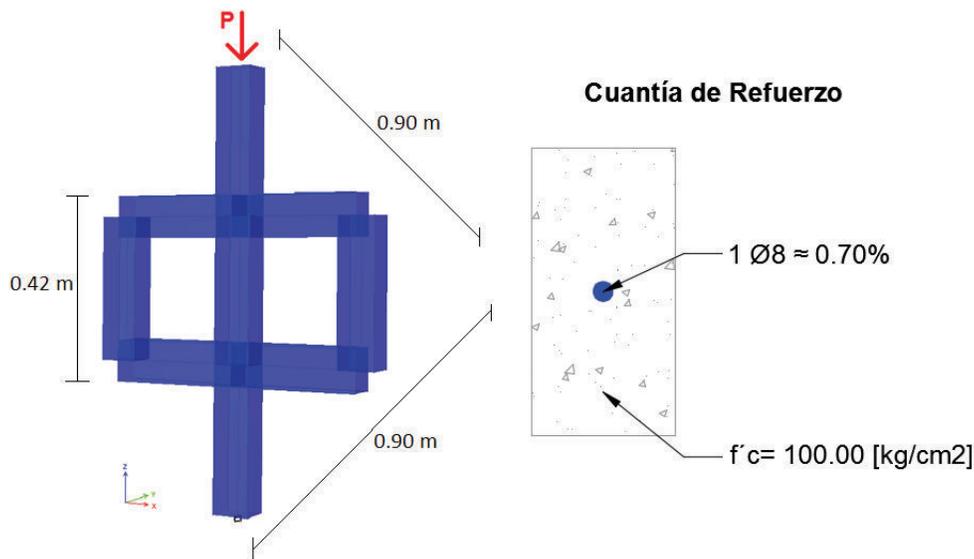


GRÁFICO 0.4: Predicción de carga axial aplicada en muretes.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

$$\text{Área transversal del ducto} = a * b = 6.00[\text{cm}] * 12.00[\text{cm}] = 72.00[\text{cm}^2]$$

$$\text{Resistencia del hormigón a compresión "f'c"} = 100.00 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$\text{Carga estimada "P"} = A. \text{transv.} * f'c = 72.00[\text{cm}^2] * 100.00 \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 7200[\text{kg}]$$

4.3 CONSTRUCCIÓN DE MURETES

Según el NEC 2015, los ensayos a los que estuvieron sujetos los muretes debían seguir directrices que los normalicen, y que traten en su mayoría de reflejar todas las condiciones reales en obra, para obtener de ellos datos que no incurran en errores que puedan ser significativos, y de esta forma no obtener una gran incertidumbre en sus resultados. Entonces, como se indicó anteriormente se tenía planeado realizar dos tipos de ensayos, pero esto no interfería o hacía alguna diferencia en su construcción, por lo que se procedió con la construcción de 6 de ellos sin ninguna clase de particularidad o diferencia.

A fin de dar facilidad y estabilidad para la fundición de los muretes de M.R.A., se conformó un encofrado que albergue la mampostería junto con su armado. De esta manera, una vez pegados los bloques en hileras de 3x3 unidades, y amarrado el acero de refuerzo "1 Ø8 @ducto" con alambre, se procedió a introducir el conjunto dentro del encofrado para que posteriormente fuesen fundidos con la dosificación de nuestro micro-hormigón previamente diseñando.



GRÁFICO 0.5: Disposición de bloques dentro del encofrado.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.



GRÁFICO 0.6: Refuerzo y encofrado de muretes. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.



GRÁFICO 0.7: Preparación y asentamiento del micro-hormigón.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.



GRÁFICO 0.8: Proceso de fundición de muretes de M.R.A.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Nota:

Para la fundición de los muretes, se hizo uso del Cono de Abrams el cual registró un asentamiento de 24.5 [cm]. Dando un hormigón con una muy buena trabajabilidad, que no presentó ningún inconveniente en el proceso de fundición.

4.4 ENSAYOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de haber esperado el tiempo prudente para que el hormigón dentro de los muretes fragüe adecuadamente “28 días”; se procedió a desencofrar los muretes, para así de esta manera proseguir con los ensayos previstos.

4.4.1 ENSAYOS

Luego de haberse intentado realizar los primeros ensayos, y de haber observado que los cabezales para aplicar la carga no encajaban perfectamente con la geometría de los muretes, se decidió adicionar planchas de neopreno para solucionar el problema antes mencionado y así también lograr una mejora en la distribución de los esfuerzos.

4.4.1.1 Compresión Axial

Para este ensayo, se procedió colocando el murete aplomado y centrado con el gato hidráulico para aplicar la carga en sentido gravitacional. Como se mencionó con anterioridad, estos muretes estuvieron enmarcados entre planchas de neopreno sobre sus caras en las cuales actuó la carga, tal como se esquematiza en el “Gráfico 4.9”.

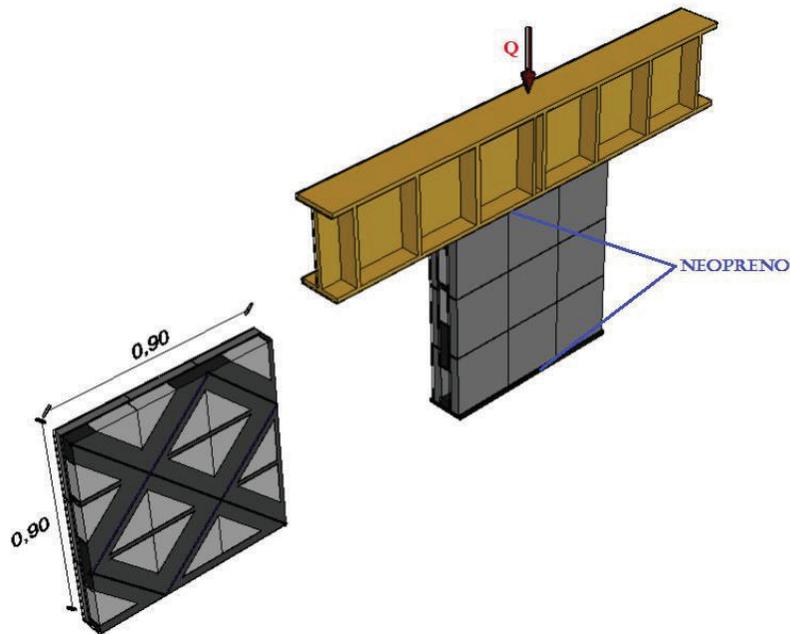


GRÁFICO 0.9: Esquema de ensayo de compresión axial.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

4.4.1.1.1 Murete A

En este primer ensayo se pudo observar que el murete tendió a fallar por sus miembros superiores, según una inspección exterior visual. En el transcurso del ensayo se evidenció que, a causa de la carga vertical aplicada sobre la cara superior de la probeta, los miembros estructurales que conforman una especie de rombo tienden a abrirse en sus vértices laterales, ocasionando presuntamente fallas provocadas por esfuerzos de flexión y corte en el hormigón.

En los siguientes gráficos, se puede visualizar el estado del murete después de ser ensayado. Además, de esta probeta se registró que la carga máxima que soportada ante compresión axial es de $Q_{\text{máx}} = 3047.804$ [kg], a lo cual le correspondió una deformación igual a $\Delta = 13.606$ [mm].

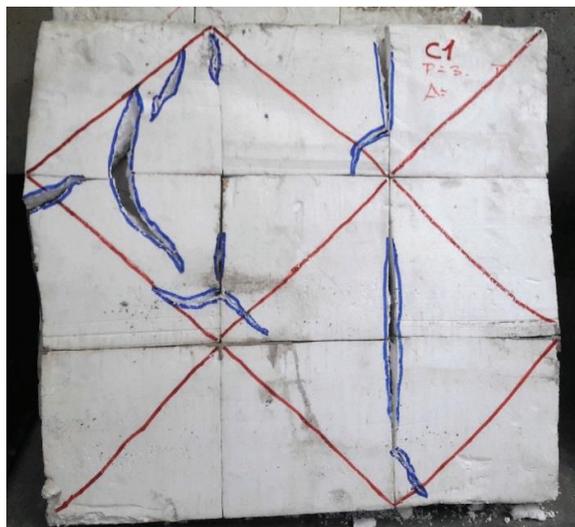


GRÁFICO 0.10: Vista exterior “Murete A”. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.



GRÁFICO 0.11: Vista interior “Murete A”. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Posterior a la inspección visual exterior, se procedió a retirar el recubrimiento de poliestireno expandido de una cara de la probeta, donde de igual forma se realizó una inspección visual. Cabe recalcar que se evidenció una muy buena adherencia entre el hormigón y el poliestireno expandido, ya que el retiro de una capa de este material fue tedioso y complicado.

Como se puede constatar en el “Gráfico 4.11”, las características de las principales fisuras dan testimonio que los esfuerzos que provocaron la falla del murete fueron principalmente por cortante y flexión; esta situación fue debido a que no existió elementos confinantes en los extremos de la probeta que permitiesen que las diagonales trabajen a esfuerzos predominantes axiales.

4.4.1.1.2 Murete B

Para el segundo murete, al igual que en el primero se realizó una inspección visual exterior, durante y posterior al ensayo, ver “Gráfico 4.12”. Asimismo, se procedió a retirar una capa de poliestireno expandido para realizar la revisión visual interna, ver “Gráfico 4.13”. Por otro lado, en este caso se registró una carga máxima de compresión axial de $Q_{\text{máx}} = 3137.208$ [kg], a lo cual le correspondió una deformación igual a $\Delta = 10.443$ [mm].

En relación a la inspección interna de nuestro “Murete B”; se registró que, debido a la fuerza en dirección gravitacional de compresión aplicada sobre este, las diagonales que conforman el rombo de la parte superior izquierda también tendieron a abrirse a consecuencia de las deformaciones verticales producidas. Del mismo modo, debido a las características de sus fisuras, también se presumió que estas fueron producidas por esfuerzos de flexión y corte.



GRÁFICO 0.12: Vista exterior “Murete B”. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.



GRÁFICO 0.13: Vista interior “Murete B”. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

4.4.1.1.3 Murete C

Por último, también se procedió a ensayar un tercer murete el cual previamente poseía una fractura en su diagonal superior libre, debido a que fue sometido con anterioridad a un ensayo fallido de compresión diagonal. La localización de la fractura está esquematizada en el “Gráfico 4.14”.

El proceso de valorización e inspección del murete fue igual a los anteriores, tanto externa como internamente. Por otro lado, al utilizar este murete previamente afectado, se pudo obtener como conclusión que la mayor resistencia proporcionada por el murete, corresponde a la dotada por el par de diagonales superiores que convergen sobre el lado derecho; además, de los dos muretes anteriores se obtuvo una carga máxima promedio de $Q_{prom.} = 3092.524$ [kg]; mientras que solo los dos miembros estructurales superiores del tercer murete, soportaron una carga de compresión axial máxima de $Q_{máx} = 2689.080$ [kg], al cual le asoció una deformación igual a $\Delta = 7.605$ [mm].

A fin de relacionar los resultados de estos ensayos con la capacidad dotada por los elementos del murete, se obtuvo que el valor en porcentaje de carga que soportan las dos diagonales del tercer murete, en relación a la carga máxima promedio de sus otros dos semejantes, es del 86.95 %; de lo cual al compararlo con el inciso “4.2.1.3”, se obtuvo que el valor de carga que soportaría el elemento estructural individual inclinado sería el 13.05% y no el 25.00%, como se obtuvo de la simulación en el programa computacional ETABS 2015.

Entonces, con el valor de 13.05% del total de la carga que soportaría el nervio aislado, se calculó el valor de la carga de compresión axial que soportaría toda la probeta:

$$P = 0.25 [T]$$

Por lo tanto, Q correspondería al valor de:

$$Q = \frac{0.25[T] * 1.00}{0.13[T]} = 1.92 [T]$$

Sin embargo, con este nuevo valor de carga calculado aún se tuvo una considerable dispersión con respecto a los valores obtenidos experimentales, como se detalla a continuación:

$$\text{Error de estimación de carga axial} = 1 - \frac{1.92 [T]}{3.09 [T]} = 0.38 \approx 37.86\%$$



GRÁFICO 0.14: Vista exterior "Murete C". Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.



GRÁFICO 0.15: Vista interior "Murete C". **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Al igual que en los dos muretes anteriores, de la inspección interior de este último, se concluyó que las fisuras encontradas pudiesen haber ocurrido a consecuencia de esfuerzos de flexión y corte, ver "Gráfico 4.15".

4.4.1.2 Compresión Diagonal

En este tipo de ensayo, fue necesario la utilización de dos cabezales metálicos para la aplicación de la carga gravitacional en sentido diagonal de la probeta, como se esquematiza en el "Gráfico 4.16". Además, como se mencionó con anterioridad, se utilizó planchas de neopreno para permitir una mejor distribución de los esfuerzos y el acoplamiento entre la geometría de los muretes y los cabezales.

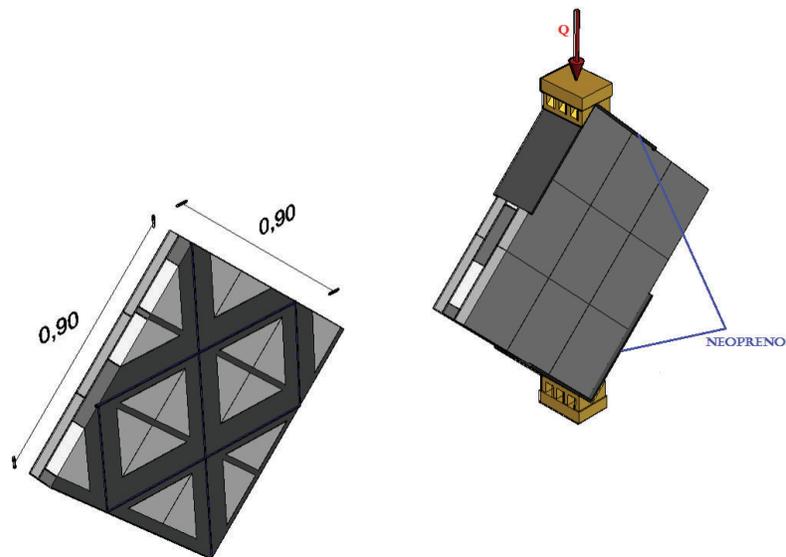


GRÁFICO 0.16: Esquema de ensayo de compresión diagonal. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

4.4.1.2.1 Murete A

Para este primer ensayo, se procedió a aplomar el murete ubicándolo en medio de los cabezales. Sobre en la cara del cabezal superior se localizó un LDVT para medir la deformación en función de la carga aplicada.

En la inspección visual externa durante el ensayo y posterior a este, se visualizó que el murete tiende a fallar en sus extremos por esfuerzos de compresión principalmente. Por otro lado, de este primer ensayo se obtuvo un valor de carga a compresión diagonal máxima de $Q_{\text{máx}} = 9148.007$ [kg], concurrente a este valor se obtuvo una deformación de $\Delta = 5.960$ [mm].



GRÁFICO 0.17: Vista exterior “Murete A”. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.



GRÁFICO 0.18: Vista interior “Murete A”. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

En los “Gráficos 4.17 y 4.18” se puede evidenciar la ubicación de las fisuras, y la forma de estas a detalle, tanto externas como internas. Del primer esquema, se puede decir que la falla se localizó y se extiende solamente sobre el elemento superior, mientras que de el segundo gráfico, se concluye que el tipo de falla es provocado por esfuerzos predominantes de compresión.



GRÁFICO 0.19: Detalle de falla del “Murete A”. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

4.4.1.2.2 Murete B

Para el segundo murete, se realizó el mismo procedimiento de aplomarlo y centrarlo con respecto al gato hidráulico y al LVDT, para proceder a la aplicación de carga en el sentido de la diagonal que se extiende durante todo el murete. En este caso, se registró un pico de carga máxima con el valor de $Q_{\text{máx}} = 6856.785$ [kg], al cual le correspondió una deformación igual a $\Delta = 20.890$ [mm].



GRÁFICO 0.20: Vista exterior “Murete B”. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

En primeras instancias, en una inspección visual externa no se registraron graves fisuras “Gráfico 4.21”; sin embargo, al retirar una capa exterior de poliestireno expandido, se pudo evidenciar que al igual que en la probeta A, las fisuras se localizaron en los extremos del murete.



GRÁFICO 0.21: Vista interior “Murete B”. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

A continuación, se puede visualizar las fisuras desde una toma lateral “Gráfico 4.22”; en donde se evidenció que básicamente los tipos de fallas en los extremos, fueron provocadas por la compresión del hormigón.



GRÁFICO 0.22: Detalle de falla del “Murete B”.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

4.4.1.2.3 Murete C

Para finalizar con los ensayos de los muretes, se procedió a comprimir en sentido diagonal la tercera probeta “Murete C”, el cual alcanzó un valor máximo de carga en sentido gravitacional de $Q_{\text{máx}} = 7271.060$ [kg], con una deformación en el mismo sentido igual a $\Delta = 14.293$ [mm].



GRÁFICO 0.23: Vista exterior “Murete C”. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.



GRÁFICO 0.24: Vista interior “Murete C”. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

En cuanto al tipo de fallas presenciadas en esta probeta, no difieren a las ya expuestas en los dos ensayos anteriores del mismo tipo; siendo la compresión el principal tipo de esfuerzos que provocaron las fisuras, tal como se evidencian los extremos del murete en los siguientes esquemas, ver “Gráfico 4.25”.



GRÁFICO 0.25: Detalle de falla del “Murete C”.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

4.4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Debido a que se procedió a realizar dos clases de ensayos; se trató de obtener valores referenciales de cada uno de estos, para el diseño y estimación de carga del muro de M.R.A..

4.4.2.1 Compresión Axial

De los muretes a compresión axial, se obtuvo tres valores de los cuales comparándolos entre ellos, se decidió eliminar los valores de la probeta “C” ya que como se mencionó, en este caso, solo se tenía dos de los tres elementos diagonales que soportaban carga.

Es así que, se realizó un promedio entre las probetas “A y B” debido a que no existe una gran dispersión entre ellos, obteniendo el siguiente valor referencial ante carga de compresión axial.

$$Q \text{ compr. exp. axial máx.} = \frac{3047.840[kg] + 3137.208[kg]}{2} = 3092.524[kg]$$

$$\approx 3.09[T]$$

Del mismo modo se procedió a obtener un valor de deformación experimental referencial, para el máximo valor de carga promedio axial experimental obtenido.

$$\Delta \text{ compr. exp. axial} = \frac{13.606[mm] + 10.443[mm]}{2} = 12.025[mm] \approx 0.012[m]$$

En el “Gráfico 4.26”, se puede encontrar a detalle los valores de los ensayos a carga de compresión axial registrados de nuestras probetas. Al respecto de eso, también se puede visualizar la correlación entre los valores de carga y deformación; cabe mencionar que se evidencia en el esquema una clara tendencia en nuestros dos

muretes “A y B”; que fueron ensayos correctamente, y de los cuales se obtuvo los valores referenciales promedio.

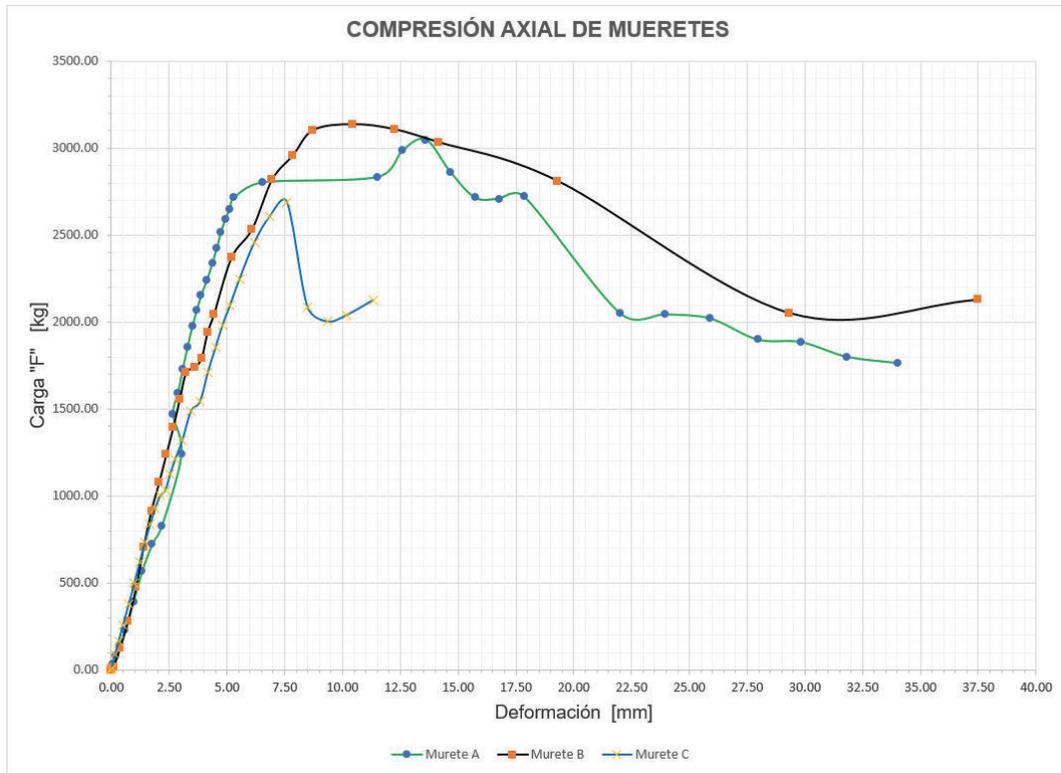


GRÁFICO 0.26: Carga vs. Deformación en muretes a carga de compresión axial.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

4.4.2.2 Compresión Diagonal

De igual manera, que en el análisis de resultados de los muretes a compresión axial; a fin de que eliminar la dispersión entre las tres probetas ensayadas, no se consideró los datos del murete “A”, ya que como se visualiza en el “Gráfico 4.27”, esta probeta estuvo lejana al comportamiento de las dos restantes, que si poseían una clara tendencia.

A continuación, se originó un valor referencial experimental tanto de carga, como de deformación para esta condición de ensayo. Se realizó un promedio entre los muretes “B y C”, para ser comparado con el valor de estimación de carga a compresión diagonal obtenida a priori, en el acápite 4.2.2.3.

Entonces, para la carga máxima experimental de compresión diagonal tenemos:

$$Q_{\text{compr. exp. diagonal máx.}} = \frac{6856.785[\text{kg}] + 7271.060[\text{kg}]}{2} = 7063.923[\text{kg}]$$

$$\approx 7.06[\text{T}]$$

Con el objeto de encontrar que tan acertada estuvo la predicción de carga, se calculó el porcentaje de error que existe con respecto a la obtenida experimentalmente.

$$\text{Error de estimacion de carga diagonal} = 1 - \frac{7.06 [T]}{7.20 [T]} = 0.02 \approx 1.94 \%$$

Como queda demostrado, el error en la estimación de carga diagonal puede ser tomado como despreciable. Entonces, las consideraciones y ecuaciones utilizadas funcionaron bien para este caso, por lo que pudieran ser tomadas en cuenta para el análisis y diseño del muro de M.R.A..

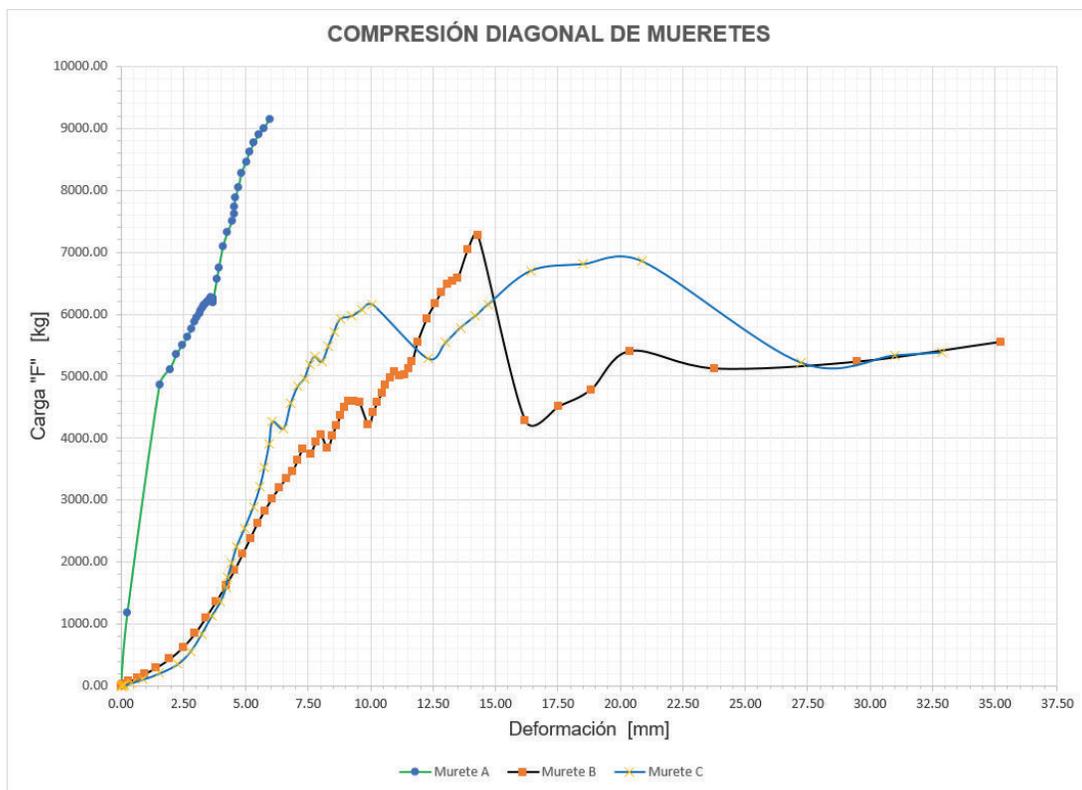


GRÁFICO 0.27: Carga vs. Deformación en muretes a carga de compresión diagonal. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Por último, y para concluir con este acápite, se obtuvo un valor referencial de deformación para el estado máximo de carga a compresión diagonal, tal cual se lo realizó para los muretes a compresión axial:

$$\Delta \text{ compr. axial real} = \frac{20.890[mm] + 14.293[mm]}{2} = 17.592[mm] \approx 0.017[m]$$

4.5 RESUMEN DE RESULTADOS EN MURETES DE M.R.A.

Para culminar con este capítulo, se presenta un resumen en la “Tabla 4.1” de los valores experimentales obtenidos de los ensayos de los muretes de relación largo/alto igual a 1.0; sometidos tanto a carga de compresión axial como diagonal.

	Compresión Axial	Compresión Diagonal
Q máxima [kg]	3092.524	7063.923
Desplazamiento [mm]	12.025	17.592

TABLA 0.1: Cargas y desplazamientos referenciales en muretes.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Como se evidenció en el desarrollo de este capítulo, todas las suposiciones, ecuaciones y teorías utilizadas, fueron en razón de encontrar una manera práctica y lógica de obtener valores teóricos y experimentales que nos permitan tener una idea de como se encaminó el diseño, construcción, ensayo y posterior análisis de resultados del muro de M.R.A.

CAPÍTULO 5

MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVINADA

5.1 DISEÑO DEL MURO DE M.R.A.

Pues bien, se inició el diseño del muro teniendo en cuenta que de acuerdo a la configuración de los bloques de poliestireno, las medidas de lo que correspondería a mampostería deberían ser múltiplos de 60[cm], para que de esta forma las diagonales converjan con los vértices de los elementos confinantes. Siguiendo estas consideraciones y teniendo en mente construir un muro cuyas medidas sean lo más convencionales posibles en el campo de la construcción del medio, se decidió construir un muro de longitud 3.60[m] con una altura de entrepiso de 2.40[m], en lo que correspondía solo a mampostería.

Por otro lado, la mampostería debería estar confinada todos sus extremos por elementos tales como: columnetas, una viga de carga y otra viga de cimentación; esta última debería estar anclada a la losa rígida del laboratorio.

5.1.1 MAMPOSTERÍA DE BLOQUES DE POLIESTIRENO

Como se indicó anteriormente, se trató en general de construir un muro dimensionalmente ordinario, por lo que para las medidas adoptadas, correspondían 8 hileras verticales y 12 horizontales de bloques de M.R.A. Como consideración, se recalca que un elemento estructural diagonal, siempre debería intersecar al nudo de los elementos confinantes para que el sistema constructivo cumpla con el comportamiento previsto.

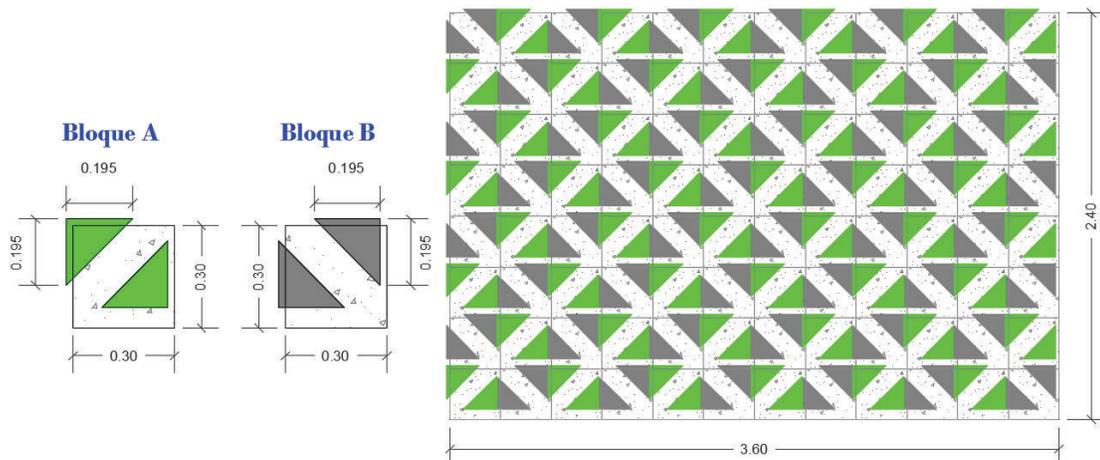


GRÁFICO 0.1: Esquema de la mampostería de poliestireno dentro del muro.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Nota:

El acero en cada uno de los ductos fue igual a la propuesta en el inciso “4.2.1.2” del Capítulo 4. Es decir, una varilla ϕ 8[mm] equivalente a una cuantía del 0.7% del área transversal de cada ducto.

5.1.2 COLUMNETAS LATERALES DEL MURO DE M.R.A.

A razón de que los muros en direcciones ortogonales, al intersecarse dejarían un vacío de 15[cm] en sus aristas laterales, y debido a la necesidad de un elemento confinante; se propuso un elemento de área tal a la del vacío existente, ver “Gráfico 5.2” y de longitud igual al altura de entepiso de la mampostería. Es decir, sus medidas quedarían definidas de la siguiente manera: largo 15.00[cm], ancho 15.00[cm] y alto 240.00[cm].

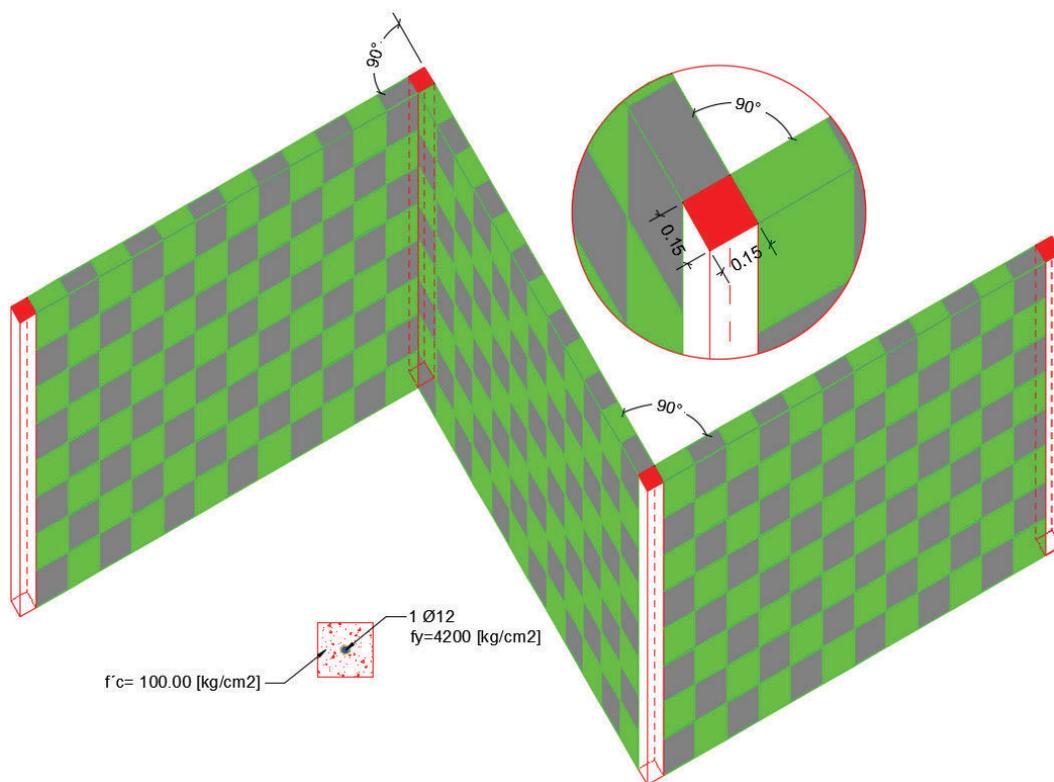


GRÁFICO 0.2: Uso y geometría de columneta de confinamiento.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Por otro lado, estas columnetas albergarían en su interior una varilla centrada de 12[mm], la cual sirve para que todas las demás varillas provenientes de los ductos de la mampostería pudiesen amarrarse a esta. De esta forma, se prevía que su comportamiento ante carga lateral sea altamente eficiente.

En cuanto a la cuantía que esta representaría dentro de las columnetas, se tiene:

$$\text{Área transversal columneta} = b * h = 15.00 \text{ [cm]} * 15.00 \text{ [cm]} = 225.00 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\text{Área transversal varilla de refuerzo} = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{(1.20 \text{ [cm]})^2}{4} = 0.888 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\text{Cuantía de acero por columneta} = \frac{0.888 \text{ [cm}^2\text{]}}{225.00 \text{ [cm}^2\text{]}} = 0.004 \approx 0.39\%$$

5.1.3 VIGA SUPERIOR DE CARGA

La propuesta inicial venía siendo de elementos confinados de 15x15 [cm] en sus extremos laterales y superior, para que encajen perfectamente con el ancho de los bloques de M.R.A en sus intersecciones, y así eliminar discontinuidades superficiales en la estructura. Pero, debido a exigencias del laboratorio “Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional”, se vió la necesidad de cambiar las dimensiones de la viga superior de carga a 20x20 [cm]; esto a razón que dentro de esta viga se debía introducir a más del armado necesario, 4 varillas de 18 [mm] que debían extenderse por lo menos hasta la mitad del largo de toda la viga, y que en uno de sus extremos debían estar enroscadas para ser ancladas al gato hidráulico de carga.

Por otro lado, esta viga debió tener un dado de hormigón el cual debió que ser diseñado de acuerdo a la longitud necesaria para encajar con la geometría del laboratorio, del muro y del dispositivo de carga. A consecuencia de que exista el mismo desplazamiento para aplicación de carga en los dos sentido “Positivo= derecha y Negativo= izquierda”; y las condiciones geométricas de nuestro muro y del laboratorio, se decidió que este tendría una longitud igual a 15[cm].

Por lo tanto, las medidas de nuestro viga de carga quedan expuestas a continuación:

Longitud total de viga de carga=	4.05[m]
Base de viga de carga=	0.20[m]
Altura de viga de carga=	0.20[m]

Suponiendo que el muro y viga de carga estén sujetos a cargas gravitacionales (muerta y viva), se preveía que estos no estarían trabajando netamente a esfuerzos de flexión, ya que por la configuración estructural del sistema y el hecho de que la viga este apoyada sobre los ductos cada 60[cm], hizo suponer que se comportaría como una armadura, haciendo que los esfuerzos predominantes sean de compresión y tracción.

Es así que, se tomo como base el código “ACI 318-14” para proponer el armado de la viga de carga, la cual solo fue diseñada a carga axial de tensión y compresión

de “20 toneladas” ya que como se indicó anteriormente el muro estaría sujeto a carga lateral en los dos sentidos.

a) Compresión

$$P_o = 0.85 f'c A_g + A_s f_y$$

$$P_o = 0.85 (400.00 [cm^2]) \left(100.00 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \right) + 10.18 (cm^2) \left(4200.00 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \right) \\ = 76756.00 [kg]$$

$$20000.00 [kg] < 76756.00 [kg] \quad \therefore \quad Ok!$$

b) Tracción

$$T_0 = |-A_s f_y|$$

$$T_0 = \left| -10.18 (cm^2) \left(4200.00 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \right) \right| = 42756.00 [kg]$$

$$20000.00 [kg] < 42756.00 [kg] \quad \therefore \quad Ok!$$

Las dimensiones y el armado de la viga de carga que se adoptaron, se pueden ver a detalle en las Láminas estructurales 1 y 2.

En cuanto a la cuantía que representó, dentro de su área transversal se tiene:

$$\text{Área transversal viga} = b * h = 20.00 [cm] * 20.00 [cm] = 400.00 [cm^2]$$

$$\text{Área transversal de varillas de refuerzo} = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{(1.20 [cm])^2}{4} = 0.888 [cm^2]$$

$$\text{Cuantía de acero en viga} = \frac{5 * 0.888 [cm^2]}{225.00 [cm^2]} = 0.011 \approx 1.11[\%]$$

5.1.4 VIGA INFERIOR DE CIMENTACIÓN

Debido que al aplicar una carga lateral sobre el muro, y al estar las columnetas y los nervios/ductos anclados y aplomados a la viga de cimentación; esta última estaría sujeta a flexión, ya que se genera un momento volcante y a su vez se produce tracción en la viga de cimentación sobre el lado que recibe la carga y compresión sobre la misma en el lado opuesto; y siendo la carga bidireccional, provocaba flexión en ambos sentidos, para lo cual la viga de cimentación debería estar bien diseñada. Ver “Gráfico 5.3”.

Puesto que lo que se iba a poner a prueba era la resistencia del nuevo sistema constructivo, la cimentación tenía que haber estado sobredimensionada “Ing. Félix

Vaca". Entonces, se asumió que el muro iba a resistir la máxima carga inducida por el gato hidráulico "20.0 toneladas" y para dicho valor se dimensionó la viga de cimentación.

Cabe mencionar, que siempre se tuvo primero en consideración los aspectos geométricos y facilidades constructivas del muro y del laboratorio para el diseño.

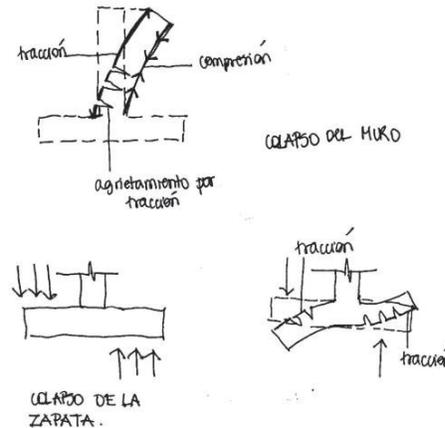


GRÁFICO 0.3: Cimentación de las columnetas de confinamiento. **Fuente:** Casiopea.

La carga lateral aplicada sobre el muro debía estar centrada sobre la viga de carga, y esta condición definió el peralte de la viga de cimentación, es decir 50[cm]. Por otro lado el ancho de la viga que se definió fue de 25[cm], ya que el espesor de los bloques era de 15[cm] por lo que se debía dejar 5[cm] de desfase a cada lado, para poder apoyar y fijar el encofrado que sostendría al muro durante el proceso de fundición y de fraguado.

Visto que la viga trabajaba a flexión, se tomó como guía el "ACI 318-14" para armar la viga tanto a momento positivo como negativo. Entonces, el acero mínimo requerido para vigas estáticamente determinadas, debía ser el mayor entre (a) y (b):

$$a) \text{ As min.} = \frac{0.80 \sqrt{f'c}}{f_y} bw d$$

$$\text{As min.} = \frac{0.80 \sqrt{210.00} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{4200.00 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} (50.00[cm]) (25.00[cm]) = 3.45[cm^2]$$

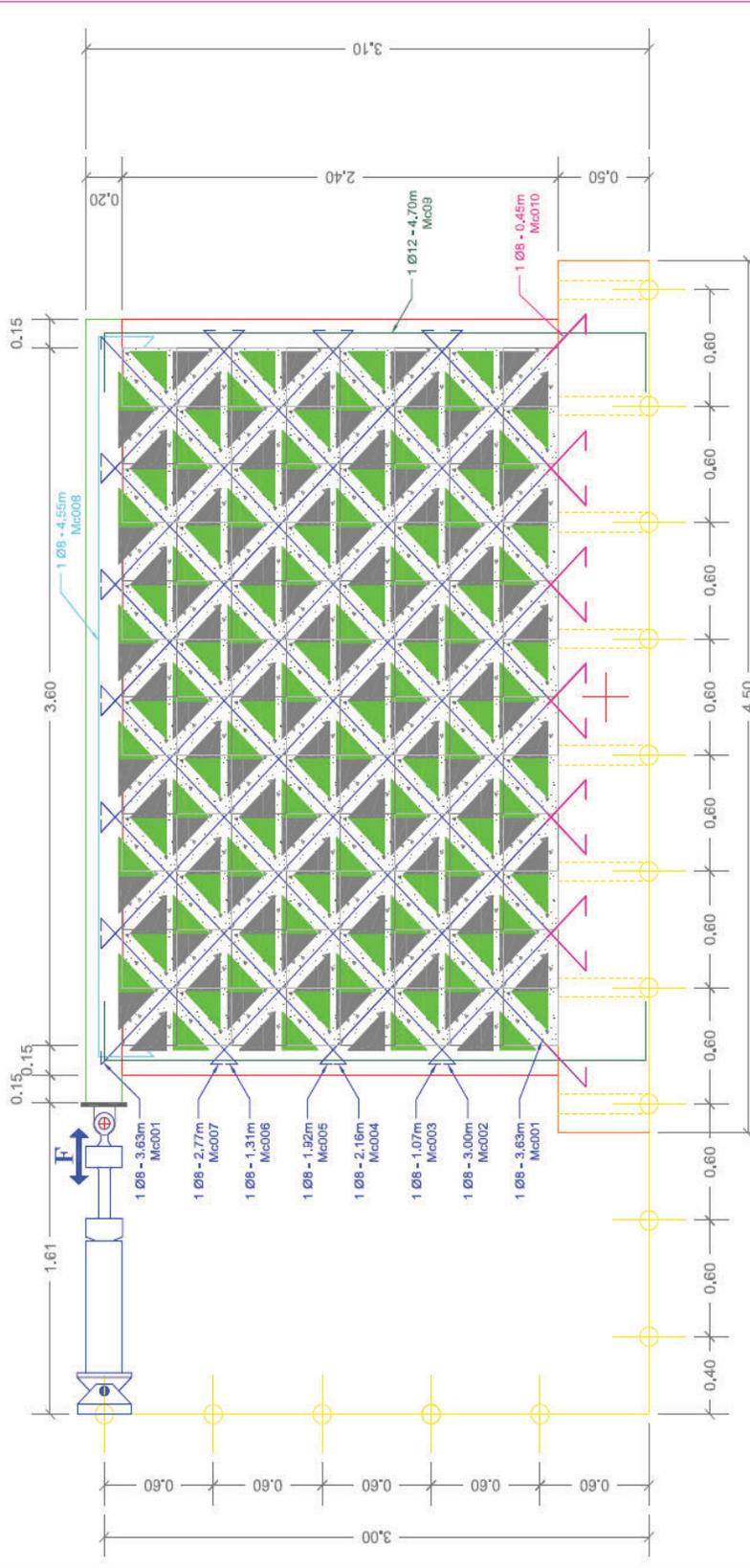
$$b) \text{ As min.} = \frac{14}{f_y} bw d$$

$$As_{min.} = \frac{14 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{4200.00 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} (50.00[cm]) (25.00[cm]) = 4.17[cm^2]$$

$$\therefore As_{min.} = 4.17[cm^2] \approx 4 \phi 12$$

Por lo tanto, la sección quedó definida como se detalla en las Láminas estructurales 1 y 2. Posteriormente haciendo uso de un programa computacional para la simulación del muro, tendríamos que constatar si el acero propuesto cumplía con las exigencias y de no ser el caso, se tendríamos que haber realizado un rediseño de la viga.

MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANADA



PROYECTO: Mampostería Reforzada Alivianada

CONTIENE: Esquema de Ensayo del Muro de M.R.A.

ESCALA Y DISEÑO: 1:20

FECHA: 30-09-2016

LÁMINA: 01/08

REFERENCIA: PROPIEDAD Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANADA (M.R.A.)

REVISADO POR: Juan Pablo Herrera C. / Jonathan Norales E.

INICIA: 30-09-2016

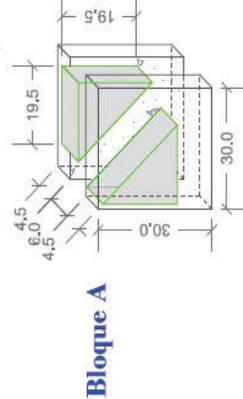
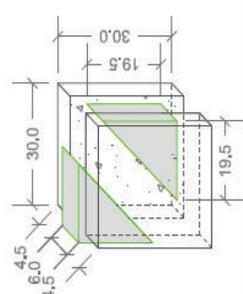
TERMINA: 01/08

INICIA: 30-09-2016

TERMINA: 01/08

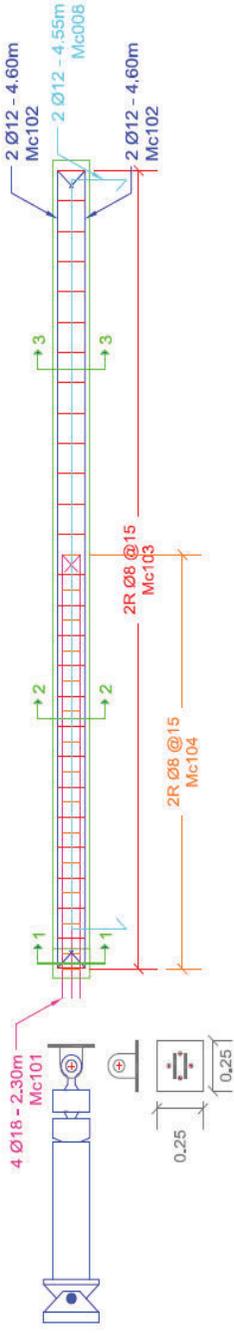
INICIA: 30-09-2016

TERMINA: 01/08

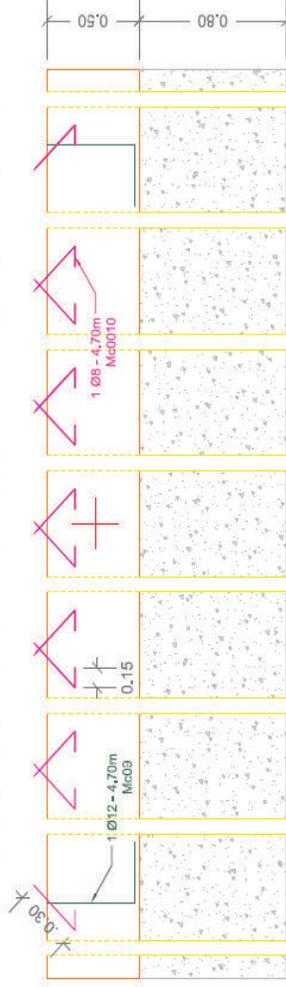


ESCALA 1 : 10

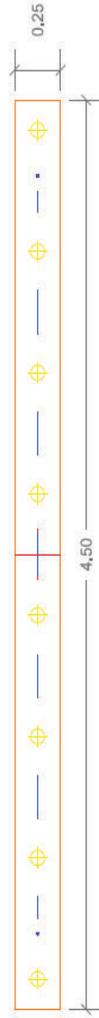
ELEVACIÓN - ARMADO DE LA VIGA DE CARGA DEL MURO DE M.R.A.



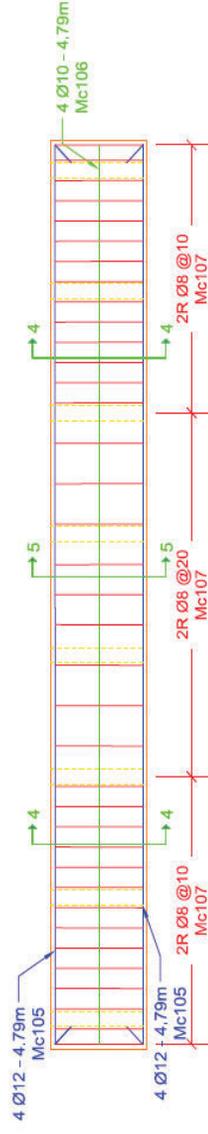
ELEVACIÓN - VIGA DE CIMENTACIÓN DEL MURO DE M.R.A.



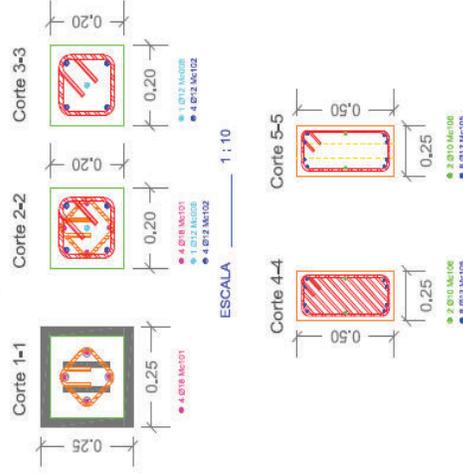
PLANTA - VIGA DE CIMENTACIÓN DEL MURO DE M.R.A.



CORTE - ARMADO DE VIGA DE CIMENTACIÓN DEL MURO DE M.R.A.



CORTES - VIGAS DEL MURO DE M.R.A.



PROYECTO:
Mampostería Reforzada Aliviada

CONTIENE:
Detalles de Armado del Muro de M.R.A.

CALCULO Y DISEÑO:	ESCALAS:	FECHA:	LÁMINA:
Juan Pablo Herrera G.	1:20	30-08-2016	02/08
Josephin Hernández E.	INTERVENCIÓN: PROPUESTA Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIADA (M.R.A.) RENTADO POR:		
Mac. Ing. Pab. Viera Moraqui			

5.1.5 CARGA DE PRETENSIÓN EN LOS PERNOS DE ANCLAJE DE LA VIGA DE CIMENTACIÓN

Conociendo que la carga lateral de diseño es “20 toneladas”, se procedió a calcular la fuerza necesaria de pretensión sobre los pernos de anclaje que actuarían sobre la viga, para que cumpla con la condición de empotramiento. Además, debido a la disponibilidad de pernos de anclaje en el laboratorio solo se usarían 6, los cuales estarían dispuestos simétricamente desde los dos extremos del muro; ya que era en esos lugares donde su uso se hacía más necesario, por la ubicación y sollicitación de las columnetas que enmarcan la mampostería.

5.1.5.1 Verificación a Deslizamiento del Muro de M.R.A.

A continuación se esquematiza un diagrama de cuerpo libre “DCL”, donde se presenta todas las fuerzas actuantes sobre el muro durante el ensayo, ver “Gráfico 5.4”.

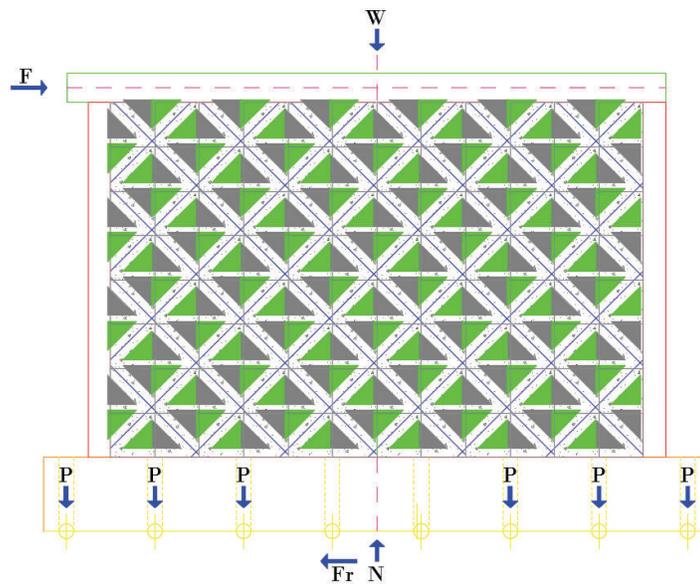


GRÁFICO 0.4: Diagrama de cuerpo libre del ensayo del muro de M.R.A. a carga lateral. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Posteriormente, mediante el equilibrio de fuerzas se obtuvo el requerimiento de pretensión “P” que fue aplicado a cada uno de los pernos que estuvieron sujetos a la losa rígida del laboratorio.

Entonces,

$$Fr = \mu (W + 6P) = F$$

Despejando se obtuvo:

$$P = \frac{\left(\frac{F}{\mu} - W\right)}{6}$$

Donde:

P= Fuerza de pretensión en cada perno de anclaje
 F= Fuerza lateral aplicada a través del gato hidráulico
 W= Peso total de la estructura “muro+viga de cimentación”
 μ = Coeficiente de rozamiento del hormigón (0.30)

A fin de obtener el peso total de la estructura, se procedió a cuantificar el peso del muro, del cual se obtuvo un peso igual a 2533.52 [kg], ver “Anexo No.13”:

$$P = \frac{\left(\frac{20000 [kg]}{0.30} - 2533.52 [kg]\right)}{6} = 10688.86 [kg] \approx 10.68 [T]$$

Dividiendo la fuerza de pretensión “P” para el área transversal efectiva del cilindro de anclaje se obtuvo:

$$\sigma_{\text{pretensión}} = \frac{10688.86 [kg]}{30.52 [cm^2]} = 350.22 [kg/cm^2] \approx 4981.30 [PSI]$$

$$4981.30 [PSI] < 10000.00 [PSI] \quad \therefore \quad Ok!$$

5.1.5.2 Verificación a Volcamiento del Muro de M.R.A.

Debido a la fuerza lateral aplicada sobre la viga de carga, se generaba un momento volcante el cual a su vez provoca fuerzas de tracción tanto en la sección de la columneta como en los pernos de anclaje. Es por ello, que se debía comprobar que las fuerzas generadas no sean mayores a la capacidad resistente de nuestros elementos, para de esta forma garantizar la seguridad y un buen comportamiento del muro durante el ensayo.

$$Inercia = \frac{b h^3}{12} = \frac{0.15 [m] (3.90 [m])^3}{12} = 0.74 [m^4]$$

$$Momento = F d = 20.00 [T] \left(2.40 [m] + \frac{0.20 [m]}{2} \right) = 46.00 [T \cdot m]$$

$$\text{Área columneta} = b d = 0.15 [cm] 0.15 [cm] = 0.0225 [m^2]$$

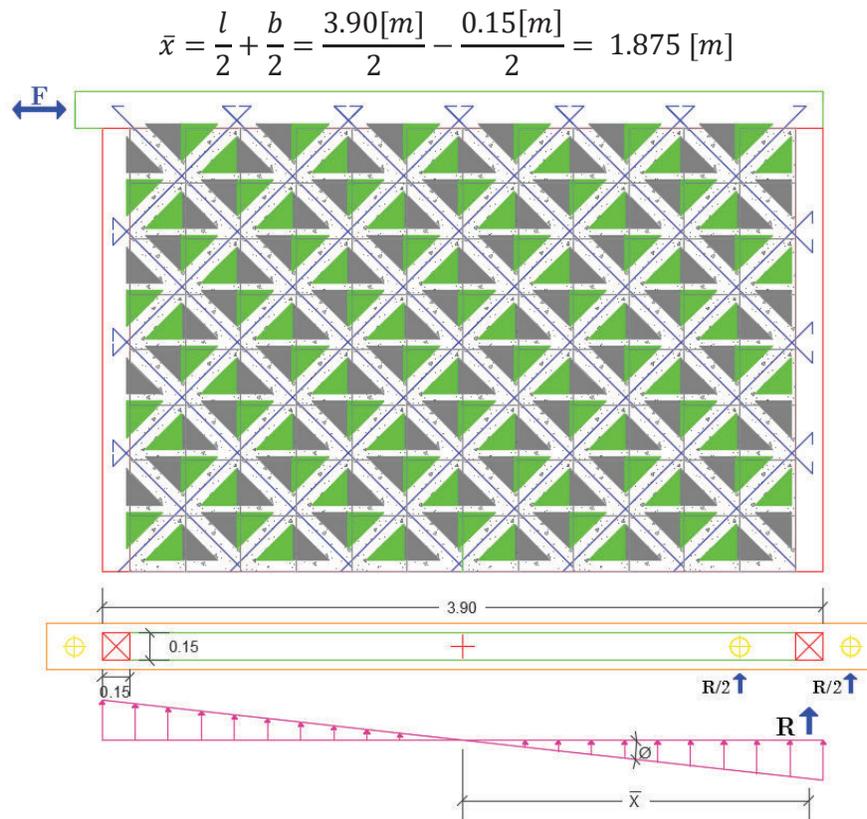


GRÁFICO 0.5: Diagrama de momento volcante en el muro “Fuerzas generadas en las columnetas”. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

a)

$$R = \frac{M}{I} \bar{x} A_c = \frac{46.00[T \cdot m]}{0.74[m^4]} 1.88[m] 0.023[m^2] = 2.62 [T]$$

$$\text{Capacidad a tensión columneta} = 0.90 A_s f_y + 0.10 A_c f'_c$$

$$\begin{aligned} \text{Cap. ten. c.} &= 0.90 (0.89[cm^2]) \left(4.20 \left[\frac{T}{cm^2} \right] \right) + 0.10 (225.00[cm^2]) \left(0.10 \left[\frac{T}{cm^2} \right] \right) \\ &= 5.61[T] \end{aligned}$$

$$2.62 [T] < 5.61[T] \quad \therefore \quad Ok!$$

b)

$$\frac{R}{2} = 1.31[T]$$

$$\emptyset \text{ interno @ perno} = 2.00 [cm]$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidad a tensión perno} &= 0.90 A_s f_y = 0.90 * 3.14 \text{ [cm}^2\text{]} \left(4.20 \left[\frac{T}{\text{cm}^2} \right] \right) \\ &= 11.88 [T] \end{aligned}$$

$$1.31 [T] < 11.88 [T] \quad \therefore \quad \text{Ok!}$$

5.1.5.3 Verificación a Tracción de los Pernos

Debido al tipo de acero de los pernos “Grado A60”, su esfuerzo de fluencia correspondía a $f_y=4200.00$ [kg/cm²], por lo tanto la sollicitación de σ *pretensión* debía ser menor a la resistencia nominal de cada perno, para que así cumpliera satisfactoriamente con la demanda.

$$\emptyset \text{ interno @ perno} = 2.00 \text{ [cm]}$$

$$\text{Área transversal perno @ perno} = \pi \frac{(2.00[\text{cm}])^2}{4.00} = 3.14 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\text{Resistencia nominal a tracción @ perno} = 0.90 * 4200.00 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] = 3780.00 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\text{Sollicitación a tracción @ perno} = \frac{10664.03 \text{ [kg]}}{3.14 \text{ [cm}^2\text{]}} = 3387.17 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$3387.17 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] < 3780.00 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] \quad \therefore \quad \text{Ok!}$$

5.1.5.4 Verificación a Corte por Cizallamiento de los Pernos

Al igual que en el inciso anterior, la capacidad a corte debía ser mayor a la demanda de 20 toneladas, para de este modo asegurar que no pudiesen haber existido inconvenientes durante el ensayo. Es así que, se dividió la carga de demanda para el número de pernos que usamos, y este valor se lo comparó con la resistencia a corte de los mismos.

$$\emptyset \text{ externo @ perno} = 3.00 \text{ [cm]}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidad a corte @ perno} &= 0.40 \left(\pi \frac{(3.00 \text{ [cm]})^2}{4} \right) 4200.00 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] \\ &= 11874.87 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

$$\text{Sollicitación a corte @ perno} = \frac{20000.00 \text{ [kg]}}{6 \text{ pernos}} = 3333.33 \left[\frac{\text{kg}}{\text{perno}} \right]$$

$$3333.33 \text{ [kg]} < 11874.87 \text{ [kg]} \quad \therefore \quad \text{Ok!}$$

5.2 ESTIMACIÓN DE CARGA Y MODELACIÓN DEL MURO DE M.R.A.

Una vez definidas las medidas geométricas y propiedades de los elementos estructurales y no estructurales del muro, se procedió a realizar la modelación simulando en la medida de lo posible todas las condiciones y características reales que se presentarían a la hora del ensayo, y así de esta manera tratar de estimar una carga máxima que sería inducida al muro de M.R.A. con ayuda del gato hidráulico.

5.2.1 SIMULACIÓN DEL MURO EN ETABS 2015

Después de analizar el muro en varios paquetes computacionales estructurales como son: SAP2000 16, ETABS 2015 y SeismoStruct 2016; se decidió que el uso del programa ETABS 2015 es el más apropiado, ya que los resultados obtenidos con el programa SAP2000 16 son similares y los obtenidos mediante el programa Seismo Struct no convergen más allá de las 4 toneladas, decayendo su resistencia bruscamente.

5.2.1.1 Definición y Características de Materiales Para la Simulación del Muro

Luego de haber expuesto el software a usarse, se procedió a definir las propiedades de los materiales que conformarían la construcción del muro de Mampostería Reforzada Aliviada; las consideraciones y valores utilizados quedan expuestos a continuación:

a) Hormigón de relleno de mampostería y elementos confinantes

- ✓ Esfuerzo a compresión " $f'c$ "= 100.00 [kg/cm²]
- ✓ Módulo de elasticidad " E "= 12500.00 $f'c^{0.5}$ [kg/cm²]
- ✓ Peso específico " ρ "= 2059.33 [kg/m³]

b) Hormigón en viga de cimentación

- ✓ Esfuerzo a compresión " $f'c$ "= 210.00 [kg/cm²]
- ✓ Módulo de elasticidad " E "= 12500.00 $f'c^{0.5}$ [kg/cm²]
- ✓ Peso específico " ρ "= 2160.66 [kg/m³]

c) Acero de refuerzo

- ✓ Esfuerzo de fluencia " f_y "= 4200.00 [kg/cm²]
- ✓ Módulo de elasticidad " E "= 2.1×10^6 [kg/cm²]
- ✓ Peso específico " ρ "= 7850.00 [kg/m³]

d) Pernos de anclaje

- ✓ Esfuerzo de fluencia “ f_y ”= 4200.00 [kg/cm²]
- ✓ Módulo de elasticidad “ E ”= 2.1×10^6 [kg/cm²]
- ✓ Peso específico “ ρ ”= 7850.00 [kg/m³]

Nota:

En la simulación no se tomó en cuenta la existencia de los bloques de Mampostería Reforzada Aliviada “poliestireno expandido”, ya que sus propiedades mecánicas son despreciables en comparación a la de los demás elementos constitutivos del muro.

5.2.1.2 Definición de Secciones y Cuantías

Para introducir las características del muro en el programa, se tomó las mismas dimensiones del prediseño hecho con anterioridad, y se trató en medida de lo posible que nos daba facilidad el programa en acercarnos a estas. Es así que, se procede a continuación a describir a detalle cada una de las secciones creadas:

a) Nervios

De acuerdo a la geometría dada por los bloques de poliestireno expandido, estos elementos están definidos bajo las siguientes dimensiones 6x12[cm], y debido a las limitaciones del programa computacional se dispuso 4 varillas de 6[mm] con un recubrimiento de 3.0[cm], que simularía la varilla de 8[mm] embebida en cada nervio. La resistencia del hormigón correspondió a un $f'_c=100$ [kg/cm²]. Ver “Gráfico 5.6”.

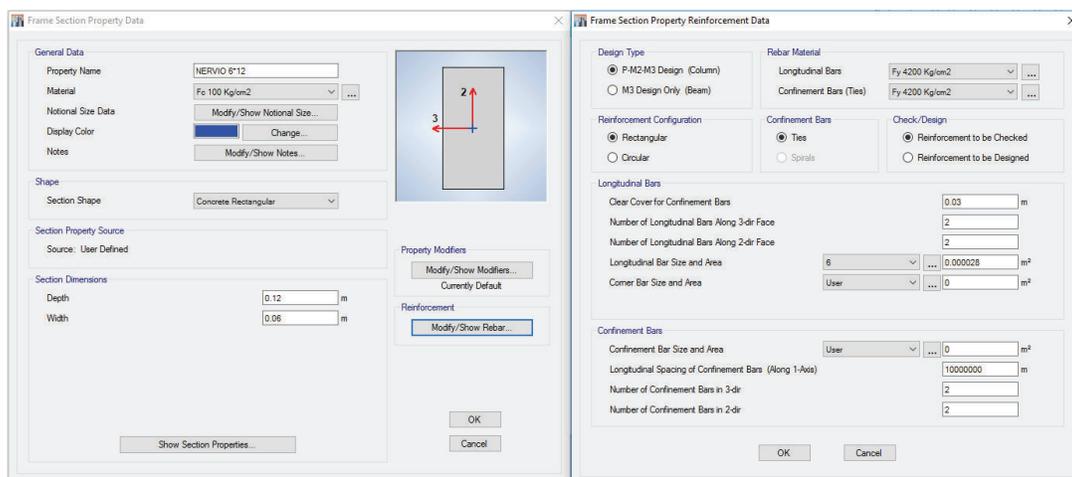


GRÁFICO 0.6: Características de nervios en Etabs. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

b) Viga de carga

Esta sección quedó definida con una geometría de 20x20[cm], y con cuatro varillas longitudinales de 12[mm] a lo largo de toda su longitud, con un área equivalente de 2.26[cm²] tanto en la parte inferior como en la superior. Como tanto la mampostería, como los elementos confinantes serían fundidos simultáneamente el hormigón utilizado en esta sección también correspondió a una resistencia a la compresión de $f'c=100$ [kg/cm²]. Ver “Gráfico 5.7”.

c) Columnetas

Esta sección se definió con un hormigón $f'c=100$ [kg/cm²] y con una geometría cuadrangular de 15[cm] de arista. Para simular la varilla de 12[mm] contenida en el centro de la sección se dispuso 4 varillas de 6[mm] obteniendo un área equivalente, con un recubrimiento de 7.5[cm] para centrarlas. Por otro lado, debido a la ausencia de estribos no se colocó refuerzo transversal. De esta manera y con las limitantes del programa, se intentó en medida que sea posible, acercarse a la realidad, ver “Gráfico 5.8”.

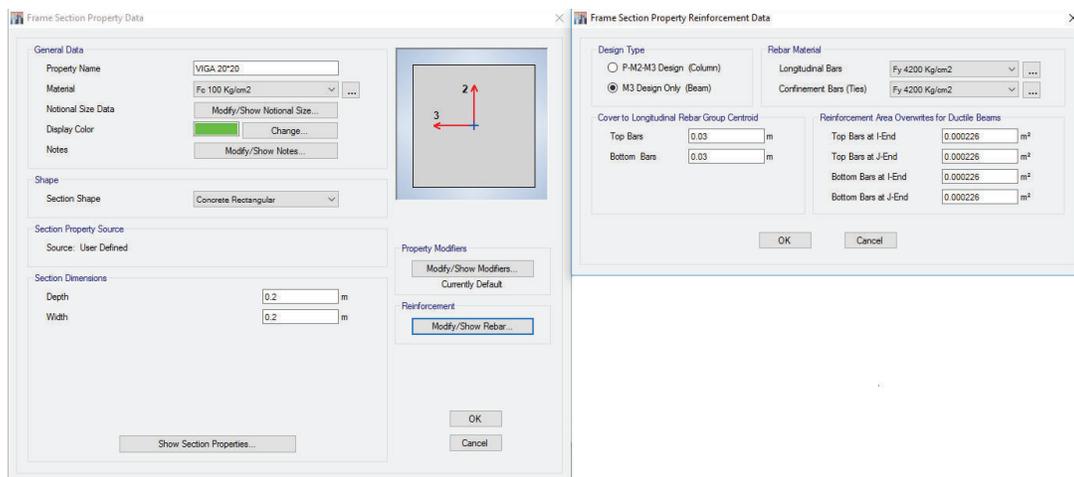


GRÁFICO 0.7: Características de la viga de carga en Etabs.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

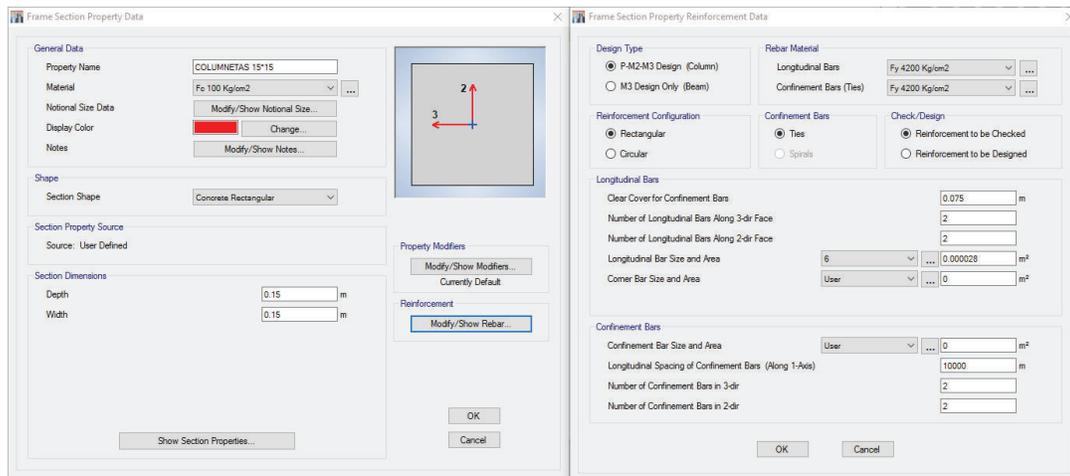


GRÁFICO 0.8: Características de la columna en Etabs.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

d) Viga de cimentación

Al igual que en las secciones anteriores, al definir las características de la sección de la viga de cimentación se tomarán todas las consideraciones de diseño del inciso 5.1.4; en esta sección se utilizó un hormigón de $f'c=210$ [kg/cm²] y cuatro varillas de 12[mm] correspondientes a una cuantía mínima tanto para momentos positivos y negativos, con un recubrimiento de 3.0[cm] como se muestra en el “Gráfico 5.9”.

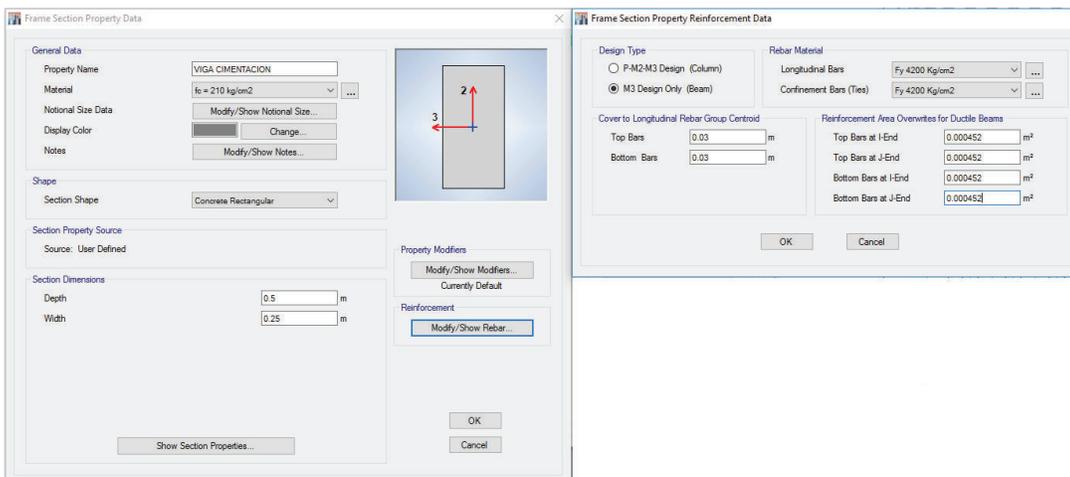


GRÁFICO 0.9: Características de la viga de cimentación en Etabs2015.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

5.2.1.3 Simulación

Una vez definidas las secciones, se procedió a establecer la geometría del muro asignando cada elemento según su función que iba a desempeñar dentro del mismo. Además, se aplicó una carga puntual lateral de 20 toneladas en el extremo superior izquierdo para así tener una estimación del desplazamiento que pudiese haber ocurrido bajo la máxima capacidad del gato hidráulico durante el transcurso del ensayo.

En el “Gráfico 5.10” se puede evidenciar la disposición de todos los elementos y las secciones, según los colores utilizados en el inciso 5.2.1.2.

Una vez establecidas todas las secciones y geometría, se precisó una combinación de cargas a la cual estuvo sujeta el muro, la cual consistía en la combinación no mayorada de carga muerta (propio peso del muro) y vida (carga lateral). Es así que, después de correr el programa se obtuvo los siguientes resultados:

Carga lateral en el eje “Y”:	20.00 [T]
Desplazamiento lateral en el eje “Y”:	0.176 [cm]
Período fundamental:	0.301 [seg]

En el “Gráfico 5.11” se exhibe el esquema del muro deformado, junto a los valores de desplazamiento en el extremo superior derecho.

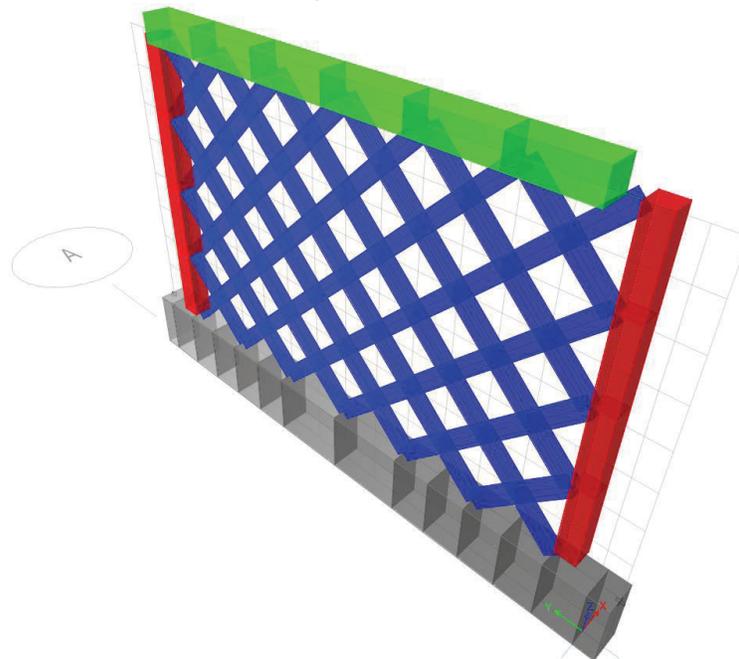


GRÁFICO 0.10: Disposición de elementos para la simulación en Etabs 2015.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

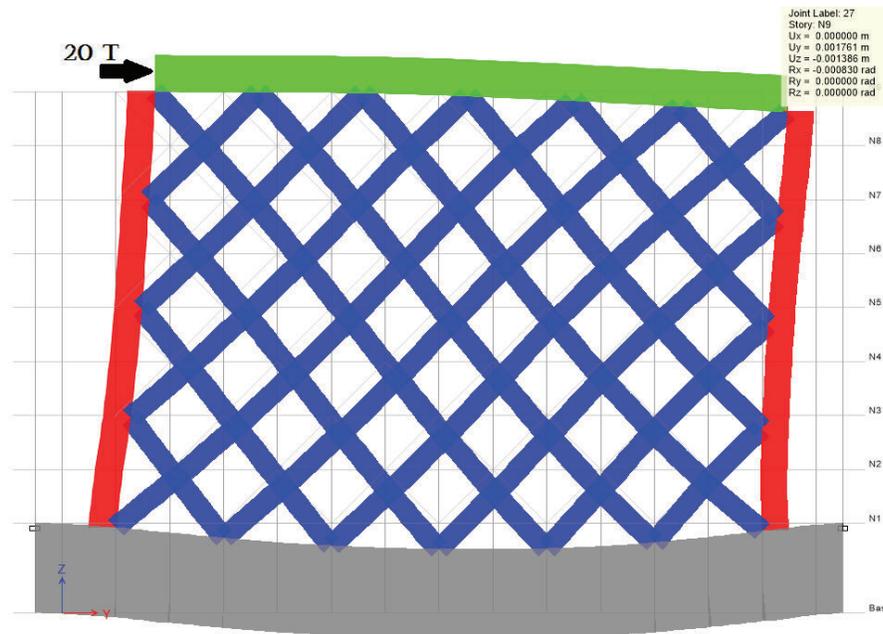


GRÁFICO 0.11: Deformación ante carga lateral en Etbas 2015.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

5.2.2 ESTIMACIÓN DE CARGA MÁXIMA DEL MURO DE M.R.A.

Los criterios y condiciones que se utilizó para estimar el valor de carga máxima se exponen a continuación. Cabe recalcar que debido a su alto grado de hiperestaticidad, el estimar un valor se volvió complicado, por lo que se lo hizo estableciendo una lógica sobre su posible comportamiento.

5.2.2.1 Debido a fallas de compresión

Los elementos sujetos a este tipo de esfuerzos esencialmente serían los ductos ante carga vertical y lateral. Su capacidad a compresión diagonal de acuerdo con el acápite 4.5 es de “7.06 toneladas”. Entonces, se hizo uso de la modelación aplicando una carga hasta que uno de estos nervios alcance el esfuerzo a compresión antes mencionado, obteniendo una carga máxima cercana a las 42.0 [T].

5.2.2.2 Debido a fallas de tensión

De la misma manera, cuando se aplica una fuerza en sentido lateral, unos nervios se comprimen y otros se traccionan; entonces, se calculó la resistencia de uno de ellos a tensión para luego ser comparado con el valor de carga máxima obtenida con el programa ETABS, cuando este alcance dicho esfuerzo; registrándose un valor aproximado a las 15.5 [T].

$$\text{Capacidad a tensión del nervio} = 0.1 A_g f'_c + A_s f_y$$

$$\text{Cap. tensión del nervio} = 0.1 (12[\text{cm}] * 6[\text{cm}]) \left(100 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right]\right) + 0.8[\text{cm}^2] \left(100 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right]\right)$$

$$\text{Capacidad a tensión del nervio} = 2.82 [\text{T}]$$

5.2.2.3 Debido a fallas de flexión

Del modelado, se notó que las zonas más comprometidas por esfuerzos de flexión son los pies de las columnetas. Debido a esto, se calculó la capacidad teórica para luego cotejarla y relacionarla con los esfuerzos generados por la inducción de carga al muro en el programa computacional. Es así como, según el "ACI 318-14" la capacidad a flexión de un elemento se define por la siguiente expresión:

$$\text{Mult. resistente} = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Donde,

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

Se reemplaza,

$$a = \frac{1.13[\text{cm}^2] * 4200 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right]}{0.85 * 100 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right] * 15[\text{cm}]} = 3.72 [\text{cm}]$$

$$\begin{aligned} \text{Mult. resistente} &= 0.9 * 1.13[\text{cm}^2] * 4200 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right] * \left(7.5[\text{cm}] - \frac{3.72[\text{cm}]}{2}\right) \\ &= 0.24 [\text{T. m}] \end{aligned}$$

Se aplicó el mismo procedimiento, de relacionar los esfuerzos con la carga aplicada en el programa computacional, para llegar al momento último resistente teórico; de esto se obtuvo una carga máxima de 19.5 [T].

5.2.2.4 Debido a la deriva máxima permitida

Se tomó en cuenta la deriva máxima permitida según el NEC; así se calculó la fuerza máxima que se necesitaría para llegar a cumplir este desplazamiento:

$$\Delta_M = R \Delta_E \leq 0.01$$

Donde:

Δ_M = Respuesta máxima inelástica en desplazamientos de estructuras.

Δ_E = Deriva obtenida por la aplicación de fuerzas laterales de diseño estáticas.

R = Coeficiente de reducción de respuesta estructural. ("5" para mampostería reforzada o confinada)

$$\Delta_E = \frac{0.01}{5} = 0.002$$

Para la altura del muro de M.R.A., se obtuvo:

$$0.002 = \frac{\text{Desplazamiento en } Y}{2.50[m]}$$

$$\text{Desplazamiento en } Y = 0.005 [m]$$

Igualmente, con el modelo en el programa computacional se procedió a relacionar su deformación con la carga aplicada hasta obtener el valor de carga máxima, estimada en 55.0 [T].

Por lo tanto, de todas las suposiciones de fallas, se vio que el estado de carga máxima que gobierna el ensayo es el de tensión producido en los nervios, con un valor aproximado a las 15.5 [T] y un desplazamiento de 1.4 [mm].

5.3 CONSTRUCCIÓN DEL MURO

Una vez definida la geometría y estimado un comportamiento tentativo del muro, se inició con su construcción. A continuación, se expone un resumen de todos los procesos constructivos, que siguieron paso a paso para su edificación. Cabe mencionar que el muro fue construido casi en su totalidad, por quienes desarrollaron este trabajo investigativo; es decir no fue necesario de mano de obra especializada.

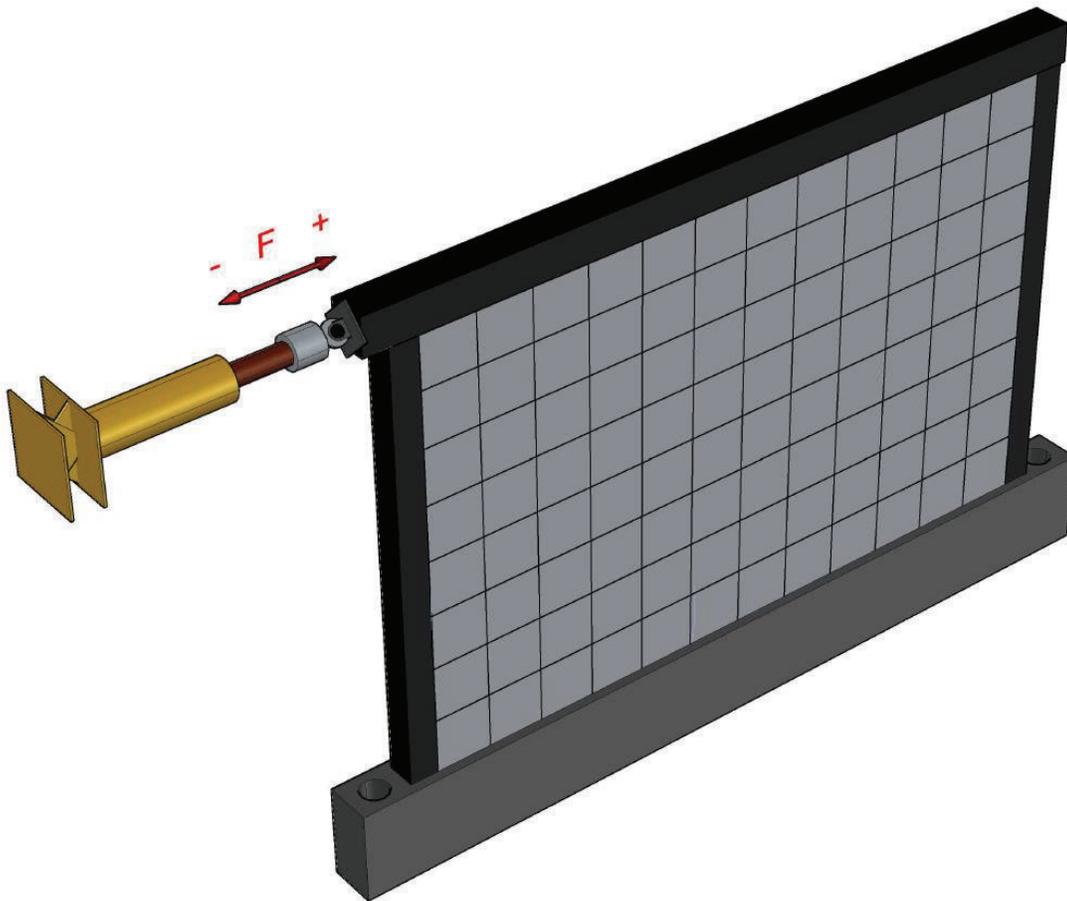


GRÁFICO 0.12: Muro de Mampostería Reforzada Alivianada (M.R.A.).
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

5.3.1 VIGA DE CIMENTACIÓN

Entonces, como revisó anteriormente la viga de cimentación quedó definida según las siguientes dimensiones (Ancho= 0.25 [m], Largo= 4.50 [m], Alto= 0.50 [m]); y fue la primera parte en construirse ya que ahí se apoyaría y empotraría el acero de refuerzo que iba embebido en los ductos y columnetas del muro.

5.3.1.1 Encofrado de la Viga de Cimentación

Para el encofrado se utilizó tabla triplex corriente de 9[mm], con cuarterones de eucalipto de 4x6 [cm] cada 60 [cm], para proveer estabilidad y eliminar la posibilidad de pandeo a causa de las presiones ejercidas por el hormigón en la fundición y durante su fraguado, ver “Gráfico 5.13”. Cabe recalcar, que en la práctica para la fundición de las zapatas corridas no se utilizaría encofrado, sino más bien se fundirían directamente sobre la superficie del suelo natural, para disminuir costos en el uso de este sistema constructivo.

5.3.1.2 Hormigón de la Viga de Cimentación

Para el diseño del hormigón de la viga de cimentación " $f'c=210.0[\text{kg}/\text{cm}^2]$ ", se utilizó los mismos agregados empleados en el diseño del micro-hormigón expansivo de alta plasticidad. Cabe mencionar, que en este caso el tamaño máximo del agregado grueso fue de $1\frac{1}{2}$ "; en el "Anexo No.14 y No.15" se puede encontrar la dosificación utilizada y la resistencia alcanzada, respectivamente.

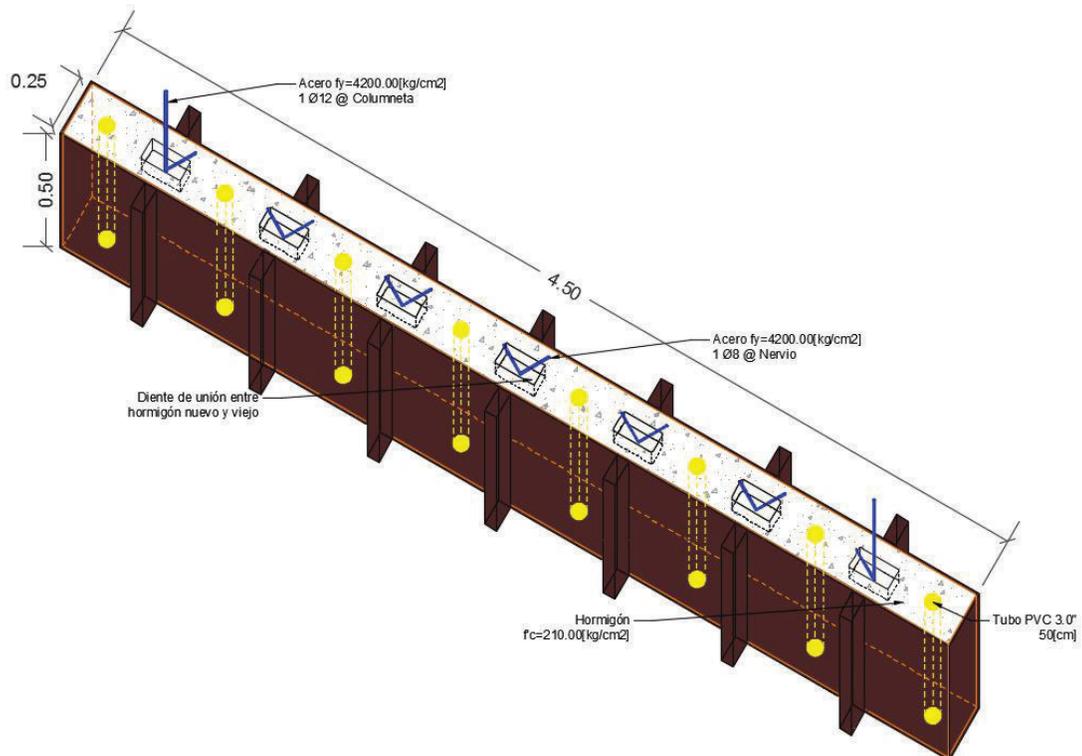


GRÁFICO 0.13: Construcción de la viga de cimentación del muro de M.R.A..
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Fotos de evidencia,



GRÁFICO 0.14: Fotos de viga de cimentación. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

5.3.1.3 Acero de refuerzo de la Viga de Cimentación

Una vez culminada la modelación y teniendo valores tentativos sobre el comportamiento de nuestra estructura, se comprobó si el acero propuesto en el diseño es suficiente para las demandas y exigencias previstas.

Es así que, se comparó el momento último resistente que soportaría la viga, con el momento máximo obtenido a través de la modelación en el programa computacional ETABS 2015, como a continuación se demuestra:

Valor obtenido de la modelación:

$$\text{Momento máx. en viga de cimentación} = 1.66 [T. m]$$

Cálculo del momento último resistente con acero mínimo, según el ACI:

$$Mult. resistente = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Donde,

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

Se reemplaza,

$$a = \frac{4.52[cm^2] * 4200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{0.85 * 210 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] * 25[cm]} = 4.25 [cm]$$

$$Mult. resistente = 0.9 * 4.52[cm^2] * 4200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] * \left(47.5[cm] - \frac{4.25[cm]}{2} \right)$$

$$Mult. resistente = 775259.1[kg. cm] = 7.75 [T. m]$$

Entonces,

$$1.66 [T] < 7.75 [T] \quad \therefore \quad Ok!$$

Además, la sollicitación a corte obtenida de la simulación (Carga D+L) tuvo el valor de 8.43 [T]. Y del mismo modo, se diseñó la viga de cimentación para que sea capaz de satisfacer esta demanda:

$$V_{ult.} = 1.4 V(D + L) + \frac{M_{pl.1} + M_{pl.2}}{l}$$

Donde,

$$M_{plástico} = A_s 1.3 f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Se reemplaza,

$$a = \frac{4.52[cm^2] * 4200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{0.85 * 210 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] * 25[cm]} = 4.25 [cm]$$

$$M_{plástico_{1-2}} = 4.52[cm^2] * 1.3 * 4200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] * \left(47.5[cm] - \frac{4.25[cm]}{2} \right)$$

$$M_{plástico_{1-2}} = 1119818.7[kg.cm] = 11.20 [T.m]$$

Por lo tanto,

$$V_{ult.} = 1.4 * 8.43[T] + \frac{11.20[T] + 11.20[T]}{4.50[m]} = 16.78 [T]$$

A fin de encontrar el refuerzo a corte, se realizó los siguientes cálculos “ACI318-14”:

$$V_{ult.} \leq \phi (V_c + V_s) , \text{ donde } \phi = 0.85$$

Capacidad a corte del hormigón,

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d = 0.53 \sqrt{210} \left[\frac{kg}{cm^2} \right] 25[cm] 46[cm] = 8832.49[kg] = 8.83[T]$$

Acero de refuerzo requerido,

$$V_s = \frac{V_{ult.}}{\phi} - V_c = \frac{16.62[T]}{0.85} - 8.83[T] = 10.72[T]$$

$$S_{extremos} = \frac{d}{4} = \frac{46[cm]}{4} = 11.50 [cm] \approx 10.00 [cm]$$

Cuantía del acero por corte,

$$A_v = \frac{V_s S}{f_y d} = \frac{10.72[T] 0.10[m]}{42000 \left[\frac{T}{m^2} \right] 0.46[m]} = 0.000055 [m^2] = 0.55[cm^2] \approx 2R \phi 8$$

$$S_{medio} = \frac{d}{2} = \frac{46[cm]}{2} = 23.00 [cm] \approx 20.00 [cm]$$

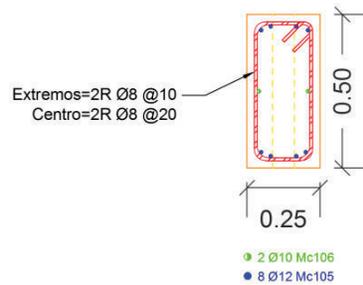


GRÁFICO 0.15: Armado de viga de cimentación. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

5.3.2 MURO DE M.R.A

Se continuó con la construcción, para lo cual se preparó todos los elementos para la fundición del muro. A continuación, se amplía de mejor manera el preceso seguido:

5.3.2.1 Mampostería de Poliestireno Expandido

La mampostería se dispuso de modo que sus cuatro extremos terminen en un nervio que converja con los nudos de los elementos confinantes; es así que, se empezó desde el extremo inferior derecho con la disposición de un “Bloque B” y la geometría prevista daba para que al alternarlos en los dos sentidos se cumpla con la premisa anterior.

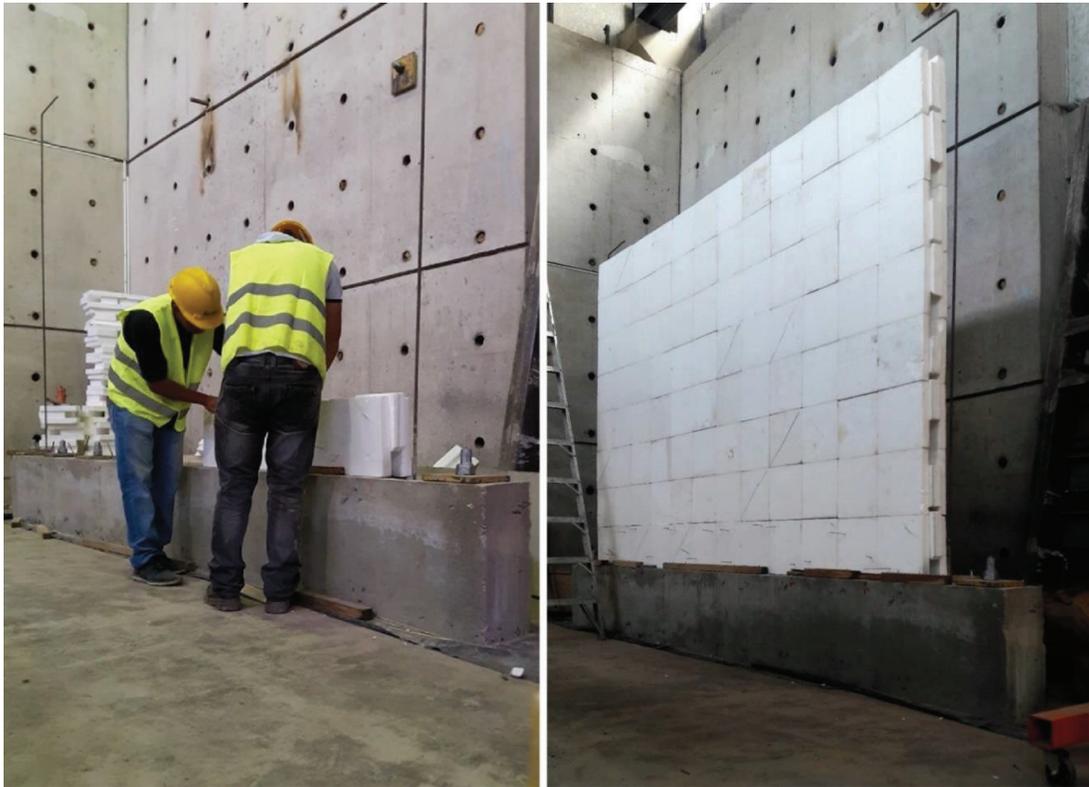


GRÁFICO 0.16: Disposición de bloques de M.R.A.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

5.3.2.2 Acero de Refuerzo en el Muro de M.R.A.

Una vez culminada la disposición de los bloques, se reanudó la construcción del muro con la colocación del acero de refuerzo en los ductos, los cuales fueron soldados en sus extremos inferiores y amarrados con alambre al acero de las columnetas en sus extremos opuestos, ver “Gráfico 5.17”.



GRÁFICO 0.17: Conexiones y ganchos de ductos. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Para calcular la longitud de suelda que empalmó las varillas de refuerzo de los ductos, se procedió por asegurar que estas primero fluyan antes de que falle la conexión. A continuación se explica matemáticamente de mejor manera:

Capacidad a fluencias de las varillas de refuerzo,

$$P_u = 0.9 f_y A_g$$

$$P_u = 0.9 \left(4200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \right) \left(\pi \frac{(0.8[cm])^2}{4} \right) = 1899.98[kg]$$

Longitud de suelda necesaria con electrodo E60 ($f_w=4200$ [kg/cm²]),

$$P_u = 0.75 \phi f_w t_w l$$

Donde,

$\phi = 0.6$	Factor de reducción por corte
$t_w = 0.707 D$	Espesor efectivo de la garganta
D	Menor espesor de las placas a soldar
f_w	Esfuerzo de ruptura por tensión
l	Longitud de soldadura

$$l = \frac{1899.98[kg]}{0.75 * 0.6 \left(4200 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \right) 0.707(0.8[cm])} = 1.78 [cm] \equiv 2 \text{ puntos de suelda}$$

5.3.2.3 Encofrado del Muro de M.R.A.

El encofrado fue necesario para dar estabilidad a la mampostería y moldear los elementos confinantes del muro durante el proceso de fundición y fraguado del hormigón.

Es así que, éste fue armado tal como se esquematiza en el “Gráfico 5.18” constando de cuartones de 8x4 y 4x4, tableros triplex de 9 líneas entorchados con alambre; y además, se lo apuntaló con ayuda de pingos y tablas de monte contra el muro del laboratorio para poderlo aplomar y así también proveerle de estabilidad, ver “Gráfico 5.19”.

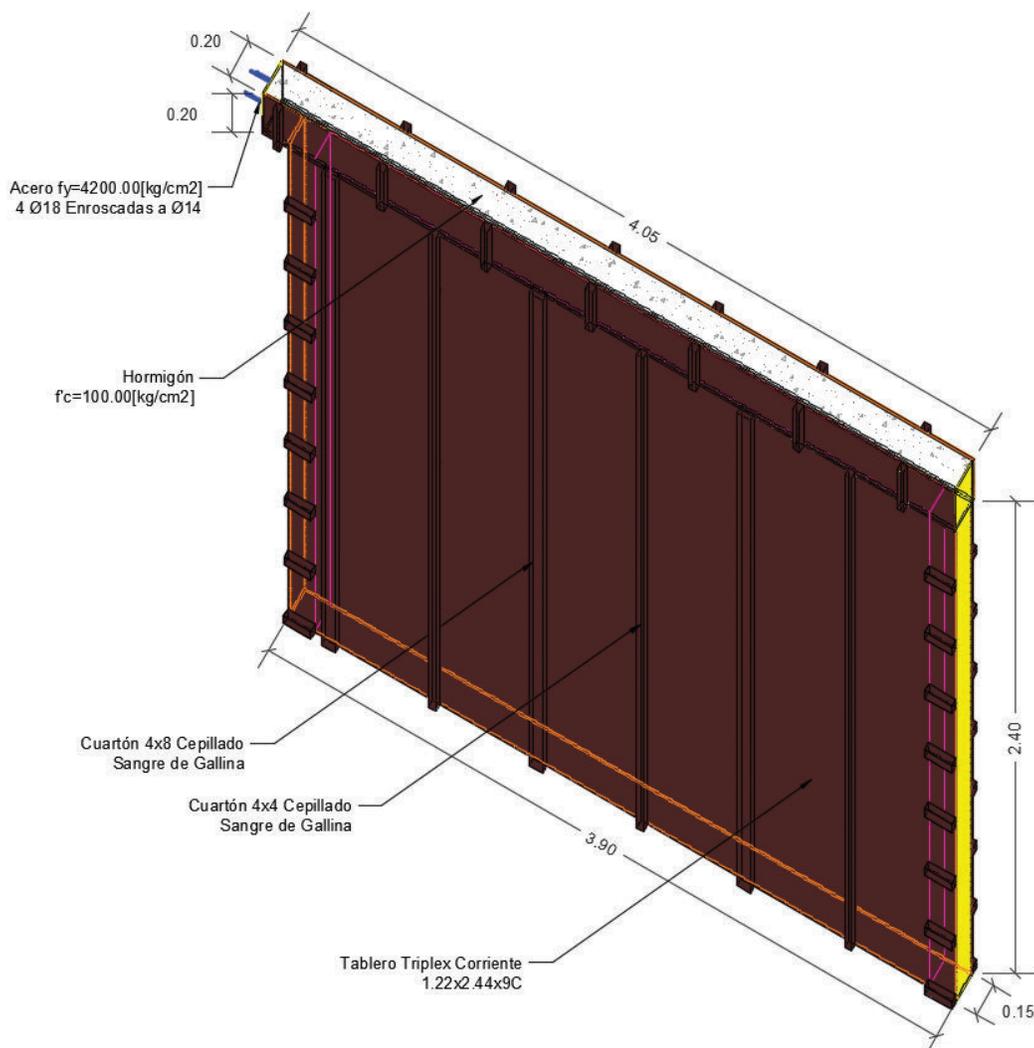


GRÁFICO 0.18: Encofrado del muro de M.R.A.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Fotos de evidencia,



GRÁFICO 0.19: Encofrado y apuntalado del muro.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

5.3.2.4 Hormigón del Muro de M.R.A.

Antes del proceso de fundición, se dispuso el armado de la viga de carga dentro del encofrado alineándolo y centrándolo con el agujero del muro del laboratorio de ensayos, donde iba a ser dispuesto el gato hidráulico que nos suministraría de carga lateral durante el ensayo, ver “Gráfico 5.20”.

Para la fundición del muro se utilizó la misma dosificación del micro-hormigón empleada en la fundición de los muretes; pero además, debido a la demanda en el uso del laboratorio se requirió el uso de un acelerante “EPS 800” de la empresa TESPECON, el cual fue agregado en una dosificación de “17.5 [ml/kg cemento]” y con lo cual se obtuvo mediante el Cono de Abrams un asentamiento de 27.00[cm], ver “Gráfico 5.21”.



GRÁFICO 0.20: Viga de carga del muro de M.R.A. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Nota:

Debido a la inclusión del acelerante, al cumplirse el tiempo de fraguado y mediante ensayos destructivos de tres cilindros hormigón, se obtuvo una resistencia promedio a la compresión de $f'c = 75.00$ [kg/cm²]; es decir, se redujo aproximadamente un 25.0% de la resistencia de la dosificación original, ver "Tabla 5.1".



GRÁFICO 0.21: Ensayos del micro-hormigón. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Resistencia requerida del micro-hormigón [kg/cm ²]=			
	100.00		
	28 Días		
	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C
Diametro 1 [cm]	10.200	10.000	10.000
Diametro 2 [cm]	9.900	10.200	10.100
Diametro 3 [cm]	10.000	10.300	10.200
Altura 1 [cm]	19.900	20.000	20.000
Altura 2 [cm]	20.000	20.100	20.100
Altura 3 [cm]	20.200	20.200	20.300
Peso [gr]	3486.200	3554.700	3507.600
Carga [T]	5.844	6.460	5.914
Área [cm ²]	79.062	81.178	80.117
Volumen [cm ³]	1583.883	1631.671	1613.012
Peso esp. [gr/cm ³]	2.201	2.179	2.175
Resistencia [Kg/cm ²]	73.916	79.579	73.817
Por. Alcazado [%]	73.916	79.579	73.817

TABLA 0.1: Resistencia a la compresión del micro-hormigón del muro de M.R.A.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.



GRÁFICO 0.22: Muro de Mampostería Reforzada Alivianada.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

El proceso de fundición se lo realizó vertiendo el micro-hormigón por las aberturas laterales de las columnetas y la parte superior de la viga de carga, dando golpes sobre el encofrado con un martillo de caucho para ayudar a que se rellenen todos los ductos y los elementos confinantes del muro. Durante el proceso de fundición, no se presentó ningún inconveniente y de igual manera durante su desencofrado, ver “Gráfico 5.22”.

5.4 ENSAYOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Antes del inicio del ensayo a carga lateral, se pretensó los pernos de anclaje con la fuerza calculada en el inciso 5.1.5 “4981.30 [PSI]”, tal cual se esquematiza en el “Gráfico 5.23”.



GRÁFICO 0.23: Pretensión de los pernos de anclaje.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

5.4.1 ENSAYO DE CARGA LATERAL DEL MURO DE M.R.A.

Este ensayo se realizó con el fundamento de visualizar el comportamiento, cuantificar la resistencia y desplazamiento del nuevo sistema estructural propuesto, ante carga lateral.

5.4.1.1 Equipos

El equipo utilizado en este ensayo, se lo expone a continuación:

- ✓ Pernos de anclaje



GRÁFICO 0.24: Pernos de pretensión y anclaje. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

- ✓ Bomba y gato manual ENERPAC para pretensión de pernos de anclaje



GRÁFICO 0.25: Bomba y gato de pretensión. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

- ✓ Cilindro hidráulico de doble acción / Gato hidráulico



GRÁFICO 0.26: Cilindro hidráulico de doble acción. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

- ✓ Bomba eléctrica manual ENERPAC



GRÁFICO 0.27: Bomba eléctrica manual. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

- ✓ Celda de carga de 20.0[T], con rótula de acople y placa de carga



GRÁFICO 0.28: Celda y placa de carga. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

- ✓ Puente grúa



GRÁFICO 0.29: Puente grúa. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

- ✓ Sistema UPM100 HBM de 80 canales para procesamiento y recopilación de información



GRÁFICO 0.30: Sistema UPM100 HBM. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

- ✓ LVDTs de 200 [mm] para cualificar desplazamientos



GRÁFICO 0.31: LVDT “medidor digital de desplazamiento”.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

- ✓ Caja de 18 canales de transmisión de información



GRÁFICO 0.32: Dispositivo transmisor de información.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

✓ Plomada



GRÁFICO 0.33: Plomada. **Fuente:** Internet.

5.4.1.2 Procedimiento del Ensayo a Carga Lateral del Muro de M.R.A.

La carga inducida mediante el gato hidráulico anclado al muro del laboratorio, se la localizó en el extremo superior izquierdo y fue en ambos sentidos (Derecha=positivo; Izquierda=negativo), y con la ayuda de un LVDT localizado en el extremo superior opuesto del mismo se registró los desplazamientos.

Por otro lado, para registrar la torsión en la estructura durante el ensayo del muro, se dispuso en el lado derecho de la viga de carga una plomada que se extendía hasta el pie de la columneta.



GRÁFICO 0.34: Ensayo a carga lateral del muro de M.R.A.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Debido a que en principio se tenía una gran incertidumbre al comportamiento del muro en el transcurso del ensayo, y por motivos de prevención y seguridad se decidió sujetar el muro con cadenas al puente grúa dejando la suficiente holgura para que esta acción no interfiera en los resultados obtenidos del ensayo. Además, para poder localizar y visualizar de mejor manera las fisuras originadas por los estados de carga, se pintó los elementos confinantes de color blanco y se colocó un empaste SIKA sobre la mampostería de poliestireno expandido. Cabe mencionar, que estas fisuras localizadas sobre el empaste, no eran totalmente verídicas, sino más bien fueron una guía para intuir el comportamiento real del muro.

5.4.1.3 Resultados del Ensayo a Carga Lateral del Muro de M.R.A.

Como se mencionó en el inciso anterior, debido a la incertidumbre del comportamiento del muro se procedió a realizar estados de carga paulatinos en ambos sentidos, los cuales tomaron valores desde 1.00 [T] hasta las 20.00[T] aproximadamente, y las cuales se esquematizan en el siguiente gráfico.

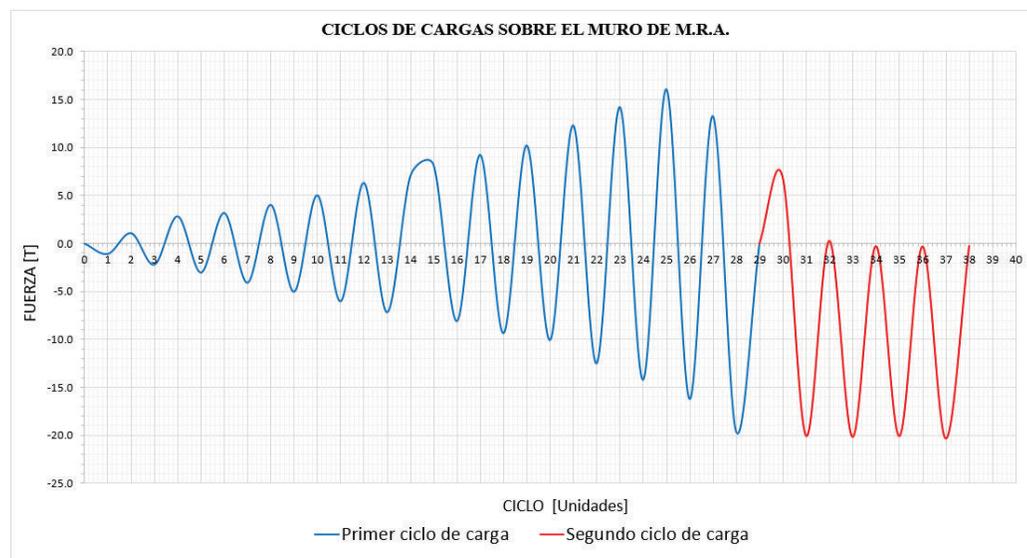


GRÁFICO 0.35: Ciclos de carga lateral en el muro. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

5.4.1.3.1 Análisis de Resultados Visuales

En un principio y como se estimaba de acuerdo a la simulación en el programa ETABS 2015, la primera parte de la estructura que se vió comprometida a fallas, a un valor aproximado de $-6.30[T]$ fue la parte inferior de la columneta derecha. A partir de ese entonces comenzaron aparecer fisuras paulatinamente conforme el aumento de carga en los dos sentidos, hasta alcanzar el máximo valor de $-19.56 [T]$, con un desplazamiento compaginado de $-29.75[mm]$. Cabe mencionar, que las fisuras fueron pequeñas y la estructura conservaba una muy buena apariencia,

siendo aún capaz de seguir resistiendo carga; pero debido a la limitación de la celda de carga se finalizó el ensayo. Es así que, en el “Gráfico 5.44” se puede encontrar una ilustración en la que registró todas las fisuras externas localizadas sobre los elementos confinantes y el empaste de la mampostería.

Una vez terminado el ensayo, se procedió a retirar una capa externa de los bloques de poliestireno para visualizar las fisuras internas sobre los nervios/ ductos de hormigón, a lo cual dentro de ellos se evidenció que no existían fisuras o grietas de consideración; es más, se podría decir que eran casi imperceptibles a la vista, ver “Gráfico 5.45 - Primer ciclo de carga”.

A consecuencia de que el muro estaba todavía en buen estado, y con el limitante de la capacidad de la celda de carga de 20.00 [T], en un segundo ensayo se decidió intentar agotar al muro realizando procesos de carga y descarga súbitos hasta su máxima capacidad, ver “Gráfico 5.35”; es así que, se realizó varios ciclos sin lograr todavía agotarlo al muro. Por lo tanto, después de dos series de ensayos a carga lateral y con el muro aún en pie y con la capacidad de soportar cargas mayores a las que estuvo sometido, se decidió dar por culminados los ensayos de este tipo y iniciar su demolición.



GRÁFICO 0.36: Muro de M.R.A. posterior al primer ciclo de carga lateral.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

FISURAS EXTERNAS EN EL MURO DE M.R.A

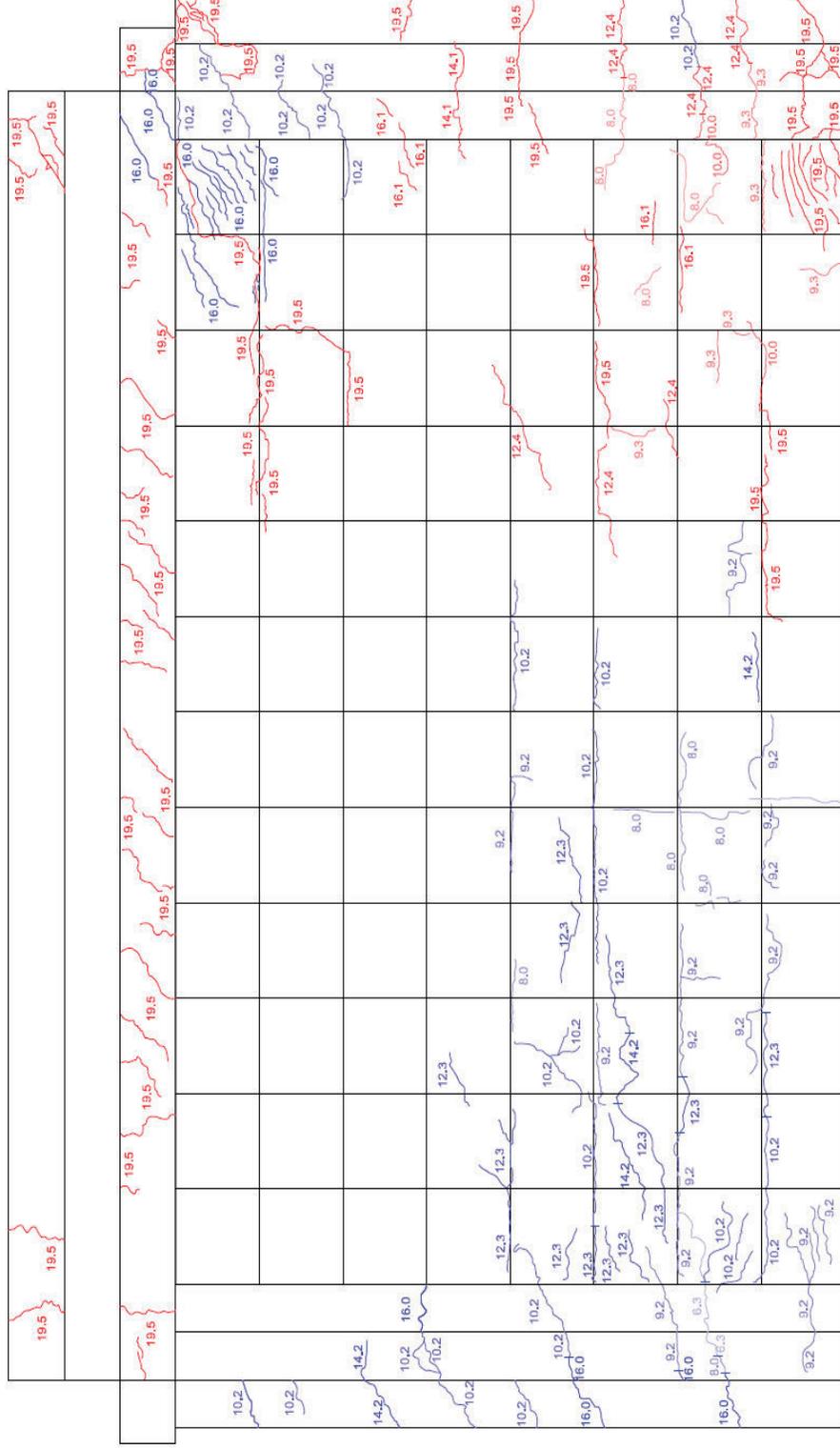


GRÁFICO 0.37: Fisuras internas sobre el muro de M.R.A. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

FISURAS INTERNAS EN EL MURO DE M.R.A

— Primer ciclo de carga
— Segundo ciclo de carga

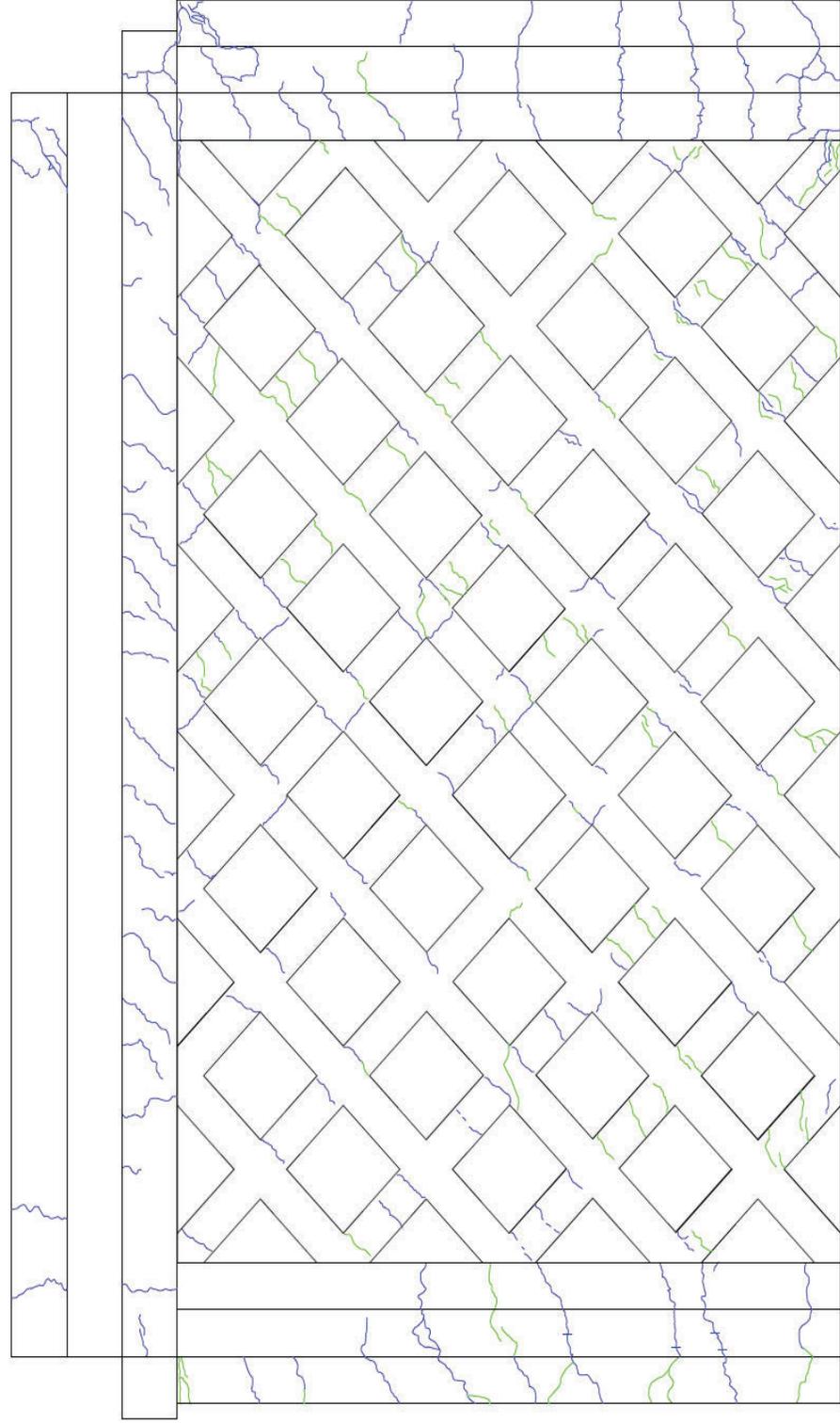


GRÁFICO 0.38: Fisuras externas sobre el muro de M.R.A. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Por otro lado, y en cuanto a la torsión registrada durante los ensayos a carga lateral, se presume que existió alguna pequeña excentricidad ya que a partir de cierta carga inducida en sentido positivo se registró mediante una plomada y visualmente que el muro empezó a torcerse; cabe mencionar que este volvía a recuperar sus deformaciones una vez retirada la carga o cuando la carga inducida era en sentido negativo; a continuación, se presenta una tabla de registro de los valores de carga y las observaciones de todos los ciclos durante los ensayos.

RESUMEN DE CICLOS DE CARGA Y DESPLAZAMIENTO A CARGA LATERAL						
Ciclo	Tiempo	Sentido	Carga máxima	Deformación	Desplome	Observación
[#]	[h/m/s]	[+ ; -]	[kg]	[mm]	[cm]	[-]
Primer Ensayo						
0	0:00:00	Neutro	0.000	0.000	0.00	-
-1	0:02:40	Negativo	-1071.429	-0.051	0.00	-
+1	0:06:20	Positivo	1085.881	0.033	0.00	-
-2	0:11:10	Negativo	-2188.707	-0.130	0.00	-
+2	0:12:20	Positivo	2845.077	0.155	0.00	-
-3	0:16:10	Negativo	-3013.996	-0.166	0.00	-
+3	0:19:20	Positivo	3190.000	0.165	0.00	-
-4	0:25:10	Negativo	-4068.336	-0.242	0.00	-
+4	0:29:10	Positivo	4034.554	0.236	0.00	-
-5	0:35:30	Negativo	-5011.944	-0.300	0.00	-
+5	0:39:00	Positivo	5033.541	0.349	0.00	-
-6	0:44:10	Negativo	-6010.665	-0.370	0.00	-
+6	0:49:00	Positivo	6326.915	0.480	0.00	Primera fisura
-7	0:58:20	Negativo	-7149.751	-0.448	0.00	Fisuras
+7	1:05:40	Positivo	7056.870	0.674	0.00	Fisuras
+8	1:10:30	Positivo	8168.042	0.805	-0.40	Fisuras
-8	1:20:50	Negativo	-8076.152	-0.540	-0.20	Fisuras
+9	1:28:20	Positivo	9246.658	1.446	-0.60	Fisuras
-9	1:37:30	Negativo	-9331.113	-1.070	-0.10	Fisuras
+10	1:40:30	Positivo	10223.927	1.952	-0.80	Fisuras
-10	1:48:10	Negativo	-10047.534	-1.437	0.10	Fisuras
+11	1:56:20	Positivo	12313.595	3.184	-0.70	Fisuras
-11	2:01:20	Negativo	-12468.327	-8.019	0.30	Fisuras
+12	2:05:30	Positivo	14215.047	7.575	-0.30	Torsión evidente
-12	2:12:30	Negativo	-14166.786	-11.901	0.20	Fisuras
+13	2:19:10	Positivo	16071.041	10.957	2.20	Torsión muy evidente
-13	2:26:10	Negativo	-16180.019	-18.462	0.50	Fisuras
+14	2:29:40	Positivo	13269.788	8.178	-0.80	Torsión muy evidente
-14	2:30:50	Negativo	-19558.396	-29.750	1.40	Fisuras
Segundo Ensayo						
0	0:00:00	Neutro	0.000	0.000	2.80	Fisuras
+1	0:06:20	Positivo	6908.275	18.584	4.30	Torsión muy evidente
-1	0:18:30	Negativo	-20031.342	-22.022	-3.00	Fisuras
-2	0:19:00	Positivo	310.993	-11.260	0.80	Fisuras
+2	0:29:00	Negativo	-20162.961	-24.822	-3.00	Fisuras
-3	0:29:30	Negativo	-250.711	-13.302	0.80	Fisuras
+3	0:32:40	Negativo	-20089.672	-25.211	3.00	Fisuras
-4	0:33:00	Negativo	-289.268	-13.814	0.80	Fisuras
+4	0:38:30	Negativo	-20328.809	-26.073	-2.20	Fisuras
-5	0:38:50	Negativo	-229.004	-14.538	0.90	Fisuras

TABLA 0.2: Resumen y registro de valores de los estados de carga, del ensayo a carga lateral del muro de M.R.A. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

5.4.1.3.2 Análisis de Resultados Numéricos

En esta sección se presentan los datos cuantificados y esquematizados en cuanto a la fuerza y desplazamiento a consecuencia de la carga lateral aplicada en el extremo superior izquierdo del muro. Por otro lado, se muestra los vucles/lazos histeréticos obtenidos del ensayo, para posteriormente calcular parámetros estructurales tales como la rigidez secante y la energía de disipación interna de cada uno de ellos; asimismo, se conformaron las envolventes o diagramas esqueléticos con los valores de carga máxima y el respectivo desplazamiento de cada lazo histerético “tanto positivos como negativos”, para así obtener un promedio que sería comparado con una envolvente construida en base a los valores de carga promedio que se obtuvieron del ensayo, y los valores de desplazamiento proporcionado por la simulación en el programa computacional ETABS2015.

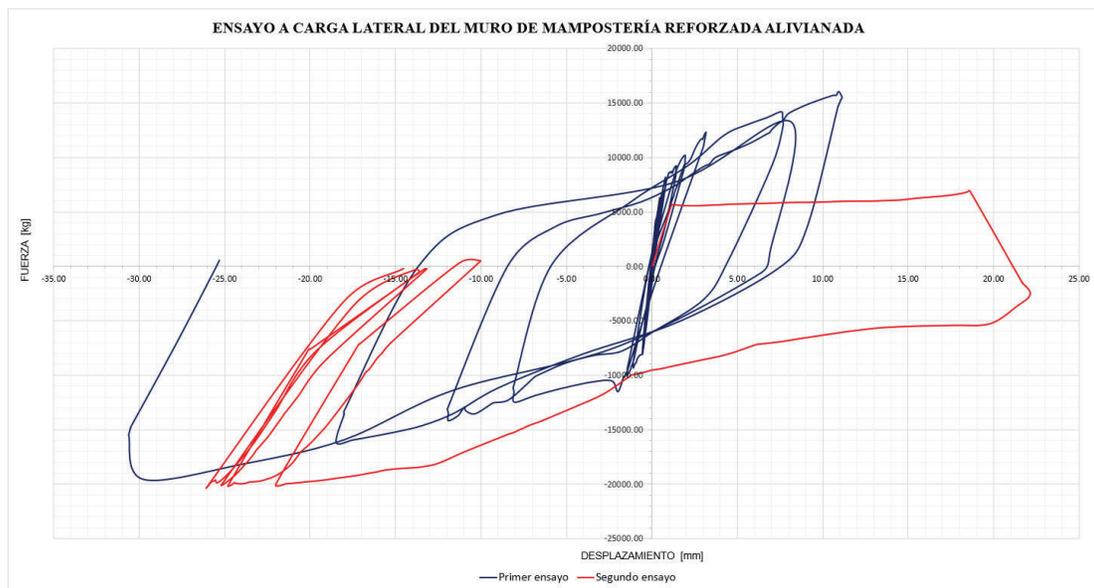


GRÁFICO 0.40: Fuerza vs. Desplazamiento del muro de M.R.A. ante carga lateral. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

En el “Gráfico 5.40”, se puede visualizar dos curvas (azul y roja) las cuales corresponden al mismo tipo de ensayo a carga lateral, pero su diferencia radica en que la primera corresponde a una primera fase del ensayo en la cual no se llegó a agotar el muro debido a la capacidad de la celda de carga “20 T” y una evidenciada torsión al aplicar la carga en dirección positiva, presuntamente por una excentricidad existente entre el gato hidráulico y el eje central de la viga de carga. Del mismo modo, la curva en color rojo corresponde a la obtenida durante una segunda fase del ensayo de carga lateral, una vez retirada la capa exterior de poliestireno expandido de los bloques de M.R.A., donde se evidenció que la estructura del muro estaba casi intacta, y que solo existía la presencia de algunas

pequeñas fisuras ortogonales a los nervios, hipotéticamente ocasionadas por esfuerzos de tensión o corte. Pero al igual que en la primera fase también se presentó una torsión considerable ante carga lateral positiva, por lo que solo se trató de agotar al muro frente a carga lateral negativa, y la cual estuvo ejercida mediante 4 ciclos de carga y descarga realizados súbitamente.

A continuación, en la “Tabla 5.3” se presenta un resumen de cada uno de los vuclcs histéreticos de los cuales se obtuvo valores de Rigidez secante, Energía disipada por amortiguamiento, Energía de deformación máxima y Amoriguamiento viscoso equivalente para cada uno de ellos, de acuerdo a su desplazamiento máximo y su carga o fuerza lateral correspondiente.

Cabe mencionar, que solo se realizó el estudio de los vuclcs histéreticos de la primera fase del ensayo; ya que la torsión del muro existente durante la segunda fase del ensayo en sentido positivo era muy evidente, y distorsionaba los valores registrados por el LVDT impidiendo que se formen lazos histéreticos completos y estables.

TABLA DE PARÁMETROS ASOCIADOS DEL MURO DE M.R.A.						
Ciclo histéretico	Carga "F"	Deformación máxima	Rigidez secante	Energía disipada por amortiguamiento	Energía de deformación máxima	Amortiguamiento viscoso equivalente
[#]	[kg]	[mm]	[T/mm]	[Jouls]	[Jouls]	[-]
1	-885.596	-0.072	17.338	0.701	0.204	0.324
	1056.924	0.039				
2	-2188.707	-0.130	16.694	0.994	2.240	0.085
	2750.965	0.166				
3	-2804.054	-0.177	17.219	1.130	2.611	0.084
	3148.979	0.169				
4	-4068.336	-0.242	16.605	2.037	4.623	0.085
	3928.382	0.240				
5	-4864.748	-0.306	15.164	3.170	7.993	0.082
	4864.630	0.335				
6	-5827.281	-0.374	13.153	8.272	16.642	0.090
	6244.873	0.543				
7	-7149.751	-0.448	12.658	13.972	23.322	0.098
	7056.870	0.674				
8	-8076.152	-0.540	11.437	19.753	31.070	0.101
	7617.875	0.832				
9	-8877.468	-1.091	7.142	70.737	65.569	0.136
	9246.658	1.446				
10	-10047.534	-1.437	5.846	73.275	97.851	0.110
	9808.890	1.959				
11	-11124.249	-8.104	2.076	1043.218	192.229	0.482
	12313.595	3.184				
12	-13088.171	-11.955	1.337	1813.511	498.597	0.339
	13191.930	7.708				
13	-16180.019	-18.462	1.071	3396.586	849.395	0.368
	15540.164	11.147				
14	-15487.452	-30.609	0.741	5568.329	532.101	0.883
	13269.788	8.178				

TABLA 0.3: Tabla de resumen por ciclos. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narvéez.

Para entender la importancia de los valores obtenidos anteriormente, a continuación se explica su significado y el proceso realizado para su cálculo.

El objetivo principal de realizar ensayos de comportamiento cíclico, es determinar sus parámetros asociados tales como: (Gallegos & Casabonne, 2005)

- a) La forma de falla
- b) La ductilidad disponible
- c) La degradación de la rigidez
- d) El índice de disipación de energía
- e) Amortiguamiento viscoso equivalente

En cuanto a la forma de falla, corresponde al registro y caracterización de las grietas y fisuras correspondientes a cada uno de los ciclos de carga; por lo que este parámetro quedó evidenciado en el acápite 5.4.2.3.1, donde ya se lo revisó con anterioridad.

El parámetro más significativo a determinarse mediante un ensayo de carga cíclica es la ductilidad disponible de una estructura, la cual se obtiene con la confluencia de los valores de los lazos histéricos estables, los cuales dan forma a un diagrama esquelético del cual se obtuvieron los valores de deformación por fluencia " Δy " y deformación última " Δu ", ver "Gráfico 5.48". El primer valor puede ser definido de manera arbitraria, pero con sentido lógico cuando la estructura pasa de la linealidad perfecta a la plasticidad según criterios como: la primera fluencia, equivalencia elasto-plástica, equivalencia de absorción de energía o equivalencia elasto-plástica con rigidez reducida como se evidencia en el "Gráfico 5.42"; mientras que el segundo valor se lo asocia a la deformación correspondiente a una carga un 25% a 30% menor del valor de carga máxima después de haber sobrepasado la misma, y también se la considera cuando: ocurre una falla frágil que demuestre una pérdida considerable con relación a la resistencia máxima, la deformación ligada a la carga máxima o simplemente una deformación basada en un límite convencional, tales criterios se esquematizan en el "Gráfico 5.43" . (Gallegos & Casabonne, 2005)

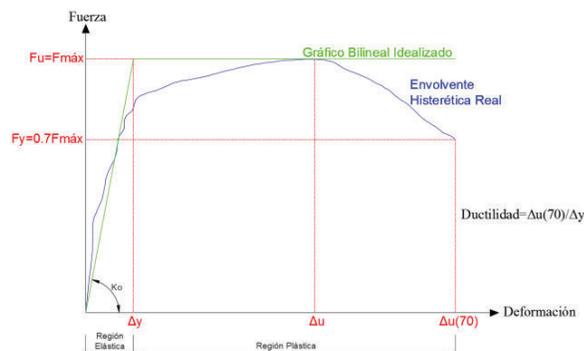


GRÁFICO 0.41: Comportamiento elasto-plástico idealizado.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

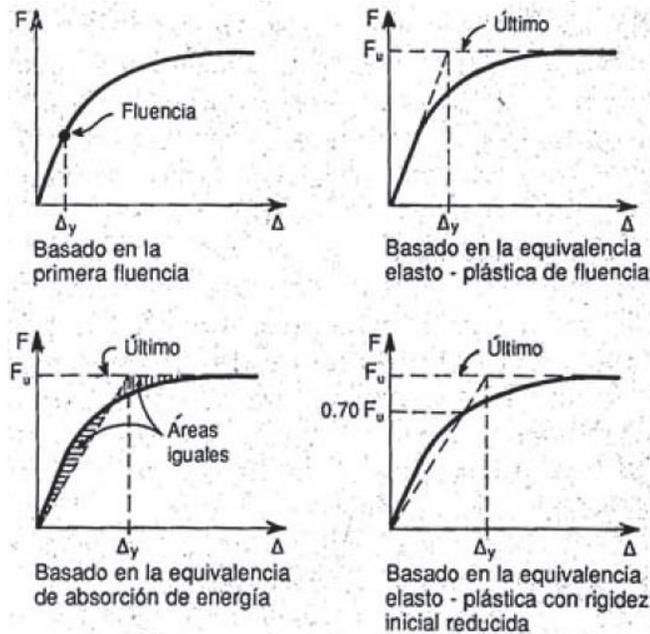


GRÁFICO 0.42: Determinación de la deformación de fluencia.

Fuente: Albañilería Estructural.

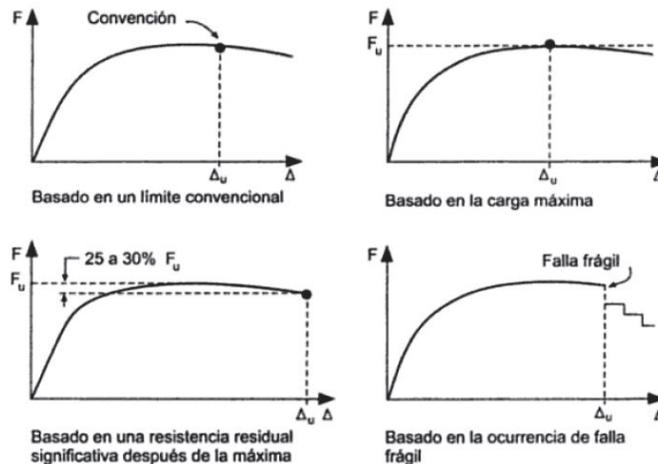


GRÁFICO 0.43: Determinación de la deformación última.

Fuente: Albañilería Estructural.

Es así que, se hizo uso de los valores de la “Tabla 5.2” para construir las envolventes positiva y negativa de la cual se obtuvo una envolvente promedio, la cual se encuentra esquematizada en el “Gráfico 5.44” y cuyos valores están expuestos en la “Tabla 5.4”, respectivamente. Cabe recalcar, que la curva esquelética graficada solo se la realizó hasta con los valores positivos y negativos de carga cercanos a las 16 toneladas, debido a que solo existió una correlación

hasta esos valores de carga, ya que la torsión existente no permitió registrar datos para los ciclos posteriores de carga positiva

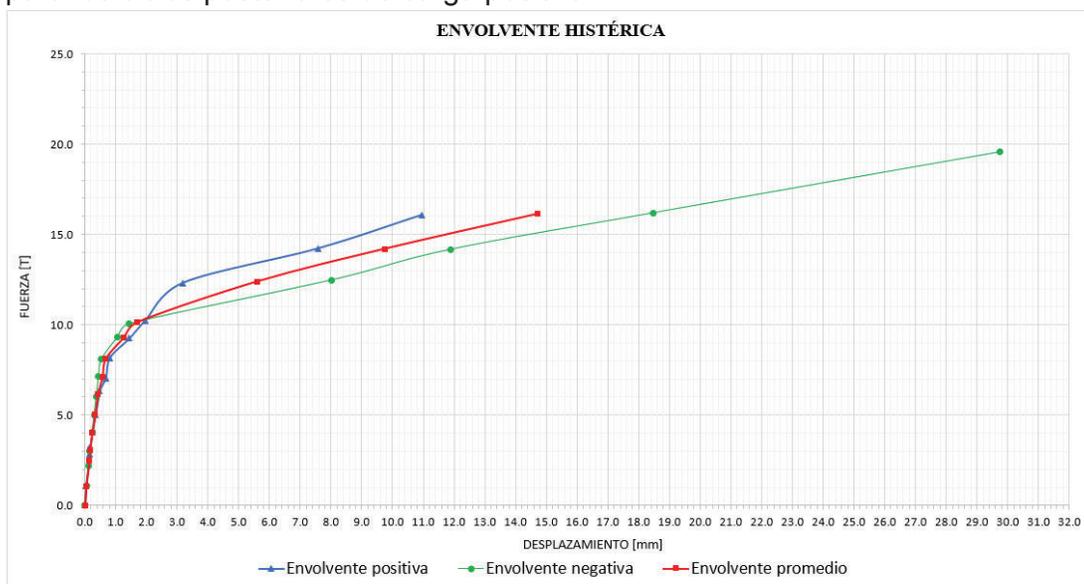


GRÁFICO 0.44: Envolvente histórica del muro de M.R.A.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

TABLA DE ENVOLVENTES							
ENVOLVENTE POSITIVA		ENVOLVENTE NEGATIVA		ENVOLVENTE PROMEDIO		ENVOLVENTE ETABS	
Fuerza	Desplazamineto	Fuerza	Desplazamineto	Fuerza	Desplazamineto	Fuerza	Desplazamineto
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.086	0.033	1.071	0.051	1.079	0.042	1.079	0.084
2.845	0.155	2.189	0.130	2.517	0.143	2.517	0.212
3.190	0.165	3.014	0.166	3.102	0.165	3.102	0.264
4.035	0.236	4.068	0.242	4.051	0.239	4.051	0.349
5.034	0.349	5.012	0.300	5.023	0.325	5.023	0.435
6.327	0.480	6.011	0.370	6.169	0.425	6.169	0.538
7.057	0.674	7.150	0.448	7.103	0.561	7.103	0.621
8.168	0.805	8.076	0.540	8.122	0.673	8.122	0.712
9.247	1.446	9.331	1.070	9.289	1.258	9.289	0.816
10.224	1.952	10.048	1.437	10.136	1.695	10.136	0.891
12.314	3.184	12.468	8.019	12.391	5.601	12.391	1.092
14.215	7.575	14.167	11.901	14.191	9.738	14.191	1.253
16.071	10.957	16.180	18.462	16.126	14.709	16.126	1.425
-	-	19.558	29.750	-	-	-	-

TABLA 0.4: Tabla de envolventes. Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Por otro lado, se hizo uso del programa computacional ETABS 2015 y con todas las características descritas con anterioridad en el inciso 5.2.1, se introdujo los diferentes valores de fuerza promedio para mediante la simulación del muro ante cada estado de carga obtener una envolvente, cuyos valores y esquema se muestran en la “Tabla 5.4” y “Gráfico 5.45”, respectivamente. Como se evidencia en el esquema antes mencionado, al ser comparadas las envolventes se observó que solo existe una relación cercana dentro de la región elástica “próximo a las 8.0 T” y a partir de este valor y en los posteriores sucesivos, ya no existió una convergencia entre los desplazamientos para los mismos estados de carga.

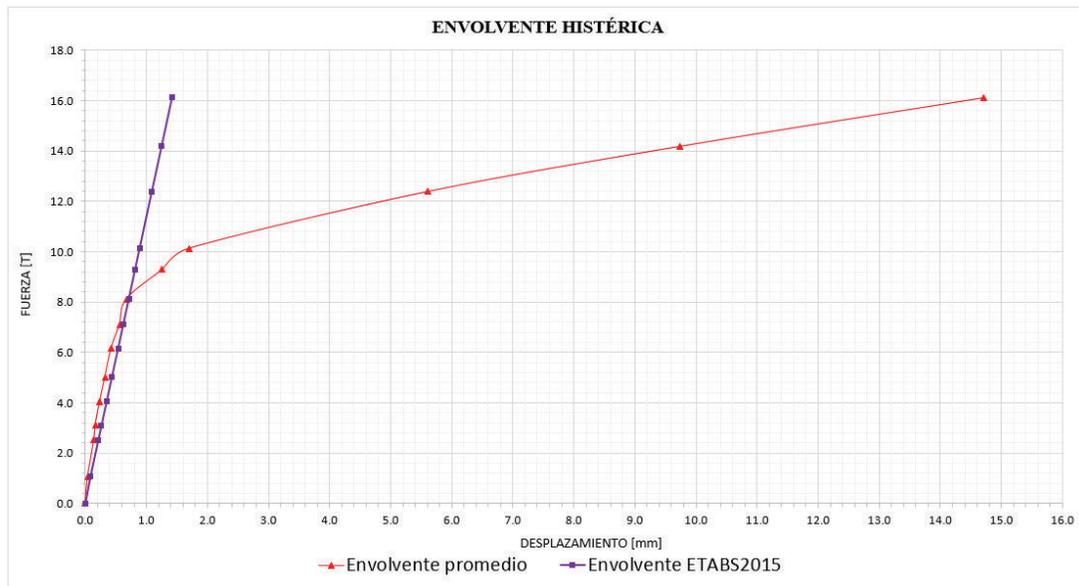


GRÁFICO 0.45: Comparación entre envolventes de muro de M.R.A.
Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

Como se refleja en el “Gráfico 5.44”, debido a condiciones geométricas, de equipo y de propias del ensayo no se pudo alcanzar la carga máxima y peor aún llegar al estado de falla del muro, aunque se lo expuso a 4 cargas súbitas de 0 a 20 toneladas en sentido negativo “Gráfico 5.40”. Es por ello que no se pudo obtener el valor de ductilidad de desplazamiento “ μ ” ya que no se contó con los datos para calcularla.

$$\mu = \frac{\Delta u_{(70)}}{\Delta y}$$

Un valor estrechamente relacionado a la ductilidad de la estructura, es el factor de comportamiento sísmico. Este valor se traduce como ductilidad y representa la respuesta de la estructura ante las acciones sísmicas; además depende de los materiales, la geometría y estructuración. Mientras mayor sea este valor, la estructura tendrá un menor impacto ante las fuerzas sísmicas, pero para utilizar un valor alto, se debe garantizar mediante varios requisitos un comportamiento dúctil de la estructura. El cálculo de este factor viene relacionado con el periodo natural de la estructura: (Paulay & Priestley, 1992)

Para estructuras de largo período: $R = \mu$

Para estructuras de corto período: $R = \sqrt{2\mu - 1}$

Para estructuras de período cero: $R = 1$ (independiente de μ)

Para este caso, la estructura se encuentra dentro de las de período corto; pero como viene relacionada con el valor de la ductilidad, tampoco se lo pudo estimar.

De igual forma, se hizo uso de los vucles histeréticos para obtener la rigidez secante “Ks” de cada ciclo, así de este modo se observó como esta se degradaba en función de la carga y su respectivo desplazamiento. La rigidez secante es la pendiente entre los desplazamiento máximos (positivo y negativo) de cada ciclo con sus respectivas cargas asociadas; es decir, se determinó mediante la división entre la diferencia de las fuerzas cortantes y la diferencia entre sus desplazamientos. Ver “Gráfico 5.46”. (Arellano Méndez & Gonzáles Cuevas, 2012)

$$K_S = \frac{(F_{\Delta_{\text{máx}(+)}} - F_{\Delta_{\text{máx}(-)}})}{(\Delta_{\text{máx}(+)} - \Delta_{\text{máx}(-)})}$$

Otro parámetro característico es la energía histerética disipada por amortiguamiento “E_D”, la cual se cuantificó a partir de los vucles histéricos y se define como el área encerrada en cada ciclo de vibración armónico determinado. Es decir que, para registrar dicha energía se cuantificó el área encerrada en cada uno de los lazos histéricos que se registraron durante el ensayo, ver “Gráfico 5.46”. Para poder obtener este parámetro, se multiplicó la fuerza en [kg] por la constante gravitacional de 9.806 [m/s²] para tranformarla en Newtons; por otro lado se convirtió los desplazamientos de [mm] a [m]; para que del productos entre estas dos, se pudiese cuantificar la energía en Jouls, ver “Tabla 5.3”. (Chopra, 2014)

$$J = N * m = \left([kg] * 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \right) * m$$

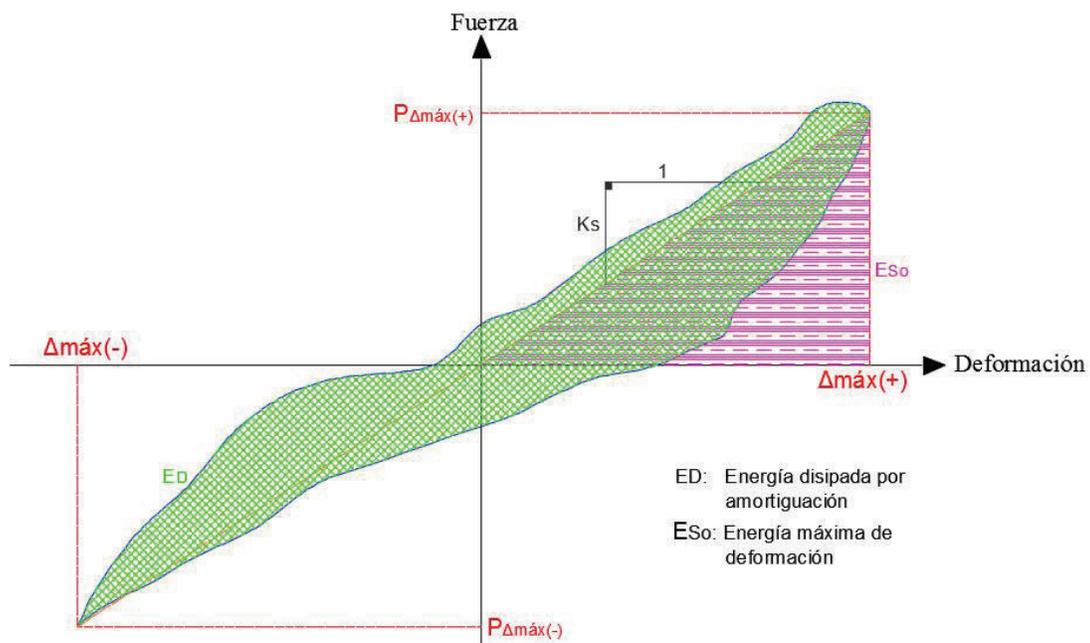


GRÁFICO 0.46: Rigidez secante, Energía disipada y Amortiguamiento viscoso equivalente. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Para terminar, se hizo uso de la energía disipada por amortiguación y con el posterior cálculo de la energía máxima de deformación, se cuantificó el amortiguamiento viscoso equivalente. La energía máxima de deformación “ E_{So} ”, está definida por la mitad del área del rectángulo comprendida entre la deformación máxima positiva y su correspondiente carga con respecto al origen “ver Gráfico 5.46”, como se describe en la siguiente ecuación: (Chopra, 2014)

$$E_{So} = \frac{P_{\Delta_{m\acute{a}x(+)}[N]} * \Delta_{m\acute{a}x(+)}[m]}{2} = [J]$$

En lo que se refiere a el amortiguamiento viscoso equivalente, es un índice respecto a la acumulación del daño en la estructura, el cual es proporcional al agrietamiento; además, representa las fricciones internas en el material en respuesta a la aplicación de una carga. (Arellano Méndez & González Cuevas, 2012) Este parámetro, surge de la combinación de un amortiguamiento histerético relacionado con el área encerrada dentro de los vuclcs formados en los diagramas que relacionan el desplazamiento de la estructura con la fuerza aplicada, y un amortiguamiento estructural inherente. A continuación se presenta la ecuación del amortiguamiento histerético:

$$\xi_{hister\acute{e}tico} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{So}}$$

Visto que, las estructuras poseen un amortiguamiento viscoso inherente y que además es asumido como constante con un valor del 5%; este se añadió para obtener la ecuación que cuantifica el amortiguamiento viscoso equivalente para cada modo de vibración natural del sistema: (Applied Technology Council, 1996)

$$\xi_{viscoso\ equivalente} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{So}} + 0.05$$

Una vez culminada la cuantificación y registro de los parámetros estructurales obtenidos del ensayo a carga lateral del muro de M.R.A. “ver Tabla 5.3”, se procedió a plasmar dichas cantidades de manera gráfica en función de la fuerza aplicada y su correspondiente deformación, como queda en evidencia a continuación:

En el “Gráfico 5.47”, se muestra como la rigidez secante disminuye en relación a su valor inicial, conforme se aumenta la carga y el desplazamiento en la estructura conformada con el nuevo sistema constructivo.

Asimismo, en el “Gráfico 5.48” se indica que la energía disipada por amortiguamiento es directamente proporcional a la fuerza lateral y su desplazamiento inducida en un extremo del muro. Como se visualiza en un principio

y en el rango elástico, los valores que toma la energía disipada son insignificantes en comparación a los valores obtenidos en el rango plástico.

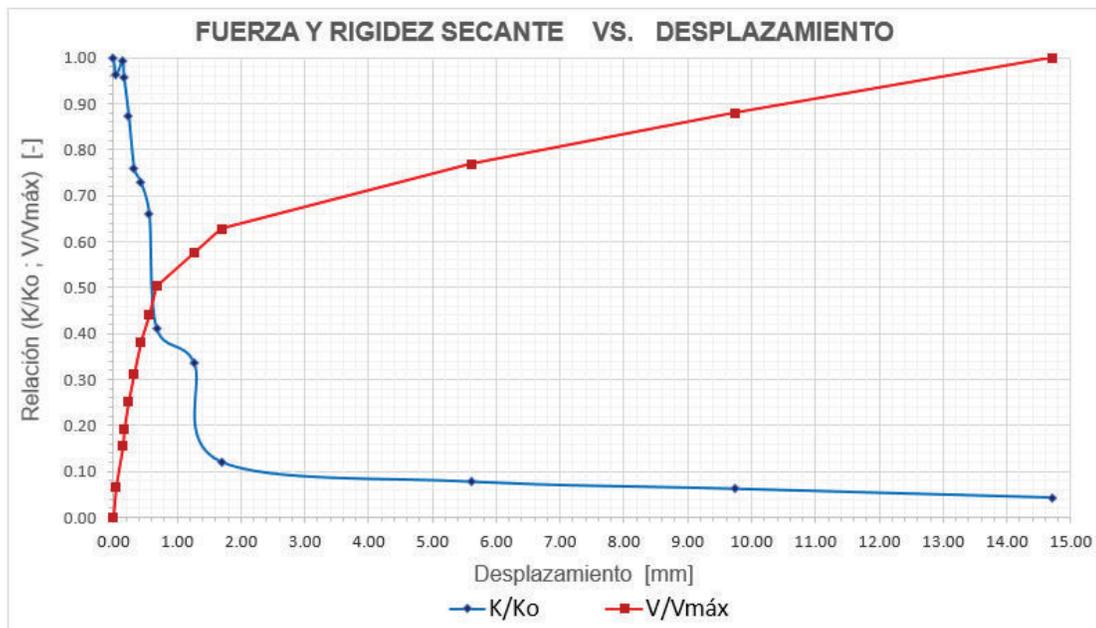


GRÁFICO 0.47: Reducción de la rigidez en función de la carga y desplazamiento. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

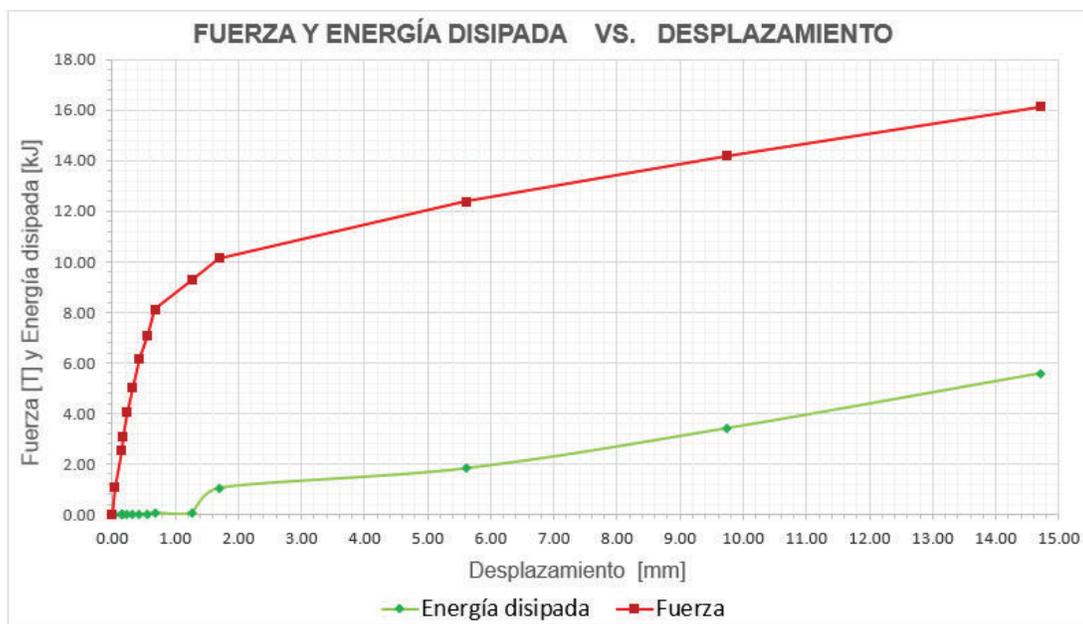


GRÁFICO 0.48: Energía disipada por amortiguamiento en función de la carga y desplazamiento. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

Para terminar, en el “Gráfico 5.49” se visualiza que el amortiguamiento viscoso equivalente también es proporcional a la fuerza aplicada en la estructura; aunque existe dos valores, un inicial y otro próximo a las 10.0 [T] que no cumplen con esta premisa.

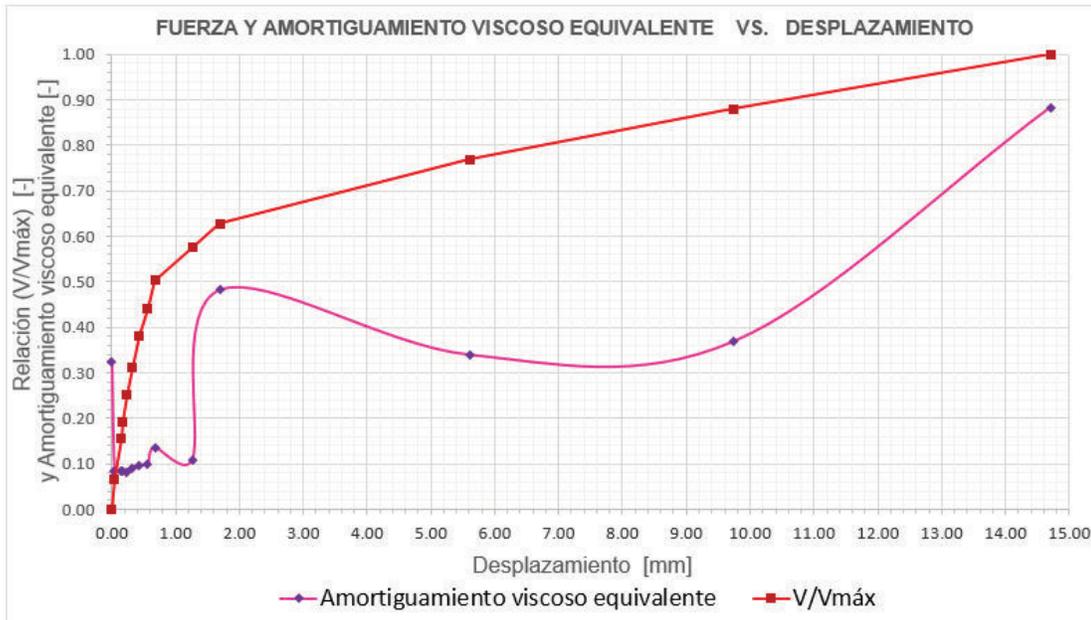


GRÁFICO 0.49: Amortiguamiento viscoso equivalente en función de la carga y desplazamiento. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

5.4.2 ENSAYO DE COMBUSTIÓN

Debido a que el problema más grave de la implementación de esta nueva propuesta de sistema constructivo, es la combustión del poliestireno expandido por su alto grado de toxicidad ante la eventual presencia de un incendio, se vió la necesidad de pensar en la propuesta de una solución.

5.4.2.1 Equipos Para el Ensayo de Combustión

El equipo utilizado en este ensayo, se lo expone a continuación:

- ✓ Cilindro de gas



GRÁFICO 0.50: Cilindro de gas. **Fuente:** Internet

- ✓ Soplete a gas



GRÁFICO 0.51: Soplete a gas. **Fuente:** Internet.

- ✓ Termómetro



GRÁFICO 0.52: Termómetro para hormigón. **Fuente:** Internet.

- ✓ Cronómetro



GRÁFICO 0.53: Cronómetro digital. **Fuente:** Internet.

5.4.2.2 Procedimiento Para el Ensayo de Combustión

Es así que, una vez terminados los ensayos de carga lateral, en el proceso de derrocamiento se extrajo una muestra del muro, en el cual se decidió como una posible solución implementarle un macillado para que no entre en contacto directo con el fuego.

Para asegurar de que el mortero quede bien sujeto a la mampostería, se optó por colocar una malla metálica de gallinero a la probeta, y sobre la misma disponer un

mortero con una dosificación convencional de 1:3, con un espesor de 1.0[cm] en promedio.

Para la elaboración del enlucido implementado se utilizó cemento portland, arena cernida y agua hasta alcanzar una consistencia homogénea y de buena consistencia para que se adhiriera a la malla y no escurra. Ver “Gráfico 5.54”.

Una vez finalizado el proceso de fraguado, se sometió la probeta a fuego constante simulando un incendio, con la ayuda del soplete a gas; además, se hizo uso de un cronómetro y termómetro, para registrar el tiempo y la temperatura respectivamente hasta que debido al calor el poliestireno se contraiga.

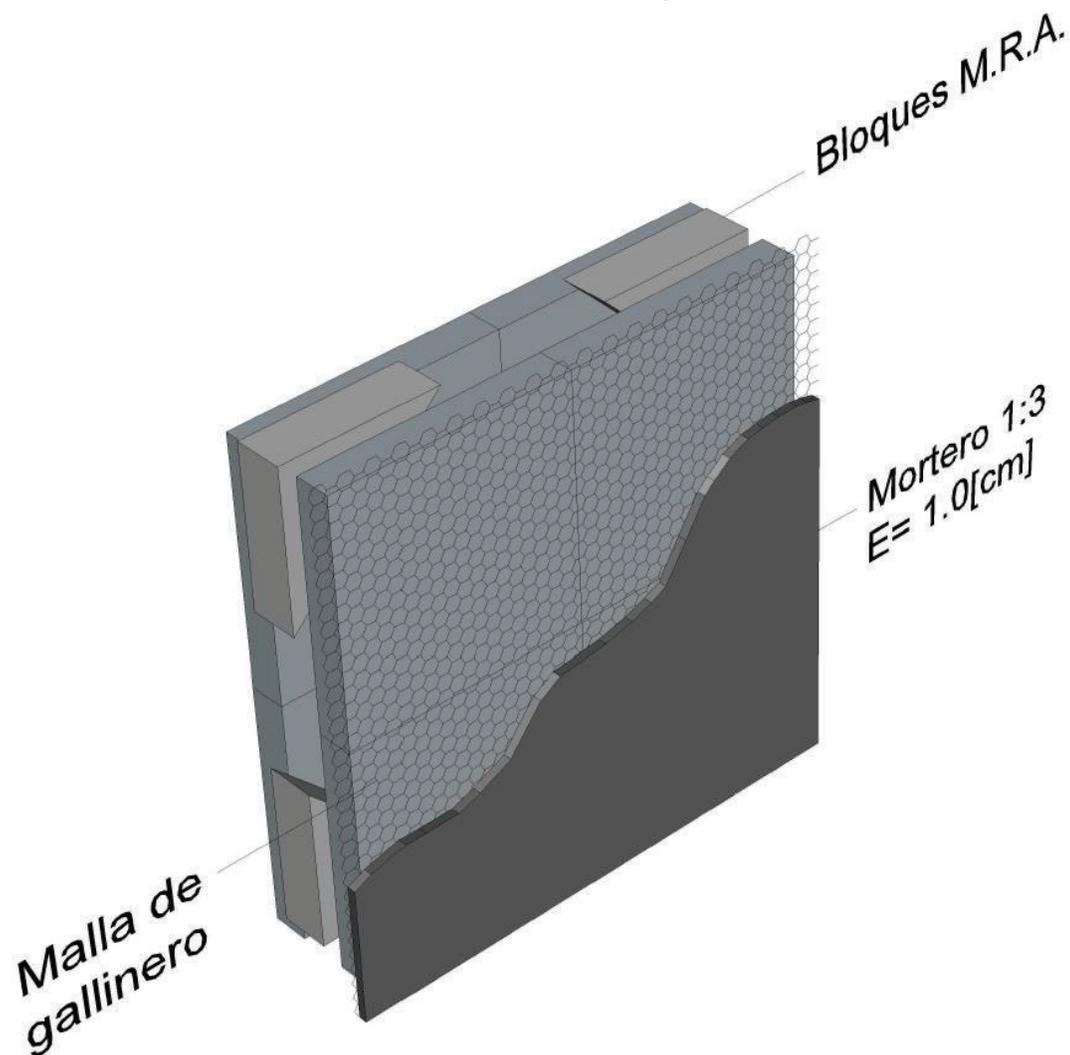


GRÁFICO 0.54: Implementación de enlucido como solución para la combustión.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

5.4.2.3 Resultados

Durante el ensayo realizado, se observó que la propuesta funciona adecuadamente, evitando el contacto directo del fuego con el poliestireno expandido, y de este modo su combustión.

Por otro lado, debido a la temperatura transmitida por el mortero al poliestireno, este material se contrae, registrándose en promedio un tiempo de 13 minutos para que ocurra este suceso. Cabe recalcar, que la malla y el mortero permanecieron en perfecto estado durante y posterior al ensayo. Ver “Gráfico 5.55”.



GRÁFICO 0.55: Ensayo de combustión de bloques de M.R.A..

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

CAPÍTULO 6

ESTUDIO ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO M.R.A.

6.1 ANTECEDENTES

Realizar un estudio económico de la propuesta del nuevo sistema constructivo se hizo indispensable, ya que fue muy necesario para ver la factibilidad económica de su implementación en el mercado nacional.

Es así que, se realizó una cuantificación de los materiales, equipos y mano de obra utilizados para construir un muro hecho tradicionalmente y otro con el nuevo sistema constructivo propuesto, ambos de similares características geométricas; para así, al final de este capítulo poder discernir entre los resultados obtenidos y analizar aspectos netamente económicos.

Para la realización de dicho estudio económico, se utilizó los valores de rendimientos de mano de obra y equipos del Manual de Costos de la Construcción y precios de los materiales involucrados estipulados en la revista de la misma entidad “Cámara de la Construcción Ecuatoriana N° 250 (MAR-ABR 2017)”.

6.2 VOLÚMENES DE OBRA

En este inciso se procedió a cubitar en las unidades más convencionales los principales componentes que constituyeron e intervinieron en los rubros de la construcción de los muros según corresponda.

6.2.1 SISTEMA CONSTRUCTIVO TRADICIONAL (PÓRTICO)

Generalmente la construcción en el país, ha utilizado este tradicional sistema constructivo, ver “Lámina 3”. Por otro lado, este sistema se lo construye siguiendo la siguiente secuencia y consideraciones: su cimentación debe ser profunda para garantizar el empotramiento de las columnas, seguidamente se funden las columnas para después del fraguado del concreto, fundir las vigas y por último rellenar el pórtico de mampostería de bloque. Si se quiere dar un acabado, se realiza un enlucido con un mortero 1:3 de 1.00 [cm] de espesor aproximadamente por ambos lados.

Debido a esto, sus rubros referenciales fueron:

- ✓ Hormigón en columnas 20x20x240, $f'c=210.00$ [kc/cm²] “Colocado”; [m³]

Total= 0.192 [m³]

- ✓ Encofrado de columnas 20x20x240 (1 uso); [m²]
Total= 3.84 [m²]
- ✓ Hormigón en viga 20x20x405, f'c=210.00[kc/cm²] "Colocado"; [m³]
Total= 0.162 [m³]
- ✓ Encofrado de viga 20x20x405 (1 uso); [m²]
Total= 2.43 [m²]
- ✓ Acero de refuerzo figurado fy=4200.00[kg/cm²], incluye amarrado; [kg]
Total= 95.90 [kg]
- ✓ Mampostería de bloque pesado de 15x20x40 de 4Mpa, mortero 1:6 E=2.5cm; [m²]
Total= 8.40 [m²]
- ✓ Enlucido de mampostería con mortero 1:3 E=1.0[cm]; [m²]
Total= 16.80 [m²]

6.2.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO NUEVO (MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANDA "M.R.A.")

Este nuevo sistema constructivo propone una sola fundición en conjunto tanto de la mampostería como de sus elementos confinantes; una vez construida la cimentación, dispuesta la mampostería de poliestireno expandido, el acero de refuerzo y el encofrado.

Para finalizar, dando un mejor aspecto y solucionando el problema de combustión, se colocaría una malla metálica de gallinero y un enlucido por ambos lados con una mezcla de mortero de dosificación 1:3 y un espesor aproximado de 1.00[cm].

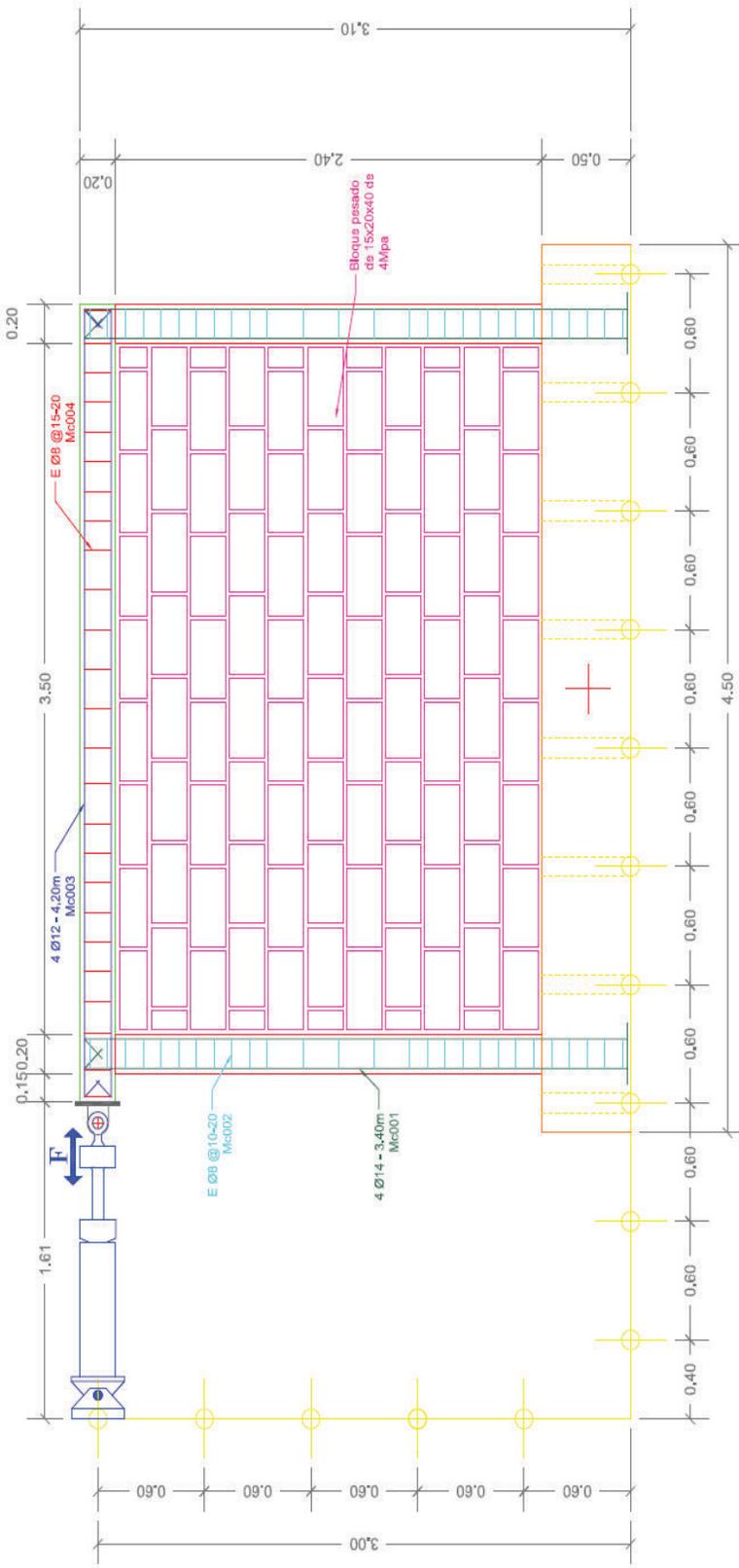
Por este motivo, sus rubros referenciales fueron los siguientes:

- ✓ Encofrado del muro de M.R.A.; [m²]
Total= 10.17 [m²]
- ✓ Micro-hormigón expansivo de alta plasticidad f'c=100.00[kc/cm²] "Colocado"; [m³]
Total= 0.590 [m³]
- ✓ Acero de refuerzo figurado fy=4200.00[kg/cm²], incluye amarrado y suelda; [kg]
Total= 77.28 [kg]

- ✓ Mampostería de poliestireno expandido, incluye pegamento; [m²]
Total= 8.64 [m²]

- ✓ Enlucido de mampostería con mortero 1:3 E=1.0[cm]; incluye malla; [m²]
Total= 17.28 [m²]

PÓRTICO CON MAMPOSTERÍA DE BLOQUE

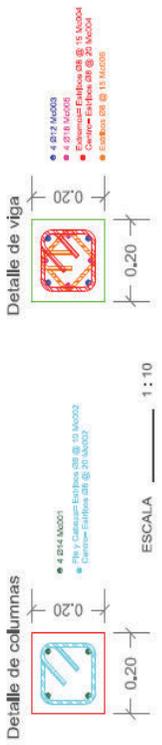


PROYECTO:
Mampostería Reforzada Aliviada

CONTIENE:
Muro Convencional "Pórtico"

DESCLAR:	FECHA:	LAMINA:
11.28	11.04.2017	03/08
CÁLCULO Y DISEÑO:		
JUAN PABLO HERNÁNDEZ G.		
REFERENCIA:		
SISTEMA CONSTRUCTIVO MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIADA (M.R.A.)		
REVISADO POR:		
JOSUÁN HERNÁNDEZ E.		

CORTES - VIGA Y COLUMNAS DEL MURO TRADICIONAL



6.3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS “APUS”

En este inciso, se realizó un análisis de costos directos e indirectos (20%) de los principales rubros que intervinieron en la construcción de un muro con el nuevo sistema constructivo propuesto, así como también de otro construido con el sistema constructivo tradicional. De esta forma se pudo llegar a un presupuesto referencial para cada uno de ellos, y así compararlos y poder sacar conclusiones.

Los costos directos es la suma de todos los valores obtenidos de los costos de equipo, materiales, mano de obra y transporte asignados a un rubro en particular, requeridos para la ejecución de una obra “sin utilidad”; y ayudarán a tener una estimación de un presupuesto referencial del mismo. También, su grado de confiabilidad dependerá en gran medida de la experiencia del profesional y del grado de finura que se necesite. (Beltrán Razura, 2012)

Por otro lado, los costos indirectos corresponden a un porcentaje de los costos directos de los rubros, y estos no están asignados directamente a ningún rubro en específico. (Pinto Gaibor, 2016)

Seguidamente se presenta una tabla con los valores de los APUS que intervinieron en el proceso de construcción de cada uno de los muros. Para un mayor detalle de estos, se puede dirigir a los “Anexos No.17 y No.18”, donde se encuentran todos los equipos, materiales, mano de obra “rendimientos”, y demás consideraciones que se tomaron para obtener los valores de Salarios, Rubros del Pórtico con Mampostería de Bloque y Rubros del Muro con Mampostería Reforzada Aliviada, respectivamente. (Pinto Gaibor, 2016)

SALARIOS		
ESTRUCTURA OCUPACIONAL	SALARIO NOMINAL + BENEFICIOS DE LEY	COSTO HORARIO
PEÓN	\$ 607.07	\$ 3.61
ALBAÑIL	\$ 894.98	\$ 5.33
SOLDADOR	\$ 1,182.89	\$ 7.04

TABLA 0.1: Tabla de salarios con beneficios de ley. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

PÓRTICO CON MAMPOSTERÍA DE BLOQUE		
RUBRO	UNIDAD	COSTO TOTAL UNITARIO
HORMIGÓN EN COLUMNAS 20X20X240, f'c=210[kg/cm ²] "COLOCADO"	m ³	\$ 197.69
ENCOFRADO DE COLUMNAS 20X20X240 (1USO)	m ²	\$ 19.92
HORMIGÓN EN VIGA 20X20X405, f'c=210[kg/cm ²] "COLOCADO"	m ³	\$ 146.21
ENCOFRADO DE VIGA 20X20X405 (1USO)	m ²	\$ 20.25
ACERO DE REFUERZO FIGURADO, f'c=4200[kg/cm ²], INCLUYEN AMARRADO	kg	\$ 1.69
MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE 15X20X40 DE 4Mpa, MORTERO 1:6 E=2.5cm	m ²	\$ 16.54
ENLUCIDO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO 1:3 E=1.5cm	m ²	\$ 7.05

TABLA 0.2: Rubros referenciales de la construcción del Pórtico con mampostería de bloque. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANADA		
RUBRO	UNIDAD	COSTO TOTAL UNITARIO
ENCOFRADO DE MURO DE M.R.A.	m2	\$ 33.88
MICRO-HORMIGÓN EXPANSIVO DE ALTA PLÁSTICIDAD, $f'c=100$ [kg/cm ²] "COLOCADO"	m3	\$ 192.64
ACERO DE REFUERZO FIGURADO, $f'c=4200$ [kg/cm ²], INCLUYEN AMARRADO Y SUELDA	kg	\$ 1.89
MAMPOSTERÍA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, INCLUYE PEGAMENTO	m2	\$ 7.90
ENLUCIDO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO 1:3 E=1.0cm, INCLUYE MALLA	m2	\$ 7.02

TABLA 0.3: Rubros referenciales de la construcción del Muro de Mampostería Reforzada Alivianada. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

En las "Tablas 6.2 y 6.3" se presenta un resumen de los APUs involucrados en la construcción de los dos tipos de muros. Para el cálculo y estimación de estos valores se tuvo en cuenta un proceso regular de construcción, tratanto en medida de lo posible una economía en el uso de equipos, materiales y mano de obra. Cabe recalcar, que no se consideró la construcción de la viga de cimentación, puesto que sería la misma para ambos casos. En el "Anexo No. 19" se encuentra a detalle cada rubro del muro de M.R.A..

6.4 PRESUPUESTO TOTAL

Para la estimación de un presupuesto en la construcción de cada uno de los muros, se multiplicó cada uno de los rubros por su volumen de obra correspondiente; para posteriormente sumar todos los valores de cada uno en conjunto y así obtener un presupuesto total.

PÓRTICO CON MAMPOSTERÍA DE BLOQUE				
RUBRO	COSTO TOTAL UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	PARCIAL
HORMIGÓN EN COLUMNAS 20X20X240, $f'c=210$ [kg/cm ²] "COLOCADO"	\$ 197.69	m3	0.192	\$ 37.96
ENCOFRADO DE COLUMNAS 20X20X240 (1USO)	\$ 19.92	m2	3.840	\$ 76.49
HORMIGÓN EN VIGA 20X20X405, $f'c=210$ [kg/cm ²] "COLOCADO"	\$ 146.21	m3	0.162	\$ 23.69
ENCOFRADO DE VIGA 20X20X405 (1USO)	\$ 20.25	m2	2.430	\$ 49.21
ACERO DE REFUERZO FIGURADO, $f'c=4200$ [kg/cm ²], INCLUYEN AMARRADO	\$ 1.69	kg	95.900	\$ 162.07
MAMPOSTERÍA DE BLOQUE DE 15X20X40 DE 4Mpa, MORTERO 1:6 E=2.5cm	\$ 16.54	m2	8.400	\$ 138.94
ENLUCIDO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO 1:3 E=1.5cm	\$ 7.05	m2	16.800	\$ 118.44
TOTAL:				\$ 606.79

TABLA 0.4: Presupuesto del Pórtico con Mampostería de Bloque.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANADA				
RUBRO	COSTO TOTAL UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	PARCIAL
ENCOFRADO DE MURO DE M.R.A.	\$ 33.88	m2	10.170	\$ 344.56
MICRO-HORMIGÓN EXPANSIVO DE ALTA PLÁSTICIDAD, $f'c=100$ [kg/cm ²] "COLOCADO"	\$ 192.64	m3	0.590	\$ 113.66
ACERO DE REFUERZO FIGURADO, $f'c=4200$ [kg/cm ²], INCLUYEN AMARRADO Y SUELDA	\$ 1.89	kg	77.280	\$ 146.06
MAMPOSTERÍA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, INCLUYE PEGAMENTO	\$ 7.90	m2	8.640	\$ 68.26
ENLUCIDO DE MAMPOSTERÍA CON MORTERO 1:3 E=1.0cm, INCLUYE MALLA	\$ 7.02	m2	17.280	\$ 121.31
TOTAL:				\$ 793.84

TABLA 0.5: Presupuesto del Muro de Mampostería Reforzada Alivianada.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

6.5 ANÁLISIS COMPARATIVO

Como se evidenció en el inciso anterior, existió un aumento sustancial de \$187.05 dólares en la construcción de un muro de M.R.A. con respecto a su homólogo construido de forma tradicional “pórtico”. Por tal motivo, se analizó la incidencia de cada uno de los rubros para compararlos y evidenciar, cual es el o los rubros que incrementan el presupuesto en el uso del nuevo sistema constructivo.

Es así que, se comparó las cantidades y los costos semejantes de rubros para evidenciar donde existe una mayor economía de recursos, y por qué existió alrededor de un 31% de aumento del presupuesto. Para hacerlo de manera práctica se realizó la siguiente tabla:

TABLA COMPARATIVA ENTRE MUROS						
Items	Pórtico	M.R.A.	% Diferencia	Pórtico	M.R.A.	% Diferencia
	Cantidades			Costos		
Encofrado	6.270	10.170	38.3%	\$ 125.70	\$ 344.56	63.5%
Hormigón	0.354	0.590	40.0%	\$ 61.65	\$ 113.66	45.8%
Acero	95.900	77.280	19.4%	\$ 162.07	\$ 146.06	9.9%
Mampostería	8.400	8.640	2.8%	\$ 138.94	\$ 68.26	50.9%
Enlucido	16.800	17.280	2.8%	\$ 118.44	\$ 121.31	2.4%

	ASPECTO POSITIVO
	ASPECTO NEGATIVO

TABLA 0.6: Tabla comparativa de sistemas constructivos.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

En la tabla anterior se puede evidenciar que el rubro más desfavorable para el uso del nuevo sistema propuesto es el encofrado, ya que encarece un 63.5% más que el utilizado en el sistema tradicional. Como contrapartida a este punto, se podría pensar en un encofrado metálico con afán de poder reutilizarlo y así abaratar costos.

Con respecto al hormigón, si bien es cierto que se utiliza una mayor cantidad con el sistema constructivo M.R.A., hay que tener en cuenta que este hormigón también es utilizado para rellenar los bloques de poliestireno expandido y no solo los elementos confinantes como en el caso del pórtico. Además, en el aspecto económico resulta más beneficioso la utilización de este hormigón plástico, ya que se requiere menos cantidad de cemento por metro cúbico de mezcla y un menor tiempo de colocación debido a su trabajabilidad, lo que eleva los rendimientos de la mano de obra.

Por otro lado, la cantidad de acero requerido en el sistema constructivo M.R.A. es 19.4% menor que el utilizado con el sistema constructivo tradicional; lo que significa un ahorro del 9.9% en términos monetarios.

Asimismo, se mostró que al igual que en el acero, en la mampostería también existe un ahorro del 50.9%. Cabe recalcar que la mampostería necesita obligatoriamente un terminado que la proteja de la combustión, lo que no es así en el caso de la mampostería de bloque de cemento; pero para dar condiciones semejantes de acabado, se utilizó un enlucido en los dos sistemas constructivos, los cuales no tienen una gran diferencia en términos de volúmenes de obra ni aspecto económicos como se demuestra en la “Tabla 6.6”.

CAPÍTULO 7

PROPUESTA ARQUITECTÓNICA CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO M.R.A.

En esta sección se propuso una configuración estructural y las posibles soluciones en todos los campos inherentes en la construcción. Para esto se recopiló información sobre las consideraciones adecuadas para que el sistema constructivo tenga un buen desempeño en general.

7.1 CIMENTACIÓN

Para el campo de la cimentación, se propuso zapatas corridas a lo largo de todos los muros; además, ya que la cimentación actúa como un primer diafragma ante solicitaciones sísmicas, esta debe ser lo suficientemente rígida.

Por otro lado, cuidar de que no se produzcan asentamientos diferenciales es vital para el que el sistema constructivo funcione adecuadamente. (Vaca Moncayo, 2011)

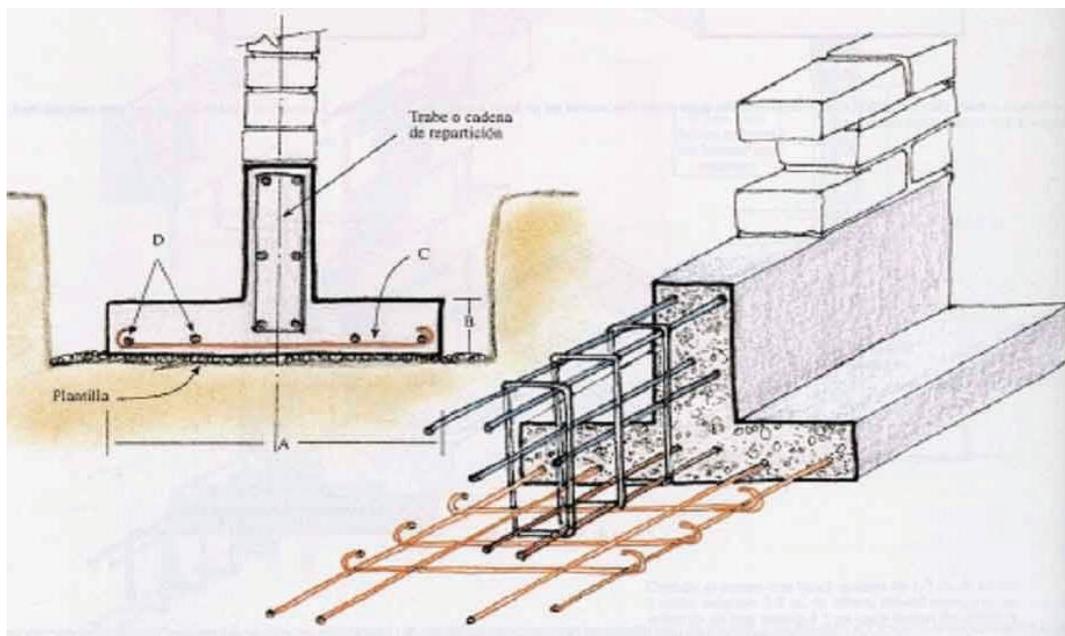


GRÁFICO 0.1: Cimentación propuesta para el sistema constructivo M.R.A.
Fuente: Constructor Civil.

Es necesario acotar que, en la cimentación deberían quedar previamente dispuestas las varillas, para posteriormente soldarlas al refuerzo de la mampostería, tal como en el acápite “5.3.1.2”.

7.2 ESTRUCTURA

Para tener una buena respuesta sismorresistente, se recomienda que exista una adecuada configuración arquitectónica, ya que se debe priorizar una disposición simétrica y continua de los muros tanto en planta como en elevación, tratando en lo posible que los muros se intersequen para que se arriostren mutuamente. Además, se recomienda que la cantidad en porcentaje del área en construcción de los muros, sea semejante en ambos sentidos.

Un buen diseño recomienda que la forma ideal de una estructura tienda a ser cuadrada en planta, ya que así el centro de masa tiende a ser semejante al centro de rigidez; además, se deben cumplir algunos criterios de robustez que se explican a continuación:

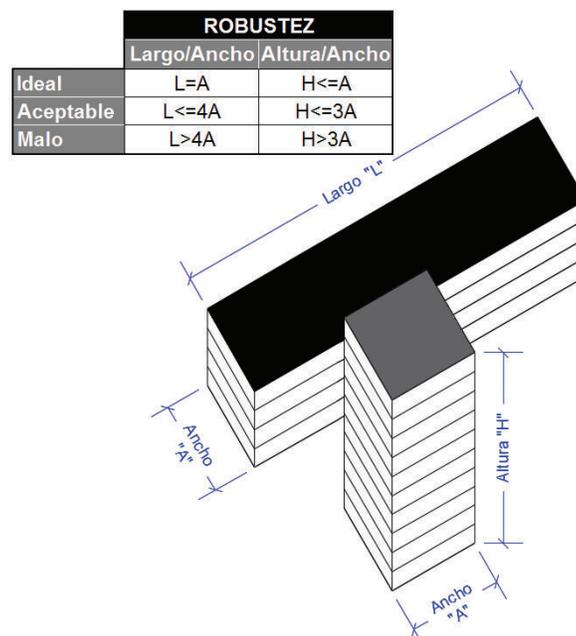


GRÁFICO 0.2: Criterios de robustez.

Fuente: Estructuras Pared Portante de Mampostería y Hormigón Armado.

7.3 LOSAS DE ENTREPISO

El Steel Deck, es una de la nuevas propuestas innovadoras en el mercado de la construcción gracias a los grandes beneficios que representa, ya que provee de prestaciones estructurales optimizadas “principalmente reducción del peso”. Este

sistema de losas de entre piso se define como una losa compuesta, ya que combina la fusión del hormigón con el acero, y gracias a su lámina de acero y sus bifurcaciones transversales permiten la trabazón del hormigón una vez esté fraguado; además, elimina la necesidad de acero positivo, haciendo solo uso de una malla para cubrir los momentos negativos. (NOVACERO, 2017)

La propuesta va encaminada al uso del sistema constructivo M.R.A., con el sistema de losas de entrepiso “Steel Deck” y vigas secundarias metálicas como lo recomienda la empresa Novacero en su página web. De esta forma, se estima que el uso de este conjunto de opciones y propuestas constructivas, funcione adecuadamente y sea seguro ante una eventual solicitación sísmica.

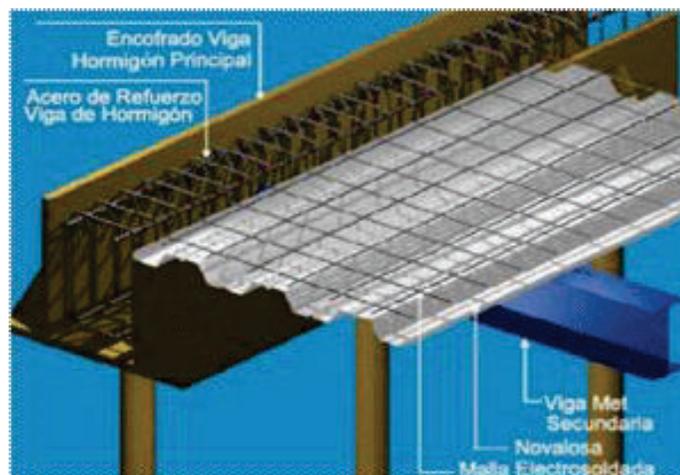


GRÁFICO 0.3: Propuesta para losa de entrepiso. **Fuente:** Novacero.

7.4 INSTALACIONES

Al igual que en el sistema constructivo conocido como “EMMEDUE”, gracias a la existencia del poliestireno expandido se puede colocar instalaciones “electricas e hidro-sanitarias” sin afectar el muro o hormigón de relleno hasta un diámetro de 2 pulgadas, ya que al existir un espacio sobrante de 4.5 [cm] de poliestireno expandido, más 1.0[cm] de mortero de recubrimiento, quedaría la tubería perdida dando un excelente acabado y quedando muy bien estéticamente, ver “Gráfico 7.4”.

7.5 PROPUESTA ARQUITECTÓNICA

En Ecuador, según el INEC, una familia promedio está compuesta por 4 personas (La Hora, 2013). Debido a aquello la propuesta arquitectónica fue encaminada a satisfacer las demandas y necesidades presentes para este tipo de familias, y para eso se tuvo en cuenta varios aspectos como: espacio, modulación, contraste, equilibrio, orden, direccionalidad, movimiento, ritmo, luminocidad, estética, aspectos estructurales y técnicos para la colocación de instalaciones.

Es así que, se contó con la ayuda del Arq. Rodrigo Rosas para presentar una propuesta arquitectónica de una casa unifamiliar de dos plantas, la cual estuvo diseñada para poder hacer uso del sistema constructivo propuesto “M.R.A.”, siguiéndose de todas las consideraciones tomadas a lo largo de este capítulo. A continuación, presenta una tabla con las áreas de cada espacio, tanto de la primera como de la segunda planta:

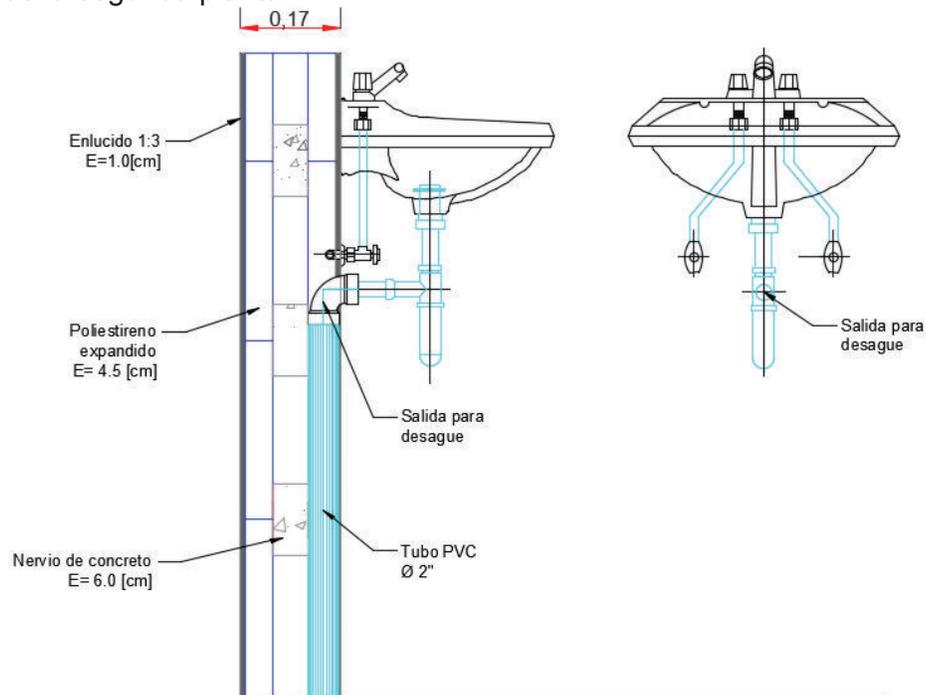


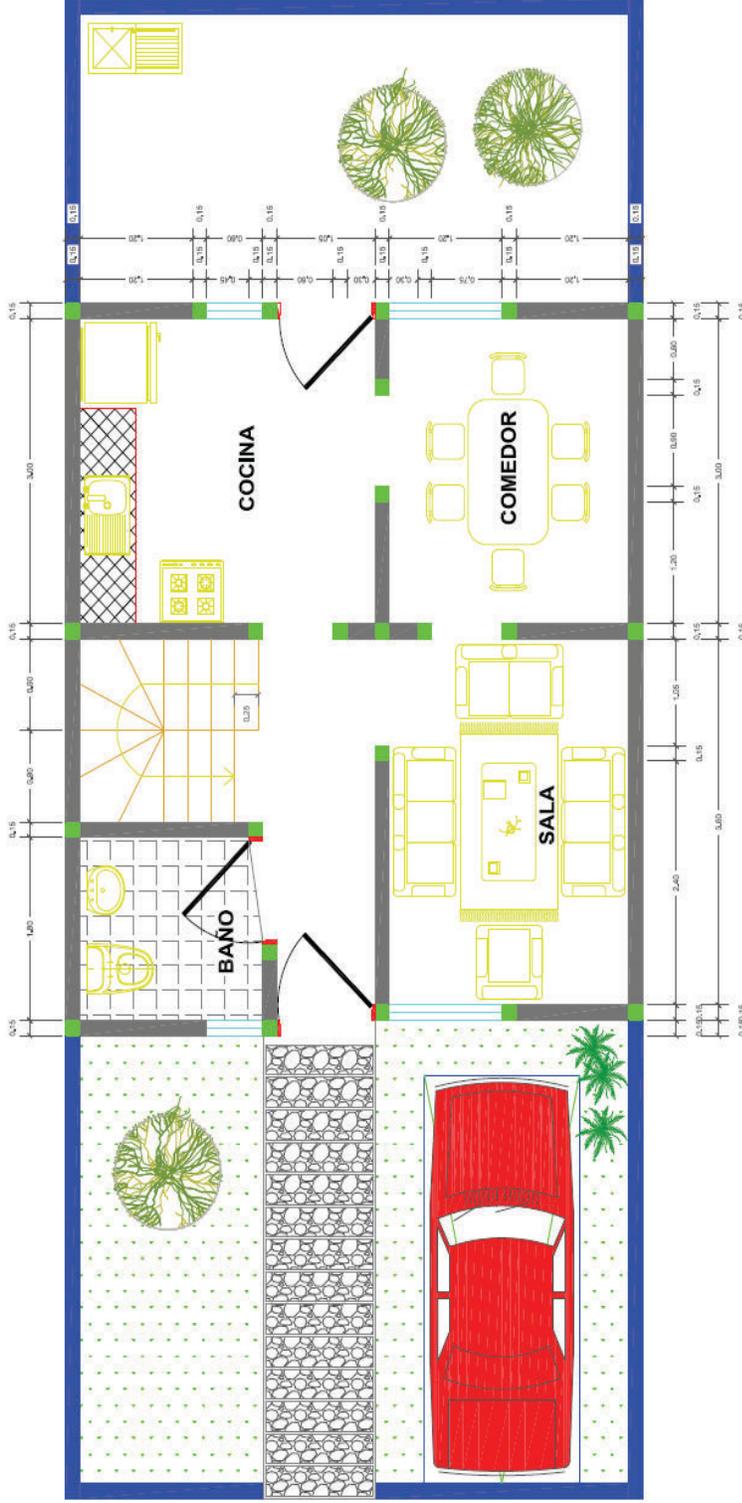
GRÁFICO 0.4: Instalaciones en muro de M.R.A. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

CUADRO DE ÁREAS	
Área de construcción total	43.77 m ²
Primera Planta	
Baño	3.51 m ²
Cocina	9.45 m ²
Sala	9.18 m ²
Comedor	7.65 m ²
Segunda Planta	
Baño	5.59 m ²
Dormitorio 1	9.45 m ²
Dormitorio 2	7.56 m ²
Dormitorio 3	7.65 m ²

TABLA 0.1: Cuadro de áreas de la propuesta arquitectónica. **Fuente:** JP. Herrera y J. Narváez.

En las "Láminas 4, 5 y 6", se puede visualizar los planos a detalle de la propuesta arquitectónica haciendo uso del Sistema Constructivo Mampostería Reforzada Aliviada (M.R.A.).

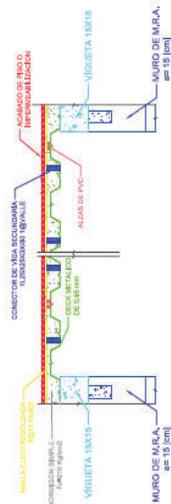
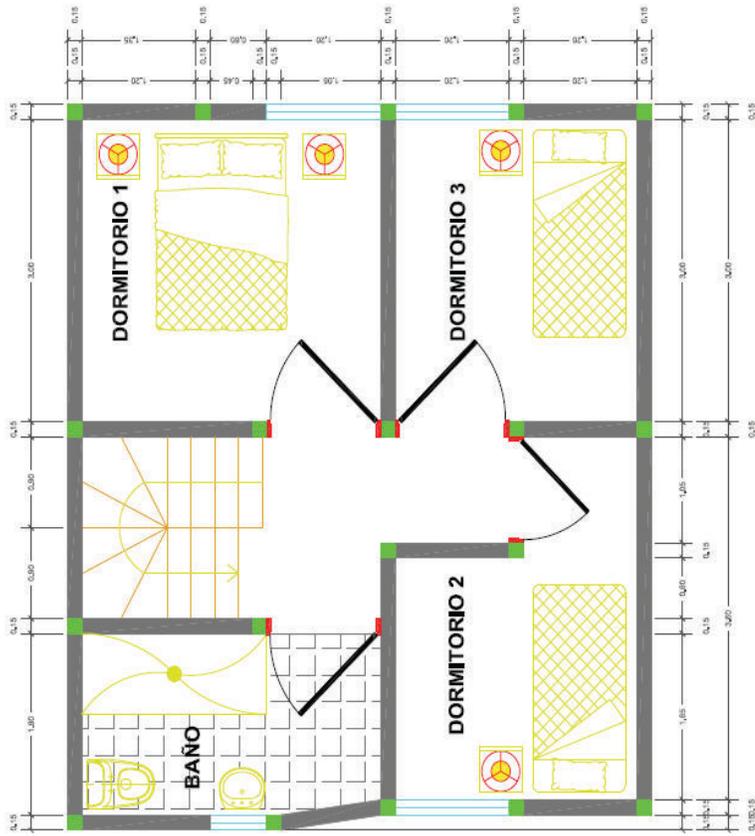
PLANTA BAJA DE VIVIENDA CONSTRUIDA CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO M.R.A.



PROYECTO: Mampostería Reforzada Alivlnada	
CONTIENE: Propuesta Arquitectónica Con El Sistema Constructivo M.R.A. Para Vivienda de 2 Pisos	
CÁLCULO Y DISEÑO: Juan Pablo Herrera G.	ESCALAS: 1:30
FECHA: 15-04-2017	LÁMINA: 04/00
REFERENCIA: PROYECTO Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONOMÍA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVINADA, M.R.A.	
REVISADO POR: Jonathan Huacabo E. Msc. Ing. Félix Vera Montoya	

ESCALA 1:30

SEGUNDO PISO DE VIVIENDA CONSTRUIDA CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO M.R.A.



CUADRO DE ÁREAS	
ÁREAS DE CONSTRUCCIÓN TOTAL 4577 m ²	
Primera Planta	3511 m ²
Cocina	9.45 m ²
Sala	9.18 m ²
Comedor	7.05 m ²
Baño	5.69 m ²
Dormitorio 1	9.45 m ²
Dormitorio 2	7.56 m ²
Dormitorio 3	7.65 m ²



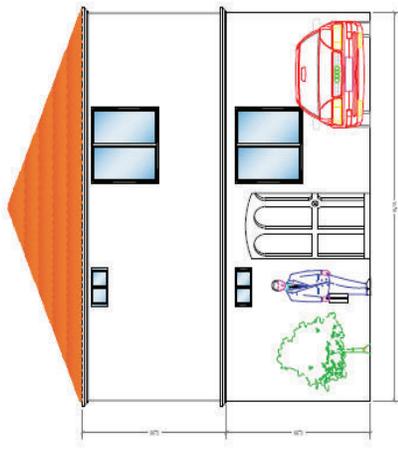
PROYECTO:
Mampostería Reforzada Aliviada

CONTIENE:
Propuesta Arquitectónica Con El Sistema Constructivo M.R.A., Para Vivienda de 2 Hacia

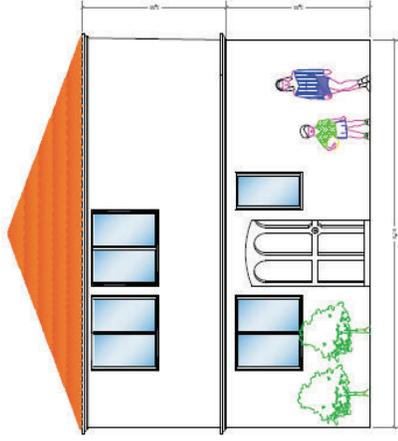
CÁLCULO Y DISEÑO: 1:30	FECHA: 15-04-2017	LÁMINA: 08/08
REFERENCIA: PROYECTO Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIADA (M.R.A.)		
DISEÑADO POR: Juan Pablo Herrera C. Jonathan Morales E.		

Mac, Ing. FgH-Vista Moravia

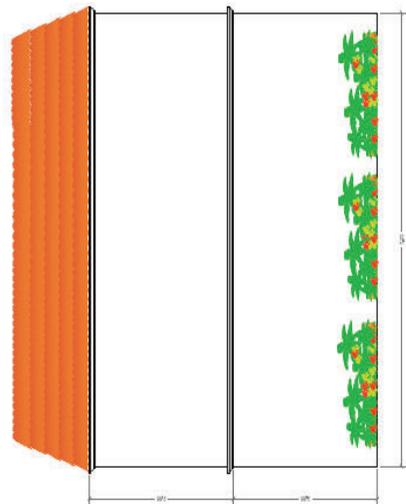
FACHADAS DE VIVIENDA CONSTRUIDA CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO M.R.A.



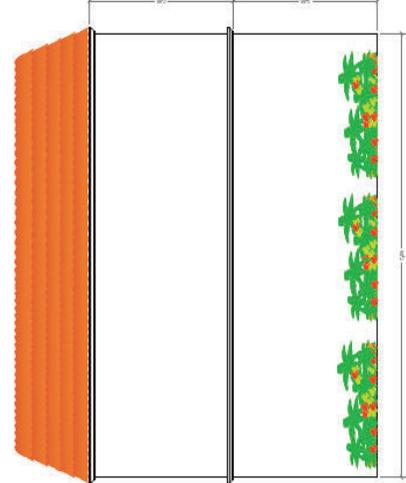
FACHADA FRONTAL
ESCALA 1:65



FACHADA TRASERA
ESCALA 1:65



FACHADA LATERAL DERECHA
ESCALA 1:65



FACHADA LATERAL IZQUIERDA
ESCALA 1:65

CUADRO DE AREAS	
Mesa de Comedor	43,77 m ²
Barbo	3,51 m ²
Cocina	9,45 m ²
Sillal	9,18 m ²
Contador	2,55 m ²
Segunda Planta	
Barbo	5,59 m ²
Dormitorio 1	9,45 m ²
Dormitorio 2	7,56 m ²
Dormitorio 3	7,56 m ²



PROYECTO:
Mamostería Reforzada Alivinada

CONTIENE:
Propuesta Arquitectónica Con El Sistema Constructivo M.R.A. Para Vivienda De 2 Floors

ESCALAS:	FECHA:	LÁMINA:	
1/1	15-04-2017	04 / 05	

REFERENCIAS:
INICIATIVA Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN COMPLEJO RESIDENCIAL DE 10 UNIDADES DE VIVIENDA DE 2 FLOORS EN EL CANTÓN DE GUAYAS, PROVINCIA DE GUAYAS, ECUADOR

POB:
Man. Ing. Edg. Viera Menesegh
Jaramba, Navarro E.

Juan Pablo Herrera C.
Arquitecto

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- ✓ La implementación de nuevos materiales y tecnologías en la construcción siempre va a estar en desarrollo, debido a las posibles ventajas que nos puedan ofrecer en diferentes aspectos. Por tal motivo, la innovación es muy necesaria, buscando desarrollar materiales y sistemas constructivos con mejores cualidades que sus antecesores: resistentes, que posean una buena ductilidad, económicos, estéticos, de bajo impacto ambiental, entre otras características.
- ✓ En la actualidad ya existen otros sistemas constructivos que utilizan el poliestireno expandido; además, unos ya han sido comprobados que cumplen con las normas ecuatorianas de construcción “como el EMMEDUE”, del cual también se ha demostrado que posee excelentes beneficios como: aislamiento térmico, aislamiento acústico y un ahorro muy notable en tiempo y recursos durante su construcción.
- ✓ Este innovador sistema constructivo que se lo ha denominado Mampostería Reforzada Alivianada (M.R.A.) por sus características; y consta de bloques de poliestireno expandido con perforaciones diagonales, los cuales después de su disposición forman unos ductos a modo de una malla inclinada, los que a posteriori serían rellenos con acero de refuerzo y un micro-hormigón de características muy peculiares, ver “Gráfico 5.39”. Al mismo tiempo, estos bloques están enmarcados dentro de un marco de confinamiento específicamente diseñado y fundido simultáneamente con el mismo micro-hormigón que los bloques de poliestireno expandido. Debido a todas estas características, consideraciones y función netamente estructural después de comparar con diversos tipos de muros portantes existentes, se ha relacionado el sistema constructivo con el Muro de Mampostería Armada” pero con sus debidas particularidades”. Por otro lado, su análisis teórico bien podría realizarse haciendo una analogía a la tipología estructural conocida como armadura, debido a su configuración geométrica y al tipo de esfuerzos predominantes antes los diversos estados de carga, obtenidos mediante modelación en el programa computacional estructural ETABS 2015, ver “Gráfico 5.11”.
- ✓ El diseño del micro-hormigón expansivo de alta plasticidad estuvo referenciado de acuerdo con las “Tablas de Diseño de Hormigón del ACI”; de lo cual, los valores en volumen de los agregados obtenidos fueron mayores que los recomendados por la empresa Alubry y en el NEC-2014, en su Capítulo

relacionado con la Mampostería Estructural. Sin embargo, debido a que la resistencia a la compresión alcanzada cumplía con las exigencias de la normativa nacional, y además que la mezcla tenía una muy buena trabajabilidad y asentamiento “comprobada con el Cono de Abrams”, se decidió hacer uso de este diseño, ya que significaba un menor costo en su producción por metro cúbico, debido a que se requiere de una menor cantidad de cemento por metro cúbico, con un aproximado de $6.5 \text{ qq/m}^3_{\text{hormigón}}$, ver “Gráfico 5.21”.

- ✓ El diseño de los muretes y del muro, tanto en hormigón como en acero de refuerzo de todos sus elementos, se lo realizó de manera de que exista una economía en los recursos y de que no se presenten inconvenientes en el proceso constructivo. Es así como, en cuanto a la construcción de todas las probetas ensayadas, no se presentó ningún tipo de dificultad; al contrario, se recalca que los tiempos de construcción y rendimientos de mano de obra son elevados.
- ✓ Como se evidencia en la “Tabla 8.1”, después de calcular los esfuerzos tanto de compresión axial como diagonal; se concluye que en el primer caso no existe una diferencia sustancial, siendo la mampostería de bloque de concreto un 13% más resistente que la propuesta. Del mismo modo, se compara los esfuerzos de compresión diagonal donde se establece una gran diferencia positiva a favor de la M.R.A., con una capacidad aproximada de 61 veces mayor a la de una mampostería convencional. (Casagallo Cuadrado, 2017)

	Muretes de M.R.A.			Muretes de Bloque de Concreto
	Carga [kg]	Área [cm ²]	Esfuerzo [kg/cm ²]	Esfuerzo [kg/cm ²]
Compresión Axial	3092.52	210.00	14.73	16.65
Compresión Diagonal	7063.92	72.00	98.11	1.62

TABLA 0.1: Esfuerzos de compresión axial y diagonal de mampostería.

Fuente: JP. Herrera y J. Narváez.

- ✓ Posterior a la construcción del muro de M.R.A. y durante el desarrollo del ensayo, se evidenció que la rigidez del muro en su plano longitudinal es muy alta en comparación a la rigidez en el plano transversal, ver “Gráfico 5.44”. Debido a esto, se concluye que es realmente necesario muros ortogonales para que se arriostren mutuamente y así garantizar un buen funcionamiento del nuevo sistema constructivo propuesto.
- ✓ La predicción de carga máxima haciendo uso del programa computacional estructural ETABS 2015, nos inducía a una falla provocada por esfuerzos de flexión en los pies de las columnetas a una carga aproximada de 15.5 [T]; y aunque las grietas más significativas efectivamente sucedieron en dicho lugar, el valor de la carga experimental no correspondió a la estimada, llegando a sobrepasar el valor de 20.0[T], y el cual correspondía a la limitante del equipo de inducción de carga.

- ✓ El ensayo del muro de Mampostería Reforzada Alivianada de relación de aspecto $h/l=0.67$, empezó con la aparición de grietas en los pies de las columnetas a partir de las 6.0 [T]; desde ese entonces bajo los incrementos paulatinos de carga, siguieron apareciendo pequeñas fisuras sin que la estructura pierda una resistencia significativa hasta alcanzar la máxima capacidad del dispositivo inductor de carga 20.0 [T] “sin haber llegado agotar la estructura”. Pese que se volvió a realizar un segundo ensayo de ciclos de carga súbitos desde cero hasta la máxima capacidad solo en sentido negativo “debido a los problemas de torsión en el otro sentido”, no se logró agotar el muro, evidenciándose así que su resistencia ante carga lateral en su plano longitudinal es elevada, ver “Gráfico 5.35 y 5.40”.
- ✓ Del ensayo a carga lateral del muro de M.R.A se obtuvo el esquema de Fuerza vs. Desplazamiento, ver “Gráfico 5.40”; en el cual se evidencia que la estructura tiene una gran capacidad de absorber energía y que su ductilidad es muy elevada. Del mismo modo, se visualiza que no existen pérdidas sustanciales en su capacidad de carga siendo muy rígida en su eje longitudinal.
- ✓ La implementación del sistema constructivo M.R.A. con los bloques de poliestireno expandido se debe realizar enmarcado dentro de elementos confinantes, para que de este modo cumplan adecuadamente con un comportamiento favorable ante las diferentes demandas de carga.
- ✓ Debido a que no se logró llegar agotar el muro de Mampostería Reforzada Alivianada ante carga lateral a causa de las limitantes del equipo y eventuales sucesos del ensayo “torsión en el sentido positivo”, no se pudo cuantificar los principales parámetros de control más influyentes para conocer el comportamiento sismorresistente de una estructura, como son: la ductilidad de desplazamiento, la resistencia máxima alcanzada y la deformación máxima en el rango inelástico, ver “Gráfico 5.44”.
- ✓ Para la modelación de la estructura se utilizó varios programas computacionales, tratando en medida de que sea posible asemejar todas las características y condiciones reales del ensayo, pero ninguno de ellos se emparejó por completo con el resultado obtenido experimentalmente, es por ello que se decidió utilizar el programa computacional ETABS 2015; el cual tuvo relación a los resultados experimentales al menos en el rango elástico correspondiente a una carga promedio de 8.12 [T] con una deriva igual al 0.27 %. Cabe mencionar, que según la modelación y como se preveía inicialmente, se evidenció que los esfuerzos predominantes en la estructura efectivamente son axiales.

- ✓ La resistencia ante carga lateral de muros construidos con el sistema constructivo M.R.A. es por lo menos dos veces superior a la de los muros convencionales, según ensayos evidenciados en el Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional durante el transcurso de esta investigación.
- ✓ El principal fin, de realizar ensayos cíclicos a carga lateral, es determinar la ductilidad de desplazamiento disponible de la estructura (habilidad de la estructura de sufrir grandes deformaciones dentro del rango inelástico, sin una reducción sustancial de su resistencia) a partir del diagrama esquelético obtenido de los lazos histeréticos estables. Pero debido a que no se pudo llegar al alcanzar la capacidad máxima de la estructura y peor aún su estado de falla, se calcula su ductilidad de desplazamiento hasta el límite alcanzado durante el ensayo, obteniendo un valor de $\mu = 14.709/0.673 = 21.86$, ver “Gráfico 5.45”; que comparado con los valores de ductilidad de diferentes sistemas estructurales “Tabla 8.2” recopilados en la investigación denominada “Criterios de Desempeño Estructural para soluciones de muros envolventes para casas” (Aedo Maluje, 2013) es muy superior, por lo que claramente se resalta la gran ductilidad que posee el nuevo sistema constructivo frente a otros de diferentes tipologías.

Referencia	Tipología	μ_{cr} mín	μ_{cr} máx	μ_{cr} prom
Hidalgo (2002)	Hormigón	4,7	6,2	7,1
Carrillo (2012)	Hormigón	8,8	5,9	6,7
Bazález (2012)	ICF	6,0	12,2	8,7
Leiva (1989)	A. Armada	5,4	6,2	5,9
Diez (1987)	A. Armada	3,3	2,8	3,2
Muñoz (1992)	A. Armada	2,0	2,3	2,1
Diez (1987)	A. Confinada	5,4	7,2	6,0
Herrera (1992)	A. Confinada	3,5	1,5	2,2
Muñoz (1992)	A. Confinada	2,1	2,4	2,3
Galleguillos (2009)	A. Confinada	4,8	5,6	5,2
Ogaz (2004)	A. Confinada	5,5	2,9	4,1

TABLA 0.2: Ductilidad de diversos sistemas constructivos.

Fuente: Aedo.

- ✓ El uso del enlucido con malla metálica como medida para evitar la combustión de los bloques de poliestireno expandido es muy favorable, ver “Gráfico 5.54”; sin embargo, esta solución no es práctica debido al encarecimiento significativo por el costo de la malla metálica de gallinero.

- ✓ La implementación del nuevo sistema constructivo es aproximadamente un 31% más costoso; esta diferencia se ve reflejada especialmente en el encofrado utilizado para la fundición y fraguado del hormigón, ver “Gráfico 5.19”. Por otro lado, y sabiendo que la capacidad del nuevo sistema es por lo menos el doble; haciendo una relación beneficio/costo se tiene que el sistema M.R.A. es 54% más favorable.
- ✓ El diseño arquitectónico se ve restringido al uso de medidas múltiples de 60.0 [cm] tanto en planta como en elevación, para que de este modo los ductos lleguen a converger en sus vértices con los elementos confinantes. En lo que respecta a la colocación y reparación de instalaciones eléctricas e hidro-sanitarias hasta diámetros correspondientes a 2”, se facilita y se economiza debido a que estas pueden ser dispuestas retirando una de las capas externas de poliestireno expandido de los bloques de M.R.A..
- ✓ Los sistemas de paredes portantes deben su resistencia a los muros en su totalidad, y obedecen a diseños probados en laboratorios para evidenciar su comportamiento. A causa de esto, y con el límite de la deriva máxima permitida para mampostería reforzada “0.002” según el NEC 2014, relacionado al diagrama esquelético experimental se tiene una capacidad del muro de M.R.A. correspondiente a un valor de 12.0 [T].

8.2 RECOMENDACIONES

- ✓ A consecuencia de que el micro-hormigón expansivo de alta plasticidad es el material más predominante e influyente en la estructura, se recomienda realizar nuevos trabajos investigativos que desarrollen una mezcla de similares características en cuanto a su fluidez, pero que alcance una mayor resistencia a compresión y tensión.
- ✓ Para el posible caso del desarrollo de nuevas investigaciones que hagan uso de este o similares sistemas constructivos, y teniendo en cuenta este trabajo investigativo como antecedente; se aconseja preveer y diseñar el ensayo para estados de carga mayores a las 20.0 [T], para de este modo asegurar que se pueda alcanzar el estado de falla de la estructura.
- ✓ Se sugiere realizar nuevas investigaciones del sistema constructivo M.R.A. en las cuales se varíe su relación de aspecto “h/l”, y también se introduzcan aberturas emulando a ventanas y puertas localizadas en diferentes posiciones. Así también se podría tratar de variar las cuantías de refuerzo para visualizar su influencia en el comportamiento de la estructura.
- ✓ Debido a que la implementación del sistema constructivo M.R.A. conlleva la utilización de un encofrado durante su fundición y fraguado, y como se evidenció que este es un rubro muy significativo dentro del análisis económico, se

recomienda la utilización de un encofrado metálico para de este modo poder reutilizarlo y así disminuir el costo en la construcción de este tipo de muros.

- ✓ A causa de la condición de toxicidad del poliestireno expandido cuando entra al contacto con el fuego, se sugiere favorecer esta condición con el uso de este polímero ignífugo. Por otro lado, y debido al encarecimiento de la propuesta del enlucido con malla metálica, por la utilización de esta última; se recomienda darle una textura rugosa exterior a los bloques para de esta manera evitar el uso de la malla; o en su debido caso aplicar una pintura retardante al fuego o darle un acabado final exterior rígido y agradable en el proceso de producción de los bloques de M.R.A..
- ✓ También se sugiere el desarrollo de nuevas propuestas de configuraciones arquitectónicas, que tengan presentes las consideraciones y recomendaciones en el uso de este nuevo sistema constructivo y que cuenten con la aprobación de un profesional en el área de la ingeniería civil.
- ✓ Se recomienda la ejecución de nuevas investigaciones enfocadas al desarrollo de modelos matemáticos que sean aplicables a este tipo de estructuras, para de este modo poder hacer uso de los mismos para calibrar los resultados experimentales con los teóricos.
- ✓ Puesto que, el punto más crítico en los muros portantes es la flexo-compresión en sentido perpendicular a su plano principal, se plantea la investigación y la realización de este tipo de ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- (s.f.). *Obtenido de Mampostería Antigua:*
http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080095009/1080095009_02.pdf
- Aedo Maluje, S. (2013). *Criterios de Desempeño estructural para soluciones de muros envolventes para casas.* Santiago : Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Alubry San Luis S.A. (s.f.). *Alubry.* Obtenido de MICROHORMIGÓN:
<http://www.alubrysanluis.com.ar/descargas.html>
- Applied Technology Council. (1996). *Seismic evaluation and Retrofit of Concrete Buildings.* State of California: Seismic Safety Commission.
- Arancibia C., F. (21 de mayo de 2006). *Ingeniería y construcción.* Obtenido de Grouting: Tipos, Características y Requisitos para su Colocación.:
<http://facingyconst.blogspot.com/2006/05/groutingtiposcaracteristicas-y.html>
- Arellano Méndez, E., & Gonzáles Cuevas, Ó. (19 de Abril de 2012). *AcíELO.* Obtenido de Estudio experimental de conexiones columna-losa postensada aligerada:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112012000100003#f25
- Barrientos Correa, P. (2011). *Estudio de pre factibilidad para el montaje de una planta EMMEDUE.* Medellín: Universidad EAFIT.
- Beltrán Razura, Á. (2012). *Costos y Presupuestos.* Tepic.
- C.R., L. (s.f.). *Universidad Nacional Autónoma de México.* Obtenido de ACERO DE REFUERZO:
http://www.ingenieria.unam.mx/~luiscr/ECyM_43327/ACERO_REFUERZO.pdf
- Cámara de la Industria de la Construcción . (1 de Marzo de 2017). *Insumos de la construcción.* (CAMICON, Entrevistador)
- Casagallo Cuadrado, A. (2017). *Análisis Experimental de un Prototipo de Bloques de Hormigón, Usados en la Construcción de Mampostería No Estructural, que Busca Mejorar Desempeño de las Edificaciones Durante Eventos Sísmicos.* Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras.* California: PEARSON EDITORIAL.
- Consigny, P. (s.f.). *Tectonica-online.* Obtenido de Muros con módulos de poliestireno expandido: http://www.tectonica-online.com/productos/343/poliestireno_expandido_modulos_muros_silver_neopor/#

- Díaz, J. J., & Rodríguez, D. R. (2011). *ENSAYOS A CARGA HORIZONTAL DE MAMPOSTERÍAS SIN MORTERO DE UNIÓN, CONFINADAS, CON EL SISTEMA CONSTRUCTIVO MULTIBLOCK*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería Estructural*. Lima: Fondo Editorial.
- Godínez, M. (Dirección). (2014). *Poliestireno Expandido [Película]*.
- Huahuamullo Taboada, K. (s.f.). Academia.edu. Obtenido de Descripción de los sistemas constructivos más utilizados para la construcción de vivienda de interés social en Colombia:
https://www.academia.edu/7622485/3._DESCRIPCION_DE_LOS_SISTEMAS_CONSTRUCTIVOS_MAS_UTILIZADOS_PARA_LA_CONSTRUCCION_DE_VIVIENDA_DE_INTERES_SOCIAL_EN_COLOMBIA
- Ibarra. (11 de abril de 2008). *La Hora*. Obtenido de Evolución de la Construcción:
<http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/706261/-1/home/goRegional/Tungurahua#.WHfm8xvhCUk>
- INEN. (1978). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. Obtenido de GUÍA DE PRÁCTICA PARA MAMPOSTERÍA REFORZADA :
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.gpe.21.1978.pdf>
- Jácome, E. (08 de enero de 2017). *El Comercio*. Obtenido de El 60% de las edificaciones son informales en el Distrito Metropolitano de Quito:
<http://www.elcomercio.com/actualidad/municipio-quito-regulacion-viviendas-informales.html>
- Kika. (16 de enero de 2017). *Diccionario de Arquitectura y Construcción*. Obtenido de Definición DE PARED PORTANTE Y CONCEPTOS RELACIONADOS:
<http://www.parro.com.ar/definicion-de-pared+portante>
- La Hora. (3 de Mayo de 2013). *Inec: Tamaño promedio del hogar ecuatoriano es de 3.9 personas*. La Hora, pág. País .
- Luna Hermosa, G. (2014). *Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental*. En Escuela Politécnica Nacional, *ESTUDIO DEL HORMIGÓN* (pág. 175). Quito: Edicumbre.
- Marcano Quijada, V. (20 de agosto de 2016). *Slideshare*. Obtenido de *Arquitectura y Urbanismo en América antes de la Conquista*:
<http://es.slideshare.net/VanessaMarcanoQuijada/arquitectura-y-urbanismo-en-amrica-antes-de-la-conquista>
- Materials. (30 de Noviembre de 2015). *Plataforma arquitectura*. Obtenido de *Sistema constructivo: Unidades Modulares de Poliéstireno Expandido (EPS)*: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/776858/materiales-syntheon>

- Méndez Lora, K. R. (2014). *Análisis energético en el clima tropical-húmedo de Santo Domingo y aplicado a la vivienda social*. Barcelona: ETSAB.
- Min. de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador. (10 de enero de 2015). Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha. Obtenido de NORMA ECUATORIA DE LA CONSTRUCCIÓN. Mampostería Estructural: http://www.cicp-ec.com/documentos/NEC_2015/NEC_SE_MP_Mamposteria_Estructural.pdf
- Min., De Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador. (10 de enero de 2015). Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha. Obtenido de NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. Hormigón Armado.: http://www.cicp-ec.com/documentos/NEC_2015/NEC_SE_HM_Hormigon_Armado.pdf
- Min.. de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador. (10 de enero de 2015). Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha. Obtenido de NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente: <http://www.cicp-ec.com/index.php/leyes-y-normativas/norma-ecuatoriana-de-la-construccion>
- NOVACERO. (25 de ABRIL de 2017). NOVACERO. Obtenido de NOVALOSA: <http://novacero.com/productos-y-servicios/productos/item/61-steel-deck-novalosa.html>
- Ochoa Román, J. V., & Ulcuango Merino, F. D. (enero de 2014). Repositorio digital Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de ESTUDIO DE LA SEGURIDAD SÍSMICA Y DISEÑO DEL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA DE TRES PISOS: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7152/1/CD-5348.pdf>
- Paulay, T., & Priestley, M. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Pinto Gaibor, P. (2016). *Costos en la construcción. Costos directos e indirectos*. Quito.
- Sagñay Novay, A. L., & Villa Ramos, X. M. (2014). *Evaluación y propuesta de diseño sismo-resistente para viviendas construidas con materiales no tradicionales (Hormi-2) en la ciudad de Riobamba*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- San Bartolome, Á. (1994). *CONSTRUCCIÓN DE ALBAÑILERIA*. En Pontificia Universidad Católica del Perú, *Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural* (pág. 228). Lima: Fondo Editorial.
- Vaca Moncayo, F. (2011). *ESTRUCTURAS PARED PORTANTE DE MAMPOSTERÍA Y HORMIGÓN ARMADO*. Quito: Ecuador.

Velasteguí Caraballo, J. C. (2013). Estado del arte del sistema M2 para edificios de altura. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

*Xexar. (08 de noviembre de 2009). 20 minutos. Obtenido de Monumentos y Estructuras más importantes del mundo:
<http://listas.20minutos.es/lista/monumentos-y-estructuras-mas-importantes-del-mundo-160915/>*

Anexo No.1
Ensayo de peso específico y absorción de la arena

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio de Ensayo de Materiales

Fecha: 04/04/2016

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

TIPO DE MUESTRA:	Natural	SOLICITADO POR:	Juan Pablo Herrera
P1=	500.3	gr.	PESO DE LA MUESTRA CON (SSS)
P2=	1016.3	gr.	PESO DEL MATRAZ+MUESTRA+AGUA
P3=	707.2	gr.	PESO DEL MATRAZ CON AGUA - T° 18,5
P4=	483.5	gr.	PESO DE LA MUESTRA SECA

$$\text{VOLUMEN DE ARENA} = \frac{P3+P1-P2}{\rho_w} = 191.20 \text{ cm}^3$$

$$\text{DENSIDAD SECA} = \frac{P4}{P3+P1-P2} = 2.53 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{DENSIDAD (SSS)} = \frac{P1}{P3+P1-P2} = 2.62 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{DENSIDAD APARENTE} = \frac{P4}{P3+P4-P2} = 2.77 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ ABSORCION DE AGUA} = \frac{(P1-P4) \cdot 100}{P4} = 3.47 \%$$

OBSERVACIONES

Esta muestra corresponde a una arena de alta densidad.

Anexo No.2
Ensayo de peso específico y absorción del ripio

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio de Ensayo de Materiales

Fecha: 04/04/2016

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

TIPO DE MUESTRA:	Natural	SOLICITADO POR:	Juan Pablo Herrera
P1=	2000.00	gr.	PESO DEL MATERIAL SECO EN AIRE (SSS)
P2=	1205.00	gr.	PESO DEL MATERIAL SUMERGIDO EN AGUA
P3=	1904.95	gr.	PESO DE LA MUESTRA SECA

$$\text{DENSIDAD SECA} = \frac{P3}{P1-P2} = 2.40 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{DENSIDAD (SSS)} = \frac{P1}{P1-P2} = 2.52 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{DENSIDAD APARENTE} = \frac{P3}{P3-P2} = 2.72 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ ABSORCION DE AGUA} = \frac{(P1-P3) * 100}{P3} = 4.99 \%$$

OBSERVACIONES

El tamaño máximo 1 1/2"

Tamaño máximo nominal 1"

Anexo No.3
Ensayo de granulometría de la arena

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE HORMIGONES
 PRACTICA No.: 3
 ANALISIS GRANULOMETRICO DE ARIDOS

PROYECTO :
 OBRA:
 LOCALIZACION:
 ENSAYO No.: 3
 PROFUNDIDAD:

FECHA: 05/04/2016 GRUPO: CALCULO: J.P. Herrera REVISO:
 OPERADOR: Juan Pablo Herrera Calderón

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL ARIDO FINO								
MALLA No.	ABERTURA mm.	RECIPIENTE No.	PESO DEL RECIPIENTE gr.	TARA+SUELO RETENIDO gr.	PESO SUELO RETENIDO gr.	PORCENTAJE RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO %	PORCENTAJE QUE PASA %
4	4.76		0.00	19.00	19.00	5.432	5.43	94.57
8	2.36		0.00	72.25	72.25	20.655	26.09	73.91
16	1.19		0.00	68.45	68.45	19.568	45.65	54.35
30	0.6		0.00	51.60	51.60	14.751	60.41	39.59
50	0.3		0.00	44.45	44.45	12.707	73.11	26.89
100	0.15		0.00	32.85	32.85	9.391	82.50	17.50
BANDEJA	0		0.00	61.20	61.20	17.496	100.00	0.00
SUMA					349.80	100.000		

FORMULAS:

D10=

D30=

D60=

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

$$M_f = \frac{\sum \%retenido_acumulado(6^n + 3^n + 1\frac{1}{2}^n + \frac{1}{2}^n + \frac{1}{4}^n + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

OBSERVACIONES:

ARIDO FINO

1) El material esta completamente seco.

2) D10= 0.07

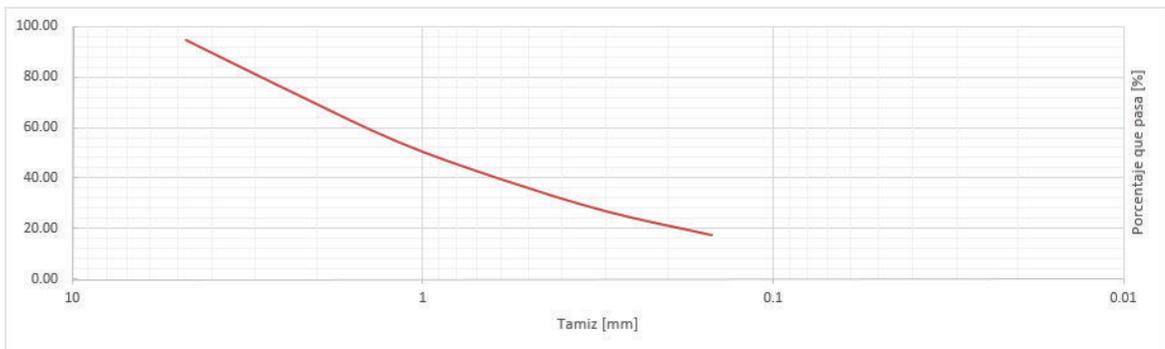
D30= 0.38

D60= 1.6

3) Cu= 22.86

4) Cc= 1.29

5) Mf= 2.93



Anexo No.4
Ensayo de granulometría del ripio tamizado

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE HORMIGONES
 PRACTICA No.: 4
 ANALISIS GRANULOMETRICO DE ARIDOS

PROYECTO :
 OBRA:
 LOCALIZACION:
 ENSAYO No.: 4
 PROFUNDIDAD:

FECHA: 05/04/2016 GRUPO: CALCULO: J.P. Herrera REVISO:
 OPERADOR: Juan Pablo Herrera Calderón

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL ARIDO GRUESO								
MALLA No.	ABERTURA mm.	RECIPIENTE No.	PESO DEL RECIPIENTE gr.	TARA+SUELO RETENIDO gr.	PESO SUELO RETENIDO gr.	PORCENTAJE RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO %	PORCENTAJE QUE PASA %
3/4	19.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	12.50		0.00	148.07	148.07	1.43	1.43	98.57
3/8	9.50		0.00	2542.03	2542.03	24.49	25.92	74.08
4	4.75		0.00	4935.47	4935.47	47.55	73.46	26.54
8	2.36		0.00	1804.27	1804.27	17.38	90.84	9.16
BANDEJA	0.00		0.00	950.63	950.63	9.16	100.00	0.00
SUMA					10380.47	100.00		

FORMULAS:

D10=
 D30=
 D60=

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

$$MF = \frac{\sum \%retenido_acumulado(6^n+3^{n+1} \frac{1}{2} + \frac{3}{2} + \frac{3}{8} + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

OBSERVACIONES:

ARIDO GRUESO

TAMAÑO MAXIMO:

1/2"

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL:

3/8"

1) El material esta completamente seco.

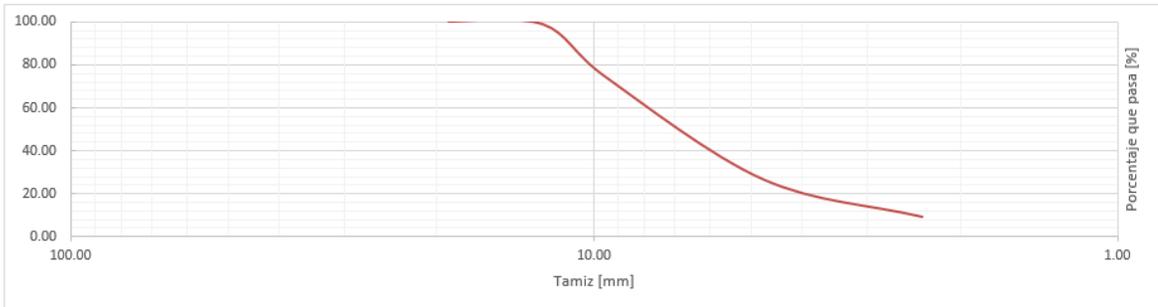
2) D10= 2.4

D30= 5.1

D60= 7.9

3) Cu= 3.29

4) Cc= 1.37



Anexo No.5
Ensayo de granulometría del ripio sin tamizar

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE HORMIGONES
 PRACTICA No.: 5
 ANALISIS GRANULOMETRICO DE ARIDOS

PROYECTO :
 OBRA:
 LOCALIZACION:
 ENSAYO No.: 5
 PROFUNDIDAD:

FECHA: 05/04/2016 GRUPO: CALCULO: J.P. Herrera REVISO:
 OPERADOR: Juan Pablo Herrera Calderón

COMPOSICION GRANULOMETRICA DEL ARIDO GRUESO								
MALLA No.	ABERTURA mm.	RECIPIENTE No.	PESO DEL RECIPIENTE gr.	TARA+SUELO RETENIDO gr.	PESO SUELO RETENIDO gr.	PORCENTAJE RETENIDO %	RETENIDO ACUMULADO %	PORCENTAJE QUE PASA %
1 1/2	37.50		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.00		0.00	451.50	451.50	4.31	4.31	95.69
3/4	19.00		0.00	1345.20	1345.20	12.84	17.15	82.85
1/2	12.50		0.00	2494.30	2494.30	23.81	40.96	59.04
3/8	9.50		0.00	1749.15	1749.15	16.70	57.66	42.34
4	4.75		0.00	2925.65	2925.65	27.93	85.59	14.41
BANDEJA	0.00		0.00	1509.50	1509.50	14.41	100.00	0.00
SUMA					10475.30	100.00		

FORMULAS:

D10=
 D30=
 D60=

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

$$MF = \frac{\sum \%retenido_acumulado(6^n+3^n+1\frac{1}{2}^n+\frac{3}{4}^n+\frac{3}{8}^n+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100}$$

OBSERVACIONES:

OBSERVACIONES:

ARIDO GRUESO

TAMAÑO MAXIMO: 1 1/2"

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL: 1"

1) El material esta completamente seco.

2) D10= 4.3

D30= 7.2

D60= 12.7

3) Cu= 2.95

4) Cc= 0.95

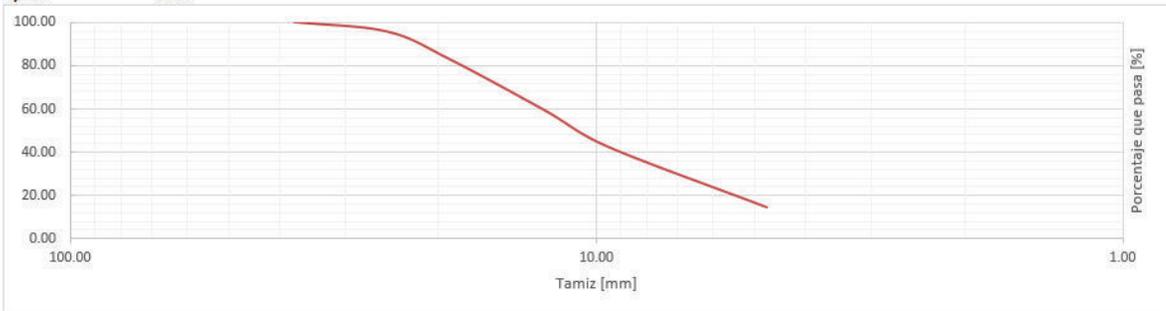


TABLE 3. Grading Requirements for Coarse Aggregates

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent												
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 1/2 in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 1/2 in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 1/2 in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 mm (No. 50)
1	90 to 37.5 mm (3 1/2 to 1 1/2 in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	0 to 5	...	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2 1/2 to 1 1/2 in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	0 to 5	...	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	0 to 15	...	...	...	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1 1/2 to 3/4 in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1 1/2 to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to 1/2 in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	...	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to 3/8 in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	...	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	0 to 10	0 to 5	...	...
6	19.0 to 9.5 mm (3/4 to 3/8 in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (3/4 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...
7	12.5 to 4.75 mm (1/2 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...	...
8	9.5 to 2.36 mm (3/8 in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	...
89	9.5 to 1.18 mm (3/8 in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5
9 ^A	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5

^A Size number 9 aggregate is defined in Terminology C125 as a fine aggregate. It is included as a coarse aggregate when it is combined with a size number 8 material to create a size number 85, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C125.

Anexo No.6
Ensayo de densidad aparente de la arena

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio de Ensayo de Materiales

SOLICITADO POR:

Fecha: 05/04/2016

DENSIDADES APARENTES

OPERADOR: Juan Pablo Herrera

CALCULO: J. P. Herrera REVISION:

TIPO DE MUESTRA: Natural

DENSIDAD SUELTA

PRUEBA N°	1	
MOLDE N°		
f [cm]	20.30	20.30
h [cm]	29.30	29.30
PESO MOLDE (PI) [gr]	4907.50	4907.50
PESO MOLDE + AGUA [gr]		
T°		
K		
PESO MOLDE+MUESTRA [gr]	17600.00	17500.00
VOLUMEN	9482.85	9482.85
PESO MUESTRA	12692.50	12592.50
DENSIDAD SUELTA	1.34	1.33
PROMEDIO	1.33	

DENSIDAD COMPACTADA

PRUEBA N°	1	
MOLDE N°		
f [cm]	20.30	20.30
h [cm]	29.30	29.30
PESO MOLDE (PI) [gr]	4907.50	4907.50
PESO MOLDE + AGUA [gr]		
T°		
K		
PESO MOLDE+MUESTRA [gr]	18400.00	18450.00
VOLUMEN	9482.85	9482.85
PESO MUESTRA	13492.50	13542.50
DENSIDAD COMPACTA	1.42	1.43
PROMEDIO	1.43	

Anexo No.7
Ensayo de densidad aparente del ripio

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio de Ensayo de Materiales

SOLICITADO POR:

Fecha:

05/04/2016

DENSIDADES APARENTES

OPERADOR: Juan Pablo Herrera

CALCULO: J. P. Herrera REVISION:

TIPO DE MUESTRA: Natural

DENSIDAD SUELTA

PRUEBA N°	1	
MOLDE N°		
f [cm]	20.30	20.30
h [cm]	29.30	29.30
PESO MOLDE (PI) [gr]	4907.50	4907.50
PESO MOLDE + AGUA [gr]		
T°		
K		
PESO MOLDE+MUESTRA	20100.00	20150.00
VOLUMEN [cm ³]	9482.85	9482.85
PESO MUESTRA [gr]	15192.50	15242.50
DENSIDAD SUELTA [gr/cm ³]	1.60	1.61
PROMEDIO	1.60	

DENSIDAD COMPACTADA

PRUEBA N°	1	
MOLDE N°		
f [cm]	20.30	20.30
h [cm]	29.30	29.30
PESO MOLDE (PI) [gr]	4907.50	4907.50
PESO MOLDE + AGUA [gr]		
T°		
K		
PESO MOLDE+MUESTRA	21150.00	21150.00
VOLUMEN [cm ³]	9482.85	9482.85
PESO MUESTRA [gr]	16242.50	16242.50
DENSIDAD COMPACTA [gr/cm ³]	1.71	1.71
PROMEDIO	1.71	

Anexo No.8
Ensayo de contenido de impurezas orgánicas en la arena

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio de Ensayo de Materiales

CONTENIDO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS

COLORIMETRIA
NTE INEN 855

No. DE INFORME:	8
FECHA:	12/04/2015
SOLICITANTE:	

AFREGADO FINO:	FECHA DE MUESTREO:	05/04/2016
FUENTE:	FECHA DE ENSAYO:	05/04/2016

TIPO DE MUESTRA _____

PROCEDIMIENTO

Solucion de Color Normalizado

Comparador de Colores

COLOR NATURAL DE LA MUESTRA _____

CONTENIDO ORGANICO ACEPTABLE

SI NO

COLOR ESCALA GARDNER

1	2	3	4	5
	X			

RECOMENDACIÓN

NINGUNA

OBSERVACIONES:

Polvo de piedra

RESPONSABLE:

Firma:

Nombre:

JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVAEZ



Anexo No.9
Ensayo de contenido de impurezas orgánicas en la arena

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Laboratorio de Ensayo de Materiales
DENSIDAD DEL CEMENTO

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE HORMIGONES
 PRACTICA No.: 9
 DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

PROYECTO :
 OBRA:
 LOCALIZACION:
 ENSAYO No.: 9
 PROFUNDIDAD:

FECHA: GRUPO: CALCULO: J.P.H. / J.N. REVISO:
 OPERADOR: J.P.H. / J.N.

METODO DE LA MATRAZ DE LE CHATELIER

	Lecturas (ml)	L2-L1	Densidad (gr/ml)
L1	0.93	19.23	2.83
L2	20.15		
	Pesos (gr.)	P2-P1	
P1	325.55	54.45	
P2	380.00		

FORMULAS:

METODO DE LA MATRAZ DE LE CHATELIER

$$\text{Densidad real} = (P2 - P1) / (L2 - L1)$$

OBSERVACIONES:

1) Los ensayos fueron realizados con la muestra tal cual llevo al laboratorio.

Anexo No.10
Diseño preliminar del micro-hormigón expansivo de alta
plasticidad

Diseño del micro hormigón

PARÁMETRO	UNIDAD	GRAVA	ARENA
Densidad Real, SSS	[Kg/dm ³]	2.52	2.62
Absorción	[%]	4.99	3.47
Densidad Aparente Compactada	[Kg/dm ³]	1.71	1.43
Densidad Aparente Suelta	[Kg/dm ³]	1.6	1.33
Densidad Cemento	[Kg/dm ³]	2.83	
Densidad Agua	[Kg/dm ³]	1.00	

TABLA No.1

ASENTAMIENTO RECOMENDADO PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN

TIPO DE ESTRUCTURA Y USO DEL HORMIGÓN	MÁXIMO [cm]	MÍNIMO [cm]	ASUMIDO [cm]
Paredes portantes	15.00	7.60	15.00

TABLA No.2

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO RECOMENDADO PARA VARIAS OBRAS

TIPO DE ESTRUCTURA Y USO DEL HORMIGÓN	DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN		TAMAÑO MÁX. AGREGADO	
	[cm]	[pulg]	[cm]	[pulg]
Paredes portantes	6.00	2.36	1.27	0.50

TABLA No.3

CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO, LITROS/M³ DE HORMIGÓN, REQUERIDA EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO UTILIZADO EN LA OBRA, PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS

ASENTAMIENTO [cm]	TAMAÑO MAX. AGREGADO		CANTIDAD DE AGUA [lt/m ³ HORMIGON]
	[cm]	[pulg]	
15.00	1.27	0.50	203.00

TABLA No.4

RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA PERMISIBLE, EN LITROS/Kg CEMENTO, PARA DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS Y CON DISTINTAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN

TIPO DE ESTRUCTURA Y USO DEL HORMIGÓN	CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	RELACION AGUA/CEMENTO
Paredes portantes	En Aire	(4)

TABLA No.5

RELACIÓN AGUA/CEMENTO RECOMENDADA, EN Lts/Kg CEMENTO, PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, CON Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN [Kg/cm ²]	INCLUSIÓN DE AIRE		RELACIÓN AGUA/CEMENTO	lt AGUA/cd 50Kg CEMENTO
	SIN	CON		
140.00	-	X	0.8	40

TABLA No.6

VOLUMEN APARENTE DE AGREGADO GRUESO, EN m³, POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO [cm]	MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO [pulg]	m ³ DE AGREG. GRUESO SECO Y COMPATADO
1.27	0.50	2.93
		0.407

CÁLCULOS

TABLA No.7

FACTOR DE CEMENTO [Kg/m ³]=	253.75	[qq CEMENTO/m ³ HORMIGON]=	5.08
VOLUMEN REAL DE CEMENTO [dm ³ /m ³ HORMIGON]=	89.66	[%]=	8.97

TABLA No.8			
VOLUMEN REAL S.S.S. AGREGADO GRUESO [dm ³ /m ³]	276.18	[%]=	27.62

TABLA No.9			
VOLUMEN AIRE ATRAPADO EN LA MEZCLA [dm ³ /m ³ HORMIGON]=	70.00	[%]=	7.00

TABLA No.10			
VOLUMEN REAL S.S.S. AGREGADO FINO [dm ³ /m ³]	361.16	[%]=	36.12

RESUMEN SIN CORRECCION DE ABSORCION Y HUMEDAD

COMPONENTE	CANTIDAD EN VOLUMEN REAL [dm ³]	DENSIDAD REAL [Kg/dm ³]	CANTIDAD EN PESO [Kg]	CANTIDAD RELATIVA EN PESO
AIRE	70.000	0.001	0.090	0.000
AGUA	203.000	1.000	203.000	0.800
CEMENTO	89.664	2.830	253.750	1.000
ARENA	361.157	2.620	946.232	3.729
RIPIO	276.179	2.520	695.970	2.743
	1000.00			

TABLA No.11			
CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREG. GRUESO=	34.73	[%]=	3.47

TABLA No.12			
CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREG. FINO=	32.83	[%]=	3.28

RESUMEN CON CORRECCION DE ABSORCION/HUMEDAD Y ADITIVOS

COMPONENTE	CANTIDAD EN VOLUMEN REAL [dm ³]	DENSIDAD REAL [Kg/dm ³]	CANTIDAD EN PESO [Kg]	CANTIDAD RELATIVA EN PESO
AIRE	70.000	0.001	0.090	0.000
AGUA	269.041	1.000	269.041	1.060
CEMENTO	89.664	2.830	253.750	1.000
ARENA	348.625	2.620	913.397	3.600
RIPIO	262.397	2.520	661.241	2.606
EXPANSIVO	0.897	2.830	2.538	0.010
PLASTIFICATE	1.523	1.070	1.629	0.006

Anexo No.11
Diseño definitivo del micro-hormigón expansivo de alta
plasticidad

Diseño definitivo del micro hormigón

PARÁMETRO	UNIDAD	GRAVA	ARENA
Densidad Real, SSS	[Kg/dm ³]	2.52	2.62
Absorción	[%]	4.99	3.47
Densidad Aparente Compactada	[Kg/dm ³]	1.71	1.43
Densidad Aparente Suelta	[Kg/dm ³]	1.60	1.33
Densidad Cemento	[Kg/dm ³]	2.83	
Densidad Agua	[Kg/dm ³]	1.00	

TABLA No.1			
ASENTAMIENTO RECOMENDADO PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN			
TIPO DE ESTRUCTURA Y USO DEL HORMIGÓN	MÁXIMO	MÍNIMO	ASUMIDO
	[cm]	[cm]	[cm]
Paredes portantes	27.00	18.00	25.00

TABLA No.2				
TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO RECOMENDADO PARA VARIAS OBRAS				
TIPO DE ESTRUCTURA Y USO DEL HORMIGÓN	DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN		TAMAÑO MÁX. AGREGADO	
	[cm]	[pulg]	[cm]	[pulg]
Paredes portantes	6.00	2.36	1.27	0.50

TABLA No.3			
CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO, LITROS/M ³ DE HORMIGÓN, REQUERIDA EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO UTILIZADO EN LA OBRA, PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS			
ASENTAMIENTO	TAMAÑO MAX. AGREGADO		CANTIDAD DE AGUA
[cm]	[cm]	[pulg]	[lt/m ³ HORMIGON]
25.00	1.27	0.50	250.00

TABLA No.4		
RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA PERMISIBLE, EN LITROS/Kg CEMENTO, PARA DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS Y CON DISTINTAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN		
TIPO DE ESTRUCTURA Y USO DEL HORMIGÓN	CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	RELACION AGUA/CEMENTO
Paredes portantes	En Aire	(4)

TABLA No.5				
RELACIÓN AGUA/CEMENTO RECOMENDADA, EN Lts/Kg CEMENTO, PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, CON Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE				
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	INCLUSIÓN DE AIRE		RELACIÓN AGUA/CEMENTO	lt AGUA/cd 50Kg CEMENTO
	SIN	CON		
[Kg/cm ²]				
140.00	-	X	0.78	31

TABLA No.6			
VOLUMEN APARENTE DE AGREGADO GRUESO, EN m ³ , POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN			
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO	m ³ DE AGREG. GRUESO SECO Y COMPATADO	
[cm]	[pulg]		
1.27	0.50	2.93	0.4

CÁLCULOS

TABLA No.7			
FACTOR DE CEMENTO [Kg/m ³]=	320.51	[qq CEMENTO/m ³ HORMIGON]=	6.41
VOLUMEN REAL DE CEMENTO [dm ³ /m ³ HORMIGON]=	113.26	[%]=	11.33

TABLA No.8			
VOLUMEN REAL S.S.S. AGREGADO GRUESO [dm ³ /m ³]	271.43	[%]=	27.14

TABLA No.9			
VOLUMEN AIRE ATRAPADO EN LA MEZCLA [dm ³ /m ³ HORMIGON]=	70.00	[%]=	7.00

TABLA No.10			
VOLUMEN REAL S.S.S. AGREGADO FINO [dm ³ /m ³]	295.32	[%]=	29.53

RESUMEN SIN CORRECCION DE ABSORCION Y HUMEDAD

COMPONENTE	CANTIDAD EN VOLUMEN REAL [dm ³]	DENSIDAD REAL [Kg/dm ³]	CANTIDAD EN PESO [Kg]	CANTIDAD RELATIVA EN PESO
AIRE	70.000	0.001	0.090	0.000
AGUA	250.000	1.000	250.000	0.780
CEMENTO	113.255	2.830	320.513	1.000
ARENA	295.316	2.620	773.728	2.414
RIPIO	271.429	2.520	684.000	2.134
	1000.00			

TABLA No.11			
CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREG. GRUESO=	34.13	[%]=	3.41

TABLA No.12			
CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREG. FINO=	26.85	[%]=	2.68

RESUMEN CON CORRECCION DE ABSORCION/HUMEDAD Y ADITIVOS

COMPONENTE	CANTIDAD EN VOLUMEN REAL [dm ³]	DENSIDAD REAL [Kg/dm ³]	CANTIDAD EN PESO [Kg]	CANTIDAD RELATIVA EN PESO
AIRE	70.000	0.001	0.090	0.000
AGUA	309.057	1.000	309.057	0.964
CEMENTO	113.255	2.830	320.513	1.000
ARENA	285.069	2.620	746.880	2.330
RIPIO	257.884	2.520	649.868	2.028
EXPANSIVO	1.133	2.830	3.205	0.010
PLASTIFICANTE	1.923	1.070	2.058	0.006

Pesos de agregados para la dosificación

Nota:

Se fundieron: 6 muretes + 9 cilindros + 10% desperdicio

Volumen de hormigon requerido [m ³]=	0.276
Peso de cemento por m ³ hormigon [kg]=	320.513

Dosificación por [m ³]						
Aire	Agua	Cemento	Arena	Ripio	Expansivo	Plastificante
0.000	0.964	1.000	2.330	2.028	0.010	0.006

Pesos requeridos	
Aire [gr]=	0.000
Agua [gr]=	85298.975
Cemento [gr]=	88484.414
Arena [gr]=	206168.685
Ripio [gr]=	179446.392
Expansivo [gr]=	884.844
Plastificante [gr]=	530.906

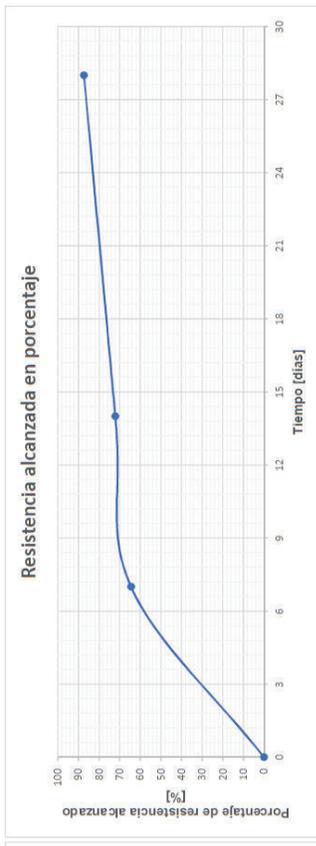
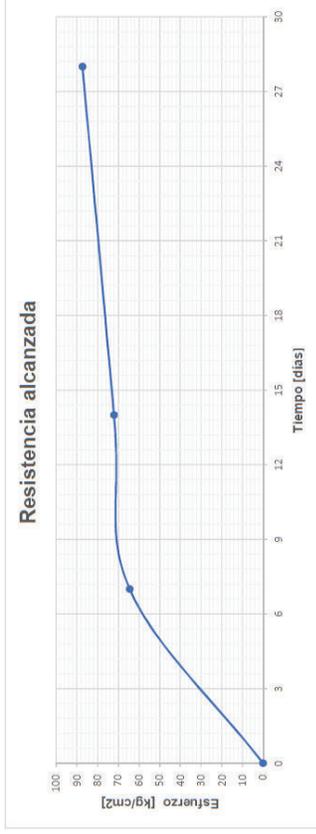
Anexo No.12
Resistencia de los cilindros de micro-hormigón del muro de
M.R.A. en función del tiempo de fraguado

RESISTENCIA DE LOS CILINDROS DE MICRO-HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE SU TIEMPO DE FRAGADO

Resistencia requerida del micro-hormigón [kg/cm2]= **100.00**

	7 Dias			14 Dias			28 Dias		
	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C
Diámetro 1 [cm]	10.400	10.200	10.200	10.000	9.800	10.500	10.400	10.100	10.300
Diámetro 2 [cm]	10.000	10.200	10.100	10.100	10.200	9.900	10.100	10.400	10.300
Diámetro 3 [cm]	10.200	10.200	10.300	10.000	10.000	10.300	10.500	10.200	10.200
Altura 1 [cm]	20.000	19.800	19.600	19.200	19.800	19.800	19.900	20.200	20.000
Altura 2 [cm]	20.000	19.800	19.600	19.300	19.700	19.600	20.100	20.000	20.000
Altura 3 [cm]	19.900	19.900	19.700	19.300	19.800	19.700	20.100	20.000	20.000
Peso [gr]	3484.700	3526.800	3483.300	3339.200	3422.100	3556.300	3420.900	3409.400	3437.600
Carga [T]	4.399	5.620	5.784	5.552	5.390	6.365	7.832	5.644	8.266

Área [cm2]	81.711	81.711	81.711	79.062	78.538	82.246	83.861	82.246	82.782
Volumen [cm3]	1631.493	1620.598	1604.256	1523.268	1552.432	1620.242	1680.016	1650.398	1655.649
Peso esp. [gr/cm3]	2.136	2.176	2.171	2.192	2.204	2.195	2.036	2.066	2.076
Resistencia [Kg/cm2]	53.836	68.779	70.786	70.223	68.629	77.390	93.393	68.624	99.852
Por. Alcazado [%]	53.836	68.779	70.786	70.223	68.629	77.390	93.393	68.624	99.852



Anexo No.13
Cubitaje y planilla del muro de M.R.A.

PLANILLA DEL MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANDA									
Marca	Tipo	Φ [mm]	No. Barillas	Dimensiones [cm]			Longitud parcial [m]	Longitud total [m]	Observaciones
[E]	[E]	[mm]	[u]	a	b	c	g		
LAMINA 1 DE 2									
001	J1	8	6	351.00	12.00		3.63	21.78	-
002	C2	8	2	276.00	12.00		3.00	6.00	-
003	J1	8	2	95.00	12.00		1.07	2.14	-
004	C2	8	2	192.00	12.00		2.16	4.32	-
005	J1	8	2	180.00	12.00		1.92	3.84	-
006	C2	8	2	107.00	12.00		1.31	2.62	-
007	J1	8	2	265.00	12.00		2.77	5.54	-
008	C2	12	1	375.00	30.00	10.00	4.55	4.55	-
009	C1	12	2	300.00	30.00		3.60	7.20	-
010	J1	8	12	30.00	15.00		0.45	5.40	-
LAMINA 2 DE 2									
101	J1	18	4	220.00	10.00		2.30	9.20	10[cm] ENROSCADO
102	C1	12	4	400.00	30.00		4.60	18.40	-
103	E	8	27	15.00	15.00		7.50	0.75	20.25
104	E	8	15	12.00	12.00		7.50	0.63	9.45
105	C1	12	8	445.00	17.00		4.79	38.32	-
106	C1	10	2	445.00	17.00		4.79	9.58	-
107	E	8	37	20.00	45.00		7.50	1.45	53.65
RESUMEN DE MATERIALES									
Φ [mm]	8.00	10.00	12.00	18.00					
L [m]	134.99	9.58	68.47	9.20					
W [kg/m]	0.395	0.617	0.888	1.998					
Peso [kg]	53.32	5.91	60.80	18.38					
HORMIGON f _c [kg/cm ²]=	100.00	210.00			No. Bloques Muro [30x30x10]=	96.00			
VOLUMEN DE HORMIGON [m ³]=	0.590	0.563			Peso del bloque de M.R.A [kg]=	0.16			
ACERO fy [kg/cm ²]=	4200.00				Peso total de bloques de M.R.A [kg]=	14.95			
Wtotal acero[kg]=	138.415				Wtotal del muro y cimentación [kg]=	2533.52			
Tipos de aceros:									

Densidad del hormigon	
f _c 100 [kg/m ³]=	2059.33
f _c 210 [kg/m ³]=	2163.00

Acero en muro	
Total [kg]=	77.28

Peso de acero [kg]= 77.284
 Volumen de acero [m³]= 0.010
 Volumen de hormigon ideal [m³]= 0.590
 Volumen de hormigon real[m³]= 0.580
 Peso del hormigo [kg]= 1195.259
 Peso del muro [kg]= 1272.543

Acero en viga	
38.32	0.89
9.58	0.62
53.65	0.40
Total [kg]=	61.13

Peso de acero [kg]= 61.131
 Volumen de acero [m³]= 0.008
 Volumen de hormigon ideal [m³]= 0.555
 Volumen de hormigon real[m³]= 1.199.843
 Peso de la cimentación [kg]= 1260.974

Peso total muro [kg]= 2533.518

Anexo No.14
Diseño del hormigón de la viga de cimentación

Diseño del hormigón de viga de cimentación

PARÁMETRO	UNIDAD	GRAVA	ARENA
Densidad Real, SSS	[Kg/dm ³]	2.52	2.62
Absorción	[%]	4.99	3.47
Densidad Aparente Compactada	[Kg/dm ³]	1.71	1.43
Densidad Aparente Suelta	[Kg/dm ³]	1.60	1.33
Densidad Cemento	[Kg/dm ³]	2.83	
Densidad Agua	[Kg/dm ³]	1.00	

TABLA No.1

ASENTAMIENTO RECOMENDADO PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN

TIPO DE ESTRUCTURA Y USO DEL HORMIGÓN	MÁXIMO [cm]	MÍNIMO [cm]	ASUMIDO [cm]
Viga de cimentación	15.00	7.60	15.00

TABLA No.2

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO RECOMENDADO PARA VARIAS OBRAS

TIPO DE ESTRUCTURA Y USO DEL HORMIGÓN	DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN		TAMAÑO MÁX. AGREGADO	
	[cm]	[pulg]	[cm]	[pulg]
Viga de cimentación	2.50	0.98	3.81	1.50

TABLA No.3

CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO, LITROS/M³ DE HORMIGÓN, REQUERIDA EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO UTILIZADO EN LA OBRA, PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS

ASENTAMIENTO [cm]	TAMAÑO MAX. AGREGADO		CANTIDAD DE AGUA [lt/m ³ HORMIGON]
	[cm]	[pulg]	
15.00	3.81	1.50	188.00

TABLA No.4

RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA PERMISIBLE, EN LITROS/Kg CEMENTO, PARA DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS Y CON DISTINTAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN

TIPO DE ESTRUCTURA Y USO DEL HORMIGÓN	CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	RELACION AGUA/CEMENTO
Viga de cimentación	En Aire	(4)

TABLA No.5

RELACIÓN AGUA/CEMENTO RECOMENDADA, EN Lts/Kg CEMENTO, PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, CON Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN [Kg/cm ²]	INCLUSIÓN DE AIRE		RELACIÓN AGUA/CEMENTO	lt AGUA/cd 50Kg CEMENTO
	SIN	CON		
210.00	X	-	0.53	26.5

TABLA No.6

VOLUMEN APARENTE DE AGREGADO GRUESO, EN m³, POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO [cm]	MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO [pulg]	m ³ DE AGREG. GRUESO SECO Y COMPATADO
3.81	1.50	2.93
		0.645

CÁLCULOS

TABLA No.7

FACTOR DE CEMENTO [Kg/m ³]=	354.72	[qq CEMENTO/m ³ HORMIGON]=	7.09
VOLUMEN REAL DE CEMENTO [dm ³ /m ³ HORMIGON]=	125.34	[%]=	12.53

TABLA No.8			
VOLUMEN REAL S.S.S. AGREGADO GRUESO [dm ³ /m ³]	437.68	[%]=	43.77

TABLA No.9			
VOLUMEN AIRE ATRAPADO EN LA MEZCLA [dm ³ /m ³ HORMIGON]=	10.00	[%]=	1.00

TABLA No.10			
VOLUMEN REAL S.S.S. AGREGADO FINO [dm ³ /m ³]	238.98	[%]=	23.90

RESUMEN SIN CORRECCION DE ABSORCION Y HUMEDAD

COMPONENTE	CANTIDAD EN VOLUMEN REAL [dm ³]	DENSIDAD REAL [Kg/dm ³]	CANTIDAD EN PESO [Kg]	CANTIDAD RELATIVA EN PESO
AIRE	10.000	0.001	0.013	0.000
AGUA	188.000	1.000	188.000	0.530
CEMENTO	125.342	2.830	354.717	1.000
ARENA	238.980	2.620	626.127	1.765
RIPIO	437.679	2.520	1102.950	3.109

1000.00

TABLA No.11			
CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREG. GRUESO=	55.04	[%]=	5.50

TABLA No.12			
CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREG. FINO=	21.73	[%]=	2.17

RESUMEN CON CORRECCION DE ABSORCION/HUMEDAD Y ADITIVOS

COMPONENTE	CANTIDAD EN VOLUMEN REAL [dm ³]	DENSIDAD REAL [Kg/dm ³]	CANTIDAD EN PESO [Kg]	CANTIDAD RELATIVA EN PESO
AIRE	10.000	0.001	0.013	0.000
AGUA	258.734	1.000	258.734	0.729
CEMENTO	125.342	2.830	354.717	1.000
ARENA	230.687	2.620	604.400	1.704
RIPIO	415.838	2.520	1047.913	2.954
ACELERANTE	6.030	1.080	6.513	0.018

Pesos de agregados para la dosificación

Nota:

Se fundieron: 1 viga + 9 cilindros + 10% desperdicio

Volumen de hormigon requerido [m ³]=	0.697
Peso de cemento por m ³ hormigon [kg]=	354.717

Dosificación por [m ³]					
Aire	Agua	Cemento	Areña	Ripio	Acelerante
0.000	0.729	1.000	1.704	2.954	0.018

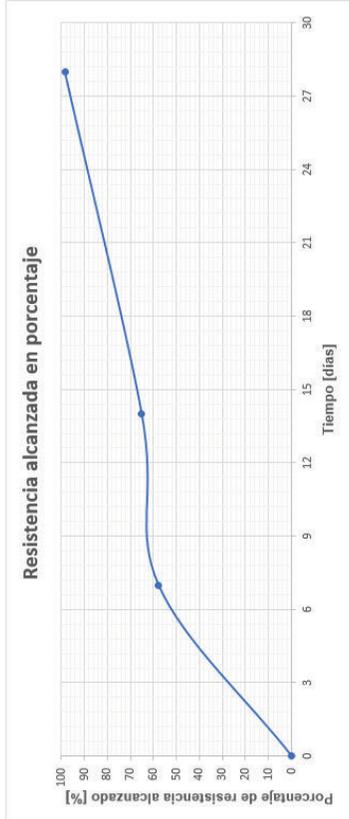
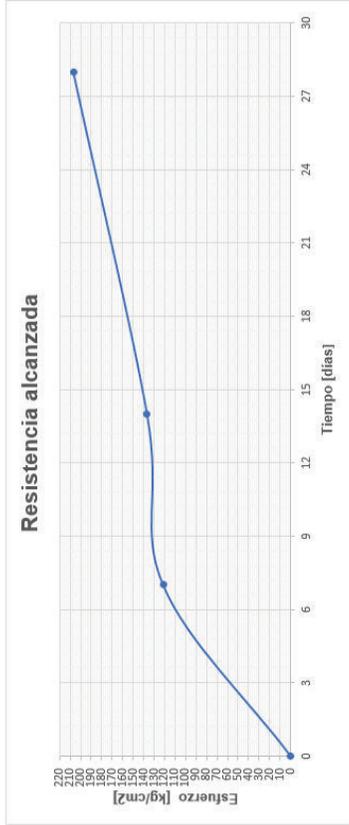
Pesos requeridos	
Aire [gr]=	0.000
Agua [gr]=	180108.167
Cemento [gr]=	247061.958
Areña [gr]=	420993.576
Ripio [gr]=	729821.023
Acelerante [gr]=	4447.115

Anexo No.15
**Resistencia de los cilindros de hormigón de la viga de
cimentación del muro de M.R.A. en función del tiempo de
fraguado**

RESISTENCIA DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN EN FUNCIÓN DE SU TIEMPO DE FRAGADO

Resistencia requerida del micro-hormigón [kg/cm²]= **210.00**

	7 Dias			14 Dias			28 Dias		
	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C	Cilindro A	Cilindro B	Cilindro C
Diámetro 1 [cm]	10.200	10.200	10.200	10.200	10.300	10.200	10.300	10.200	10.400
Diámetro 2 [cm]	10.200	10.200	10.000	10.300	10.300	10.400	10.200	10.300	10.200
Diámetro 3 [cm]	10.100	10.200	10.100	10.200	10.300	10.300	10.200	10.200	10.300
Altura 1 [cm]	20.300	20.200	20.300	20.200	20.300	20.200	20.200	20.200	20.000
Altura 2 [cm]	20.200	20.200	20.400	20.400	20.300	20.400	20.200	20.200	20.000
Altura 3 [cm]	20.200	20.200	20.300	20.300	20.200	20.500	20.100	20.200	20.000
Peso [gr]	3532.600	3537.900	3538.700	3565.700	3578.100	3650.900	3580.100	3607.800	3597.200
Carga [T]	9.156	11.654	8.682	12.062	10.818	11.113	17.254	17.590	16.357
Área [cm²]	81.178	81.711	80.117	82.246	83.321	83.321	82.246	82.246	83.321
Volumen [cm³]	1642.494	1650.559	1629.036	1669.589	1688.636	1696.968	1658.623	1661.364	1666.417
Peso esp. [gr/cm³]	2.151	2.143	2.172	2.136	2.119	2.151	2.158	2.172	2.159
Resistencia [Kg/cm²]	112.790	142.625	108.367	146.658	129.835	133.376	209.786	213.871	196.313
Por. Alcazado [%]	53.709	67.917	51.603	69.837	61.826	63.512	99.898	101.843	93.483



Anexo No.16
Cubitaje y planilla del muro convencional “Pórtico”

PLANILLA DEL MURO CONVENCIONAL "PÓRTICO", CON MAMPOSTERÍA DE HORMIGÓN											
Marca [-]	Tipo [-]	Φ [mm]	No. Barillas [u]	Dimensiones [cm]			Longitud [m]		Observaciones		
				a	b	c	g	parcial [m]	total [m]		
LAMINA 1 DE 2											
001	L2	14	8	306.00	20.00	14.00		3.40	27.20	-	
002	E	8	54	15.00	15.00		7.50	0.75	40.50	-	
003	C1	12	4	400.00	30.00			4.60	18.40	-	
004	E	8	25	15.00	15.00		7.50	0.75	16.75	-	
005	J1	18	4	220.00	10.00			2.30	9.20	10[cm] ENROSCADO	
006	E	8	15	12.00	12.00		7.50	0.63	9.45		
007	L1	8	6	38.00	12.00			0.50	3.00		
RESUMEN DE MATERIALES											
Φ [mm]	8.00	12.00	14.00	18.00							
L [m]	71.70	18.40	27.20	9.20							
W [kg/m]	0.395	0.888	1.208	1.998							
Peso [kg]	28.32	16.34	32.86	18.38							
HORMIGÓN f'c [kg/cm2]=	210.00									No. Bloques Muro [15X20x40]=	93.50
VOLUMEN DE HORMIGÓN [m3]=	0.354									Peso de mampostería [kg/m2]=	133.60
ACERO fy [kg/cm2]=	4200.00									Área de mampostería [m2]=	8.40
Wtotal acero[kg]=	95.900									Wtotal del muro[kg]=	1959.10
Tipos de aceros:											

Densidad del hormigón
f'c 210 [kg/m3]= 2103.00

Acero en muro
Total [kg]= 95.90

Peso de acero [kg]= 95.900
 Volumen de acero [m3]= 0.012
 Volumen de hormigón ideal [m3]= 0.354
 Volumen de hormigón real[m3]= 0.342
 Peso del hormigó [kg]= 739.278
 Peso del muro [kg]= 835.178

Peso de mampostería [kg/m2]= 133.600
 Área total de mampostería[m2]= 8.400
 Peso total de mampostería [kg]= 1123.920

Peso total muro [kg]= 1959.098

Anexo No.17
Cálculo de salarios horarios utilizados en los rubros

ANALISIS DE COSTO DE MANO DE OBRA			
Realizado por:	J.P.H.C. / J.A.N.E.		
Fecha de realización [dd/mm/año]=	lunes, 17 de abril de 2017		
COSTOS DE LA CONSTRUCCION "MANO DE OBRA"			
Cargo [-]=	Peón		
Fecha de inicio [dd/mm/año]=	sábado, 01 de abril de 2017	Número de	1.0
Fecha final [dd/mm/año]=	domingo, 30 de abril de 2017	meses [u]=	
Salario Mínimo Unificado [\$/mes]=	\$		375.00
Salario Nominal [\$/mes]=	\$		433.00
Aporte Patronal [\$/mes]=	\$		52.61
Aporte Personal [\$/mes]=	\$		40.92
Fondo de reserva [\$/mes]=	\$		36.08
Décimo tercero [\$/mes]=	\$		36.08
Décimo cuarto [\$/mes]=	\$		31.25
Vacaciones [\$/mes]=	\$		18.04
TOTAL [\$/mes]=	\$		607.07
Factor de amplificación de salario [-]=			1.40
Salario nominal diario [\$/dia]=	\$		28.91
Salario nominal horario [\$/hr]=	\$		3.61

ANALISIS DE COSTO DE MANO DE OBRA			
Realizado por:	J.P.H.C. / J.A.N.E.		
Fecha de realización [dd/mm/año]=	lunes, 17 de abril de 2017		
COSTOS DE LA CONSTRUCCION "MANO DE OBRA"			
Cargo [-]=	Albañil		
Fecha de inicio [dd/mm/año]=	sábado, 01 de abril de 2017	Número de	1.0
Fecha final [dd/mm/año]=	domingo, 30 de abril de 2017	meses [u]=	
Salario Mínimo Unificado [\$/mes]=	\$		375.00
Salario Nominal [\$/mes]=	\$		649.50
Aporte Patronal [\$/mes]=	\$		78.91
Aporte Personal [\$/mes]=	\$		61.38
Fondo de reserva [\$/mes]=	\$		54.13
Décimo tercero [\$/mes]=	\$		54.13
Décimo cuarto [\$/mes]=	\$		31.25
Vacaciones [\$/mes]=	\$		27.06
TOTAL [\$/mes]=	\$		894.98
Factor de amplificación de salario [-]=			1.38
Salario nominal diario [\$/dia]=	\$		42.62
Salario nominal horario [\$/hr]=	\$		5.33

ANALISIS DE COSTO DE MANO DE OBRA			
Realizado por:	J.P.H.C. / J.A.N.E.		
Fecha de realización [dd/mm/año]=	lunes, 17 de abril de 2017		
COSTOS DE LA CONSTRUCCION "MANO DE OBRA"			
Cargo [-]=	Soldador		
Fecha de inicio [dd/mm/año]=	sábado, 01 de abril de 2017	Número de	1.0
Fecha final [dd/mm/año]=	domingo, 30 de abril de 2017	meses [u]=	
Salario Mínimo Unificado [\$/mes]=	\$		375.00
Salario Nominal [\$/mes]=	\$		866.00
Aporte Patronal [\$/mes]=	\$		105.22
Aporte Personal [\$/mes]=	\$		81.84
Fondo de reserva [\$/mes]=	\$		72.17
Décimo tercero [\$/mes]=	\$		72.17
Décimo cuarto [\$/mes]=	\$		31.25
Vacaciones [\$/mes]=	\$		36.08
TOTAL [\$/mes]=	\$		1,182.89
Factor de amplificación de salario [-]=			1.37
Salario nominal diario [\$/dia]=	\$		56.33
Salario nominal horario [\$/hr]=	\$		7.04

Anexo No.18
Rubros del pórtico con mampostería de bloque

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:	PÓRTECO CON MAMPOSTERÍA DE BLOQUE				Hoja 1 de 7
NOMBRE DE OFERENTE:	JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVÁEZ				
RUBRO:	HORMIGÓN EN COLUMNAS 20X20X240. f'c=210[kg/cm2] "GOLOCADO"				
DETALLE:	INCLUYE ACCESORIOS	UNIDAD:	m3		
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR					3.14
CONCRETERA VANGUARD	1.00	5.00	5.00	5.0000	25.00
PARIQUELAS	4.00	0.22	0.90	5.0000	4.48
VIBRADOR ELÉCTRICO GASOLINA	1.00	2.34	2.34	5.0000	11.72
ANDAMIO PÓRTECO CON BASE DE 1.80*1.20*2 m DE ALTO 44.42 kg	1.00	0.04	0.04	5.0000	0.18
SUBTOTAL					44.51
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEÓN	2.00	3.61	7.22	5.0000	36.10
ALBAÑIL	1.00	5.33	5.33	5.0000	26.65
SUBTOTAL					62.75
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
AGUA	m3	0.259	0.50	0.13	
CEMENTO HOLCIN	qq	7.094	6.93	49.16	
POLVO DE PIEDRA	m3	0.231	15.38	3.55	
RIPIO 1" 1/2"	m3	0.416	11.16	4.64	
SUBTOTAL					57.48
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					164.74
COSTO INDIRECTO					20.00
OTROS INDIRECTOS:					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					197.69
VALOR OFERTADO:					197.69

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:		PORTICO CON MAMPOSTERIA DE BLOQUE			Hoja 2 de 7
NOMBRE DE OFERENTE:		JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVAEZ			
RUBRO:		ENCOFRADO DE COLUMNAS 20X20X240cm (1 USO)			
DETALLE:		INCLUYE ACCESORIOS		UNIDAD:	m2
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR					0.23
SUBTOTAL					0.23
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEON	1.00	3.61	3.61	0.521	1.88
ALBAÑIL	1.00	5.33	5.33	0.521	2.78
SUBTOTAL					4.66
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
TABLA DURA DE ENCOFRADO 20cm	u	2.08	1.67	3.48	
CLAVOS 2"	kg	0.28	3.69	0.98	
CUARTONES 4X4 SANGRE DE GALLINA	u	1.04	2.00	2.08	
PINGOS DE EUCALIPTO 4 A 7m	m	4.17	1.10	4.58	
ALAMBRE RECOCIDO (#18)	kg	0.52	1.15	0.60	
SUBTOTAL					11.71
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					18.80
COSTO INDIRECTO					20.00
OTROS INDIRECTOS:					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					19.92
VALOR OFERTADO:					19.92

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
NOMBRE DE PROYECTO:		PORTICO CON MAMPOSTERIA DE BLOQUE			Hoja 3 de 7	
NOMBRE DE OFERENTE:		JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVÁEZ				
RUBRO:		HORMIGÓN EN VIGA 20X20X405, f'c=210[kg/cm2] "COLOCADO"				
DETALLE:		INCLUYE ACCESORIOS			UNIDAD:	m3
EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
HERRAMIENTA MENOR					1.88	
CONCRETERA VANGUARD	1.00	5.00	5.00	3.0000	15.00	
PARIGUELAS	4.00	0.22	0.90	3.0000	2.69	
VIBRADOR ELÉCTRICO GASOLIONA	1.00	2.34	2.34	3.0000	7.03	
ANDAMIO PÓRTICO CON BASE DE 1.80*1.20*2 m DE ALTO 44.42 kg	1.00	0.04	0.04	3.0000	0.11	
SUBTOTAL					26.71	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
PEON	2.00	3.61	7.22	3.0000	21.66	
ALBAÑIL	1.00	5.33	5.33	3.0000	15.99	
SUBTOTAL					37.65	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
		A	B	C = A x B		
AGUA	m3	0.259	0.50	0.13		
CEMENTO HOLCIN	qq	7.094	6.93	49.18		
POLVO DE PIEDRA	m3	0.231	15.38	3.55		
RIPIO 1" 1/2"	m3	0.418	11.16	4.64		
SUBTOTAL					57.48	
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
			A	B	C = A x B	
SUBTOTAL						
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					121.84	
COSTO INDIRECTO					20.00	
OTROS INDIRECTOS:						
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					146.21	
VALOR OFERTADO:					146.21	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017						

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:	PÓRTICO CON MAMPOSTERÍA DE BLOQUE				Hoja 4 de 7
NOMBRE DE OFERENTE:	JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVAEZ				
RUBRO:	ENCOFRADO DE VIGA 20X20X405 (1 USO)				
DETALLE:	INCLUYE ACCESORIOS			UNIDAD:	m ²
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR ANDAMIO PÓRTICO CON BASE DE 1.80*1.20*2 m DE ALTO 44.42 kg	1.00	0.04	0.04	0.6173	0.39 0.02
SUBTOTAL					0.41
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEÓN	2.00	3.61	7.22	0.6173	4.48
ALBAÑIL	1.00	5.33	5.33	0.6173	3.29
SUBTOTAL					7.75
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
TABLA DURA DE ENCOFRADO 20cm	u	2.47	1.6700	4.12	
CLAVOS 2"	kg	0.21	3.6880	0.78	
CUARTONES 4X4 SANGRE DE GALLINA	u	0.55	2.0000	1.10	
PINGOS DE EUCALIPTO 4 A 7m	m	2.08	1.1000	2.28	
ALAMBRE RECOCIDO (#18)	kg	0.41	1.1540	0.47	
SUBTOTAL					8.72
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					16.87
COSTO INDIRECTO				20.00	3.37
OTROS INDIRECTOS:					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					20.25
VALOR OFERTADO:					20.25

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017

JUAN PABLO HERRERA
ESTUDIANTE DE INGENIERÍA CIVIL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:	PORTICO CON MAMPOSTERIA DE BLOQUE				Hoja 5 de 7
NOMBRE DE OFERENTE:	JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVAEZ				
RUBRO:	ACERO DE REFUERZO FIGURADO, f'c=4200[kg/cm2]. INCLUYEN AMARRADO				
DETALLE:	INCLUYE ACCESORIOS			UNIDAD:	kg
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR HOJA DE CIERRA	1.00	1.29	1.29	0.0500	0.02 0.08
SUBTOTAL					0.09
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEON ALBAÑIL	1.00 1.00	3.61 5.33	3.61 5.33	0.0500 0.0500	0.18 0.27
SUBTOTAL					0.45
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
ACERO DE REFUERZO f'c=4200[kg/cm2]	kg	1.000	0.79	0.79	
ALAMBRE RECOCIDO (#18)	kg	0.070	1.15	0.08	
SUBTOTAL					0.87
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					1.40
COSTO INDIRECTO					20.00
OTROS INDIRECTOS:					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					1.69
VALOR OFERTADO:					1.69

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017.

JUAN PABLO HERRERA
ESTUDIANTE DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		
NOMBRE DE PROYECTO:	PORTICO CON MAMPOSTERIA DE BLOQUE	Hoja 6 de 7
NOMBRE DE OFERENTE:	JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVAEZ	
RUBRO:	MAMPOSTERIA DE BLOQUE DE 15X20X40 DE 4Mpa, MORTERO 1:6 E=2.5cm	
DETALLE:	INCLUYE ACCESORIOS	UNIDAD: m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR ANDAMIO PÓRTICO CON BASE DE 1.80*1.20*2 m DE ALTO 44.42 kg	1.00	0.04	0.04	0.6667	0.30 0.02
SUBTOTAL					0.32
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEON ALBAÑIL	1.00 1.00	3.61 5.33	3.61 5.33	0.6667 0.6667	2.41 3.55
SUBTOTAL					5.96
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
AGUA	m3	0.008	0.50	0.00	
CEMENTO HOLCIN	qq	0.154	6.93	1.07	
ARENA	m3	0.031	10.25	0.32	
BLOQUE PESADO DE 15X20X40 DE 4MPA	u	13.000	0.47	6.11	
SUBTOTAL					7.50
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					13.78
COSTO INDIRECTO					20.00
OTROS INDIRECTOS:					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					16.54
VALOR OFERTADO:					16.54

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:	PORTICO CON MAMPOSTERIA DE BLOQUE				Hoja 7 de 7
NOMBRE DE OFERENTE:	JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVÁEZ				
RUBRO:	ENLUCIDO DE MAMPOSTERIA CON MORTERO 1:3 E=1.5cm				
DETALLE:	INCLUYE ACCESORIOS			UNIDAD:	m2
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR					0.22
SUBTOTAL					0.22
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEON	1.00	3.61	3.61	0.5000	1.81
ALBAÑIL	1.00	5.33	5.33	0.5000	2.67
SUBTOTAL					4.47
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
AGUA	m3	0.010	0.50	0.01	
CEMENTO HOLCIN	qq	0.140	6.93	0.97	
ARENA	m3	0.020	10.25	0.21	
SUBTOTAL					1.18
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					5.87
COSTO INDIRECTO					20.00
OTROS INDIRECTOS:					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					7.05
VALOR OFERTADO:					7.05

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017.

JUAN PABLO HERRERA
ESTUDIANTE DE INGENIERÍA CIVIL

Anexo No.19
Rubros del muro de mampostería reforzada alivianada

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:	MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA ALIVIANDA				Hoja 1 de 5
NOMBRE DE OFERENTE:	JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVAEZ				
RUBRO:	ENCOFRADO DE MURO DE M.R.A. (1 USO)				
DETALLE:	INCLUYE ACCESORIOS			UNIDAD:	m2
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR					0.18
SUBTOTAL					0.18
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEON	1.00	3.61	3.61	0.3933	1.42
ALBAÑIL	1.00	5.33	5.33	0.3933	2.10
SUBTOTAL					3.52
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
TABLEROS TRIPLEX CORRIENTE 1.22X2.44X9C	u	0.787	21.48	16.88	
CUARTÓN 4X8 CEPILLADO SANGRE DE GALLINA	u	1.180	4.00	4.72	
RIELES	u	0.197	1.72	0.34	
PINGOS DE EUCALIPTO 4 a 7m	m	1.475	1.10	1.62	
CLAVOS 2"	kg	0.147	3.89	0.54	
ALAMBRE RECOCIDO (#18)	kg	0.295	1.15	0.34	
TIRAS DE EUCALIPTO 2.5X2.5X250 cm RÚSTICA	u	0.197	0.50	0.10	
SUBTOTAL					24.54
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					28.24
COSTO INDIRECTO					20.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					33.88
VALOR OFERTADO:					33.88

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017.

JUAN PABLO HERRERA
ESTUDIANTE DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:	MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA ALIVIANDA				Hoja 2 de 5
NOMBRE DE OFERENTE:	JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVAEZ				
RUBRO:	MICRO-HORMIGÓN EXPANSIVO DE ALTA PLASTICIDAD, $f_c=100[\text{kg/cm}^2]$ "COLOCADO"				
DETALLE:	INCLUYE ACCESORIOS			UNIDAD:	m3
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C = A \times B$	R	$D = C \times R$
HERRAMIENTA MENOR					3.14
CONCRETERA VANGUARD	1.00	5.00	5.00	5.0000	25.00
PARIGUELAS	4.00	0.22	0.90	5.0000	4.48
ANDAMIO PÓRTICO CON BASE DE 1.80*1.20*2 m DE ALTO 44.42 kg	1.00	0.04	0.04	5.0000	0.18
SUBTOTAL					32.79
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	$C = A \times B$	R	$D = C \times R$
PEÓN	2.00	3.61	7.22	5.0000	36.10
ALBAÑIL	1.00	5.33	5.33	5.0000	26.65
SUBTOTAL					62.75
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	$C = A \times B$	
AGUA	m3	0.308	0.50	0.15	
CEMENTO HOLCIN	qq	6.410	6.93	44.42	
POLVO DE PIEDRA	m3	0.285	15.38	4.38	
RIPIO 1/2"	m3	0.258	12.95	3.34	
EXPANSIVO	kg	3.205	3.36	10.77	
PLASTIFICANTE	lt	1.923	1.00	1.92	
SUBTOTAL					64.99
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	$C = A \times B$
SUBTOTAL					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					160.54
COSTO INDIRECTO					20.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					192.64
VALOR OFERTADO:					192.64

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
NOMBRE DE PROYECTO:	MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA ALIVIANDA				Hoja 3 de 5	
NOMBRE DE OFERENTE:	JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVAEZ					
RUBRO:	ACERO DE REFUERZO FIGURADO, f'c=4200[kg/cm2], INCLUYEN AMARRADO Y SUELDA					
DETALLE:	INCLUYE ACCESORIOS				UNIDAD:	kg
EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
HERRAMIENTA MENOR					0.03	
HOJA DE CIERRA	1.00	1.29	1.29	0.0500	0.06	
SOLDADORA ELÉCTRICA 300a	1.00	2.01	2.01	0.0500	0.06	
SUBTOTAL					0.15	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
PEON	1.00	3.61	3.61	0.0500	0.18	
ALBAÑIL	1.00	5.33	5.33	0.0500	0.27	
SOLDADOR	0.20	7.04	1.41	0.0500	0.07	
SUBTOTAL					0.52	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
		A	B	C = A x B		
ACERO DE REFUERZO f'c=4200[kg/cm2]	kg	1.000	0.79	0.79		
ALAMBRE RECOCIDO (#18)	kg	0.060	1.15	0.06		
ELECTRODO E7018	kg	0.010	5.25	0.06		
SUBTOTAL					0.91	
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
			A	B	C = A x B	
SUBTOTAL						
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					1.58	
COSTO INDIRECTO					20.00	
OTROS INDIRECTOS:						
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					1.89	
VALOR OFERTADO:					1.89	

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017

JUAN PABLO HERRERA
ESTUDIANTE DE INGENIERÍA CIVIL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:	MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA ALVIANDA				Hoja 4 de 5
NOMBRE DE OFERENTE:	JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVAEZ				
RUBRO:	MAMPOSTERIA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, INCLUYE PEGAMENTO				
DETALLE:	INCLUYE ACCESORIOS			UNIDAD:	m2
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR					0.05
SUBTOTAL					0.05
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEÓN	1.00	3.61	3.61	0.1157	0.42
ALBAÑIL	1.00	5.33	5.33	0.1157	0.62
SUBTOTAL					1.03
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
BLOQUE DE POLIESTIRENO A	u	3.100	0.85	2.64	
BLOQUE DE POLIESTIRENO B	u	3.100	0.85	2.64	
PEGAMENTO	lt	0.100	2.25	0.23	
SUBTOTAL					5.50
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					6.58
COSTO INDIRECTO					20.00
OTROS INDIRECTOS:					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					7.90
VALOR OFERTADO:					7.90

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017

JUAN PABLO HERRERA
ESTUDIANTE DE INGENIERÍA CIVIL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:	MURO DE MAMPOSTERIA REFORZADA ALIVIANDA				Hoja 5 de 5
NOMBRE DE OFERENTE:	JUAN PABLO HERRERA / JONATHAN NARVAEZ				
RUBRO:	ENLUCIDO DE MAMPOSTERIA CON MORTERO 1:3 E=1.0cm, INCLUYE MALLA				
DETALLE:	INCLUYE ACCESORIOS			UNIDAD:	m2
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR					0.15
SUBTOTAL					0.15
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEON	1.00	3.61	3.61	0.3333	1.20
ALBAÑIL	1.00	5.33	5.33	0.3333	1.78
SUBTOTAL					2.98
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
AGUA	m3	0.007	0.50	0.00	
CEMENTO HOLCIN	qq	0.093	6.93	0.65	
ARENA	m3	0.013	10.25	0.14	
MALLA DE GALLINERO	m2	1.000	1.94	1.94	
SUBTOTAL					2.72
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					5.85
COSTO INDIRECTO					20.00
OTROS INDIRECTOS:					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					7.02
VALOR OFERTADO:					7.02

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA
QUITO, 17 DE ABRIL DEL 2017

JUAN PABLO HERRERA
ESTUDIANTE DE INGENIERIA CIVIL