

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

**“DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ LATERAL DE LOS MUROS
DE FORMA “H” EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES
EN LA CIUDAD DE LIMA”**

TESIS

Presentada por:

Bach. Luis Miguel Jahaira Mamani

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA-PERÚ

2014

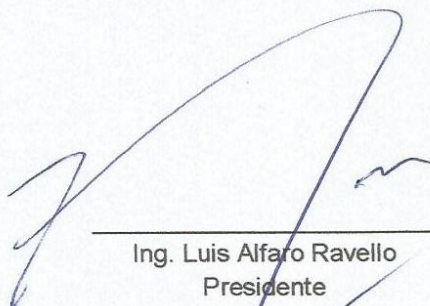
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN- TACNA
Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

“DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ LATERAL DE LOS MUROS DE
FORMA “H” EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES EN
LA CIUDAD DE LIMA”

TESIS

Presentada por:
BACH. LUIS MIGUEL JAHUIRA MAMANI

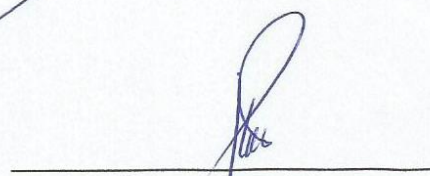
TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 30 DE MAYO DEL 2014, JURADO CALIFICADOR
INTEGRADO POR:



Ing. Luis Alfaro Ravello
Presidente



Ing. Luis Cornejo Navarretty
Jurado



Ing. Samuel Amar Antezana
Jurado



Ing. Omar Dueñas Rospigliosi
Asesor

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi madre, Isidora Mamani Pacsi, que en vida me apoyó en mi ingreso a la universidad y me sacó adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega.

A mi familia por su apoyo y comprensión.

A mi novia Diana Pupi Sonco, por buscar siempre mi realización personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

Mi especial agradecimiento al Ing. Pedro Flores Sintecala, por la formación y su apoyo constante en mi crecimiento profesional. Al Ing. Omar Dueñas Rospigliosi por sus consejos y paciencia, que permitió la ejecución de esta tesis.

A mis profesores de la E.A.P. de Ingeniera Civil, quienes me brindaron sus conocimientos para mi formación académica.

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

PAG.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	18
1.1. ANTECEDENTES.....	18
1.2. PROBLEMA.....	19
1.3. HIPÓTESIS.....	20
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	20
1.5. OBJETIVOS.....	21
1.6. VARIABLES.....	22
1.7. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	22
1.8. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	25
2.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL CONCRETO.....	25
2.1.1. MORTERO.....	25
2.1.2. CONCRETO.....	25
2.1.3. CEMENTO PORTLAND.....	27

2.1.4. CONCRETO ARMADO.....	27
2.2. MUROS DE CORTE.....	29
2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MUROS ESTRUCTURALES.....	29
2.2.1.2 MUROS ACOPLADOS.....	32
2.2.1.3 SISTEMAS DUALES.....	33
2.2.2. SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS MUROS ESTRUCTURALES.....	35
2.2.3. ESTRUCTURACIÓN DE LOS MUROS ESTRUCTURALES.....	36
2.3. COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO.....	43
2.3.1. INTRODUCCIÓN.....	43
2.3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS.....	44
2.3.3. COMPORTAMIENTO BAJO CARGAS CÍCLICAS Y DINÁMICAS.....	55
2.3. MODELOS ANALÍTICOS DEL COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO.....	57
2.4. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS MUROS DE CORTE EN VOLADIZO, BAJOS Y CON ALAS.....	64
2.5.1. COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS DE CORTANTE.....	64
2.5.2. COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS DE CORTANTE EN VOLADIZO.....	66
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	79
3.1. ANTECEDENTES.....	79
3.2. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	80
3.3. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	80
3.3.1. DISPOSICIONES ARQUITECTÓNICAS DEL EDIFICIO MULTIFAMILIAR Y LA SELECCIÓN DEL MURO “H” A ANALIZAR.....	81
3.4. DISEÑO DEL MODELO.....	84
3.5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	88
3.6. ESCALADO DEL MURO.....	88
3.7. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO.....	89

3.8. INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO Y CONSIDERACIONES ADOPTADAS.....	99
3.9. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA CONTRIBUCIÓN DE RIGIDEZ DE MUROS “H”.....	105
3.9.1. MÉTODO MATEMÁTICO.....	105
3.9.2. MÉTODO EXPERIMENTAL.....	116
3.9.3. MÉTODO ANALÍTICO.....	154
CAPÍTULO IV – ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	162
4.1. DINÁMICO DE VIBRACIÓN LIBRE DEL MURO DE FORMA “H”.....	162
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CARGA SÍSMICA DEL MURO DE FORMA “H”.....	183
4.3. COMPARACIÓN DE RIGIDEZ.....	185
CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	189
5.1. CONCLUSIONES.....	189
5.2. RECOMENDACIONES.....	192
BIBLIOGRAFÍA.....	195
ANEXO.....	198

LISTA DE CUADROS

Cuadro N - 1 Características mecánicas del concreto armado.....	82
Cuadro N - 2 Dimensiones y propiedades escaladas de prototipo	89
Cuadro N- 3 Cálculo de la masa a aplicar en el espécimen.....	102
Cuadro N - 4 Masa aplicada en el espécimen.....	102
Cuadro N- 5 Carga distribuida en el modelo sap	155
Cuadro N- 6 Resultados para el primer punto	164
Cuadro N- 8 Resultados para el tercer punto	166
Cuadro N- 9 Resultados para el cuarto punto	168
Cuadro N- 10 Resultados para el quinto punto	170
Cuadro N- 11 Resultados para el sexto punto	172
Cuadro N- 12 Resultados para el séptimo punto	174
Cuadro N- 13 Resultados para el octavo punto	176
Cuadro N- 14 Resultados para el noveno punto.....	178
Cuadro N- 15 Resultados para el décimo punto	180
Cuadro N- 16 Resultados para el onceavo punto	182
Cuadro N- 17 Resumen de resultados.....	182

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea de la edificación Pantheon	26
Figura 2. Edificio Ingalls en la actualidad.	28
Figura 3. Muros aislados	31
Figura 4. Muros acoplados	33
Figura 5 Sistema Duales	34
Figura 6. Secciones comunes de los muros estructurales.....	35
Figura 7. Distribución de los muros estructurales en el plano.....	37
Figura 8. Estabilidad torsional en el plano.....	39
Figura 9. Estructuración de hotel Maculo Sheraton en Carabellede	41
Figura 10. Curvas esfuerzo-deformación para cilindros de hormigón cargados a compresión uniaxial.	46
Figura 11. Curvas carga axial-deformación para prismas cuadrados de hormigón con distinto contenido de estribos cuadrados.....	49
Figura 12. Representación gráfica de la relación esfuerzo-deformación del acero de refuerzo	52
Figura 13. Curvas esfuerzo-deformación para el acero de refuerzo	53
Figura 14. Ciclos de histéresis del acero de refuerzos altos.	54
Figura 15. Curvas de histéresis esfuerzo-deformación de una viga de hormigón doblemente reforzada sometida a carga cíclica	56

Figura 16. Curvas esfuerzo-deformación para un elemento de hormigón sin confinado sometido a carga cíclica (Sinha et al., 1964).	57
Figura 17. Modelo para la degradación de resistencia.	59
Figura 18. Representación del estrangulamiento en los lazos histeréticos de una sección rectangular de concreto armado.....	60
Figura 19. Efecto del parámetro para la degradación de rigidez.....	61
Figura 20. Retorno de muro para aumentar la estabilidad.....	70
Figura 21. Muros de cortante de un edificio de departamentos.	76
Figura 22. Vista en planta de la edificación multifamiliar estudiada	81
Figura 23. Vista 3D de la edificación multifamiliar estudiada	82
Figura 24. Dimensiones reales en planta del muro de concreto armado de forma "H"	83
Figura 25. Modelo a escala reducida - muro "H"	87
Figura 26. Vista de la mesa vibradora.....	87
Figura 27. Encofrado de madera para el prototipo	93
Figura 28. Encofrado metálico del muro H a escala 1:8	94
Figura 29. Mezcla cemento – arena gruesa para fabricar el prototipo	94
Figura 30. Mezcla de cemento – arena – agua para fabricar el prototipo.....	95
Figura 31. Presentación de la malla de acero del muro H a escala real.....	95
Figura 32. Presentación de los encofrados para la elaboración prototipo	96
Figura 33. Ubicación de la malla de acero en el interior del encofrado	97
Figura 34. Vaciado del Muro H a escala 1:8	97
Figura 35. Proceso de vaciado del muro H.	98

Figura 36. Muro H desencofrado.	98
Figura 37. Pintado del muro H.	99
Figura 38. Posición de sensores en el prototipo.	100
Figura 39. Corte de la parte superior del muro H para posterior vaciado de la losa de concreto.	100
Figura 40. Losa superior de concreto en el prototipo.	101
Figura 41. Modelo de muro H a escala en la mesa vibratoria.	101
Figura 42. Modelo a escala real y cargas.	102
Figura 43. Ubicación del peso adicional.	103
Figura 44. Instalación de sensores en el prototipo.	103
Figura 45. Sensor laser en el prototipo.	104
Figura 46. Vista de los sensores laser en el prototipo.	104
Figura 47. Equipo necesario para procesar la información recepcionada.	105
Figura 50. Registro del sensor CH05.	118
Figura 51. Registro del sensor CH01.	118
Figura 52. Registro del sensor CH05.	118
Figura 53. Registro del sensor CH01.	119
Figura 54. Registro del sensor CH05.	119
Figura 55. Registro del sensor CH01.	119
Figura 56. Registro del sensor CH05.	120
Figura 57. Registro del sensor CH01.	120
Figura 58. Registro del sensor CH05.	120

Figura 59. Primera fisura en la unión superior durante el sismo de 1974 escalado 1:8.....	121
Figura 60. Prolongación de la fisura en el ala durante el sismo de 1974.	121
Figura 61. Desprendimiento del concreto en la unión del muro	122
Figura 62. Refuerzo expuesto del ala por el sismo inducido.....	122
Figura 63. Grietas considerables del ala durante el sismo de 1974.....	123
Figura 64. Ubicación de los sensores en el muro para medir desplazamiento.	125
Figura 65. Procesamiento de los datos registrados por el sensor CH01.....	126
Figura 66. Modelo en sap a escala 1 en 8 del prototipo.	155
Figura 67. Primer modo de vibración $T=0.035$ seg del prototipo.....	156
Figura 68. Segundo modo de vibración $T=0.032$ seg del prototipo.....	156
Figura 69. Fuerza lateral $F=10$ kn aplicada al prototipo para ver su comportamiento.....	157
Figura 70. Esfuerzos en tracción = $29,60$ kg/cm ²	158
Figura 71. Fuerza lateral $F= 3$ kn aplicada en el modelo.	158
Figura 72. Esfuerzos de corte = 7.66 kg/cm ² en el alma del muro “H”.....	159
Figura 73. Fuerzas F_{11} de acuerdo al TEST0059 (kg/cm) en el alma del muro “H”.....	159
Figura 74. Fuerzas F_{22} de acuerdo al TEST0059 (kg/cm) en el alma del muro “H”....	160
Figura 75. Fuerzas F_{12} de acuerdo al TEST0059 (Kg/cm) en el alma del muro “H”....	160
Figura 76. Fuerzas M_{11} de acuerdo al TEST0059 (kg-cm) en el alma del muro “H”....	161
Figura 77. Fuerzas M_{22} de acuerdo al TEST0059 (kg-cm) en el alma del muro “H”.....	161
Figura 78. Aceleración inducida vs tiempo – 1er punto	162

Figura 79. Desplazamiento en la base vs tiempo – 1er punto	163
Figura 80. Desplazamiento relativo vs tiempo – 1er punto	163
Figura 81. Aceleración inducida vs tiempo – 2do punto.	165
Figura 82. Desplazamiento en la base vs tiempo – 2do punto.....	165
Figura 83. Desplazamiento relativo vs tiempo – 2do punto.....	165
Figura 84. Aceleración inducida vs tiempo – 3er punto.	166
Figura 85. Desplazamiento en la base vs tiempo – 3er punto.	167
Figura 86. Desplazamiento relativo vs tiempo – 3er punto.	167
Figura 87. Aceleración inducida vs tiempo – 4to punto.	168
Figura 88. Desplazamiento en la base vs tiempo – 4to punto.....	169
Figura 89. Desplazamiento relativo vs tiempo – 4to punto.	169
Figura 90. Aceleración inducida vs tiempo – 5to punto.	170
Figura 91. Desplazamiento en la base vs tiempo – 5to punto.....	171
Figura 92. Desplazamiento relativo vs tiempo – 5to punto.	171
Figura 93. Aceleración inducida vs tiempo – 7to punto.	172
Figura 94. Desplazamiento en la base vs tiempo – 7to punto.....	173
Figura 95. Desplazamiento relativo vs tiempo – 7to punto.	173
Figura 96. Aceleración inducida vs tiempo – 8vo punto.....	174
Figura 97. Desplazamiento en la base vs tiempo – 8vo punto.....	175
Figura 98. Desplazamiento relativo vs tiempo – 8vo punto.....	175
Figura 99. Aceleración inducida vs tiempo – 9vo punto.....	176
Figura 100. Desplazamiento en la base vs tiempo – 9vo punto.....	177

Figura 101. Desplazamiento relativo vs tiempo – 9vo punto.....	177
Figura 102. Aceleración inducida vs tiempo – 10 punto.	178
Figura 103. Desplazamiento en la base vs tiempo.....	179
Figura 104. Desplazamiento relativo vs tiempo.....	179
Figura 105. Aceleración inducida vs tiempo – 11 punto.	180
Figura 106. Desplazamiento en la base vs tiempo.....	181
Figura 107. Desplazamiento relativo vs tiempo.....	181
Figura 108. Gráfico del swapping	183
Figura 109. Aceleración inducida en la base del muro “H”.	184
Figura 110. Desplazamiento en la base del muro “H”.....	184
Figura 111. Desplazamiento relativo del espécimen del muro “H”.	184

RESUMEN

La presente Tesis se realizó con la finalidad de determinar la contribución de rigidez lateral de los muros de forma "H". Actualmente, el análisis se realiza de manera independiente. En este trabajo de investigación se ha realizado el análisis considerándolos como elementos integrados, hecho que da resultados más reales.

Para la determinación de la rigidez se utilizaron métodos matemáticos y una serie de ensayos experimentales desarrollados en el laboratorio de estructuras del CISMID/FIC/UNI, utilizando la técnica del análisis dimensional. Se fabricó un modelo a escala 1 en 8 del muro de concreto armado en forma de "H", y se calculó la masa correspondiente a un edificio de 5 pisos escalada 1 en 8, la cual se colocó sobre los muros de concreto acoplándolos con una losa. El resultado demuestra que el elemento integrado del muro "H", tiene una rigidez de 20 veces más que la rigidez del muro desarrollado de manera tradicional. Asimismo, se determinó, que la resistencia al corte del concreto de las alas ayuda al alma, en una longitud aproximada de 0,66 la longitud del ala. Todo esto conlleva a una disminución del área de acero de refuerzo del muro.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la necesidad de investigar y analizar el comportamiento de los elementos estructurales, se hace necesario para conocer como la estructura reacciona antes cargas sísmicas. Cada vez las restricciones de diseñar edificaciones con espacios libres en planta, lleva al ingeniero estructural entender más los diseños arquitectónicos propuestos por el arquitecto, y para ello se debe plantear estructuras que cumplan con su necesidad estética. Por ello, el uso de muros de corte se hace más utilizado, por su gran resistencia a las fuerzas laterales, aunque su nombre no es apropiado, ya que también están expuestos a efecto de flexión.

Los muros estructurales han sufrido variaciones en la concepción de la estructuración, creando formas particulares con C,L,H entre otras. Esto con la finalidad de brindar rigidez en ambos sentidos de la edificación, y así cumplir con el RNE norma E-030 Art. 15.1 sobre desplazamientos laterales permisibles y la E-060 norma de concreto armado, pero no menciona como debería ser su diseño de elementos con alas. El uso de estos muros con alas, a pesar de su buen comportamiento en los modelos

realizados en los software, en la realidad no se conoce como se comportan ante acciones sísmicas, ya que las alas tienden a absorber parte de la fuerza de corte e incrementan el momento de resistencia, dependiendo si los muros son altos o bajos.

La pregunta que se hace un ingeniero al momento de diseñar, es ¿Si en el proceso de análisis se debería considerar el aporte de las alas, y ¿Qué porcentaje del ala se debería considerar en el análisis? Por tanto, nació la necesidad de investigar el comportamiento de estos muros estructurales con alas, por el ello tomaremos la forma "H" de manera aleatoria, con el fin de que los resultados que se obtengan sean de gran importancia para conocer y demostrar que un muro estructural rectangular se comporta de manera diferente ante uno con alas, motivando al estudiante al ámbito de la investigación y dejar un punto de partida para el análisis de muros de otras formas particulares.

La presente Tesis no solo trata de solucionar un problema de análisis y diseño, sino que va enfocado a la investigación, y a conocer el real comportamiento de los elementos estructurales, ya que es la única forma de tener una idea global de la estructura.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. ANTECEDENTES

Ya que el Reglamento Nacional de Edificaciones no cuenta con textos normativos sobre análisis y diseño de muros con alas, se tomará en cuenta las consideraciones de la Norma Venezolana COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales) 1753-2006 – cap. 14 / Art. 14.5 muros estructurales con nivel de diseño ND3, para el diseño de muros con alas.

Asimismo se cuenta con la publicación del libro “Estructuras de concreto reforzado” de R. Park – T. Paulay, en donde existe información sobre muros en voladizo con patines (alas) y también menciona sobre la diferencia de comportamiento en proporción al tamaño (bajo y altos). Este libro demuestra los conceptos mediante ensayos realizados a modelos escalados a un tercio. Los comentarios referentes a los muros de forma “H” se toman muy en cuenta y se demostrará como forma aplicativa en el

presente trabajo de Tesis.

Existen ensayos a escala natural y reducida, realizados a los muros de ductilidad limitada en los laboratorios de estructuras del CISMID y PUCP, la información que se nos brinden nos permitirá tener un procedimiento establecido para aplicar cargas dinámicas y cuáles han sido los problemas en su realización.

1.2. PROBLEMA:

No se toma en cuenta la contribución de rigidez lateral de los muros de forma "H" en el análisis estructural de edificaciones, ya que en nuestro Reglamento Nacional de Edificaciones norma E-060 de concreto armado no hace referencia sobre muros con alas, lo cual deja al criterio de cada ingeniero estructural como se va a considerar en el proceso de análisis y diseño.

El uso de muros de corte con forma H, L, C, etc. se hace constante en la estructuración de edificio de mediana y alta altura, pero saber con precisión cómo es su comportamiento, es necesario para predecir el punto de falla, ya que la contribución de rigidez varía según la geometría del elemento, además no se tiene un precedente de investigación o alguna

norma que restrinja el comportamiento y análisis de elementos con patines en el Perú.

1.3. HIPÓTESIS

Las alas de los muros de corte de forma “H” contribuyen a la rigidez lateral del elemento en el sentido transversal, llegando a incrementar considerablemente el momento resistente de dichos muros de corte. Por lo tanto, la resistencia a las fuerzas cortantes en el alma puede ser mayor que en los muros que tengan sección transversal rectangular.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Según los últimos resultados obtenidos del Instituto Nacional de Estadística e Informática, resalta que las municipalidades del departamento de Lima han otorgado un total de 12,557.00 licencias de construcción en el año 2011, entre las que resaltan la construcción de viviendas multifamiliares con un total de 3,199. El año 2013 el INEI reportó que la inversión en el Perú creció en 2.8 % en el tercer trimestre, explicando que el resultado obtenido se debió al dinamismo en la construcción de nuevas edificaciones, por el cual el sector construcción registra cifra positiva en la economía nacional.

El crecimiento del sector de la construcción trae como consecuencia la participación de profesionales especialistas en el diseño estructural, es por ello; que conocer el comportamiento de la estructura no es suficiente, sino también conocer como contribuye cada elemento y su aporte de rigidez a la estructura, prediciendo el punto de falla y la solución de la misma.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer la contribución de rigidez lateral y conocer el comportamiento de los muros de forma “H” ante cargas sísmicas.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer una metodología de análisis en la consideración del aporte de rigidez de los muros “H”.

- Comparar los resultados obtenidos en el ensayo a escala reducida en el CISMID y el uso de un software para establecer la contribución de las alas del muro “H” en el cálculo de la rigidez total de dicho elemento.

- Plantear técnicas de interpretación de resultados del aporte de rigidez de las alas de un muro “H”, para esto se usará un software comercial.
- Capacitar, orientar y difundir a los Ingenieros Civiles que se dedican al diseño estructural en tener las consideraciones del aporte de rigidez en los muros “H”, planteadas en el presente estudio de Tesis.

1.6. VARIABLES

- **VARIABLE INDEPENDIENTE**

X= contribución de rigidez del muro de forma “H”.

- **VARIABLE DEPENDIENTE**

Y= Metodología de análisis estructural de muros con alas.

1.7. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación a utilizar es aplicativo, es decir se confrontará la teoría con la realidad. El tipo de investigación es: histórica, descriptiva y experimental.

Para la realización del presente trabajo se requiere conceptos de análisis dimensional y semejanza estructural para la fabricación del prototipo, ya que el espécimen será a escala reducida de 1/8 del tamaño real; esta dimensión se tomó por la facilidad en el uso de la mesa vibradora. En el montaje del muro de forma "H" a la mesa vibradora, se instalaron laser y el acelerógrafo para la lectura del desplazamiento del elemento. Para el ensayo sísmico se tomó en cuenta los registros del terremoto de la ciudad de Lima en 1974 en Ms 7,6.

Se usará la verificación de forma matemática, es decir, comparar los resultados con el uso de un software de estructuras y así tener un modelado aproximado a la realidad.

Por último, obtenido los resultados de los 3 métodos propuestos se procederá a su comparación, para así obtener como resultado final el aporte de rigidez de los muros de forma "H" ubicando el punto de falla.

Los resultados demostrarán que los muros con alas tienen un comportamiento favorable a la estructura y es cuantificable según sea la sección.

1.8. ALCANCES Y LIMITACIONES

Se han fabricado 2 prototipos con las mismas dimensiones y características, de ellos solo el prototipo # 02 es el que se considera para los resultados de la presente Tesis, porque en el prototipo #1 se cometió un error al ubicar el sensor de movimiento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL CONCRETO

2.1.1. MORTERO

Los morteros de cal empezaron a utilizarse unos 2,000 años AC. Aún hoy en día se emplean en algunas partes del mundo. Este tipo de mortero tiene la desventaja de disolverse gradualmente ante la acción del agua.

Alrededor del año 300 AC los Romanos descubrieron que ciertos materiales volcánicos (hoy en día conocidos con el nombre de Puzolanas) molidos finamente y mezclados con cal y arena daban origen a morteros con propiedades cementantes y resistentes al agua.

2.1.2. CONCRETO

Tal vez el ejemplo más importante del uso del concreto simple (sin armadura de refuerzo) es el Pantheon en Roma. Construido inicialmente por Agrippa alrededor del año 30 AC, fue destruido dos veces por el fuego y finalmente reconstruido y modificado por Adriano alrededor del año 120

DC.

El Pantheon es un edificio de planta circular de albañilería y concreto con acabado de ladrillo en las paredes exteriores. La cimentación es un anillo de concreto de 4.5 m de altura bajo todo el muro perimetral. Destaca el domo o cúpula de 43 m de diámetro, la cúpula es una media esfera con un lucernario en la parte alta de unos 9 m de diámetro a través del cual se ilumina el interior del edificio. El espesor de la cúpula es variable desde unos 6 m en el arranque hasta 1.20 m en el lucernario. Para la construcción del domo se usó en la parte inferior agregado de pedazos (cascote) de ladrillo y en la parte superior agregados livianos provenientes de rocas volcánicas porosas. Fue durante muchos siglos la estructura con claro libre más largo, hasta la construcción de la Catedral de Florencia iniciada en el año 1420, cuya cúpula superó ligeramente el diámetro del Pantheon.



Figura 1. Vista aérea de la edificación Pantheon

Fuente: es.wikiarquitectura.com

2.1.3. CEMENTO PORTLAND

En 1824 Joseph Apsdin, patentó un proceso de calentamiento en horno de piedra caliza y arcilla que producía un cemento artificial que al hidratarse y endurecerse adquiriría la misma resistencia que la piedra de la isla de Portland. En 1845 I.C. Johnson descubrió que la mezcla calentada en exceso (calcinada) originaba un producto duro denominado clincker y que moliendo finamente este producto se obtenía un mejor cemento. Este cemento es el que utilizamos hasta hoy en día, con el nombre de Cemento Portland.

En 1871 se produjo Cemento Portland en Pennsylvania, sin embargo fue solo hasta principios de los 1880 que se produjo en los Estados Unidos una cantidad significativa de cemento.

2.1.4. CONCRETO ARMADO

Se considera a Joseph Monier (Francés) el creador del concreto armado, fue uno de los primeros en patentar su uso. En 1850 comenzó a experimentar con macetas de concreto, reforzadas con malla de alambre. Patentó su idea en 1867 y entre 1868 y 1875 patentó numerosos sistemas de concreto armado para su uso en tanques, tuberías, losas de piso,

puentes y escaleras.

Entre 1875 y 1900 el desarrollo del concreto armado se produjo a través de numerosas patentes en Europa y Estados Unidos. En 1904 existían 43 patentes registradas en el mundo. En 1894 una publicación de la Sociedad de Ingenieros Civiles de Francia sentó las bases para el diseño en flexión por esfuerzos admisibles.

En 1903 en la ciudad de Cincinnati, Ohio, se construyó el IngallsBuilding, el primer edificio alto (rascacielos) íntegramente en concreto armado. Este edificio de 16 pisos y 64 m de altura fue construido con pórticos y losas monolíticas. Las losas trabajando como diafragmas rígidos en su plano, permitieron distribuir las cargas laterales de viento entre los diversos pórticos.



Figura 2. Edificio Ingalls en la actualidad.

Fuente: www.es.wikiarquitectura.com

En el Perú los primeros barriles de cemento llegaron en 1850 y los primeros hornos para fabricar cemento en 1915. En el libro, Tópicos de Tecnología del Concreto de Enrique Pasquel C. es posible encontrar una detallada reseña histórica del uso del concreto en el Perú.

2.2. MUROS DE CORTE

Los muros estructurales de concreto armado son elementos muy eficientes para resistir efectos sísmicos en los edificios, por su gran rigidez y capacidad a cargas laterales.

El propósito principal en la ubicación de muros en la estructuración de un edificio es a menudo el de resistir fuerzas laterales, optimizando la resistencia sísmica, debido a la gran ventaja con respecto a su ubicación idéntica o similar en las áreas de piso en todos los niveles, como en el caso de construcciones de hoteles o edificios de apartamentos. Además, los muros estructurales pueden ser utilizados no solamente para soportar cargas laterales sino también para soportar cargas verticales.

2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MUROS ESTRUCTURALES

Existen diferentes sistemas de muros estructurales, cuyo comportamiento

depende de su relación de esbeltez, de la distribución de sus rigideces en planta y en altura y de la magnitud de las cargas laterales y de gravedad que estos deben soportar. Estos sistemas pueden usarse como muros aislados los cuales pueden estar ubicados en la zona exterior de los edificios o formando núcleos rígidos, como muros acoplados mediante vigas de gran peralte con respecto a su longitud (dinteles), o bien interactuando con pórticos como sistemas duales.

2.2.1.1 MUROS AISLADOS

Los muros estructurales aislados son aquellos que resisten las cargas actuantes tanto laterales como verticales en forma independiente, sin interacción con ningún otro muro o elemento estructural. De acuerdo a su relación de aspecto definida como el cociente entre la altura del muro y la mayor dimensión del muro en la base pueden ser: muros estructurales esbeltos ó muros estructurales bajos.

A) MUROS ESBELTOS

Los muros estructurales esbeltos se caracterizan por su relación altura/longitud mayor que dos (2), tienen un comportamiento similar a una viga en voladizo vertical empotrado en su base, ver

Fig.3(a). Para estos tipos de muros, se supone que tienen suficiente ductilidad a flexión, la cual se alcanza principalmente por rotaciones inelásticas al producirse la cedencia del acero a tracción, ubicadas generalmente en el nivel de la base.

B) MUROS BAJOS

Los muros estructurales bajos se caracterizan por su relación altura/longitud menor que dos (2), donde se considera que el muro no tiene comportamiento dúctil en flexión, sino que su comportamiento está dominado por el corte, estos serían los verdaderos muros de corte, ver Fig.3 (b).

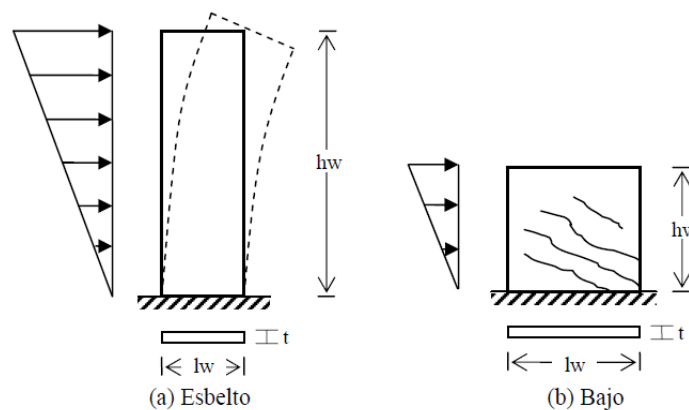


Figura 3. Muros aislados

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

2.2.1.2 MUROS ACOPLADOS

Habitualmente por razones funcionales los muros estructurales presentan en toda su altura aberturas de puertas, ventanas y accesos de áreas de servicio, las cuales conviene estén distribuidas uniformemente. Estas aberturas configuran un sistema integrado por dos muros aislados unidos por medio de vigas de gran peralte con respecto a su longitud, dinteles o simplemente vigas de acoplamiento, las cuales están sometidas simultáneamente a la acción de momentos flectores y de fuerzas cortantes, ver Fig. 4.

Según Park y Paulay (1978), el comportamiento de este sistema bajo cargas laterales, es considerablemente mejor que el formado por muros aislados, debido fundamentalmente a que en sistemas diseñados adecuadamente, la secuencia de formación de rótulas plásticas comienza en las vigas de acoplamiento, debido principalmente a su rigidez intermedia, pasando posteriormente a los muros sometidos a tracción y finalmente el mecanismo se producirá al formarse la última articulación plástica en los muros sometidos a compresión. De esta manera, en movimientos sísmicos de mediana intensidad es deseable que las rótulas plásticas se formen en las vigas de acoplamiento, ya que no compromete la estabilidad de la estructura para resistir las cargas verticales, además

de ser más fáciles de reparar que los muros.

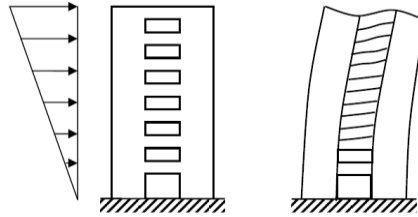


Figura 4. Muros acoplados

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

El mecanismo de disipación de energía de muros acoplados es similar al mecanismo de pórticos de varios pisos constituidos por columnas fuertes y vigas débiles, el que supone que todas las vigas se plastifican en sus extremos y los muros en la base, permaneciendo el resto de los muros elástico en toda su altura debido a que éstos son mucho más resistentes que las vigas de acoplamiento.

2.2.1.3 SISTEMAS DUALES

Los sistemas duales representan la combinación de muros estructurales con pórticos dúctiles, en el cual ambos sistemas interactúan eficientemente para satisfacer las provisiones de cargas laterales limitando la desplazabilidad de los entrepisos, y controlando los daños en

la estructura, y donde los muros estructurales tienen como función principal aumentar la rigidez de la estructura ante cargas laterales. Las Fig.5 (b y c), muestran las deformaciones ante cargas laterales de un pórtico y de un muro aislado, actuando cada uno por separado.

Tanto el muro estructural como el pórtico forman parte de la misma estructura (trabajan como una sola unidad), y ambos experimentan modificaciones en sus desplazamientos apareciendo cargas que obligan a los dos sistemas a deformarse de la misma manera como se indica en la Fig.5 (d).

En efecto, quien gobierne el comportamiento dependerá de la rigidez de cada uno de los sistemas, es decir, si el muro es mucho más rígido que el pórtico, éste tiende a desplazarse más que el muro, pero si ocurre lo contrario, el muro tratará de acomodarse a las deformaciones del pórtico e inclusive cambiando la curvatura de su extremo superior.

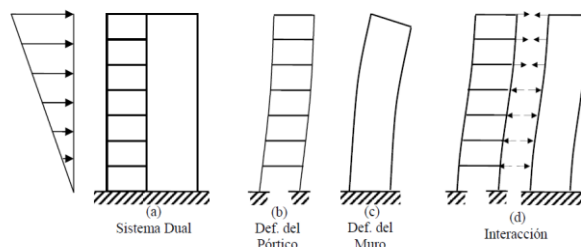


Figura 5 Sistema Duales

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

2.2.2. SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS MUROS ESTRUCTURALES

Los muros estructurales tienen diversas secciones transversales, algunas formas típicas se muestran en la Fig.6. Los espesores de los muros son determinados por requisitos mínimos normativos para asegurar la estabilidad ante la debilidad al pandeo; aunque este aspecto no se considera crítico en el diseño es importante su determinación.

Los muros estructurales pueden estar conformados por una sola pared, ver Fig.07(a), en el que se acoplan elementos de borde para dar mayor resistencia y estabilidad contra el volcamiento. Las dimensiones de estos elementos dependen de la capacidad del muro a las fuerzas sísmicas impuestas. Asimismo, los muros pueden estar conformados por un conjunto de varias paredes, ver Fig.6 (b), donde la forma de su sección transversal dependerá del diseñador, tomando en cuenta su estabilidad y resistencia con respecto a la distribución de las mismas y a su vez a su estructuración en planta.



Figura 6. Secciones comunes de los muros estructurales

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

2.2.3. ESTRUCTURACIÓN DE LOS MUROS ESTRUCTURALES

2.2.3.1 CONFIGURACIÓN EN PLANTA

Para que los edificios puedan presentar un buen desempeño sísmico, los muros estructurales deben distribuirse uniformemente en las dos direcciones ortogonales, además, deben poseer suficiente rigidez para resistir las cargas laterales inducidas por el sismo. Según Paulay y Priestley (1992), para facilitar la solución de varios problemas que se presentan en el diseño de muros estructurales, se debe establecer una buena estructuración en términos de configuraciones geométricas.

- ESTRATEGIAS EN LA LOCALIZACIÓN DE LOS MUROS ESTRUCTURALES

Los muros individuales pueden estar sujetos a desplazamientos axiales, traslacionales y torsionales. El grado en el cual un muro contribuye a la resistencia de momentos de volcamiento, fuerzas de corte de piso y torsión de piso dependen de su configuración geométrica, orientación y localización en el plano del edificio.

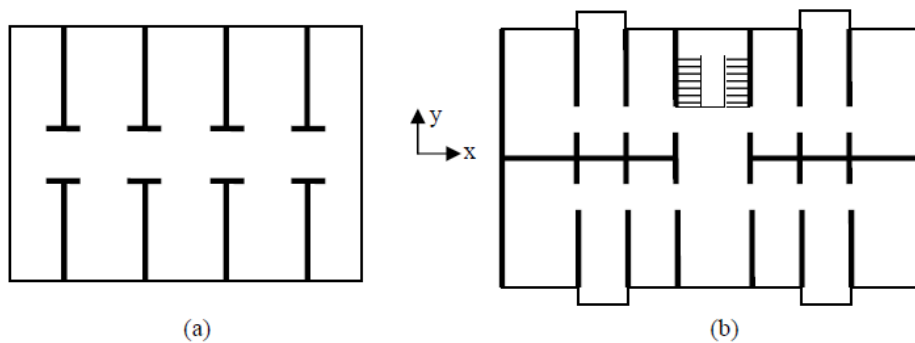


Figura 7. Distribución de los muros estructurales en el plano

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

Los diseñadores estructurales deberán distribuir los muros estructurales en orden de optimizar la resistencia sísmica de la estructura, con relación a los aspectos en simetría de rigidez, estabilidad torsional y capacidad disponible de volcamiento en las fundaciones. La estrategia en la distribución es que se desee que las deformaciones inelásticas se distribuyan uniformemente sobre el plano entero del edificio y no permitiendo que se concentren solamente en pocos muros. El último caso conduce a la falta de aprovechamiento de algunos muros, mientras que otros pudieran ser sujetos a excesiva demanda de ductilidad.

La Fig.7, muestra algunos arreglos típicos de muros estructurales en edificios. La configuración mostrada en la Fig.7 (a) es inadecuada, puesto que tiene la mayoría de las paredes alineadas en una sola dirección “x”,

por lo que en la otra dirección la resistencia a cargas laterales es mínima. Por el contrario, la configuración de la Fig.7 (b) numerosos muros con longitudes adecuadas, pueden proporcionar grandes resistencias durante el sismo en la dirección “y”, mientras que la fuerza lateral en la dirección “x” será resistida por los dos muros centrales, los cuales son conectados al final de los muros en forma de sección de T.

En general, la solución ideal es disponer de longitudes adecuadas de muros alineados en las dos direcciones ortogonales, debido a que la predominancia de los efectos sísmicos, se basa convenientemente en la relación entre la suma de las áreas efectivas de la sección transversal de todos los muros en una de las direcciones principales y el área total del piso.

A) ESTABILIDAD TORSIONAL

Para evitar los desplazamientos excesivos en los componentes que resisten fuerza lateral ubicados en las posiciones extremas dentro del plano del edificio, deben minimizarse los efectos torsionales. Esto se logra disminuyendo la distancia entre el centro de masa (CM), donde las fuerzas horizontales debidas al sismo son aplicables, y el centro de rigidez (CR), donde pasa teóricamente el eje de rotación en función de las

rigideces del mismo, cuya distancia se le conoce como excentricidad.

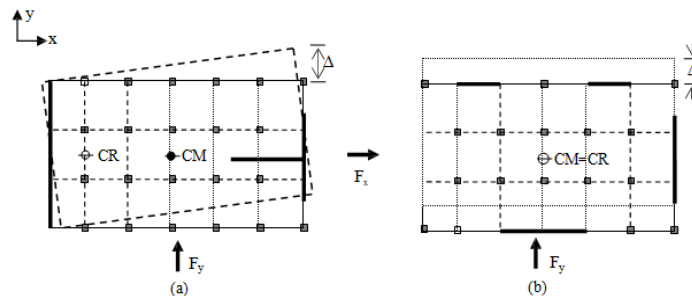


Figura 8. Estabilidad torsional en el plano

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

La Fig. 8, muestra el problema de la estabilidad torsional en el rango no lineal, donde la fuerza horizontal F_x actúa en el centro de gravedad o centro de masas (CM), donde ambos sistemas son resistidos según la dirección longitudinal “x”, aún si existen excentricidades en la misma dirección. Mientras que para un sismo en la dirección transversal “y”, el comportamiento en ambos sistemas es diferente, en la Fig.8(a) no se puede asegurar que los dos muros extremos fluyan simultáneamente debido a las distribuciones de masa y rigidez, causando una rotación producida por la excentricidad entre el centro de masas (CM) y centro de rigideces (CR), en contraste en la Fig.8 (b) en la que la fuerza no produce rotaciones ya que el centro de masas (CM) coincide con el centro de rigideces (CR).

Es importante, que el edificio posea un sistema estructural que proporcione rigidez y resistencia en las dos direcciones ortogonales, para que sea capaz de soportar los efectos sísmicos en cualquier dirección.

2.2.3.2 CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN

Los cambios bruscos de rigidez y resistencia con la altura llevan a diversos problemas en la estabilidad de una estructura sometida a sismos severos. Casos como la interrupción de elementos muy rígidos a partir de cierta altura produciría una concentración de solicitaciones en el piso inmediatamente superior semejante a cuando las secciones de las columnas en los pórticos se reducen drásticamente en los pisos superiores. La causa más frecuente de irregularidad en elevación del sistema estructural es la que se denomina “planta baja débil”, producidas frecuentemente por espacios libres, en que se opta por eliminar en ese nivel los muros de carga produciendo una discontinuidad marcada de rigideces, lo que trae como consecuencia la concentración de la disipación inelástica de energía, donde no participarían los pisos superiores los cuales permanecerían esencialmente en su intervalo elástico no lineal y la no adecuada transmisión de las cargas verticales a las fundaciones, ver Fig.9.

La esbeltez excesiva de los edificios también puede provocar la inestabilidad de la estructura, provocando volcamiento, inestabilidad en la estructura (efectos $P-\Delta$), y transmisión de fuerzas muy elevadas a las fundaciones y al subsuelo, además se tornan significativos los efectos de los modos superiores de vibración. Según la Norma Venezolana la estructura se considera regular cuando $H/L < 4$, donde H y L son la altura y base total del edificio, respectivamente. Asimismo, los cambios violentos en la geometría en la elevación del edificio pueden provocar concentraciones de esfuerzos en ciertos pisos y amplificaciones de la vibración en las partes superiores del edificio.

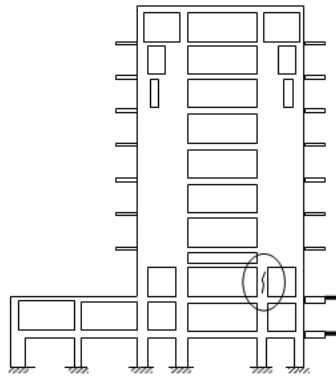


Figura 9. Estructuración de hotel Maculo Sheraton en Caraballeda

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

Experiencia de este comportamiento dejó el sismo de Caracas (1967), en el edificio del Hotel Macuto Sheraton, el cual sufrió serios

daños en una hilera de columnas del tercer piso, debido a que los muros transmitieron grandes fuerzas axiales a esas columnas durante el volcamiento de los mismos mientras sucedía el movimiento sísmico, formándose una discontinuidad de rigidez y resistencia, ver Fig.9

2.2.3.3 Requisitos Elementales de Estructuración

Los aspectos más importantes que se deben considerar para escoger la ubicación de muros estructurales resistentes a fuerzas laterales son los siguientes:

- La estructura del edificio debe ser simétrica a lo largo de cada eje del plano principal, con respecto a la rigidez lateral y distribución de masa, para evitar grandes excentricidades que produzca vibraciones torsionales del edificio.
- Un número suficiente de muros estructurales, con aproximadamente la misma área de sección transversal y rigidez, deben proporcionarse en cada dirección del edificio, para que sea capaz de resistir los efectos sísmicos en dos direcciones ortogonales.
- Para la mejor resistencia torsional en planta, es conveniente que los muros sean ubicados en la periferia del edificio y no en el núcleo

central, para hacer frente a las posibles torsiones accidentales.

- Se deben evitar discontinuidades en los muros estructurales tanto en planta como en elevación para evitar las altas concentraciones de esfuerzos de corte y torsión.

2.3. COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO

2.3.1. INTRODUCCIÓN

El comportamiento sísmico de las estructuras de hormigón armado ha sido analizado e investigado más que cualquier otro tipo de material. No hay duda, que esto es debido por una parte, a su uso extendido y por otra parte a la dificultad de dotarle de una cierta ductilidad, que le permita un comportamiento adecuado durante un movimiento sísmico severo. No obstante, las últimas catástrofes sísmicas han puesto al descubierto, las deficiencias en los criterios de diseño y en las prácticas constructivas empleadas, incluso en países desarrollados y con una tecnología sísmica avanzada. Así por ejemplo, muchas estructuras antiguas de mampostería no reforzada, se han desempeñado mucho mejor que las estructuras de hormigón armado, durante movimientos sísmicos de diferente intensidad.

Las estructuras de hormigón armado, son generalmente preferidas por los proyectistas y constructores, debido a su versatilidad y economía. Su rigidez puede ser utilizada para minimizar las deformaciones sísmicas y, por lo tanto, reducir el daño en los elementos estructurales y no estructurales. No obstante, en la actualidad existen sistemas mucho más rígidos, como por ejemplo, los muros estructurales, los cuales han sido adoptados ampliamente en zonas de sismicidad elevada, como es el caso de Chile, donde este sistema constructivo ha dado excelentes resultados.

Para que las estructuras de hormigón armado presenten un buen desempeño sísmico ante acciones sísmicas, es necesario que posean cierta ductilidad. Este concepto fue incorporado a las primeras normativas de diseño en la década de los años 70 y, por lo tanto, es de esperar que las estructuras diseñadas y construidas antes de esta época, sean muy vulnerables ante la acción sísmica, conclusión que se ha podido comprobar en repetidas ocasiones después de la ocurrencia de sismos destructores, tales como por ejemplo Northridge (1994), Kobe (1995), China (1996), Turquía (1999) y Taiwan (1999), entre otros.

2.3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

El concreto armado es un material heterogéneo y con un comportamiento

complejo que ha sido investigado principalmente con la ayuda de la experimentación. Para comprender mejor el comportamiento de este material, es necesario conocer las propiedades mecánicas de los materiales que lo conforman, esto es: el hormigón y el acero de refuerzo. A continuación, se describen las principales propiedades de estos dos materiales. En el caso del hormigón, se diferencia entre el comportamiento con y sin el comportamiento que proporciona el acero de refuerzo transversal.

2.3.2.1 HORMIGÓN SIN CONFINAR

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Por lo general, la resistencia a la compresión del hormigón, se obtiene a partir del ensayo de cilindros estándar al cabo de 28 días de su preparación (Park y Paulay, 1994). La Figura 10 muestra las curvas típicas de esfuerzo-deformación para hormigones de diferente resistencia. Puede verse que son casi lineales hasta aproximadamente la mitad de la resistencia máxima a compresión. La curva correspondiente al hormigón de alta resistencia (curva), tiene una forma relativamente puntiaguda cerca del esfuerzo máximo, mientras que las curvas de hormigones de baja resistencia (curvas B y C) son más planas. Es importante notar que a

medida que aumenta el valor de la resistencia máxima a compresión la deformación asociada, disminuye. Esta aparente fragilidad en el hormigón es de alta resistencia, es muy importante y, debe ser considerada, cuando los requerimientos de ductilidad exigen desarrollar grandes deformaciones de compresión en el hormigón. La deformación en el esfuerzo máximo, aproximada 0,002. A deformaciones más elevadas, después de alcanzar el esfuerzo máximo, todavía pueden transmitirse esfuerzos. No obstante, una vez se sobrepasa este nivel de deformación, se originan en el hormigón, grietas paralelas a la dirección de la carga.

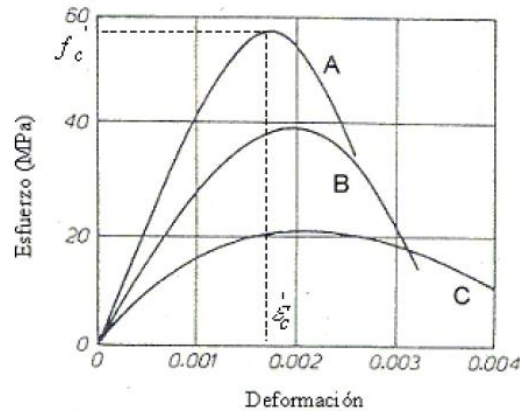


Figura 10. Curvas esfuerzo-deformación para cilindros de hormigón cargados a compresión uniaxial.

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

RESISTENCIA A TRACCIÓN

A partir del ensayo de tracción indirecta, conocido con el nombre de

“prueba brasileña” se determina la resistencia a tracción del hormigón, que se define como:

$$f_t = K \sqrt{f'_c} \text{ (lb/plg}^2\text{)}$$

Donde K es una constante que varía entre 7 y 13, para estas unidades debido a la baja resistencia a tracción del hormigón, generalmente se desprecia en los cálculos de resistencia de los miembros de hormigón armado. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta, la curva esfuerzo-deformación por tracción, se puede idealizar como una línea recta hasta el valor de la resistencia máxima, dentro de este rango, se puede suponer que el módulo de elasticidad en tracción es el mismo que a compresión.

2.3.2.2 HORMIGÓN CONFINADO

El confinamiento del hormigón se logra mediante el uso de acero de refuerzo transversal que, por lo general, tiene forma de hélices o aros de acero, espaciados una cierta distancia. El efecto de confinamiento de este refuerzo sobre el hormigón, se activa para valores de esfuerzos que se aproximan a la resistencia uniaxial, por lo tanto, las deformaciones transversales se hacen muy elevadas debido al agrietamiento interno progresivo y, el hormigón, se apoya contra el refuerzo transversal, ejerciendo este último, una reacción de confinamiento sobre el hormigón

(Park y Paulay, 1994).

Las pruebas realizadas por muchos investigadores, han demostrado que el confinamiento puede mejorar considerablemente las características esfuerzo-deformación del hormigón a deformaciones elevadas, haciéndolo un material dúctil.

El tipo de refuerzo transversal y su espaciado, influyen en el aumento de la resistencia y la ductilidad de los elementos. Así por ejemplo, los ensayos han demostrado que las hélices confinan al hormigón con mucha mayor eficiencia que los aros o estribos rectangulares o cuadrados. Esto se debe, a que las hélices están en tensión axial de aro y proporcionan una presión continua de confinamiento alrededor de la circunferencia, que a grandes deformaciones transversales se aproxima al confinamiento de un fluido. Sin embargo, los estribos sólo pueden aplicar reacciones de confinamiento cerca de las esquinas de los aros, debido a que la presión del hormigón contra los lados de los estribos tiende a flexionarlos hacia afuera y, por lo tanto, una porción considerable de la sección puede no quedar confinada.

La Figura 11 muestra tres curvas (A, B y C) de carga axial versus deformación.

Las dos primeras, corresponden a elementos con estribos pero diferente

separación, mientras que la curva C corresponde a un elemento sin estribos. Claramente se observa un aumento en la capacidad de deformación obtenida con el confinamiento proporcionado por los estribos. También se observa que para una separación menor entre los estribos, aumenta la deformación máxima del elemento y que el confinamiento por refuerzo transversal, tiene poco efecto en la curva esfuerzo-deformación antes de que se alcance la resistencia uniaxial del hormigón.

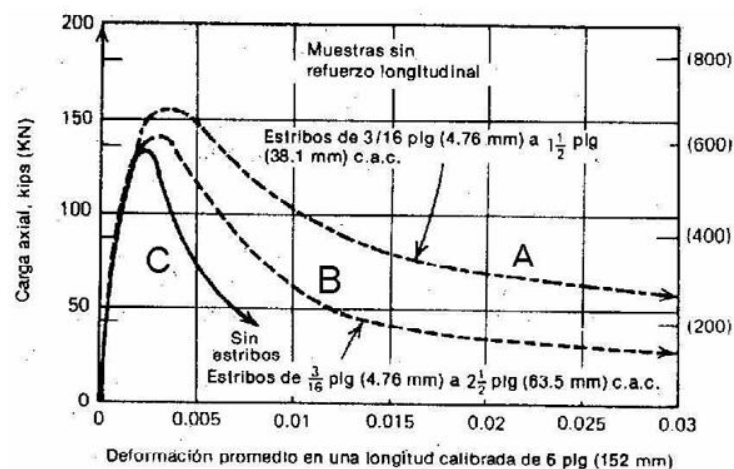


Figura 11. Curvas carga axial-deformación para prismas cuadrados de hormigón con distinto contenido de estribos cuadrados

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

- El perfil de la curva, a deformaciones elevadas, es una función de muchas variables, entre ellas las siguientes:
- La relación entre el volumen del acero transversal y el volumen del

núcleo de hormigón, debido a que un elevado contenido de acero transversal involucra una elevada presión de confinamiento.

- La resistencia a la cedencia del acero transversal, la cual proporciona un límite superior a la presión de confinamiento.
- La relación entre el espaciamiento del acero transversal y las dimensiones del núcleo de hormigón, debido a que un espaciado más pequeño conduce a un confinamiento más efectivo.
- La relación entre el diámetro de la varilla transversal y la longitud no soportada de las varillas transversales en el caso de estribos o aros rectangulares, debido a que un diámetro grande de varilla conduce a un confinamiento más efectivo.
- La cuantía y tamaño del acero de refuerzo longitudinal, debido a que éste también confina al hormigón.
- El nivel de resistencia del hormigón influye en su ductilidad y, por lo tanto, en las deformaciones máximas que puede desarrollar.
- La tasa de carga, debido a que las características de esfuerzo-deformación del hormigón dependen del tiempo.

2.3.2.3 RELACIONES ESFUERZO – DEFORMACIÓN DEL ACERO

La principal fuente de ductilidad de las estructuras de hormigón armado reside en la gran capacidad del acero para resistir ciclos repetitivos de cargas, sin una disminución significativa de su resistencia, aun cuando se encuentra en niveles muy altos de deformación. La relación esfuerzo-deformación, que se muestra en la Figura 12, Se caracteriza por una primera zona elástica lineal (tramo OA), cuya pendiente corresponde al módulo de elasticidad del acero, aproximadamente igual a GPa, hasta alcanzar el nivel de esfuerzo de cedencia f_y , el cual se mantiene hasta una cierta deformación E_{sh} , dando origen a una plataforma de longitud variable (tramo AB). A partir de este punto, el acero aumenta su resistencia, debido al endurecimiento del material, hasta alcanzar el nivel máximo de esfuerzos suele tomarse como aproximadamente entre 1,4 a 1,5 veces el valor de f_y (tramo BC).

A partir de este instante, el perfil de la curva es decreciente hasta llegar a la rotura del material (Paulay y Priestley, 1992). Las deformaciones E_{sh} y E_{su} corresponden a los instantes donde se inician el endurecimiento por deformación y la rotura del acero, respectivamente.

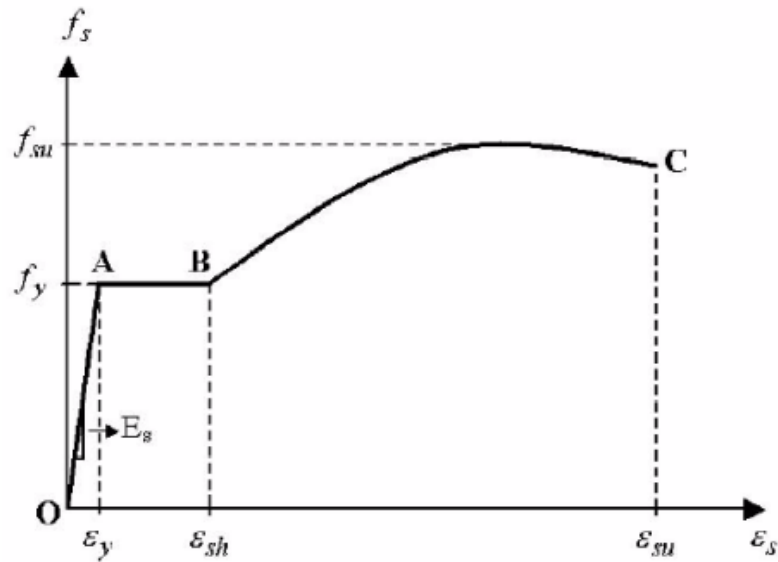


Figura 12. Representación gráfica de la relación esfuerzo-deformación del acero de refuerzo

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

La Figura 12 muestra tres curvas representativas de diferentes casos de resistencia de cedencia del acero de refuerzo, f_y comúnmente utilizado para la construcción de estructuras de hormigón armado y mampostería reforzada. En ella, se observa que la deformación última ϵ_{su} y la longitud de la plataforma de cedencia, decrecen cuando se incrementa la resistencia de cedencia del acero f_y . Por esta razón, los aceros de alta resistencia (curva A), son menos dúctiles que los aceros de resistencias más bajas (curvas B y C).

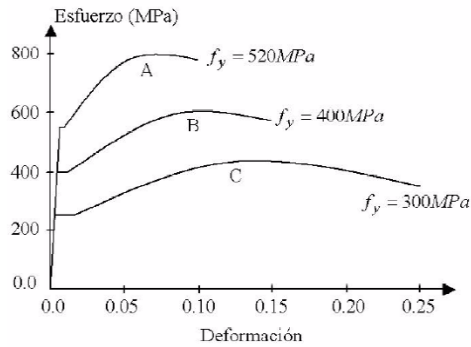


Figura 13. Curvas esfuerzo-deformación para el acero de refuerzo

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

El método de fabricación puede incidir también en las propiedades del acero. Se ha observado que el acero trabajado en frío puede producir un acortamiento de la plataforma de cedencia, a un grado tal, que el endurecimiento por deformación comienza inmediatamente después de iniciarse la cedencia (Park y Paulay, 1994).

Las características óptimas del acero de refuerzo, desde el punto de vista de los requerimientos del diseño por capacidad, son: una plataforma de cedencia larga, seguida por un endurecimiento por deformación gradual y una variabilidad baja de la resistencia de cedencia actual, a partir del valor nominal especificado.

Cuando el acero de refuerzo se somete a cargas cíclicas, dentro del rango inelástico, la plataforma de cedencia desaparece y la curva esfuerzo-

deformación exhibe el efecto “Bauschinger”, según el cual, el comportamiento no lineal comienza para un nivel de esfuerzo mucho más bajo que la resistencia inicial de cedencia. Este efecto consiste en que las curvas esfuerzo-deformación exhiben una forma redondeada durante la cedencia. La Figura Y muestra el resultado de dos tipos diferentes de ensayos de carga cíclica de acero de refuerzo.

En la Figura 14 (a) las incursiones inelásticas presentan sólo deformaciones por tracción, mientras que en la Figura 14 (b), las excursiones se presentan en tracción y compresión alternadamente, produciendo ciclos de histéresis simétricos. El primer caso, es típico del refuerzo en las rótulas plásticas de las vigas que experimentan grandes deformaciones inelásticas de compresión. El comportamiento de deformación simétrica, tal como el que se muestra en la Figura 16 (b), puede producirse durante la respuesta cíclica de columnas con niveles de carga axial moderados.

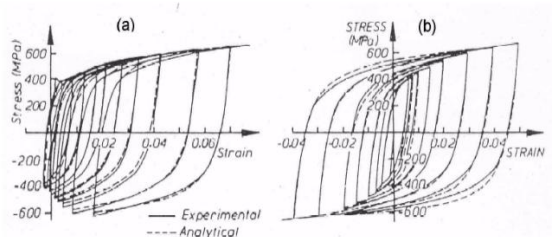


Figura 14. Ciclos de histéresis del acero de refuerzos altos.

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

Para ambos casos, se ha observado que la curva obtenida bajo cargas monótonas resulta una envolvente de las curvas bajo cargas cíclicas.

Por lo general, se supone que las curvas esfuerzo-deformación para el acero a tracción y compresión son idénticas. Las pruebas han demostrado que esta suposición es razonable.

2.3.3. COMPORTAMIENTO BAJO CARGAS CÍCLICAS Y DINÁMICAS

El comportamiento sísmico de las estructuras aperticadas de hormigón armado, depende principalmente de su ductilidad. La distribución del refuerzo longitudinal y transversal y el confinamiento en los elementos del sistema estructural, influyen considerablemente en la forma de los ciclos histeréticos. Así, en los ciclos de la Figura 2.18 se observa el comportamiento dúctil sin pérdida de resistencia que presentan las vigas con refuerzo en ambas caras y con un buen confinamiento. El caso opuesto, corresponde a una viga sin confinamiento, que presenta pérdida de resistencia y degradación de rigidez (Figura 2.19). Por lo tanto, es indispensable elegir con cuidado el modelo matemático de curvas de histéresis que refleje los detalles de una construcción concreta, usando métodos como los propuestos por Park (1973) y Otani (1981). Desafortunadamente, la mayoría de los ensayos sobre vigas y columnas,

no han incluido los sistemas de pisos y, por lo tanto, la respuesta de la estructura completa no ha sido evaluada propiamente. Diferentes investigadores han confirmado que los diafragmas de piso y las vigas laterales tienen un efecto considerable sobre el comportamiento histerético de estas estructuras (Dowrick,1997). A continuación, se describe el comportamiento histerético de los elementos sometidos a flexión uniaxial con y sin fuerza axial, que corresponden generalmente a los elementos tipo columna y tipo viga, respectivamente.

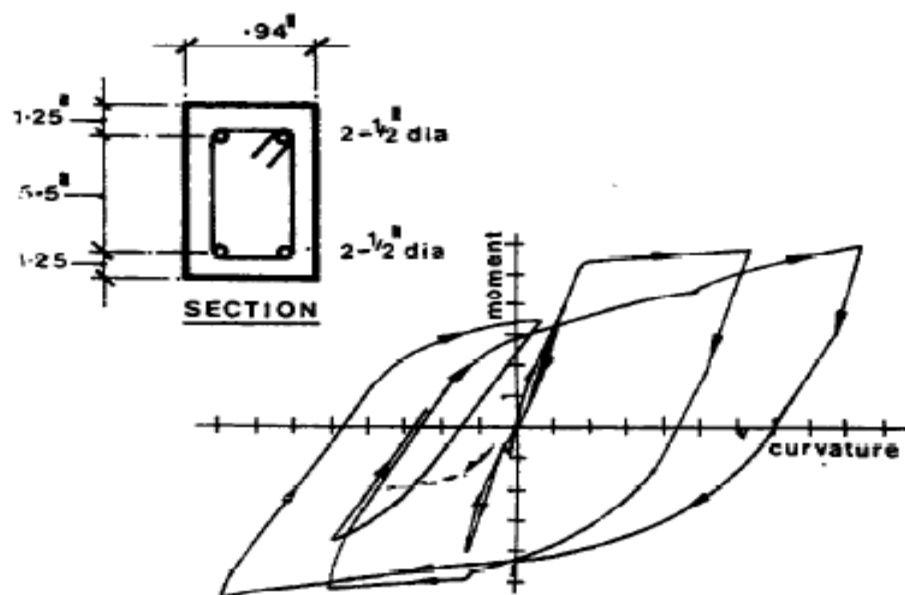


Figura 15. Curvas de histéresis esfuerzo-deformación de una viga de hormigón doblemente reforzada sometida a carga cíclica

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

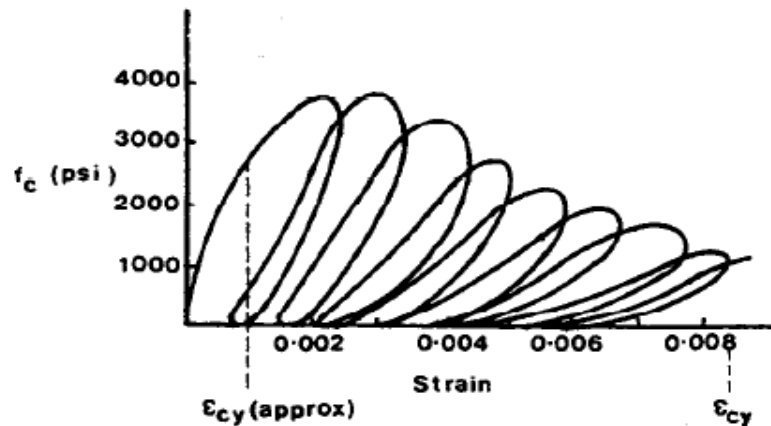


Figura 16. Curvas esfuerzo-deformación para un elemento de hormigón sin confinado sometido a carga cíclica (Sinha et al., 1964).

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

2.3 MODELOS ANALÍTICOS DEL COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO

Durante las últimas décadas, a partir del análisis de los resultados de los ensayos experimentales, se ha desarrollado un número considerable de modelos constitutivos, que representan el comportamiento histerético de los elementos de hormigón armado, cuando se ven sometidos a cargas reversibles. Estos modelos, han ido evolucionando, para acercarse cada vez más a la respuesta cíclica real de dichos elementos, debido a que la respuesta dinámica no lineal de una estructura, depende

fundamentalmente del modelo constitutivo que se utilice para el análisis.

Algunos modelos histeréticos:

a) Modelo de Takeda (1970)

En este modelo se introducen los efectos de plasticidad y degradación de rigidez por agrietamiento. Sin embargo, al ser independiente del número de cargas y descargas, debido a que toma en cuenta sólo el máximo desplazamiento en cualquier ciclo, no representa la degradación de resistencia y rigidez que sufre el elemento por fatiga de bajo ciclaje. Por otra parte, requiere de tres parámetros que deben calibrarse por medio de muchos resultados experimentales y es relativamente complicado pues está definido por medio de 16 reglas histeréticas.

b) Modelo de Roufaiel y Meyer (1987)

Para este modelo se toma en cuenta la relación momento curvatura histerética propuesta en el modelo de Takeda, añadiendo el efecto de degradación de resistencia y rigidez debido a la fatiga de bajo ciclaje. La pérdida de rigidez y resistencia de un elemento de concreto armado se presenta si el mismo es deformado más allá de un cierto nivel crítico durante los ciclos de carga. Además, la capacidad de carga decrece

continuamente durante los subsecuentes ciclos de carga. Evaluando datos experimentales, estos investigadores concluyeron que el punto crítico está asociado con la curvatura ϕ_m para la cual el concreto alcanza el valor de deformación ϵ_m . Sugirieron también que la pérdida de resistencia es proporcional a la cantidad en que la curvatura crítica ha sido excedida. Para simular este comportamiento proponen reemplazar el punto máximo de carga por un punto artificial para la rama de recarga, definido éste por ensayos experimentales.

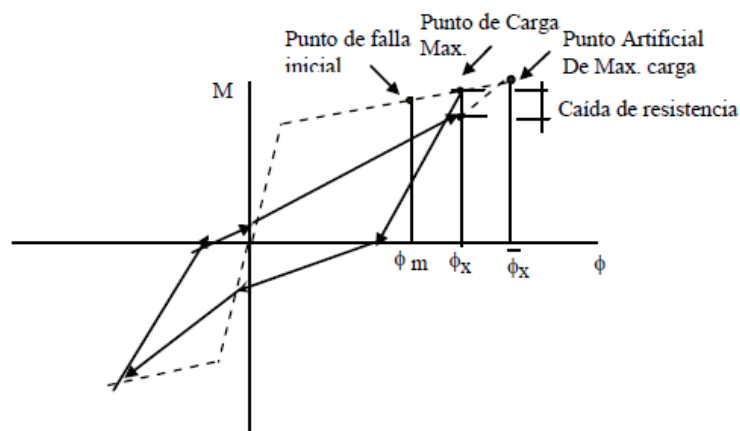


Figura 17. Modelo para la degradación de resistencia.

Fuente: Roufaiel y Meyer (1987)

Para modelar el estrangulamiento presentado en los lazos histeréticos Roufaiel y Meyer establecen la correlación entre el grado de estrangulamiento y la magnitud relativa de corte en la sección que se está considerando. Para fuerzas de corte pequeñas, no se observa el

estrangulamiento. La curva de recarga es recta y cruza la curva de carga elástica inicial en un punto de “estrangulamiento nulo” (M_n, ϕ_n) (ver Figura 17). Por otro lado, para fuerzas de corte grandes, las curvas de recarga tienen un grado de estrangulamiento, que puede ser caracterizado por el punto (M_p, ϕ_p) , donde la curva de recarga traspasa la curva inicial elástica; dicho punto es determinado en función de la relación a/d (luz de corte/profundidad de la sección rectangular) de acuerdo a las siguientes relaciones empíricas:

$$M_p = \alpha_p M_n ; \phi_p = \alpha_p \phi_n$$

donde:

$$\alpha_p = 0 \quad \text{para} \quad a/d = 1.5;$$

$$\alpha_p = 0.4 \frac{a}{d} - 0.6 \quad \text{para} \quad 1.5 < a/d < 4.0;$$

$$\alpha_p = 1 \quad \text{para} \quad a/d \geq 4.0$$

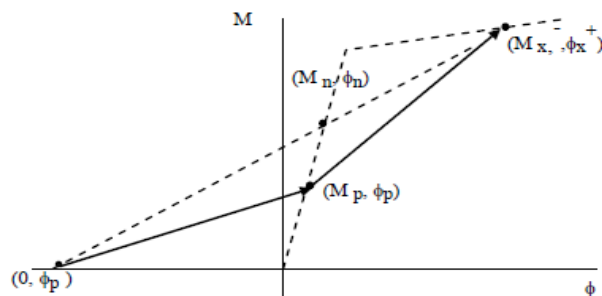


Figura 18. Representación del estrangulamiento en los lazos histeréticos de una sección rectangular de concreto armado.

Fuente: (Roufaiel y Meyer)

c) Modelo de Park, Reinhorn y Kunnath (1987)

Este modelo es implementado en el programa de análisis no lineal IDARC (Inelastic Damage Analysis of Reinforced Concrete) [19], el cual permite representar el comportamiento histerético en elementos de concreto armado. Las propiedades histeréticas en el modelo son obtenidas mediante la combinación de una relación momento–curvatura trilineal y tres parámetros que determinan la degradación de rigidez, el deterioro de la resistencia y el estrangulamiento característicos de la curva de comportamiento en elementos de concreto armado.

El parámetro α representa el grado de degradación de rigidez así como el área encerrada en el lazo de histéresis, el cual es introducido fijando un punto común “A” en términos del momento de cedencia en la curva inicial extrapolada y asume que las líneas de recarga permanecen sobre este punto hasta que llegan al eje X.

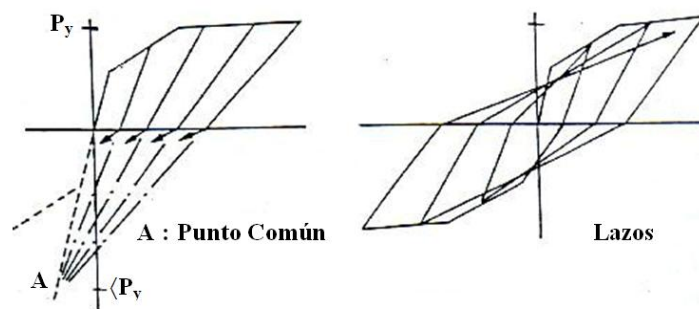


Figura 19. Efecto del parámetro para la degradación de rigidez

Fuente: (Roufaiel y Meyer)

El estrangulamiento característico en las curvas de histéresis debido al deslizamiento del refuerzo es representado por el parámetro γ . Se reduce el punto máximo A hasta un nivel P_y a lo largo de las líneas de recarga cuando estas cruzan el eje Y para $M=0$ (Fig.1.4). Los puntos de recarga toman este nuevo punto B hasta que alcanzan la deformación de agrietamiento, después de lo cual la rigidez de la trayectoria de recarga toma nuevamente el punto máximo A. La introducción de este estrangulamiento permite la reducción en el área de los lazos de histéresis e indirectamente la cantidad de disipación de energía.

El parámetro β especifica el valor de degradación de resistencia entre dos ciclos i e $i+1$, y se calcula mediante la definición del índice de daño, el cual es una combinación lineal de la máxima deformación " $\bar{\delta}_m$ " y la energía histerética absorbida $\int dE$.

$$D = \frac{\delta_m}{\delta_u} + \frac{\beta}{\delta_u P_Y} \int dE$$

El parámetro β da la relación del incremento de daño causado por el incremento de la máxima respuesta, $d\bar{\delta}_m/d\delta_u$, y el incremento de la energía histerética normalizada, $dE/(\delta_u P_y)$, como sigue:

$$\beta = \frac{d\delta_m / \delta_u}{dE / (\delta_u P_y)} = \frac{d\delta_m}{dE / P_y}$$

El valor de β puede ser determinado como una función de varios parámetros. Los parámetros α y γ son difíciles de cuantificar. El resultado de muchos ensayos para definir variables tales como relación luz-corte, relación de refuerzo y el esfuerzo axial pueden ser necesarios para determinar dichos parámetros. Stone y Taylor sugieren que los valores apropiados para dichos parámetros varían con respecto al tipo de estructura, las propiedades del material y la calidad de la construcción, para lo cual sería necesario la afinación de dichos parámetros por medio de ensayos experimentales que tomen en cuenta dichas variables.

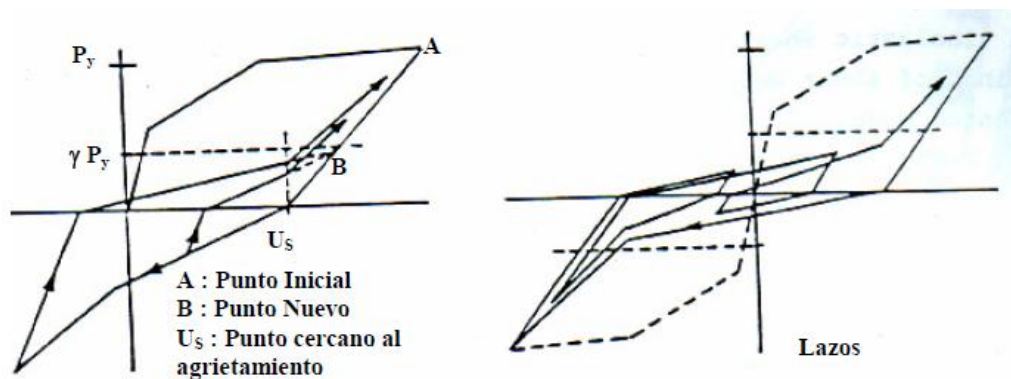


Figura 20. Efecto del parámetro γ para el estrangulamiento de la curva histerética.

Fuente: Stone y Taylor

2.4 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS MUROS DE CORTE EN VOLADIZO, BAJOS Y CON ALAS.

2.5.1 COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS DE CORTANTE

Debido a las necesidades actuales requieren que los edificios alcancen alturas grandes comparadas con el área que ocupan; debido a esto, las características de este tipo de obras presentan 2 problemas fundamentales:

- Requieren de una rigidez elevada, por lo que se emplean muros de cortante para proporcionar la adecuada rigidez, colocándolos estratégicamente en cubos de elevadores o escaleras según el diseño y orientación de la estructura.
- El comportamiento de los demás elementos que forman la estructura se ve afectado por la rigidez que dan los muros de cortante.

Por ello, el análisis y diseño estructural deberá estar orientado a conjugar el comportamiento entre ambos elementos estructurales, sobre todo bajo el efecto provocado por las fuerzas horizontales debidas a los movimientos sísmicos y de viento.

El empleo de muros en edificios debe garantizar la resistencia para

absorber los efectos de las fuerzas, principalmente deberá tenerse en cuenta los efectos de rotación.

Los muros de cortante en forma aislada tienen dos modos de deformación, que dependen del mecanismo deformante (flexión y cortante), siendo el principal el flexionante, es decir un voladizo vertical. También incluye la fuerza cortante y el lugar donde se aplica.

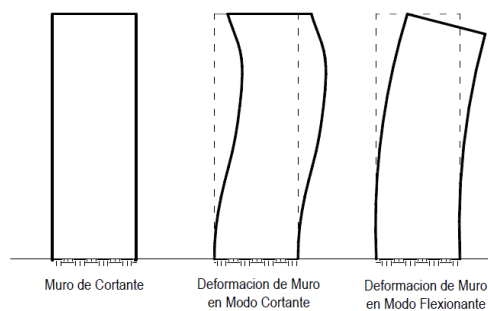


Figura 21. Principales deformaciones en muros de cortante.

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

Finalmente, los desplazamientos debidos a la deformación de la cimentación dependen de las características mecánicas del suelo, definidos por dos componentes:

- Uno de translación “ $d's$ ” proporcional al cortante en la base del edificio
- Uno de rotación y proporcional al momento flexionanté base del edificio.

2.5.2 COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS DE CORTANTE EN VOLADIZO

El muro cortante en voladizo simple se comporta de la misma manera que una viga de concreto reforzado la sección transversal estrecha indica que puede plantearse el problema de inestabilidad del borde de compresión considerando la longitud crítica con respecto al pandeo igual a la altura del piso.

El muro córtate, si actúa como un voladizo grande estará sujeto a momentos flexionantes y fuerzas cortantes debidas principalmente a las cargas laterales y a compresión axial provocada por la gravedad. El esfuerzo vertical o de flexión en la porción del alma en un muro de cortante se debe tomar en cuenta al evaluar la capacidad a flexión.

Los requisitos esenciales son cimientos adecuados que dan fijación total a la base y suficiente conexión de los muros cortantes para transmitir la carga horizontal.

2.5.2.1 LA RESISTENCIA FLEXIÓN DE MUROS DE CORTANTE ALTOS

En zonas no afectadas por sismos el acero a flexión es aproximadamente

0,25% de refuerzo en ambas direcciones, en muros sujetos a pequeña flexión se ha colocado 0,25% o un poco más de refuerzo uniformemente en todo el peralte. Es natural que no se utilice con eficiencia el acero con el momento máximo debido a que muchas varillas operan en un brazo de palanca interno pequeño. La curvatura máxima y la ductilidad de curvatura se reducen cuando se usa gran cantidad de acero a flexión para una sección de muro típica con peralte de 25.

Los momentos y curvaturas se expresan como porcentajes de las cantidades máximas para una sección con el mínimo contenido de acero ($p_v=0,25\%$). Es claro que la distribución del acero por la sección es altamente indeseable y poco económica. Una sección eficiente de muro cortante sujeta a momentos considerables, el grueso del refuerzo a flexión se coloca próximo al borde a tracción. Debido a momentos originados bajo cargas laterales se requieren cantidades iguales de refuerzo en ambos extremos, por tanto de ser necesario se puede resistir una gran parte del momento flexionante mediante el “par de acero” interno, lo que produce mejores propiedades de ductilidad.

En la sección de distribución no uniforme de acero se ha colocado refuerzo vertical mínimo (0,25%) sobre el 80% interior del peralte. El resto de acero ha sido asignado a las zonas exteriores (10%) de la sección. Las

mayores resistencias y ductilidad son evidentes en el siguiente diagrama.

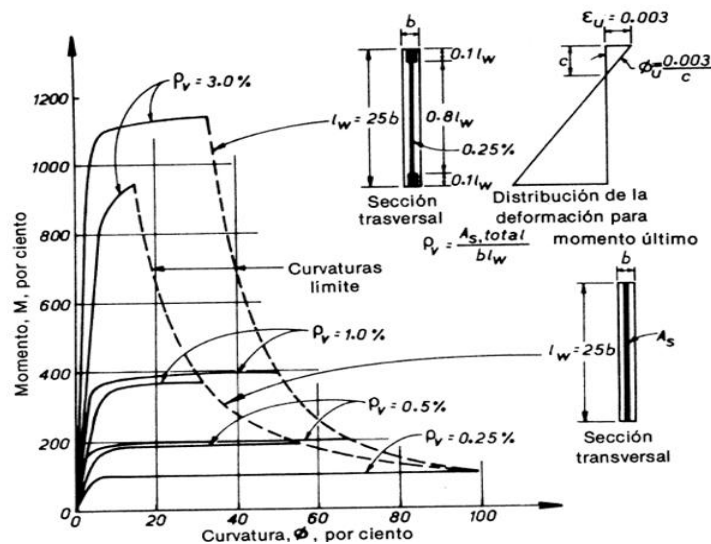


Figura 22. Efecto de la cantidad y distribución del refuerzo vertical en la curvatura de una placa rectangular.

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

Debido al área de la sección transversal la carga axial de compresión es mucho menor que la que provocaría una condición de falla balanceada (P_b). Como resultado se aumenta la capacidad de momentos por las fuerzas de gravedad en los muros cortantes. Sin embargo, la compresión axial reduce la ductilidad.

Cuando es deseable aumentar la ductilidad de un muro cortante en voladizo (normalmente en su base), se debe confinar el concreto en la zona a compresión. Se sugiere que el acero de confinamiento se suministre de la misma manera que en las columnas con estribos y se

distribuya al menos en la parte del peralte l_w .

Se deben suministrar estribos transversales alrededor de las varillas a flexión, que pueden estar sujetas a cadencia a compresión, en tal distancia es improbable que los estribos nominales al espaciado máximo sean suficientes, cuando a varios bloques sísmicos puedan provocar cadencia en ambas extremidades de la sección del muro de cortante. Solo los estribos espaciados estrechamente pueden retener el núcleo de concreto agrietado dentro de las varillas verticales a flexión e impedir el pandeo de las varillas longitudinales.

De los principios presentados, la aproximación conservadora correspondiente da:

$$M_u = 0,5 A_s f_y l_w \left[1 - \frac{N_u}{A_s f_y} \right] \left[1 - \frac{c}{l_w} \right]$$

N_u = Carga axial (que se toma positiva para compresión).

A_s = Acero total distribuido uniformemente en el muro.

Es necesario contar la inestabilidad de muros delgados de cortante, se pueden tratar las fibras extremas de la sección del muro con una columna aislada sujeta a compresión axial, únicamente, que puede pandearse alrededor del eje débil de la sección. De ser necesario se puede aumentar la rigidez a flexión en la dirección transversal mediante un retorno, puede

ser necesario en el primer entrepiso de un edificio, donde las acciones máximas ocurren sobre longitudes libres máximas

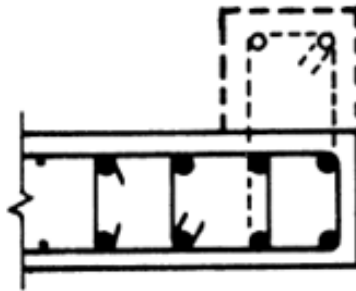


Figura 20 Retorno de muro para aumentar la estabilidad

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

2.5.2.2 LA RESISTENCIA CORTANTE DE MUROS DE CORTANTE ALTOS

Se puede evaluar como una viga. Dando un margen adecuado para la contribución de la compresión axial e incrementando la participación del mecanismo resistente al cortante, también considerando el efecto adverso de las aceleraciones verticales.

En la base del muro se debe despreciar la contribución del concreto a la resistencia al cortante, cuando el esfuerzo P_u/A_g de compresión axial en el área bruta del muro es menor que $0,2 f'_c$, cuando $P_u/A_g < 0,2 f'_c$ se debe suministrar refuerzo a cortante en forma de estribos horizontales, al

menos en la longitud posible de la articulación plástica en la base del muro. Se llegó a considerar que el efecto de la relación de forma del muro en la resistencia a cortante era importante en muros de cortante cortos.

El mínimo refuerzo de 0,25% en la dirección horizontal, resiste un esfuerzo cortante:

$$2\sqrt{f'c} \frac{lb}{p} \lg^2 \quad 0,166\sqrt{f'c} \frac{N}{mm^2} .$$

El concreto resistirá al menos la misma cantidad cuando el acero a flexión esté en el rango elástico. En consecuencia, en las partes superiores reforzadas nominalmente de los muros de cortante en voladizos rectangulares, se dispone de un esfuerzo cortante equivalente de

$$4\sqrt{f'c} \frac{lb}{p} \lg^2 \quad 0,333\sqrt{f'c} \frac{N}{mm^2}$$

La distribución del acero vertical afecta el peralte efectivo del muro de cortante rectangular. Al aplicar las actuaciones para el esfuerzo cortante nominal y para el refuerzo de estribos no es necesario tomar el peralte efectivo d como menor que $0,8 l_w$.

Es necesario considerar el efecto del agrietamiento diagonal en la distribución de esfuerzos a flexión en el acero, como en las vigas. Así el peralte efectivo del muro podría ser de más de un piso de altura.

2.5.2.3 MUROS DE CORTANTE EN VOLADIZO CON PATINES

No hay razón para esperar que los muros altos de cortante con patín se comporten de manera distinta que los que tienen secciones transversales rectangulares. Cuando la fuerza axial es pequeña, podemos anticipar que estos muros utilicen el “par de acero” interno en el intervalo inelástico, por tanto, se podrá disponer de suficiente ductilidad, durante un sismo, con tal que la restricción contra el pandeo del acero sea adecuada.

Cuando la compresión axial es significativa, todo un patín y parte del alma pueden estar en compresión. En tales casos se puede considerar que los patines son columnas con estribos cargadas axialmente, con un factor más bajo de reducción de capacidad ($\phi=0,7$). Para las posiciones intermedias del eje neutro, se puede interpolar entre 0,7 y 0,9.

Los patines incrementan considerablemente el momento de resistencia de muros altos en voladizo de cortante. Por tanto, la resistencia de la fuerza cortante en el alma puede ser más crítica que en los muros que tengan secciones transversales rectangulares. En un muro de cortante bien diseñado, no se espera que el refuerzo a cortante ceda en ninguna etapa de la carga.

Los muros de cortante cortos con patines, incluso con una pequeña

cantidad de refuerzo vertical pueden suministrar una capacidad a flexión asociada con una carga cortante excesiva en el alma, con una relación de h_w/l_w de 0,5. También un emparrillado de refuerzo es efectivo para distribuir uniformemente las grietas diagonales y para controlar su ancho. En los muros de cortante bajos con patines, las juntas de construcción pueden constituirse en el plano de falla crítica.

El patín a compresión no es efectivo en muros de cortante bajos, ya que no se puede desarrollar el brazo de palanca gran de ideal, necesario para el comportamiento de “viga”.

2.5.2.4 INTERACCIÓN MOMENTO-CARGA AXIAL EN SECCIONES DE MUROS DE CORTANTE

Las secciones transversales de perfiles con patines, de ángulo o canales a menudo aparecen en muros de cortante, formando el núcleo de edificios de niveles múltiples. Pudiendo sujetarse a cargas axiales de intensidad variable, tensión neta, junto con momentos flexionantes alrededor de uno o ambos ejes principales.

Cuando se sujeta a una sección transversal de perfil de canal a carga axial y flexión alrededor de su eje principal débil, resultan curvas

de interacción del tipo de la figura 17, aquí se supuso que el refuerzo está distribuido uniformemente a lo largo del centro del espesor del muro. La excentricidad de la carga es con referencia al centroide plástico de la sección. Se considera que un momento positivo causa compresión en los bordes de los patines y tensión en el alma del canal. Para flexión pura, esto sería una sección sobrerreforzada con 3% de contenido de acero total. Para un momento inverso (negativo) que provoca compresión en el alma de la sección, después de aplicar las fuerzas de compresión sigue un notable aumento en la capacidad de momento. Los cálculos se realizaron para posiciones del eje neutro variando en toda la sección, manteniendo constante la deformación a compresión del concreto ($\epsilon_c = 0,003$) en la fibra a compresión extrema y para un solo sentido del momento flexionante.

Para poder evaluar la extensión de la zona a compresión en la sección del muro de cortante el diseñador también puede determinar la posición del eje neutro con respecto al borde a compresión. Estas posiciones se muestran en términos de la relación de la profundidad del eje neutro al peralte total, c/l_w , estimando un valor apropiado para el factor ϕ de subcapacidad para cualquier caso de carga. Para un momento flexionante negativo con compresión axial moderada, c/l_w podría ser 0,1; por tanto $0,1 \times 6 \times 12 = 7,2$ plg que estaría bajo compresión, siendo

aquí apropiado $\phi=0,9$ para un momento positivo con solo una pequeña fuerza de compresión, $0,5 \times 6 \times 12 = 36$ plg del patín estarían bajo compresión. Debido a que la sección solo tiene 14 plg de ancho, $\phi = 0,7$ sería un valor más adecuado.

2.5.2.5 INTERACCIÓN ENTREDE MUROS DE CORTANTE EN VOLADIZO

En determinados edificios de plantas múltiples, los muros de cortante transmiten la carga gravitacional al igual que la lateral de viento o sísmica. En la figura 21 se muestra una planta típica de esa clase de edificios, considerando que la losa del piso es muy flexible, la resistencia a flexión durante la carga lateral no necesita ser tomada en cuenta, así como la resistencia a flexión de los muros rectangulares.

Las losas actúan como diafragmas horizontales, que se extienden de muro a muro y se espera que aseguren que no cambien las posiciones relativas de los muros entre si durante el desplazamiento lateral de los pisos.

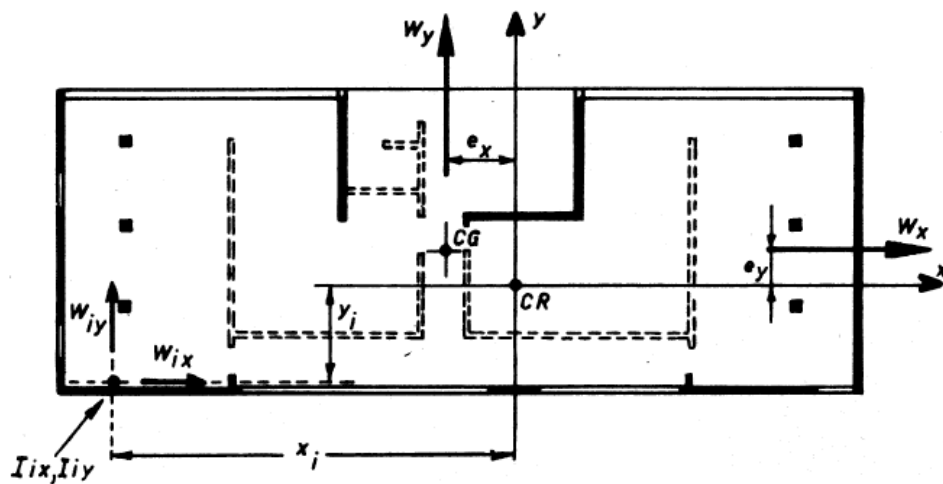


Figura 21. Muros de cortante de un edificio de departamentos.

Fuente: Libro de “Estructuras de Concreto Reforzado - PARK y PAULAY”

El análisis elástico de un conjunto de voladizos interconectados puede ser muy complejo, sin embargo con cierta simplificación, es fácil distribuir la carga lateral total entre los muros, suponiendo que solo ocurren deformaciones a flexión, lo que significa que el patrón de carga en la altura de cada muro es semejante. . Con la referencia de la figura 17 se puede aproximar la distribución de la carga sísmica lateral total W_x o W_y entre todos los muros mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
W_{ix} &= W'_{ix} + W''_{ix} + W_{ix} \\
W_{iy} &= W'_{iy} + W''_{iy} + W_{iy} \\
W'_{ix} &= \frac{I_{iy}}{I_{ix}} W_x \\
W'_{iy} &= \frac{I_{ix}}{I_{iy}} W_y \\
W''_{ix} &= \frac{Y_i I_{iy}}{X_i^2 I_{ix} + Y_i^2 I_{iy}} \lambda_y W_x \\
W''_{iy} &= \frac{X_i I_{ix}}{X_i^2 I_{ix} + Y_i^2 I_{iy}} \lambda_x W_y
\end{aligned}$$

W_{ix}, W_{iy} = participación del muro i para resistir la carga lateral externa en las direcciones x y y respectivamente.

W'_{ix}, W'_{iy} = carga inducida en el muro solamente por las traslaciones entre niveles. W''_{ix}, W''_{iy} = carga inducida en el muro solamente por la torsión entre plantas. W_x, W_y = carga externa total que deben resistir todos los muros.

I_{ix}, I_{iy} = segundo momento apropiado del área de una sección de muro alrededor de sus ejes x y y , coordenadas del muro con respecto al centro de rigidez

X_i, Y_i = CR del sistema resistentes a las cargas excentricidades que resultan de la falla de coincidencia.

e_x, e_y = Del centro de gravedad CG (masas) y el centro de rigidez en el

que:

Si W_x, W_y se deben a la carga de viento, hay que reemplazar el centro de masa por la posición de la fuerza resultante del viento. Los errores, que pueden deberse a desprestigiar las deformaciones a cortante y la resistencia torsional de los muros en secciones abiertas, seguramente son menores que los debidos a ignorar el efecto de agrietamiento de la rigidez. La intensidad de la carga de gravedad en cada muro también afecta al inicio del agrietamiento y a la pérdida consecuente de rigidez.

Con los perfiles utilizados para los muros de cortante altos no hay razón para esperar una deficiencia de ductilidad, en tanto no se permita que ocurran fallas secundarias prematuras (adherencia, portante, inestabilidad, etc).

Para los muros de cortante con una relación de altura/ peralte inferior a $3(h_w/l_w < 3)$

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. ANTECEDENTES

A pesar de que cada vez los análisis por medio de computadoras toman más importancia, en muchos casos se requieren de experimentos para validar las fórmulas que se aplican en ingeniería, es por ello que el trabajo en laboratorio suele ser muy costoso y ocupar mucho tiempo, sobre todo cuando se quieren estudiar fenómenos de gran tamaño o gran precisión.

Los experimentos de laboratorio se realizan utilizando la técnica de análisis dimensional, cuyo objeto es disminuir el número de experimentos, disminuir los costos del mismo y simplificar el ensayo. El análisis dimensional se basa en el concepto de homogeneidad dimensional, lo cual implica que todos los términos de una ecuación deben tener las mismas dimensiones.

Nuestro trabajo de laboratorio se ha reducido el modelo a una escala 1/8, se opta por considerar este valor por las limitaciones de peso,

dimensiones y costo para ensayarlos ante cargas dinámicas aplicadas en una mesa vibradora del CISMID.

3.2. METODOLOGÍA EMPLEADA

El tipo de investigación es científica; el cual nos permite hacer seguimientos de los procesos estructurales. Los siguientes puntos son parte de la investigación formal, tanto en investigación básica como aplicada:

- Recopilación de la información.
- Diseño del modelo.
- Escalado del muro.
- Elaboración del prototipo.
- Métodos de análisis.

3.3. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

3.3.1. DISPOSICIONES ARQUITECTÓNICAS DEL EDIFICIO MULTIFAMILIAR Y LA SELECCIÓN DEL MURO “H” A ANALIZAR.

El presente proyecto corresponde a un edificio multifamiliar, el cual por arquitectura tiene un muro de forma “H”, este muro se analizará de manera independiente para conocer su aporte de rigidez en las alas.

La ubicación del edificio estudiado corresponde al distrito de Santiago de Surco – Lima.

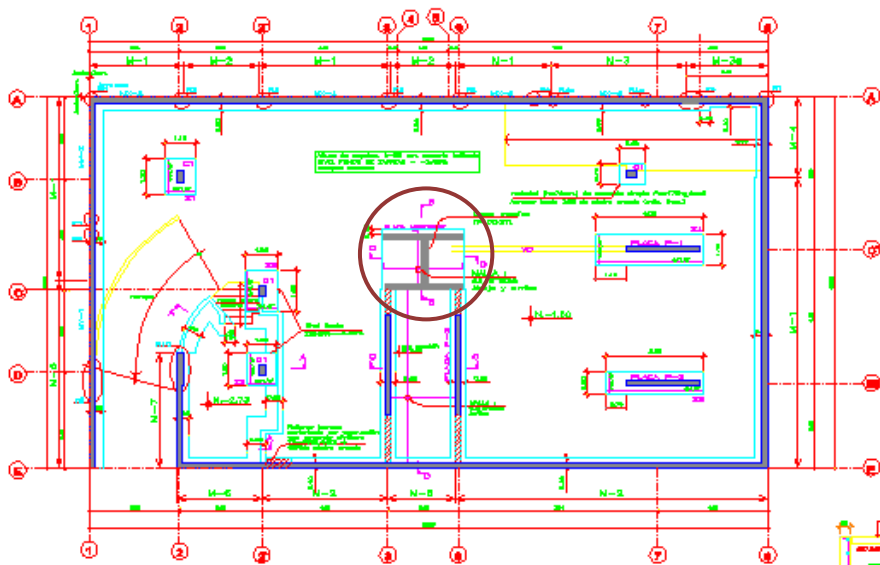


Figura 22. Vista en planta de la edificación multifamiliar estudiada

Fuente: I e I Ingenieros Consultores S.A.

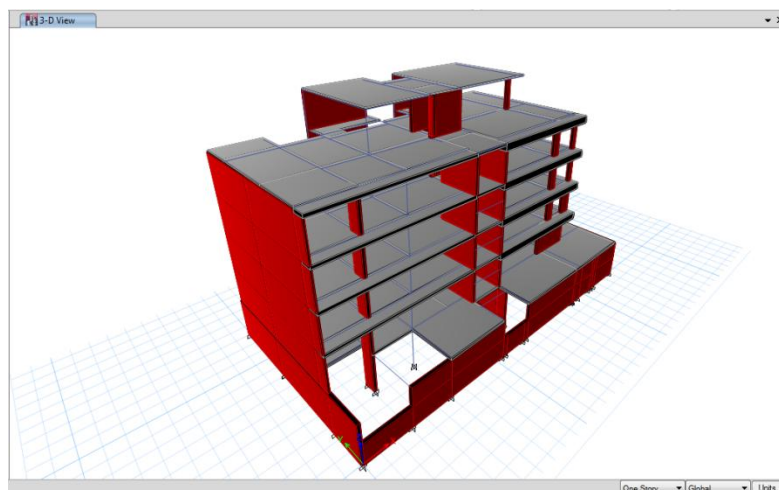


Figura 23. Vista 3D de la edificación multifamiliar estudiada

Fuente: Propia

Para la presente Tesis se analizará el muro de forma “H” como indica la figura 22.

ETAPAS DE ANÁLISIS DEL CONCRETO ARMADO

Cuadro N - 1 Características mecánicas del concreto armado.

Fuente: Propia

Material	Concreto confinado Acero a compresión Acero a tracción
----------	--

Sección	Interacción M-P Interacción M-V Respuesta cíclica vs monotómico
Elementos	Cambio de sección Discontinuidad
Estructuras	Discontinuidad Concentración de daño

En el cuadro N-1 se muestra las etapas de análisis, para ello nosotros ya conocemos los materiales, sección y las estructuras, pero obviamos el comportamiento de los elementos estructurales de formas particulares. Por tal motivo la presente Tesis se basará en el análisis de muros “H”, con el fin de conocer la contribución de rigidez.

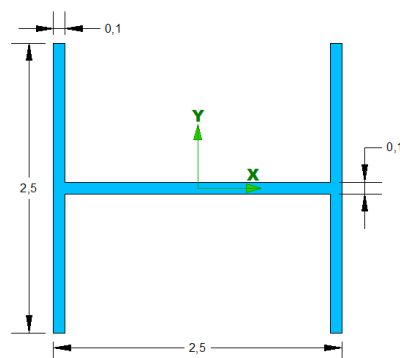


Figura 24. Dimensiones reales en planta del muro de concreto armado de forma “H”

Fuente: Propia

3.4. DISEÑO DEL MODELO

Los ensayos de simulación sísmica son técnicas experimentales de laboratorio que se utilizan para estudiar el comportamiento sísmico de elementos, ensamblajes, modelos o sistemas estructurales ya sean acero, concreto armado, mampostería, etc.

En principio, los ensayos se realizan en modelos con el objeto de evaluar el comportamiento total de una estructura, estos modelos pueden ser a escala natural o reducida, dependiendo no solo de su costo, sino también de la técnica de ensayo que se esté utilizando. El ensayo en mesa vibradora, que es la forma más directa para simular el comportamiento sísmico de estructuras, está limitado a modelos, no muy pesados, no muy grandes y no muy rígidos; es decir, que debido a las dificultades que existen para ensayar en mesa modelos a escala natural, se ensayan normalmente modelos a escala reducida. Como consecuencia de esto es necesario extrapolar los resultados que se obtienen al comportamiento de sus prototipos reales. Para el estudio de estructuras completas puede recurrirse a las técnicas de análisis de semejanza, por intermedio de las cuales es posible extrapolar las características y el comportamiento de sus prototipos reales a escala al ámbito del prototipo.

Se ha buscado diseñar una estructura simple con una escala cercana a la natural y a la que se le pueda aplicar un sismo fuertemente destructivo con el comportamiento disponible. Las acciones sísmicas a simular y la disponibilidad de equipo acondicionan la escala, no solo por la limitación geométrica de tamaño sino también por el peso total que implica el modelo y las características de velocidad, desplazamiento y aceleraciones máximas que es posible reproducir en la mesa vibradora.

El diseño estructural del modelo físico a ensayar se ha realizado como si se tratara de un prototipo. Solo se han tomado en consideración escalas geométricas, tratando que el modelo mantenga una relación de aspecto con al prototipo.

El análisis dimensional y semejanza en ingeniería, así como la experimentación es de suma importancia y hasta la fecha se puede decir que los resultados más importantes que existen son producto de análisis experimentales. Y a pesar de que cada vez los análisis por medio de computadoras toman más importancia, en muchos casos se requieren de experimentos para validar los resultados numéricos obtenidos.

El trabajo en laboratorio en ingeniería suele ser muy costoso y ocupar mucho tiempo, sobre todo cuando se quieren estudiar fenómenos de gran

tamaño o gran precisión. Es por ello que se requiere reducir al mínimo el número de experimentos requeridos.

Para poder lograr esto es necesario un conocimiento aproximado de los valores o medidas en juego, ya que los experimentos basados en diseños totalmente empíricos suelen ser más complejos de analizar, y por ende requieren más tiempo y son más costosos. Además que las pruebas a tamaño real muchas veces resulta prohibitiva por sus grandes dimensiones y costo.

Por todo lo anterior, los experimentos de laboratorio se realizan utilizando la técnica de análisis dimensional, cuyo objeto es disminuir el número de experimentos, disminuir los costos del mismo y simplificar el ensayo.

El análisis dimensional se basa en el concepto de homogeneidad dimensional, lo cual implica que todos los términos de una ecuación deben tener las mismas dimensiones.

Para el presente ensayo se ha reducido el modelo a una escala 1:8, se opta por considerar este valor por las limitaciones de peso, dimensiones y costo para ensayarlos en la mesa vibradora del CISMID.



Figura 25. Modelo a escala reducida - muro "H"

Fuente: Propia



Figura 26. Vista de la mesa vibradora

Fuente: Propia

3.5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo a ensayar consta de un entramado de muros en forma de “H”, el muro principal a estudiar es el que se ubica en la parte central (M1) y tiene dos muros transversales en los extremos (M2), tal como se observa en la siguiente imagen.

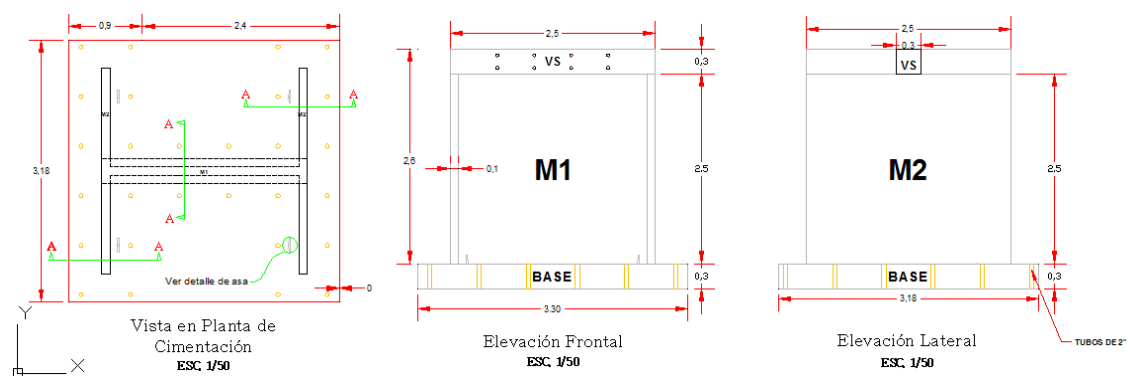


Figura 27: Modelo a escala natural
Fuente: Propia

Ambos muros son de 10 cm de espesor y refuerzo en una capa con malla, el concreto a usarse es de una resistencia a la compresión de 210 kg/cm².

3.6. ESCALADO DEL MURO

La escala que se ha considerado para el presente ensayo es de 1:8, ya que se tienen limitaciones de peso y dimensiones de la mesa vibradora

para considerar mayores dimensiones.

Cuadro N - 2 Dimensiones y propiedades escaladas de prototipo

Fuente: Propia

CARACTERISTICAS	DIMENSION	Fac. de Escala		Valores finales	
		PROTOTIPO	MODELO	PROTOTIPO	
Altura =	L	1/8	250.0 cm	31.25 cm	
Largo =	L	1/8	250.0 cm	31.25 cm	
Espesor =	L	1/8	10.0 cm	1.25 cm	
Resistencia del Concreto =	KL ⁻²	1	210 kg/cm ²	210 kg/cm ²	
Area de refuerzo/unidad de longitud =	L	1/8	1.6 cm ² /m	0.20 cm ² /m	
Peso Especifico =	KL ⁻³	1	2400 kg/m ³	2400 kg/m ³	
Peso =	K	1/512	4292.4 kg	8.4 kg	
Gravedad =	LT ⁻²	1	980 cm/s ²	980 cm/s ²	
Módulo de elasticidad =	KL ⁻²	1	217371 kg/cm ²	217371 kg/cm ²	

3.7. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

DOSIFICACIONES POR VOLUMEN EN MEZCLAS DE CONCRETO

Las mezclas de concreto se pueden dosificar dependiendo del tipo de material que deseemos obtener o las necesidades requeridas en obra y del tipo de elemento estructural que se vaya a construir.

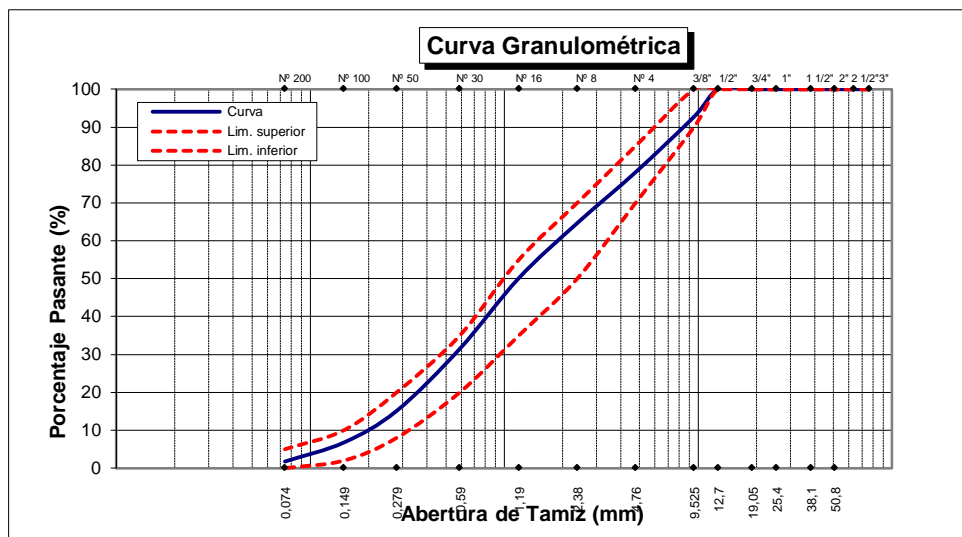
Lo ideal para realizar una buena mezcla de concreto es dosificar por peso, pero para esto es necesario de maquinaria de alta tecnología, por eso se recomienda comprar concreto pre mezclado en compañías

cementeras, las cuales realizan las mezclas con los requerimientos exigidos de forma más precisa.

Para la presente Tesis se realizó los ensayos de granulometría, propiedades y diseño, pero la elaboración de la mezcla se realizó de manera manual con la supervisión de un técnico especialista en elaboración de concreto en obra.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL AL UTILIZAR PARA
LA FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO**

TAMIZ		% Retenido	% Pasante	Especificaciones	
Denominación	mm				
3"	76.20				
2 1/2"	63.50				
2"	50.80	0.00	100.00		
1 1/2"	38.10	0.00	100.00		
1"	25.40	0.00	100.00		
3/4"	19.05	0.00	100.00		
1/2"	12.70	0.00	100.00	100	100
3/8"	9.53	7.28	92.72	90	100
N° 4	4.76	14.63	78.10	70	85
N° 8	2.38	13.43	64.66	50	70
N° 16	1.19	14.50	50.16	35	55
N° 30	0.590	18.68	31.49	20	35
N° 50	0.279	16.36	15.13	8	20
N° 100	0.149	8.37	6.76	2	10
N° 200	0.074	5.01	1.75	0	5



PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

HUMEDAD NATURAL (ASTM C-566)

Descripción	AGREGADO MORTERO	
	1	2
Nº Recipiente		
Peso Recipiente	48.25	49.18
Peso Recipiente + Muestra húmeda	142.60	155.46
Peso Recipiente + Muestra seca	137.82	149.71
Humedad (%)	5.34	5.72
Humedad Promedio (%)	5.53 %	

PESO UNITARIO (ASTM C-29)

Descripción	AGREGADO MORTERO		AGREGADO MORTERO	
	suelto		varillado	
Peso Molde	6505.00	6507.00	6507.00	6507.00
Volumen Molde	2104.91	2104.91	2104.91	2104.91
Peso Muestra + Molde	10111.00	10106.00	10422.00	10424.00
Peso Unitario	1.713	1.710	1.860	1.861
Peso Unitario PROMEDIO	1.711		1.860	

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO MORTERO (ASTM C-128)

Peso muestra húmeda (Sup. Seca)	375.50	365.50
Peso muestra seca	366.74	357.01
Peso muestra + matraz + H ₂ O	879.95	852.30
Nº de Fiola	1	2
Temperatura de H ₂ O en fiola °C	20.00	20.00
Peso matraz + H ₂ O	650.40	629.20
Gravedad Específica	2.573	2.567
Absorción	2.39	2.38
Gravedad Específica (valor promedio)	2.570 gr. / cm ³	
Absorción (valor promedio)	2.38 %	

**DISEÑO DE CONCRETO (MORTERO) UTILIZADO EN LA
FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO**

Tipo de Cemento : **YURA TIPO IP** P.e.= **2.87**

PROPIEDADES FÍSICAS	Agregado Mortero
Tamaño máximo nominal	3/8 "
Módulo de fineza	3.61
Peso específico	2.570
Peso unitario (suelto)	1.711
Peso unitario (varillado)	1.860
% Humedad natural	5.53
% Absorción	2.38

CONSIDERACIONES:

Slump	3" @ 4"
Agua	202.00
Relación agua-cemento	0.412

Materiales para 1 m ³ de Concreto	Volumen Absoluto (m ³)	Peso (kg.)
Agua	0.202	202.000
Cemento	0.171	490.291
Agregado Mortero	0.627	1611.666

Corrección por humedad y absorción	Volumen Aparente (m ³)	Peso (kg.)
Agua	0.151	151.316
Cemento	0.327	490.291
Agregado Mortero	0.994	1700.761

Dosificación	Cemento	Agregado Mortero	Agua
En peso	1.00	3.47	0.31
En volumen	1.00	3.04	0.46
Peso por tanda de 1 bolsa	42.50	147.43	13.12

FACTOR CEMENTO **11.54 Bolsas / m³**

El prototipo se elaboró de acuerdo al siguiente detalle.

- 1) Se ha preparado el encofrado de la base que sostendrá al muro, replanteando en esta misma el muro "H" y las respectivas perforaciones que posteriormente anclarán la base del muro a la mesa vibradora durante el ensayo.



Figura 27. Encofrado de madera para prototipo

Fuente: Propia

- 2) Preparación del encofrado metálico del muro, ha sido realizado en un taller de carpintería metálica fuera de las instalaciones del CISMID, luego se procedió a engrasar la superficie que estará en contacto con el concreto para conseguir un adecuado desencofrado.



Figura 28. Encofrado metálico del muro H a escala 1:8

Fuente: Propia

- 3) Preparación de la mezcla de concreto con una dosificación 1:3 para representar la resistencia requerida y con una consistencia lo suficiente como para que pueda ingresar dentro del encofrado evitando así las cangrejas.



Figura 29. Mezcla cemento – arena gruesa para fabricar el prototipo

Fuente: Propia



Figura 30. Mezcla de cemento – arena – agua para fabricar el prototipo

Fuente: Propia

- 4) Habilitación de la malla metálica que representará el refuerzo escalado, cuya disposición dentro del muro está de acuerdo al modelo a escala real.



Figura 31. Presentación de la malla de acero del muro H a escala real.

Fuente: Propia

5) Presentación del encofrado tanto de la base y el muro "H" para el posterior vaciado, esto se realizó nivelado el piso donde se apoyará la base con arena y luego colocando dados de madera en el que se apoya el encofrado metálico del muro.



Figura 32. Presentación de los encofrados para la elaboración prototipo

Fuente: Propia

6) Ubicación de la malla metálica que representa al acero de refuerzo tanto en la base como en el muro, esto se ha realizado manteniendo la malla centrada dentro del encofrado y dejando su longitud de anclaje en las uniones entre los muros M1 y M2.

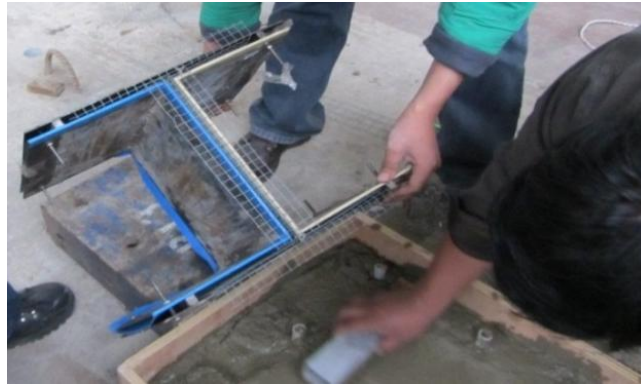


Figura 33. Ubicación de la malla de acero en el interior del encofrado

Fuente: Propia

7) Proceso de vaciado, se realizó con ayuda de una varilla para chusear y un vibrador de concreto para asegurar la distribución homogénea de la mezcla dentro del encofrado, para de esta manera evitar las cangrejas que pudieran generarse por el poco espacio libre que se tenía.



Figura 34. Vaciado del Muro H a escala 1:8

Fuente: Propia



Figura 35. Proceso de vaciado del muro H.

Fuente: Propia

8) Desencofrado, este proceso se realizó con mucho cuidado después de tres días.



Figura 36. Muro H desencofrado.

Fuente: Propia

9) Luego de un mes se procedió al pintado del muro con base blanca para de esta manera se pueda apreciar mejor las fisuras durante el ensayo.



Figura 37. Pintado del muro H.

Fuente: Propia

3.8. INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO Y CONSIDERACIONES ADOPTADAS.

Los muros fueron construidos sobre una losa de cimentación de concreto de 0,60m x 0,60m, que permite anclar al refuerzo vertical de los muros. Los 3 muros tienen en la parte superior una losa de concreto de 37mm de espesor la cual se fijó mediante clavos de acero anclados con resina epóxica a modo de conectores de corte, la función de la losa es transmitir la carga lateral y vertical hacia la placa.

Del modelo a escala real se han escalado las dimensiones 1 en 8.

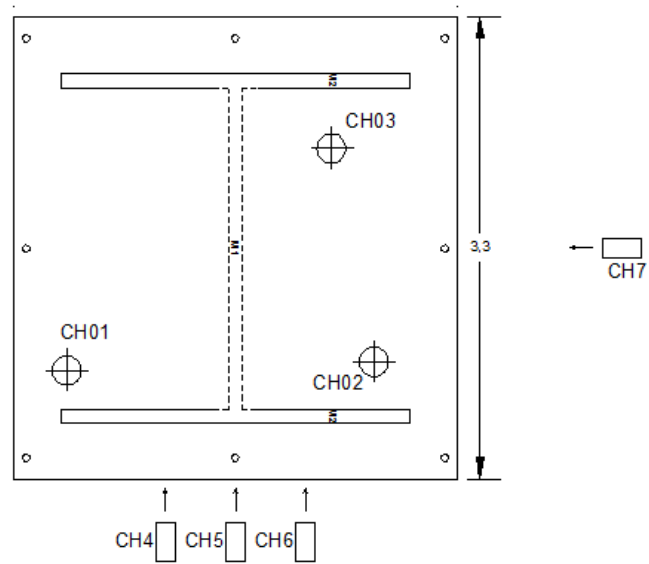


Figura 38. Posición de sensores en el prototipo

Fuente: Propia



Figura 39. Corte de la parte superior del muro H para posterior vaciado de la losa de concreto

Fuente: Propia



Figura 40. Losa superior de concreto en el prototipo

Fuente: Propia



Figura 41. Modelo de muro H a escala en la mesa vibratoria

Fuente: Propia

Cuadro N- 3 Cálculo de la masa a aplicar en el espécimen

Carga vertical	Cant.	U
carga en modelo real =	200	kn
escala =	8	
carga en modelo a escala =	25	kn
Masa a considerar en el modelo =	260	km (masa)

Cuadro N - 4 Masa aplicada en el espécimen

Masa aplicada en laboratorio		Cant.	U
Peso del concreto =	$(0.30\text{m} \times 0.30\text{m} \times 0.037\text{m} \times 2400\text{Kg/m}^3) =$	7.99	kg
Peso de PL de conexión =		9.00	kg
Peso de 8 PL metálicas =	$(31 \times 8\text{kg}) =$	248.00	kg
	Masa total =	265.00	kg

Para considerar la masa se han usado las planchas mostradas en la figura que tienen un peso de 31kg.



Figura 42. Modelo a escala real y cargas

Fuente: Propia

Presentación del muro.- Se procede a la ubicación del peso adicional sobre el muro y la ubicación de esta sobre la mesa vibradora.



Figura 43. Ubicación del peso adicional.

Fuente: Propia

Instalación de los laser y acelerógrafos.- Esto fue realizado por el personal técnico del SIS MID, quienes instalaron 4 laser y 3 acelerógrafos los que a su vez fueron calibrados.



Figura 44. Instalación de sensores en el prototipo

Fuente: Propia

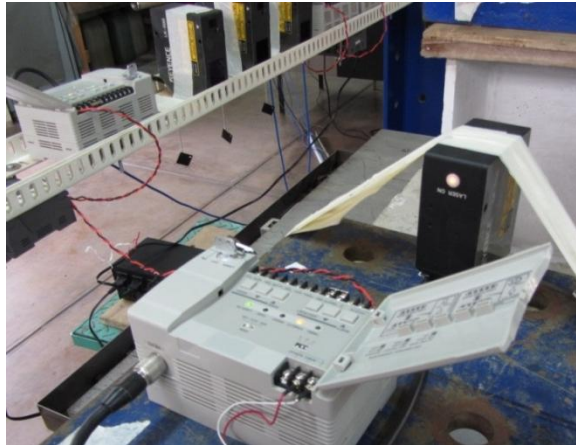


Figura 45. Sensor laser en el prototipo.

Fuente: Propia



Figura 46. Vista de los sensores laser en el prototipo.

Fuente: Propia

Equipo necesario para realizar el ensayo.- a continuación se muestra todo el equipo que se requiere para enviar las aceleraciones a la mesa vibradora y almacenar toda la información de los sensores ubicados en el muro H.



Figura 47. Equipo necesario para procesar la información recepcionada.

Fuente: Propia

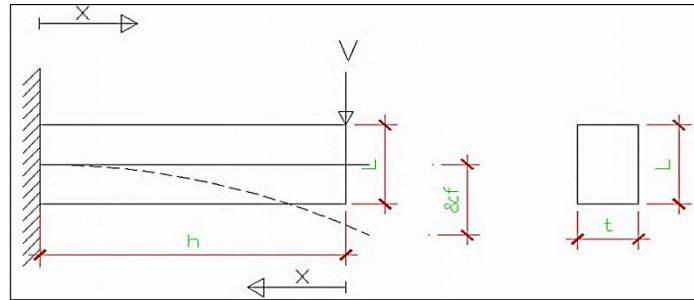
3.9. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA CONTRIBUCIÓN DE RIGIDEZ DE MUROS “H”.

Para el desarrollo de análisis de la contribución de rigidez de los muros “H”, se utilizará los siguientes métodos.

3.9.1. MÉTODO MATEMÁTICO

Este método consiste en estimar la rigidez total mediante fórmulas matemáticas de corte y flexión las cuales fueron calculadas, la rigidez que se obtenga nos ayudará a tener una estimación de la respuesta al problema planteado. Este valor se tomará como valor inicial.

a. Cálculo de deformación por flexión.



$$\delta_f = \gamma$$

$$EI y'' = M = -FX$$

$$EI y' = -\frac{FX^2}{2} + C_1$$

$$EI y = -\frac{FX^3}{6} + C_1X + C_2$$

$$X = h$$

$$EI y = 0 = -\frac{Fh^3}{6} + C_1h + C_2 \dots\dots\dots (\alpha)$$

$$EI y' = 0 = -\frac{Fh^2}{2} + C_1 \dots\dots\dots (\beta)$$

$$C_1 = \frac{Fh^2}{2}$$

(β) en (α)

$$EI y = 0 = -\frac{Fh^3}{6} + \frac{3.Fh^2}{3.2}xh + C_2$$

$$C_2 = \frac{2}{6} Fh^3 = \frac{1}{3} Fh^3$$

Luego:

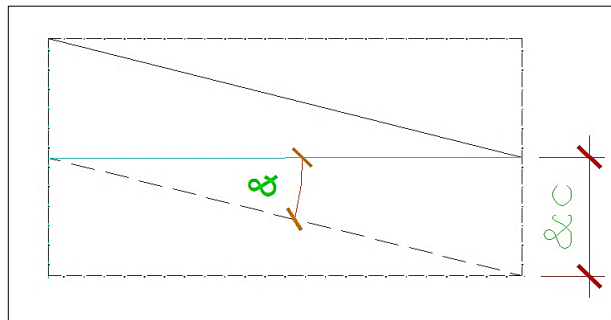
$$X = 0$$

$$EI y = EI\delta_f = -0 + 0 + \frac{Fh^3}{3}$$

$$EI\delta_f = \frac{Fh^3}{3}$$

$$\delta_f = \frac{Fh^3}{3EI}$$

b. Cálculo de deformación por corte.



$$\gamma = \theta = -\frac{F}{GA}$$

$$GA_c y = -FX + C_3$$

$$GA_c y' = -V$$

$$X = h$$

$$GA_c y = -Fh + C_3 = 0$$

$$C_3 = Fh$$

$$Gy = -FX + Fh$$

$$X = 0$$

$$GA_c y = 0 + Fh$$

$$GA_c \delta_c = Vh$$

Pero:

$$A_c = \frac{A}{\phi} = \frac{A}{1.2}$$

$$GA_c \delta_c = 1.2 Fh$$

$$\delta_c = \frac{1.2 Fh}{GA}$$

c. Determinación de la rigidez de un muro

La rigidez de un muro se expresa como la relación que existe entre la fuerza aplicada y la deformación generada por esta fuerza.

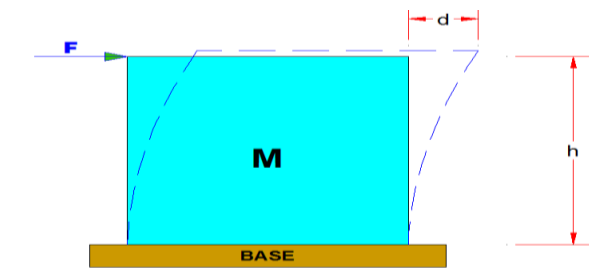


Figura 48. Deformación generada por una fuerza "F".

Fuente: Propia

El desplazamiento total del muro está compuesto por la deformación por flexión y la deformación por corte, es decir:

$$d := d_f + d_s$$

donde:

$$- d_f := \frac{F}{k_f} \quad \text{deformación por flexión}$$

$$- d_s := \frac{F}{k_s} \quad \text{deformación por corte}$$

k_f y k_s son la rigidez por flexión y por corte respectivamente.

Si denominamos a K como la rigidez total equivalente del muro, después de reemplazar en la expresión anterior, se tiene.

$$\frac{F}{K} = \frac{F}{K_f} + \frac{F}{K_s}$$

Rigidez por flexión:

$$\underline{d_f} = \frac{F \cdot h^3}{3 \cdot E_m \cdot I} \quad , \quad l = \frac{t \cdot l^3}{12}$$

$$K_f := \frac{F}{d_f} \quad \longrightarrow \quad K_f := E_m \cdot \frac{t}{4 \left(\frac{h}{l}\right)^3}$$

Rigidez por corte:

$$K_s := E_m \cdot \frac{t}{3 \cdot \left(\frac{h}{l}\right)}$$

Dónde: $G = \text{Módulo de corte} = 0.4 \times E_c$

$A = \text{Área} = l \times t$

Por lo tanto, la rigidez lateral de muro es:

$$K := \frac{E \cdot t}{4 \left(\frac{h}{l} \right)^3 + 3 \left(\frac{h}{l} \right)}$$

c.1 Se procederá al cálculo de la rigidez de forma tradicional:

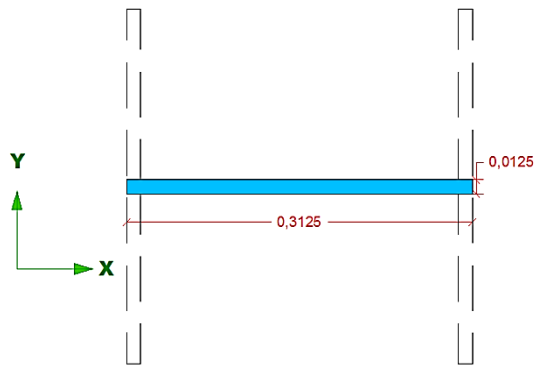


Figura 49. Muro concreto

Fuente: Propia

Cálculo de inercia

$$I_x = \sum \bar{I}_{x'} + A \cdot d_y^2$$

$$I_y = \sum \bar{I}_{y'} + A \cdot d_x^2$$

Bloque A	$I_{xA} = 2,03451E-18$	$I_{yA} = 3,51766E-06$
Bloque B	$I_{xB} = 4,67936E-17$	$I_{yB} = 2,47538E-05$
Bloque C	$I_{xC} = 2,03451E-18$	$I_{yC} = 3,51766E-06$
	$I_{xTOTAL} = 5,08626E-08$	$I_{TOTAL} = 3,17891E-05$

Datos:

$E_c =$	2 173 706,51	tn/m ²
$G =$	905 711,047	tn/m ²

$$A = 0,00390625 \text{ m}^2$$

$$F = 10 \text{ tn}$$

$$d = d_f + d_s$$

$$d = 0,920087412 + 0,001059941$$

$$d = 92,00874125 + 0,10599407$$

$$d = 92,11473532 \text{ cm}$$

$$d = 921,1473532 \text{ mm}$$

$$K = F/d$$

$$K = \frac{K_f \times K_s}{(K_f + K_s)}$$

$$K_f = \frac{10,868532 \text{ tn/m}}{9}$$

$$k_s = 434,49007 \text{ tn/m}$$

$$K = 10,8560264 \text{ tn/m}$$

c.2 Ahora procedemos a calcular la rigidez del muro "H", pero como se conoce el aporte de rigidez de las alas, se tomará todo el ala.

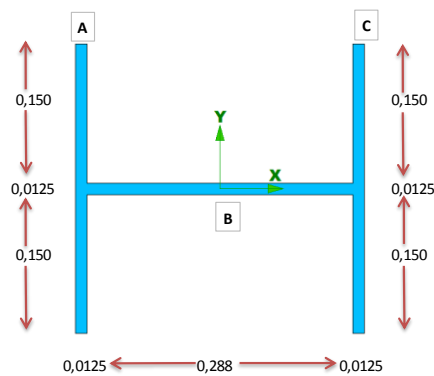


Figura 50. Dimensiones del modelo a escala reducida 1:8

Fuente: (Propia)

➤ Con las dimensiones obtenidas del muro a escala 1:8
 procederemos a calcular la inercia:

$$I_x = \sum \bar{I}_{x'} + A.d_y^2$$

$$I_y = \sum \bar{I}_{y'} + A.d_x^2$$

Bloque A	$I_{xA} =$	3,17891E-14	$I_{yA} =$	8,82347E-05
Bloque B	$I_{xB} =$	4,6875E-17	$I_{yB} =$	2,48832E-05
Bloque C	$I_{xC} =$	3,17891E-14	$I_{yC} =$	8,82347E-05
	$I_{xTOTAL} =$	6,36252E-05	$I_{TOTAL} =$	0,000201353

Desplazamiento total del muro X-X

$$I_{xx} = 0,000064 \text{ m}^4$$

$$d = d_f + d_s$$

$$d = 0,000735528 + 0,000373219$$

$$d = 0,073552764 + 0,037321856$$

$$d = 0,11087462 \text{ cm}$$

$$d = 1,108746196 \text{ mm}$$

$$K = F/d$$

$$K_f = 13\,595,6821 \text{ tn/m}$$

$$K_s = 26\,793,9518 \text{ tn/m}$$

$$K = \frac{K_f \times K_s}{(K_f + K_s)}$$

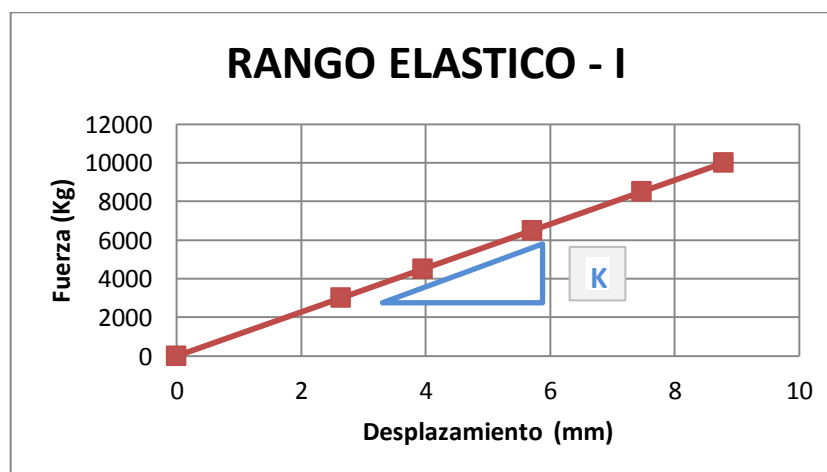
$$K = 9\,019,19667 \text{ tn/m}$$

Se procederá a realizar la gráfica con los datos obtenidos a diferentes fuerzas y su respectivo desplazamiento para verificar el comportamiento lineal.

$F_{\text{máx}}(\text{kg})$	$d_{\text{máx}}(\text{mm})$
0,00	0,00
3 000,00	2,64
4 500,00	3,95
6 500,00	5,71
8 500,00	7,47
10 000,00	8,79

Cuadro N-5: Datos obtenidos aplicando el método matemático.

Fuente: Propio



Gráfica de los datos obtenidos en el método matemático

Fuente: Propia

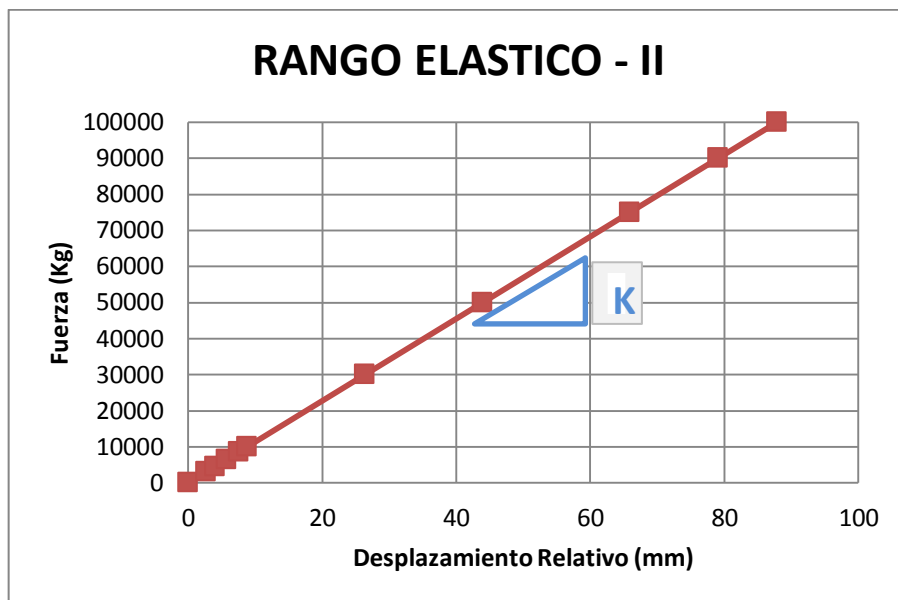
De los cálculos realizados se observa que la rigidez se mantiene constante, haciendo suponer que aún seguimos en el rango elástico y que el muro “H” no sufrirá daños al momento de someterlo a cargas.

Procederemos a incrementar las cargas.

$F_{\text{máx}}(\text{kg})$	$d_{\text{máx}}(\text{mm})$
0,00	0,00
3 000,00	2,64
4 500,00	3,95
6 500,00	5,71
8 500,00	7,47
10 000,00	8,79
30 000,00	26,36
50 000,00	43,94
75000,00	65,91
90 000,00	79,09
100 000,00	87,88

Cuadro N-6: Datos obtenidos aplicando el método matemático.

Fuente: Propia



Gráfica de los datos obtenidos en el método matemático

Fuente: Propia

En la gráfica se observa la linealidad producida por una rigidez constante, pero el objetivo principal es conocer el aporte de rigidez de las alas del muro "H". Hasta el momento, con el método matemático no podemos estimar la fuerza necesaria para que llegue a su límite elástico, para que su rigidez empiece a degradar, llegando así a su punto de colapso de nuestro muro "H". Por ello pasaremos a realizar el segundo método que lo denominaremos método experimental.

3.9.2. MÉTODO EXPERIMENTAL

Se ensayó la estructura con 5 movimientos de diferente amplitud derivados del acelerograma registrado durante el terremoto de Lima en 1974, reducida a una escala de 1/8.

Las características de la señal sísmica son:

Ubicación:

Región: Perú.

Latitud: -12 2600,00

Longitud: -77 7900,00

Profundidad: 9,00 km.

Ms: 7,6

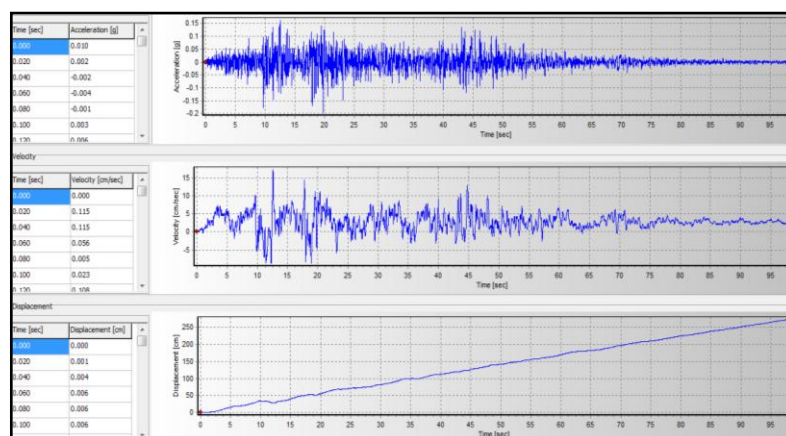


Figura 60. Señal sísmica del sismo ocurrido el 03 de Octubre de 1974.

Fuente: Propia

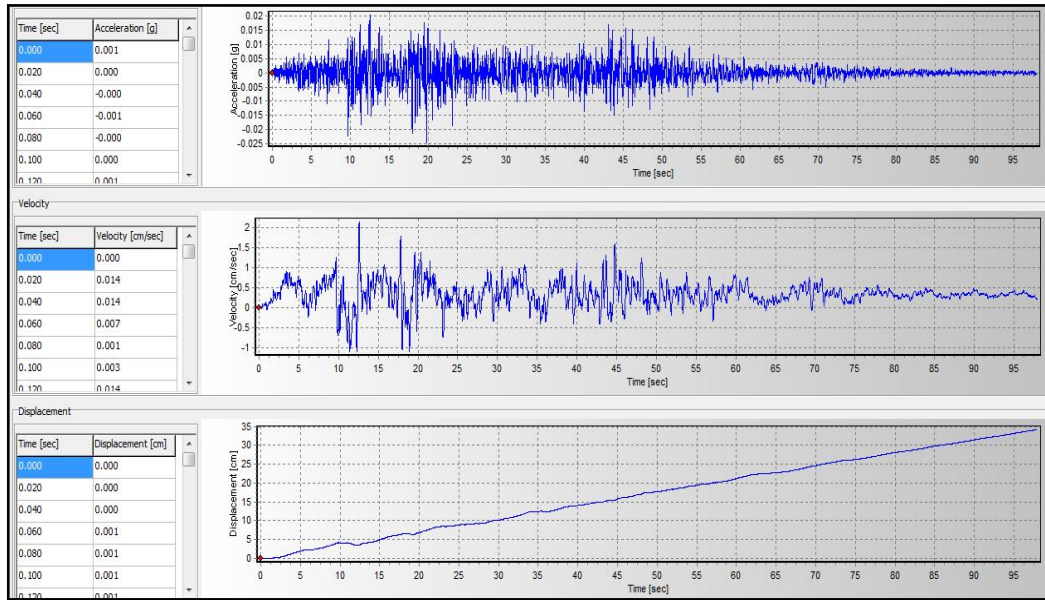


Figura 61. Señal sísmica del sismo ocurrido el 03 de octubre de 1974 escalado 1/8.

Fuente: Propia

Ensayo #01, archivo: TEST0038.

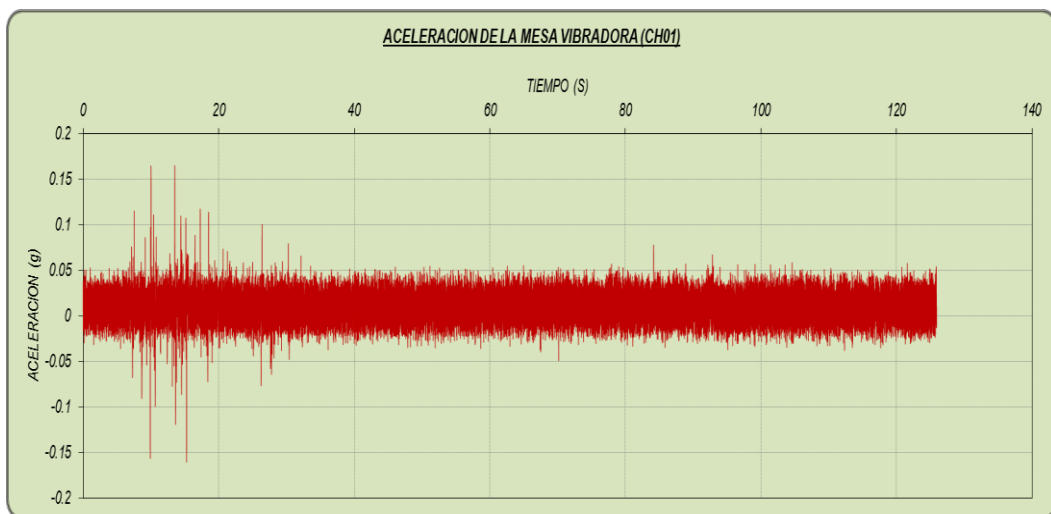


Figura 62. Registro del sensor CH01 localizado en el prototipo.

Fuente: Propia



Figura 48. Registro del sensor CH05.

Fuente: Propia

Ensayo #02, archivo: TEST0043.

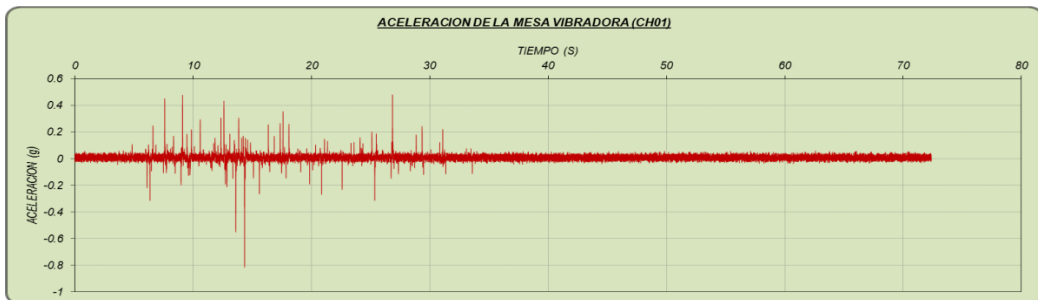


Figura 49. Registro del sensor CH01.

Fuente: (Propia)



Figura 50. Registro del sensor CH05.

Fuente: Propia

Ensayo #03, archivo: TEST0049.

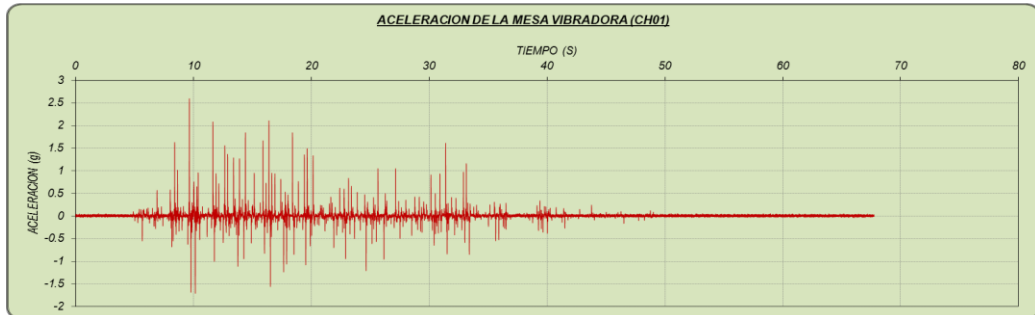


Figura 51. Registro del sensor CH01.

Fuente: Propia

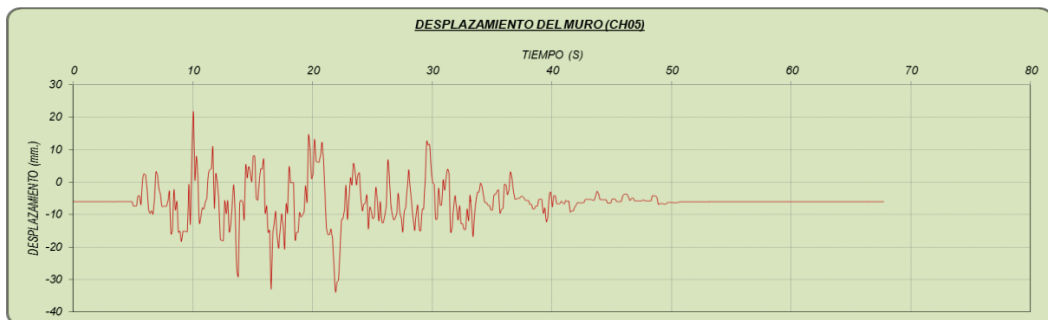


Figura 52. Registro del sensor CH05.

Fuente: Propia

Ensayo #04, archivo: TEST0055.

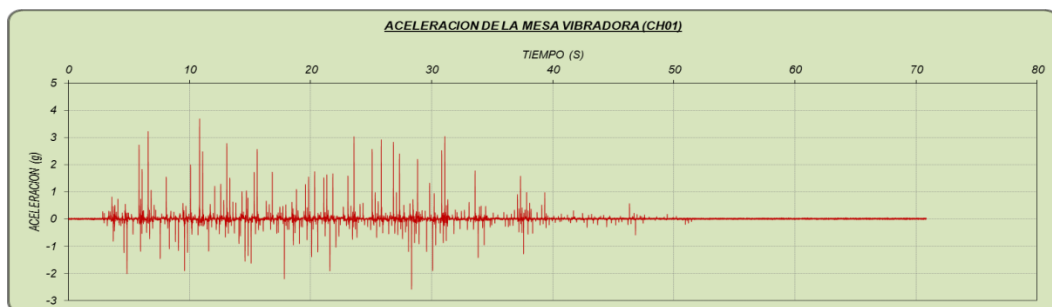


Figura 53. Registro del sensor CH01.

Fuente: Propia



Figura 54. Registro del sensor CH05.

Fuente: Propia

Ensayo #05, archivo: TEST0059.

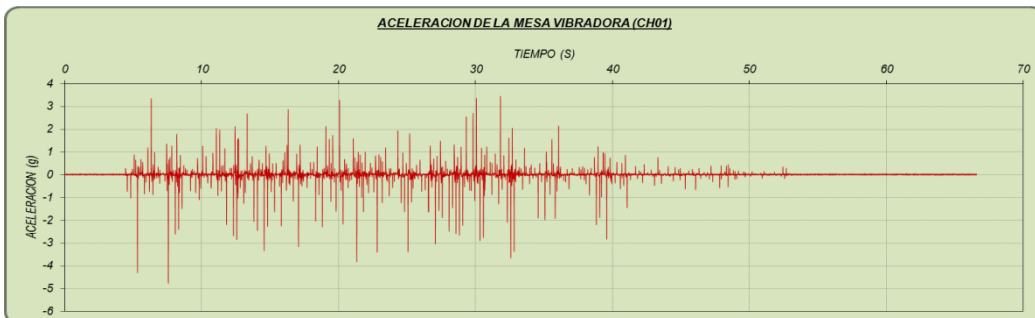


Figura 55. Registro del sensor CH01.

Fuente: Propia



Figura 56. Registro del sensor CH05.

Fuente: Propia

La disposición del muro en forma de H, es sumamente rígida, a continuación se muestra las etapas de manera secuencial de la respuesta del muro.

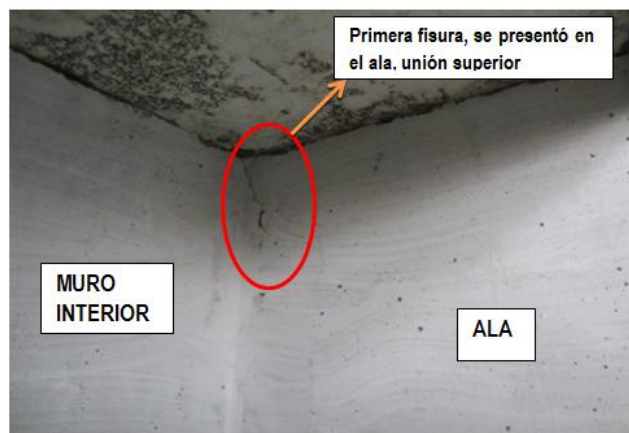


Figura 57. Primera fisura en la unión superior durante el sismo de 1974. escalado 1:8

Fuente: Propia

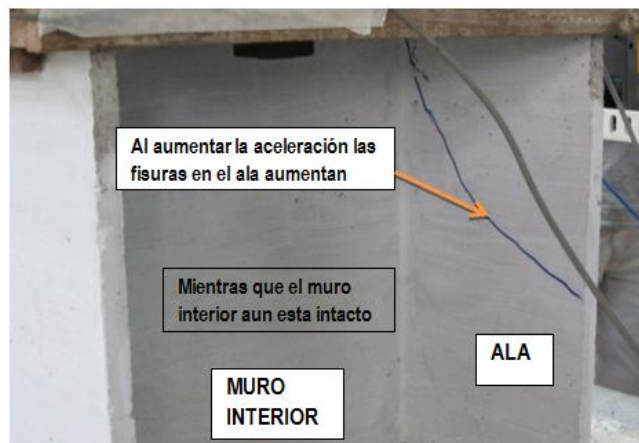


Figura 58. Prolongación de la fisura en el ala durante el sismo de 1974.

Fuente: Propia

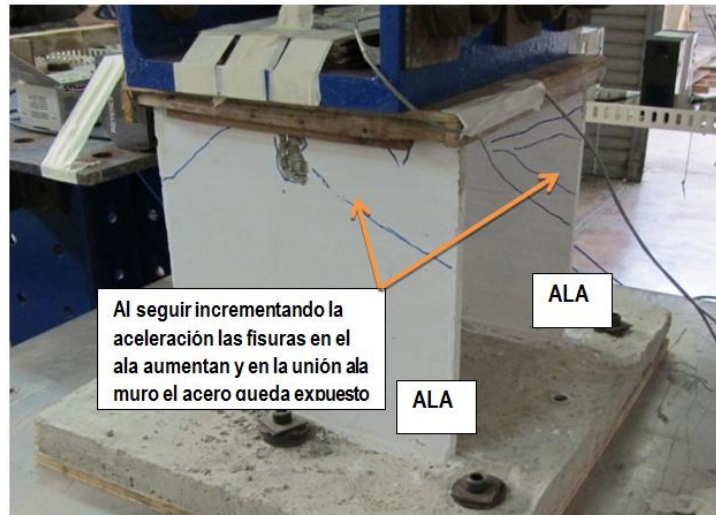


Figura 59. Desprendimiento del concreto en la unión del muro

Fuente: Propia



Figura 60. Refuerzo expuesto del ala por el sismo inducido

Fuente: (Propia)

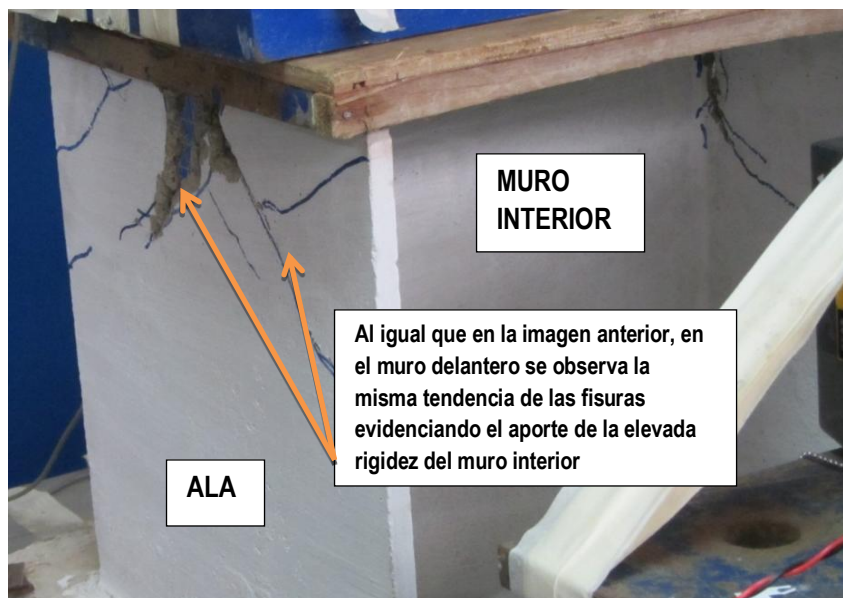


Figura 61. Grietas considerables del ala durante el sismo de 1974.

Fuente: Propia

Al realizar el procesamiento de los datos registrados por los sensores, se observó que se tiene lo siguiente:

- 1) Datos registrados por el sismógrafo ubicado en la mesa vibradora (CH01).
- 2) Datos registrados por los dos sismógrafos ubicados en la parte superior del prototipo (CH02, CH03).
- 3) Datos registrados por los 3 laser apuntando al muro (ala) delantero, ubicados al extremo izquierdo, centro y extremo derecho del ala

(CH04, CH05, CH06 respectivamente).

- 4) Datos registrados por el láser apuntando al muro interior ubicado lateralmente (CH07).

A continuación se muestra la ubicación de los sensores alrededor del muro, vistas en planta y elevación.

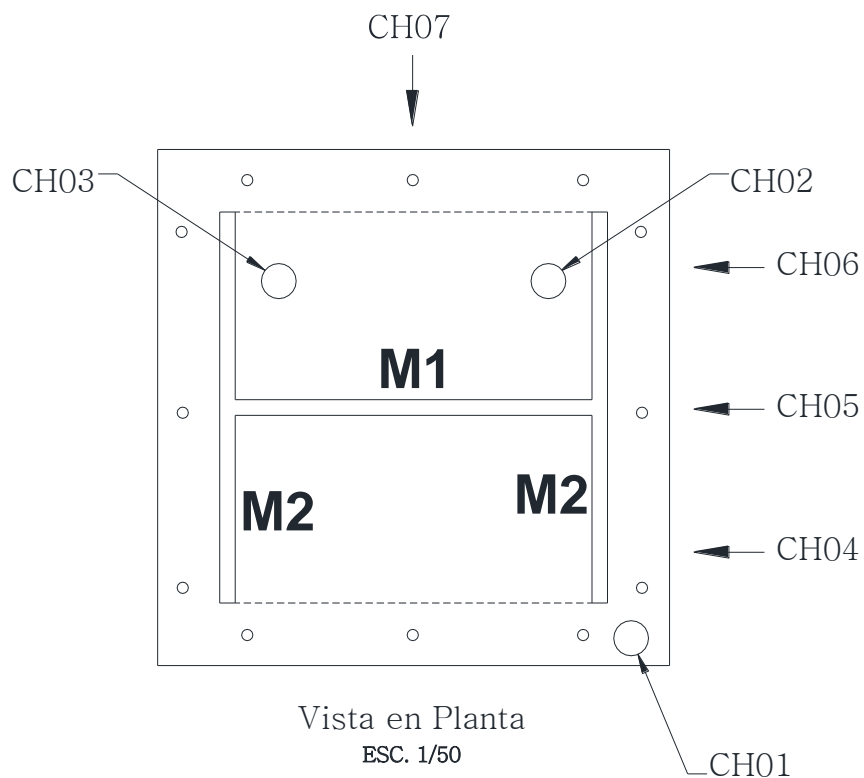


Figura 64: Ubicación de los sensores en el muro para medir desplazamiento.

Fuente: Propia

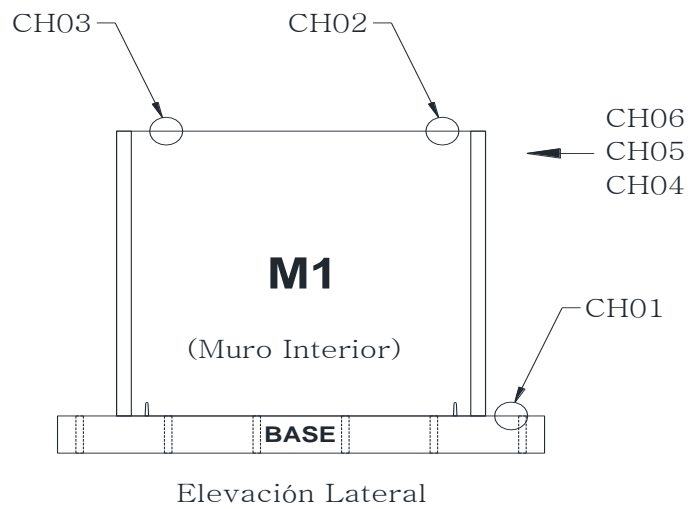


Figura 65: Ubicación de los sensores en el muro para medir desplazamiento.

Fuente: Propia

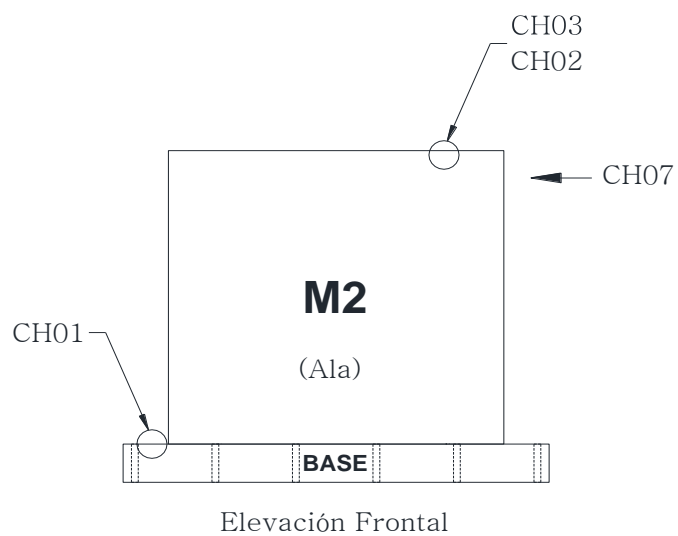


Figura 62. Ubicación de los sensores en el muro para medir desplazamiento.

Fuente: Propia

De acuerdo a los datos registrados por los sensores CH04, CH05 y CH06 nos entregan los desplazamientos en “mm”, pero estos incluyen la deformación del muro y el desplazamiento de la mesa vibradora, luego para realizar un análisis del comportamiento del muro se requiere solo la deformación del muro, lo cual no se tiene.

Se ha intentado calcular los desplazamientos de la mesa a partir de los datos registrados por el sensor (CH01) el cual nos da las aceleraciones en “g” de la mesa, integrando esos datos dos veces, estos resultado no son coherentes ya que muestran desplazamientos mayores al entregado por los sensores CH04, CH05 y CH06, tal como se muestra en la siguiente figura elaborado con ayuda del software Seismosignal para el archivo del registro TEST0038.

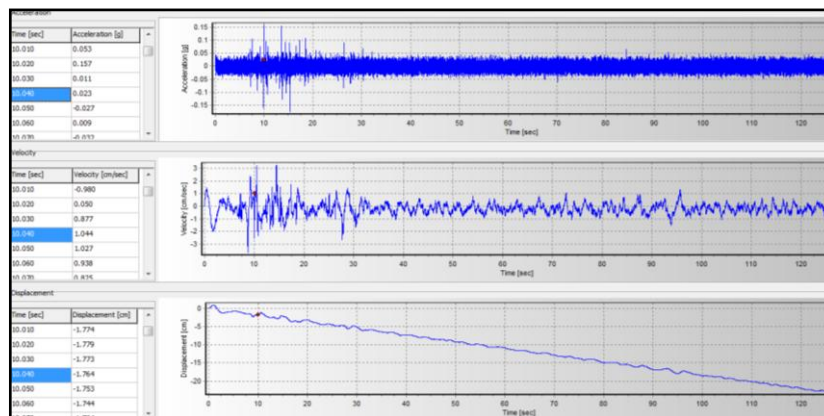


Figura 63. Procesamiento de los datos registrados por el sensor CH01.

Fuente: Propia

En el primer ensayo se observó el procesamiento de los resultados, pero la finalidad de la Tesis es obtener el aporte de rigidez del muro “H”, para eso se debió considerar el desplazamiento en la parte inferior colocando un sensor; al momento de analizar los resultados nos percatamos del error. Para este segundo ensayo se presenta los ciclos de carga y su degradación de rigidez.

NOTA:

Los datos para la realización de diagramas que nos proporciona la respuesta del muro en la mesa vibradora se van a colocar solo una cantidad determinada en este capítulo; el contenido completo se tendrá que revisarlo en el anexo.

VIBRADORA

CH No.	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH07	CH08
Range	5000	5000	5000	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000
Offset	0,0039	0,0039	0,0039	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000
Offset	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Unit	G	G	G	mm	mm	mm	mm
0	0,0111	0,0176	-0,0086	-22,2625	-17,9813	-19,4250	-17,5469
0,01	0,0111	0,0176	-0,0122	-22,2625	-17,9906	-19,4406	-17,5531
0,02	0,0117	0,0195	-0,0086	-22,2438	-17,9781	-19,4219	-17,5344

1,01	0,0136	0,0213	-0,0141	-22,2688	-17,9781	-19,4281	-17,5313
1,02	0,0179	0,0213	-0,0079	-22,2594	-17,9750	-19,4188	-17,5219
1,03	0,0154	0,0225	-0,0055	-22,2656	-17,9750	-19,4188	-17,5250
1,04	0,0185	0,0195	-0,0104	-22,2688	-17,9781	-19,4188	-17,5344
1,05	0,0166	0,0189	-0,0171	-22,2656	-17,9781	-19,4250	-17,5406
1,06	0,0173	0,0256	-0,0098	-22,2563	-17,9781	-19,4219	-17,5250
1,07	0,0136	0,0152	-0,0055	-22,2594	-17,9781	-19,4281	-17,5281
1,08	0,0154	0,0189	-0,0079	-22,2656	-17,9813	-19,4281	-17,5281
1,09	0,0173	0,0183	-0,0073	-22,2688	-17,9781	-19,4188	-17,5250
1,1	0,0129	0,0310	-0,0208	-22,2563	-17,9719	-19,4219	-17,5219
1,11	0,0160	0,0213	-0,0110	-22,2625	-17,9688	-19,4375	-17,5344
1,12	0,0154	0,0146	-0,0104	-22,2656	-17,9781	-19,4313	-17,5375
1,13	0,0173	0,0219	-0,0092	-22,2594	-17,9719	-19,4156	-17,5219
1,14	0,0166	0,0219	-0,0086	-22,2594	-17,9844	-19,4281	-17,5375
1,15	0,0086	0,0377	-0,0238	-22,2563	-17,9719	-19,4188	-17,5156
1,16	0,0197	0,0201	-0,0098	-22,2656	-17,9781	-19,4188	-17,5250
1,17	0,0216	0,0231	-0,0110	-22,2625	-17,9688	-19,4063	-17,5313
1,18	0,0173	0,0207	-0,0079	-22,2625	-17,9781	-19,4219	-17,5281
1,19	0,0179	0,0231	-0,0073	-22,2656	-17,9938	-19,4281	-17,5344
1,2	0,0142	0,0322	-0,0104	-22,2625	-17,9781	-19,4156	-17,5250
1,21	0,0166	0,0189	-0,0061	-22,2625	-17,9813	-19,4156	-17,5219
1,22	0,0185	0,0152	-0,0104	-22,2594	-17,9844	-19,4188	-17,5344
1,23	0,0136	0,0195	-0,0098	-22,2656	-17,9750	-19,4219	-17,5313
1,24	0,0173	0,0158	-0,0092	-22,2750	-17,9844	-19,4250	-17,5313
1,25	0,0129	0,0164	-0,0012	-22,2719	-17,9844	-19,4219	-17,5469
1,26	0,0154	0,0176	-0,0073	-22,2688	-17,9719	-19,4281	-17,5219
1,27	0,0160	0,0176	-0,0092	-22,2688	-17,9813	-19,4188	-17,5281
1,28	0,0191	0,0213	-0,0086	-22,2688	-17,9813	-19,4156	-17,5313
1,29	0,0129	0,0170	-0,0049	-22,2813	-17,9781	-19,4219	-17,5375
1,3	0,0166	0,0085	-0,0043	-22,2719	-17,9813	-19,4219	-17,5313
1,31	0,0173	0,0201	-0,0098	-22,2688	-17,9813	-19,4219	-17,5250
1,32	0,0129	0,0170	-0,0061	-22,2656	-17,9750	-19,4250	-17,5406
1,33	0,0179	0,0207	-0,0067	-22,2469	-17,9625	-19,4094	-17,5219
1,34	0,0154	0,0195	-0,0067	-22,2625	-17,9719	-19,4250	-17,5250
1,35	0,0203	0,0134	0,0037	-22,2563	-17,9750	-19,4125	-17,5250
1,36	0,0154	0,0189	-0,0098	-22,2656	-17,9781	-19,4219	-17,5438
1,37	0,0154	0,0189	-0,0049	-22,2500	-17,9656	-19,4063	-17,5344
1,38	0,0179	0,0152	-0,0086	-22,2656	-17,9781	-19,4188	-17,5313
1,39	0,0179	0,0201	-0,0079	-22,2500	-17,9719	-19,4094	-17,5219
1,4	0,0136	0,0097	-0,0043	-22,2688	-17,9813	-19,4125	-17,5344

1,41	0,0136	0,0176	-0,0098	-22,2688	-17,9844	-19,4281	-17,5344
1,42	0,0136	0,0158	-0,0098	-22,2656	-17,9844	-19,4281	-17,5313
1,43	0,0173	0,0170	-0,0104	-22,2594	-17,9906	-19,4188	-17,5469
1,44	0,0086	0,0158	-0,0110	-22,2625	-17,9844	-19,4250	-17,5500
1,45	0,0209	0,0110	-0,0049	-22,2563	-17,9719	-19,4156	-17,5250
1,46	0,0142	0,0164	-0,0104	-22,2719	-17,9781	-19,4188	-17,5406
1,47	0,0117	0,0195	-0,0116	-22,2750	-17,9688	-19,4188	-17,5375
1,48	0,0191	0,0231	-0,0067	-22,2500	-17,9750	-19,4094	-17,5344
1,49	0,0080	0,0176	-0,0055	-22,2844	-17,9875	-19,4250	-17,5406
1,5	0,0142	0,0176	-0,0073	-22,2563	-17,9813	-19,4125	-17,5281
1,51	0,0209	0,0219	-0,0049	-22,2563	-17,9719	-19,4125	-17,5344
1,52	0,0129	0,0219	-0,0122	-22,2531	-17,9813	-19,4188	-17,5313
1,53	0,0173	0,0183	-0,0073	-22,2563	-17,9750	-19,4219	-17,5406
1,54	0,0173	0,0134	0,0037	-22,2500	-17,9688	-19,4125	-17,5281
1,55	0,0185	0,0176	-0,0104	-22,2500	-17,9688	-19,4156	-17,5344
1,56	0,0160	0,0183	-0,0073	-22,2563	-17,9750	-19,4188	-17,5313
1,57	0,0129	0,0170	-0,0104	-22,2594	-17,9781	-19,4313	-17,5406
1,58	0,0154	0,0170	-0,0098	-22,2625	-17,9781	-19,4219	-17,5438
1,59	0,0173	-0,0006	0,0055	-22,2500	-17,9656	-19,4125	-17,5375
1,6	0,0142	0,0237	-0,0086	-22,2469	-17,9750	-19,4156	-17,5375
1,61	0,0166	0,0176	-0,0122	-22,2563	-17,9688	-19,4125	-17,5438
1,62	0,0136	0,0164	-0,0122	-22,2625	-17,9781	-19,4188	-17,5406
1,63	0,0185	0,0237	-0,0061	-22,2375	-17,9688	-19,3969	-17,5281
1,64	0,0191	0,0097	-0,0006	-22,2406	-17,9688	-19,4125	-17,5281
1,65	0,0154	0,0170	-0,0086	-22,2500	-17,9750	-19,4188	-17,5313
1,66	0,0142	0,0164	-0,0128	-22,2500	-17,9875	-19,4125	-17,5375
1,67	0,0142	0,0158	-0,0116	-22,2656	-17,9844	-19,4219	-17,5438
1,68	0,0173	0,0164	-0,0073	-22,2625	-17,9844	-19,4125	-17,5375
1,69	0,0142	0,0183	-0,0134	-22,2563	-17,9781	-19,4156	-17,5406
1,7	0,0173	0,0176	-0,0159	-22,2719	-17,9844	-19,4250	-17,5375
1,71	0,0129	0,0170	-0,0110	-22,2563	-17,9781	-19,4094	-17,5344
1,72	0,0136	0,0213	-0,0073	-22,2656	-17,9688	-19,4156	-17,5313
1,73	0,0173	0,0231	-0,0098	-22,2563	-17,9625	-19,4000	-17,5188
1,74	0,0123	0,0268	-0,0208	-22,2594	-17,9781	-19,4094	-17,5281
1,75	0,0216	0,0237	-0,0079	-22,2594	-17,9688	-19,4094	-17,5250
1,76	0,0166	0,0231	-0,0067	-22,2594	-17,9781	-19,4125	-17,5281
1,77	0,0179	0,0213	-0,0055	-22,2688	-17,9844	-19,4250	-17,5313
1,78	0,0142	0,0195	-0,0092	-22,2594	-17,9750	-19,4188	-17,5313
1,79	0,0105	0,0274	-0,0147	-22,2625	-17,9750	-19,4188	-17,5313
1,8	0,0154	0,0262	-0,0079	-22,2438	-17,9625	-19,4125	-17,5188

1,81	0,0173	0,0207	-0,0049	-22,2469	-17,9719	-19,4125	-17,5219
1,82	0,0154	0,0231	-0,0079	-22,2438	-17,9719	-19,4219	-17,5313
1,83	0,0129	0,0195	-0,0134	-22,2563	-17,9781	-19,4125	-17,5313
1,84	0,0117	0,0249	-0,0098	-22,2469	-17,9688	-19,4156	-17,5281
1,85	0,0117	0,0176	-0,0128	-22,2500	-17,9719	-19,4188	-17,5313
1,86	0,0123	0,0176	-0,0079	-22,2531	-17,9750	-19,4219	-17,5438
1,87	0,0160	0,0164	-0,0073	-22,2531	-17,9813	-19,4281	-17,5594
1,88	0,0148	0,0219	-0,0037	-22,2500	-17,9688	-19,4125	-17,5344
1,89	0,0154	0,0237	-0,0116	-22,2500	-17,9781	-19,4063	-17,5375
1,9	0,0154	0,0201	-0,0116	-22,2594	-17,9719	-19,4281	-17,5375
1,91	0,0136	0,0176	-0,0073	-22,2531	-17,9750	-19,4188	-17,5313
1,92	0,0142	0,0183	-0,0092	-22,2500	-17,9750	-19,4156	-17,5313
1,93	0,0148	0,0176	-0,0122	-22,2500	-17,9781	-19,4094	-17,5344
1,94	0,0166	0,0219	-0,0110	-22,2500	-17,9781	-19,4219	-17,5438
1,95	0,0148	0,0183	-0,0079	-22,2563	-17,9688	-19,4188	-17,5313
1,96	0,0099	0,0201	-0,0116	-22,2594	-17,9906	-19,4188	-17,5344
1,97	0,0160	0,0195	-0,0049	-22,2500	-17,9781	-19,4188	-17,5344
1,98	0,0160	0,0201	-0,0220	-22,2563	-17,9750	-19,4250	-17,5438
1,99	0,0136	0,0189	-0,0098	-22,2625	-17,9750	-19,4219	-17,5469
2	0,0123	0,0183	-0,0134	-22,2563	-17,9781	-19,4156	-17,5313
2,01	0,0136	0,0219	-0,0067	-22,2438	-17,9656	-19,4063	-17,5250
2,02	0,0185	0,0213	-0,0098	-22,2656	-17,9750	-19,4156	-17,5313
2,03	0,0086	0,0365	-0,0287	-22,2563	-17,9750	-19,4125	-17,5313
2,04	0,0117	0,0189	-0,0122	-22,2719	-17,9844	-19,4313	-17,5469
2,05	0,0123	0,0219	-0,0061	-22,2625	-17,9781	-19,4156	-17,5406
2,06	0,0142	0,0176	-0,0104	-22,2688	-17,9844	-19,4281	-17,5469
2,07	0,0129	0,0176	-0,0122	-22,2656	-17,9875	-19,4188	-17,5469
2,08	0,0129	0,0347	-0,0153	-22,2469	-17,9781	-19,4125	-17,5438
2,09	0,0185	0,0195	-0,0086	-22,2625	-17,9750	-19,4250	-17,5438
2,1	0,0166	0,0237	-0,0043	-22,2563	-17,9813	-19,4188	-17,5344
2,11	0,0136	0,0152	-0,0061	-22,2719	-17,9844	-19,4156	-17,5313
2,12	0,0160	0,0195	-0,0092	-22,2656	-17,9813	-19,4156	-17,5344
2,13	0,0154	0,0189	-0,0055	-22,2688	-17,9688	-19,4219	-17,5375
2,14	0,0154	0,0213	-0,0079	-22,2656	-17,9750	-19,4188	-17,5344
2,15	0,0160	0,0146	-0,0098	-22,2688	-17,9813	-19,4188	-17,5438
2,16	0,0117	0,0207	-0,0098	-22,2625	-17,9688	-19,4063	-17,5344
2,17	0,0111	0,0189	-0,0098	-22,2688	-17,9781	-19,4313	-17,5500
2,18	0,0099	0,0079	-0,0031	-22,2781	-17,9813	-19,4281	-17,5594
2,19	0,0197	0,0219	-0,0067	-22,2781	-17,9750	-19,4188	-17,5438
2,2	0,0148	0,0201	-0,0092	-22,2688	-17,9750	-19,4156	-17,5469

2,21	0,0148	0,0225	-0,0073	-22,2656	-17,9781	-19,4094	-17,5594
2,22	0,0111	0,0219	-0,0116	-22,2563	-17,9656	-19,4188	-17,5438
2,23	0,0191	0,0116	-0,0024	-22,2594	-17,9688	-19,4125	-17,5406
2,24	0,0117	0,0183	-0,0092	-22,2875	-17,9875	-19,4156	-17,5500
2,25	0,0136	0,0183	-0,0073	-22,2625	-17,9750	-19,4219	-17,5313
2,26	0,0142	0,0219	-0,0061	-22,2469	-17,9688	-19,4188	-17,5344
2,27	0,0160	0,0170	-0,0110	-22,2594	-17,9719	-19,4156	-17,5313
2,28	0,0117	0,0116	0,0012	-22,2625	-17,9656	-19,4063	-17,5406
2,29	0,0160	0,0170	-0,0116	-22,2625	-17,9813	-19,4125	-17,5438
2,3	0,0142	0,0195	-0,0110	-22,2531	-17,9813	-19,4281	-17,5406
2,31	0,0179	0,0152	-0,0073	-22,2688	-17,9906	-19,4188	-17,5438
2,32	0,0160	0,0231	-0,0067	-22,2625	-17,9750	-19,4094	-17,5406
2,33	0,0142	0,0158	-0,0031	-22,2625	-17,9719	-19,4125	-17,5438
2,34	0,0185	0,0158	-0,0086	-22,2688	-17,9781	-19,4250	-17,5375
2,35	0,0173	0,0176	-0,0086	-22,2719	-17,9813	-19,4156	-17,5500
2,36	0,0160	0,0201	-0,0086	-22,2594	-17,9719	-19,4094	-17,5531
2,37	0,0166	0,0237	-0,0049	-22,2563	-17,9656	-19,4063	-17,5500
2,38	0,0136	0,0164	-0,0018	-22,2594	-17,9781	-19,4156	-17,5469
2,39	0,0136	0,0207	-0,0037	-22,2563	-17,9813	-19,4031	-17,5500
2,4	0,0166	0,0176	-0,0092	-22,2594	-17,9813	-19,4156	-17,5375
2,41	0,0148	0,0201	-0,0110	-22,2563	-17,9844	-19,4188	-17,5500
2,42	0,0240	0,0164	0,0049	-22,2625	-17,9813	-19,4125	-17,5313
2,43	0,0173	0,0170	-0,0049	-22,2625	-17,9781	-19,4188	-17,5438
2,44	0,0148	0,0122	-0,0073	-22,2594	-17,9656	-19,4094	-17,5313
2,45	0,0129	0,0176	-0,0073	-22,2469	-17,9750	-19,4125	-17,5281
2,46	0,0136	0,0189	-0,0092	-22,2625	-17,9719	-19,4281	-17,5406
2,47	0,0191	0,0000	0,0079	-22,2531	-17,9719	-19,4156	-17,5281
2,48	0,0154	0,0189	-0,0055	-22,2563	-17,9781	-19,4188	-17,5375
2,49	0,0173	0,0195	-0,0049	-22,2531	-17,9656	-19,4188	-17,5344
2,5	0,0154	0,0189	-0,0092	-22,2719	-17,9813	-19,4250	-17,5438
2,51	0,0154	0,0158	-0,0061	-22,2500	-17,9719	-19,4250	-17,5406
2,52	0,0394	0,0298	0,0159	-22,2625	-17,9656	-19,4094	-17,5406
2,53	0,0481	0,0566	0,0324	-22,2750	-17,9906	-19,4344	-17,5594
2,54	0,0573	0,0627	0,0348	-22,3000	-18,0188	-19,4625	-17,5906
2,55	0,0610	0,0572	0,0318	-22,3938	-18,1094	-19,5594	-17,6813
2,56	0,0641	0,0590	0,0330	-22,5094	-18,2188	-19,6781	-17,7969
2,57	0,0610	0,0645	0,0385	-22,6781	-18,3969	-19,8375	-17,9688
2,58	0,0579	0,0615	0,0367	-22,8813	-18,5938	-20,0344	-18,1719
2,59	0,0567	0,0639	0,0342	-23,1313	-18,8406	-20,3031	-18,4250
2,6	0,0561	0,0608	0,0336	-23,4375	-19,1250	-20,6000	-18,7000

2,61	0,0524	0,0584	0,0318	-23,7781	-19,4625	-20,9406	-19,0406
2,62	0,0511	0,0645	0,0245	-24,1313	-19,8281	-21,3031	-19,4281
2,63	0,0518	0,0596	0,0318	-24,5594	-20,2313	-21,7406	-19,8281
2,64	0,0548	0,0554	0,0312	-25,0156	-20,6625	-22,1906	-20,2563
2,65	0,0487	0,0566	0,0245	-25,5375	-21,1500	-22,6969	-20,7781
2,66	0,0567	0,0596	0,0342	-26,0438	-21,6719	-23,1969	-21,3031
2,67	0,0530	0,0651	0,0214	-26,6094	-22,2438	-23,7844	-21,8813
2,68	0,0561	0,0548	0,0281	-27,2344	-22,8250	-24,4000	-22,4781
2,69	0,0511	0,0554	0,0306	-27,8750	-23,4438	-25,0500	-23,1563
2,7	0,0462	0,0487	0,0202	-28,5594	-24,1250	-25,7219	-23,9188
2,71	0,0444	0,0481	0,0171	-29,2344	-24,8344	-26,4281	-24,6531
2,72	0,0431	0,0554	0,0147	-29,9656	-25,5500	-27,1906	-25,3375
2,73	0,0394	0,0402	0,0110	-30,7531	-26,2781	-28,0031	-26,0813
2,74	0,0388	0,0444	0,0202	-31,5313	-27,0750	-28,7625	-26,8938
2,75	0,0265	0,0377	0,0134	-32,3063	-27,8969	-29,5969	-27,7406
2,76	0,0265	0,0341	0,0024	-33,1406	-28,7219	-30,4625	-28,5406
2,77	0,0253	0,0304	-0,0092	-33,9813	-29,5250	-31,3406	-29,3406
2,78	0,0111	0,0116	-0,0159	-34,8313	-30,3719	-32,1875	-30,2469
2,79	0,0142	0,0030	-0,0190	-35,6781	-31,2250	-33,0531	-31,1906
2,8	-0,0018	0,0091	-0,0220	-36,5031	-32,0219	-33,9500	-32,0656
2,81	-0,0006	0,0061	-0,0232	-37,3719	-32,8156	-34,8156	-32,8750
2,82	0,0049	0,0110	-0,0263	-38,1938	-33,5875	-35,6500	-33,6875
2,83	-0,0018	0,0024	-0,0232	-38,9813	-34,3875	-36,4469	-34,4875
2,84	-0,0136	-0,0030	-0,0281	-39,7781	-35,1688	-37,2813	-35,3688
2,85	-0,0129	-0,0043	-0,0330	-40,5813	-35,9188	-38,0813	-36,1875
2,86	-0,0105	-0,0037	-0,0483	-41,3563	-36,6563	-38,8438	-36,9813
2,87	-0,0166	-0,0085	-0,0410	-42,0813	-37,4156	-39,5656	-37,7063
2,88	-0,0105	-0,0043	-0,0355	-42,7656	-38,0938	-40,2750	-38,3469
2,89	-0,0179	-0,0055	-0,0355	-43,4438	-38,7406	-40,9594	-38,9844
2,9	-0,0086	-0,0067	-0,0342	-44,1156	-39,3719	-41,6281	-39,6406

2,91	-0,0160	0,0091	-0,0507	-44,7188	-39,9875	-42,2219	-40,2813
2,92	-0,0086	-0,0073	-0,0336	-45,2813	-40,5625	-42,8375	-40,9000
2,93	-0,0049	-0,0018	-0,0318	-45,8594	-41,1031	-43,4188	-41,4688
2,94	-0,0185	-0,0103	-0,0318	-46,4000	-41,6094	-43,9750	-42,0531
2,95	-0,0166	-0,0146	-0,0477	-46,9219	-42,1125	-44,4813	-42,6031
2,96	-0,0320	-0,0146	-0,0593	-47,4031	-42,5875	-44,9656	-43,0906
2,97	-0,0376	-0,0365	-0,0611	-47,8469	-43,0281	-45,4313	-43,5188
2,98	-0,0450	-0,0426	-0,0679	-48,2438	-43,3875	-45,8469	-43,8750

ALGUNOS RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE DATOS DEL
ENSAYO DE LA MESA VIBRADORA

Tiempo (s)	Desplazamiento Relativo (mm)	Cortante kg
32,98000	3,35375	95,62224
32,99000	3,38500	49,10452
33,00000	3,32250	21,99889
33,01000	3,61000	68,73986
33,02000	3,54750	21,97559
33,03000	3,55063	-18,75622
33,04000	3,66313	-20,39813
33,05000	3,43813	-71,80821
33,06000	3,31938	-97,52743
33,07000	3,39750	-79,93855
33,08000	3,33500	-71,09587
33,09000	3,46625	52,88446
33,10000	3,56938	15,77604
33,11000	3,51000	128,50443
33,12000	3,61625	118,63473
33,13000	3,56313	-33,37050
33,14000	3,32563	12,85501
33,15000	3,36938	-45,64045

33,16000	3,41000	-63,33708
33,17000	3,36313	24,88658
33,18000	3,57875	15,41071
33,19000	3,52563	-82,39084
33,20000	3,56000	14,39998
33,21000	3,63188	-12,69205
33,22000	3,41938	-27,48507
33,23000	3,34438	83,28919
33,24000	3,44438	49,24643
33,25000	3,36000	17,44669
33,26000	3,52250	66,55350
33,27000	3,55688	43,24354
33,28000	3,51313	-2,17925
33,29000	3,60375	-15,92296
33,30000	3,53813	-81,94976
33,31000	3,33188	-92,85265
33,32000	3,40375	- 112,76080
33,33000	3,42563	-84,78990
33,34000	3,42250	47,44593
33,35000	3,56938	3,56368
33,36000	3,51000	112,33022
33,37000	3,55375	123,06732
33,38000	3,60063	-15,30483

33,39000	3,37563	12,55390
33,40000	3,38188	9,57922
33,41000	3,47563	-26,25808
33,42000	3,38188	14,58148
33,43000	3,51938	37,00911
33,44000	3,51000	- 109,20260
33,45000	3,52563	-30,35851
33,46000	3,55688	-13,88841
33,47000	3,50063	-44,91767
33,48000	3,32563	24,11861
33,49000	3,44125	38,52858
33,50000	3,42563	0,36452
33,51000	3,45375	63,23226
33,52000	3,54438	84,80907
33,53000	3,49750	84,61252
33,54000	3,52875	26,95395
33,55000	3,57563	-78,03115
33,56000	3,36000	-28,84931
33,57000	3,39438	- 134,07864
33,58000	3,48188	- 110,92564
33,59000	3,43500	23,57669
33,60000	3,51625	-6,84574

33,61000	3,51938	23,13545
33,62000	3,51625	97,25867
33,63000	3,52875	-6,35856
33,64000	3,45063	3,08973
33,65000	3,36000	77,00921
33,66000	3,47563	18,68191
33,67000	3,46625	32,50388
33,68000	3,48188	66,02844
33,69000	3,53813	-88,78340
33,70000	3,50063	-40,15933
33,71000	3,49125	-29,01815
33,72000	3,52250	-58,34585
33,73000	3,35063	5,39395
33,74000	3,46000	15,05508
33,75000	3,48500	-17,85507
33,76000	3,50688	55,76173
33,77000	3,52250	83,88827
33,78000	3,51313	70,21678
33,79000	3,47563	23,05467
33,80000	3,48188	-60,24472
33,81000	3,38500	-75,39558
33,82000	3,39750	-84,69050
33,83000	3,51938	-66,40487
33,84000	3,54125	46,18861

33,85000	3,51000	17,81629
33,86000	3,54750	113,52969
33,87000	3,47875	97,25811
33,88000	3,42250	-48,76718
33,89000	3,39125	15,46007
33,90000	3,34125	-80,21171
33,91000	3,51625	-75,76607
33,92000	3,56000	38,30599
33,93000	3,53188	-10,64338
33,94000	3,56938	41,90971
33,95000	3,48813	104,57688
33,96000	3,39438	-43,33864
33,97000	3,38813	-5,33931
33,98000	3,31625	-65,18549
33,99000	3,47563	-89,02113
34,00000	3,56938	24,03391
34,01000	3,57875	0,63696
34,02000	3,57250	-9,95440
34,03000	3,56938	92,73485
34,04000	3,39438	-61,83908
34,05000	3,35688	-24,03451
34,06000	3,32875	-46,06740
34,07000	3,37875	-85,24890
34,08000	3,58813	31,37064

34,09000	3,60063	-6,00213
34,10000	3,55688	-26,41567
34,11000	3,63188	91,27967
34,12000	3,40063	-74,14577
34,13000	3,34125	-19,63247
34,14000	3,33813	-42,21394
34,15000	3,33188	-84,99535
34,16000	3,53813	35,69565
34,17000	3,61625	-4,74061
34,18000	3,54750	-21,64452
34,19000	3,66313	93,68091
34,20000	3,46313	-73,40149
34,21000	3,33188	-19,40028
34,22000	3,37250	-56,80119
34,23000	3,34750	-93,84093
34,24000	3,45375	35,86405
34,25000	3,62563	-16,92553
34,26000	3,53500	4,69164
34,27000	3,61625	106,98326
34,28000	3,55063	-73,15822
34,29000	3,33188	-7,90085
34,30000	3,37875	-74,39814
34,31000	3,42563	- 102,75340

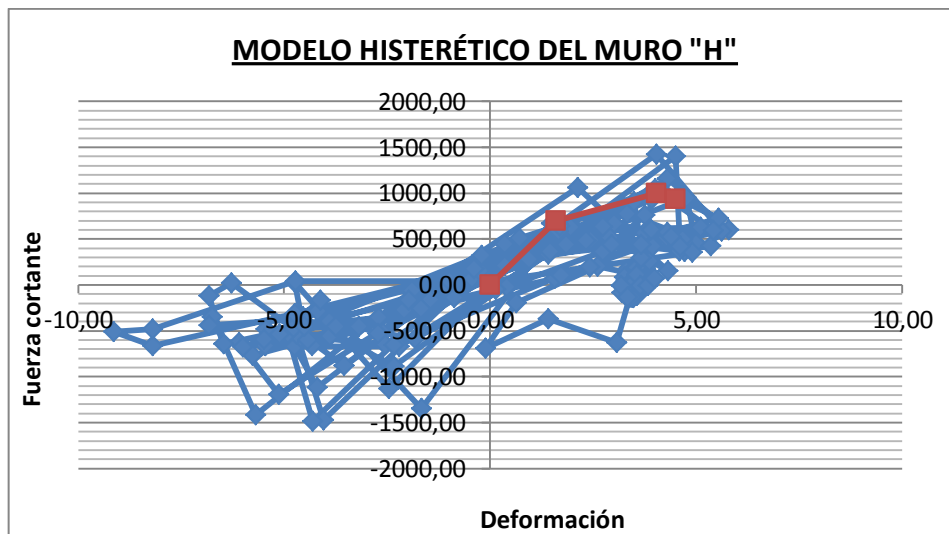
34,32000	3,41313	26,57329
34,33000	3,59438	-36,86399
34,34000	3,53813	35,46633
34,35000	3,54750	117,02236
34,36000	3,57563	-68,39424
34,37000	3,35063	8,13144
34,38000	3,39438	-94,88721
34,39000	3,45375	- 102,53120
34,40000	3,45375	14,80924
34,41000	3,56625	-47,87970
34,42000	3,54750	62,47582
34,43000	3,51938	113,18404
34,44000	3,52250	-64,70108
34,45000	3,37563	16,96391
34,46000	3,38813	- 103,70143
34,47000	3,48813	-96,69628
34,48000	3,52563	12,86832
34,49000	3,53188	-42,67148
34,50000	3,56000	61,12105
34,51000	3,50375	113,53395
34,52000	3,44750	-57,46976
34,53000	3,39125	19,67047
34,54000	3,34750	-93,34080

34,55000	3,49438	- 100,58934
34,56000	3,55063	14,78180
34,57000	3,55375	-45,67010
34,58000	3,58188	45,04822
34,59000	3,51000	114,74681
34,60000	3,42250	-65,13505
34,61000	3,36625	14,46427
34,62000	3,31938	-96,76934
34,63000	3,49125	- 105,28642
34,64000	3,58813	14,76464
34,65000	3,57250	-55,86139
34,66000	3,61625	61,35933
34,67000	3,53500	113,35838
34,68000	3,39750	-78,62933
34,69000	3,33813	15,44588
34,70000	3,31313	- 106,29729
34,71000	3,41625	-87,16385
34,72000	3,61000	-1,69946
34,73000	3,57563	1,32353
34,74000	3,61938	84,49292
34,75000	3,59438	89,35520
34,76000	3,38188	-63,88410

34,77000	3,31313	-34,72464
34,78000	3,34125	-76,13780
34,79000	3,34125	-46,72981
34,80000	3,60375	27,60723
34,81000	3,57875	95,28431
34,82000	3,58188	77,62339
34,83000	3,63813	48,40799
34,84000	3,39750	-35,96329
34,85000	3,32875	3,60102
34,86000	3,41000	-3,99300
34,87000	3,34438	-0,51139
34,88000	3,56625	97,05560
34,89000	3,56938	29,74941
34,90000	3,56000	14,56352
34,91000	3,58813	8,62579
34,92000	3,44438	-30,92172
34,93000	3,34438	83,60356
34,94000	3,45063	22,86284
34,95000	3,44125	65,37884
34,96000	3,53813	108,16188
34,97000	3,57250	-71,60218
34,98000	3,53500	28,16265
34,99000	3,50375	-67,13231
35,00000	3,43813	-68,68974

35,01000	3,36000	-15,94062
35,02000	3,47875	-72,58122
35,03000	3,54125	52,57576
35,04000	3,56625	-7,50488
35,05000	3,58813	6,91746
35,06000	3,50375	93,16854
35,07000	3,42563	-98,53224
35,08000	3,36313	-13,99338
35,09000	3,32250	- 110,50566
35,10000	3,49438	- 102,24197
35,11000	3,59750	-8,46018
35,12000	3,57875	-3,65048
35,13000	3,65063	68,98177
35,14000	3,49438	82,93912
35,15000	3,38500	-61,15943
35,16000	3,34125	-33,15376
35,17000	3,33500	-47,21252
35,18000	3,46938	-24,37049
35,19000	3,62250	56,63698
35,20000	3,59750	82,46850
35,21000	3,65375	44,96020
35,22000	3,56625	31,95752
35,23000	3,36938	-18,82384

De los datos se obtuvo la siguiente curva histerética de nuestro muro de forma "H".



Fuente: Propia

Estimacion inicial:

0,00	0,00
1,60	700,00
4,04	1 000,00
4,50	937,00

$$\text{rigidez} = 208,22$$

Acontinuacion se analizará por ciclos para poder estimar mejor la rigidez del muro "H".

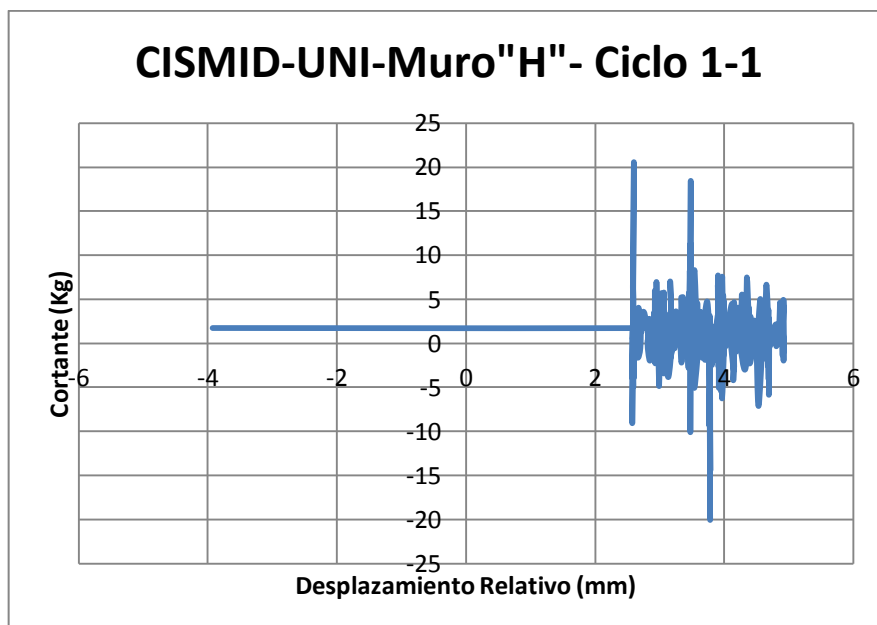


Cuadro N-7: Vista del prototipo al termino del ensayo

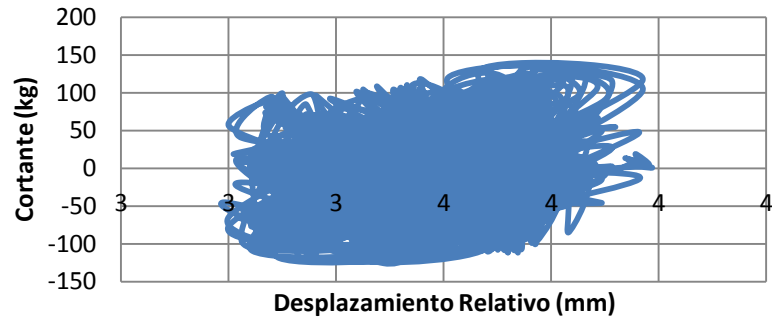
Fuente: Propia

LOS PRIMEROS CICLOS NO SE PUDO GRAFICAR COMO SE

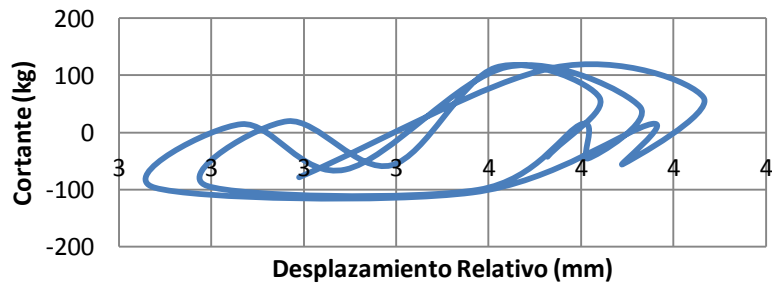
ESPERABA, SE PRESENTA ALGUNAS GRÁFICAS :



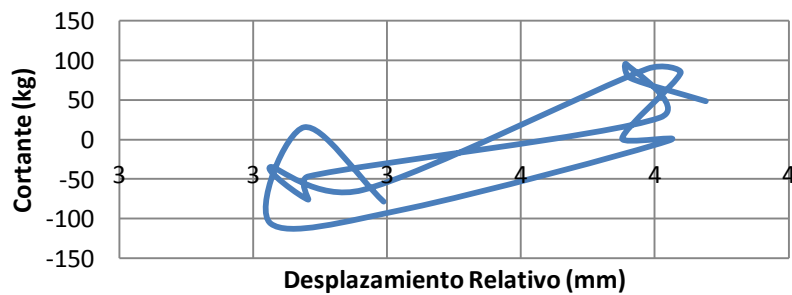
CISMID-UNI-Muro "H" - Ciclo 2-2



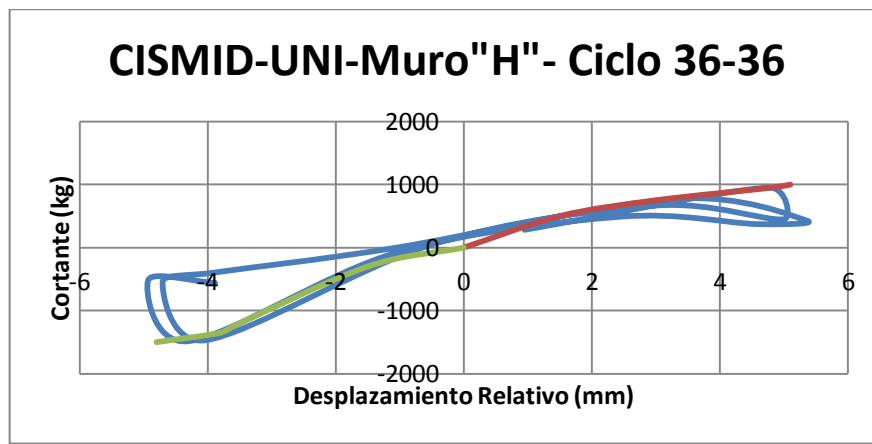
CISMID-UNI-Muro "H" - Ciclo 11-11



CISMID-UNI-Muro "H" - Ciclo 12-12



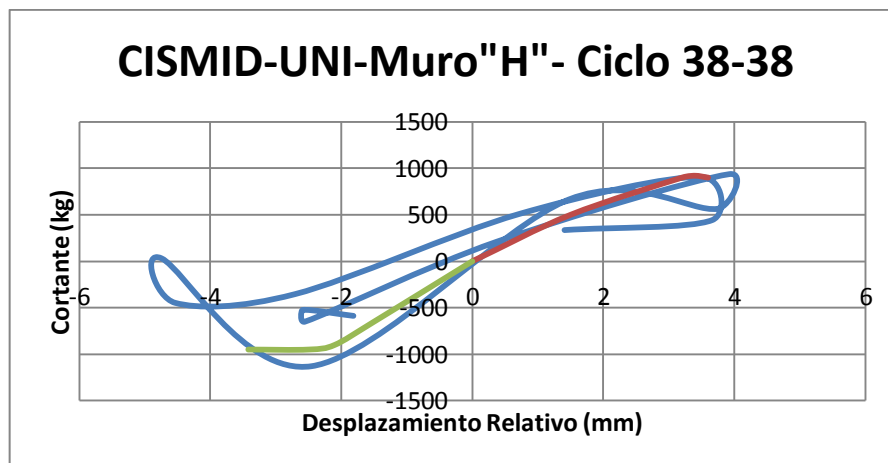
A PARTIR DEL CICLO 36 LOS DIAGRAMAS TIENEN LA FORMA QUE SE ESPERA, COMO SE MUESTRAN EN LAS FIGURAS:



$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
5,100	1 000,000
-4,800	-1 500,000
9,900	2500.000

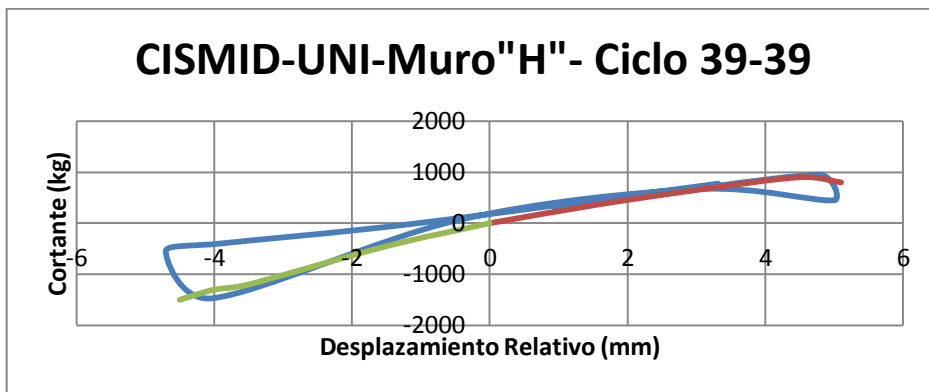
$$K_{31} = 252,53 \text{ kg}$$

$$\text{Drift} = 63,13$$



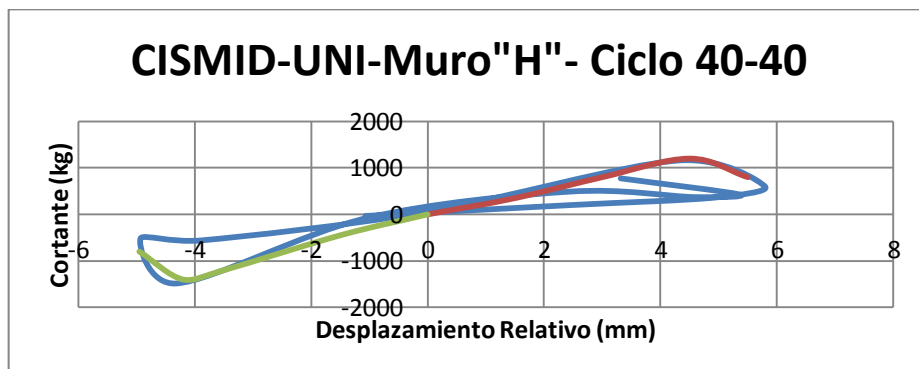
$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
3,600	900,000
-3,420	-950,000
7,020	1850,000

$K_{31} = 263,53 \text{ kg}$
 Drift = 89,03



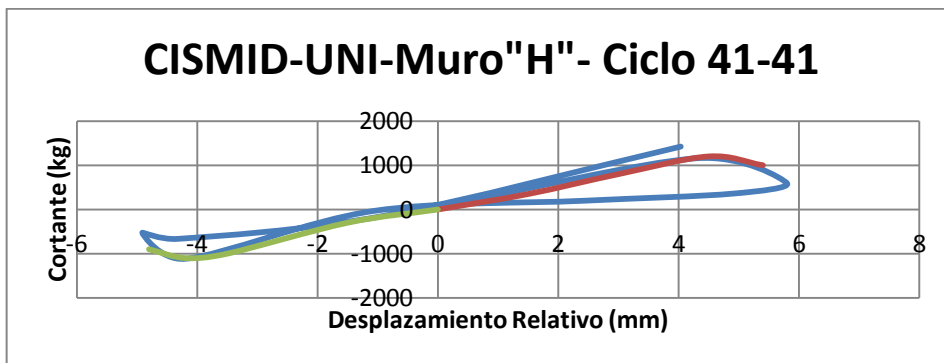
$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
5,100	800,000
-4,500	-1500,000
9,600	2300,000

$K_{31} = 239,58 \text{ kg}$
 Drift = 65,10



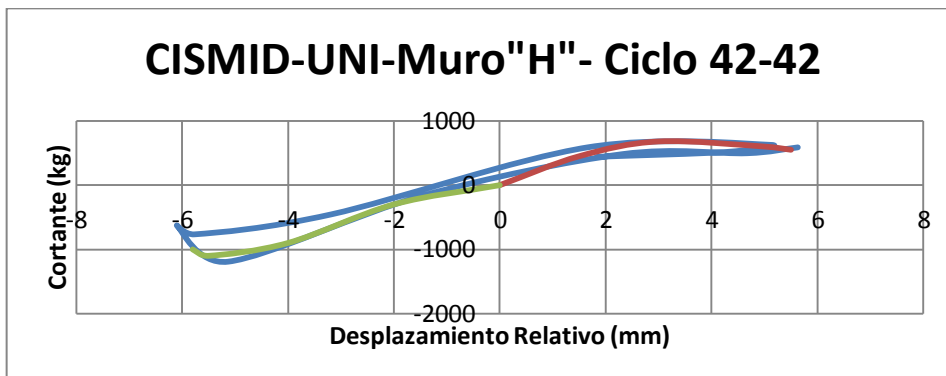
$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
5,500	800,000
-4,950	-800,000
10,450	1600,000

$K_{31} = 153,11 \text{ kg}$
 Drift = 59,81



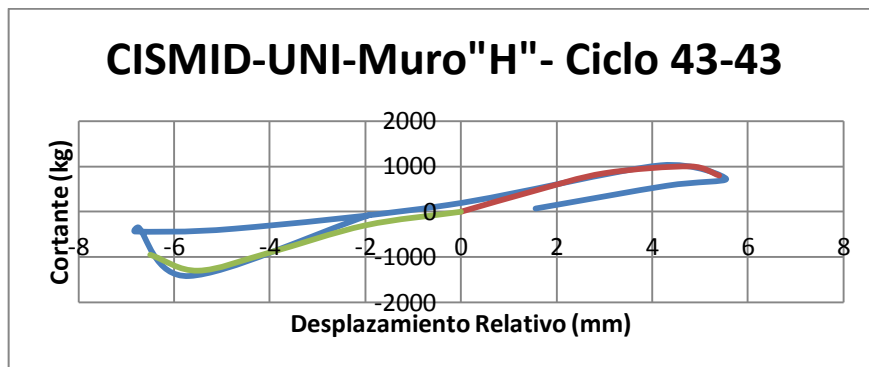
$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
5,400	1000,000
-4,800	-900,000
10,200	1900,000

$K_{31} = 186,27 \text{ kg}$
 Drift = 61,27



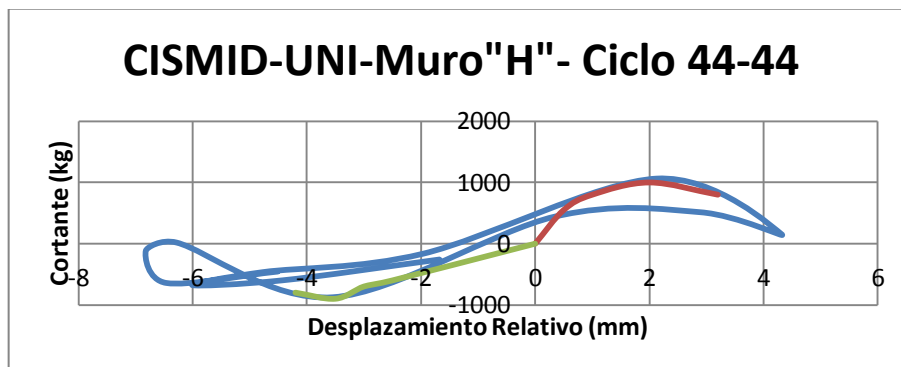
$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
5,500	550,000
-5,800	-1 000,000
11,300	1 550,000

$K_{31} = 137,17 \text{ kg}$
 Drift = 55,31



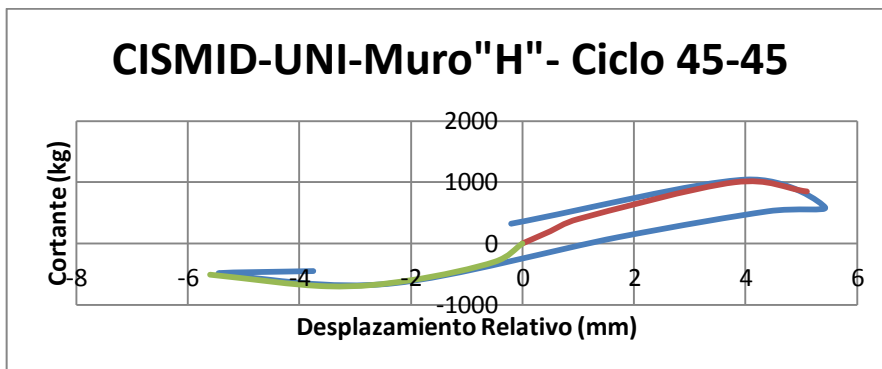
$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
5,400	800,000
-6,500	-950,000
11,900	1 750,000

$K_{31} = 147,06 \text{ kg}$
 Drift = 52,52



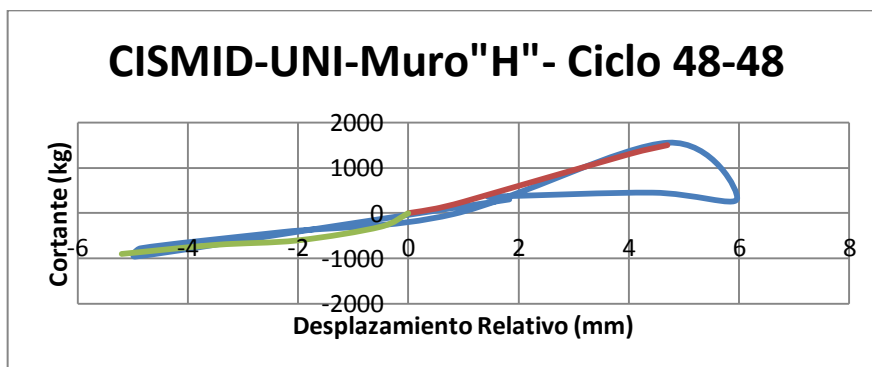
$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
3,200	800,000
-4,200	-800,000
7,400	1600,000

$K_{31} = 216,22 \text{ kg}$
 Drift = 84,46



$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
4,900	1200,000
-8,900	-600,000
13,800	1800,000

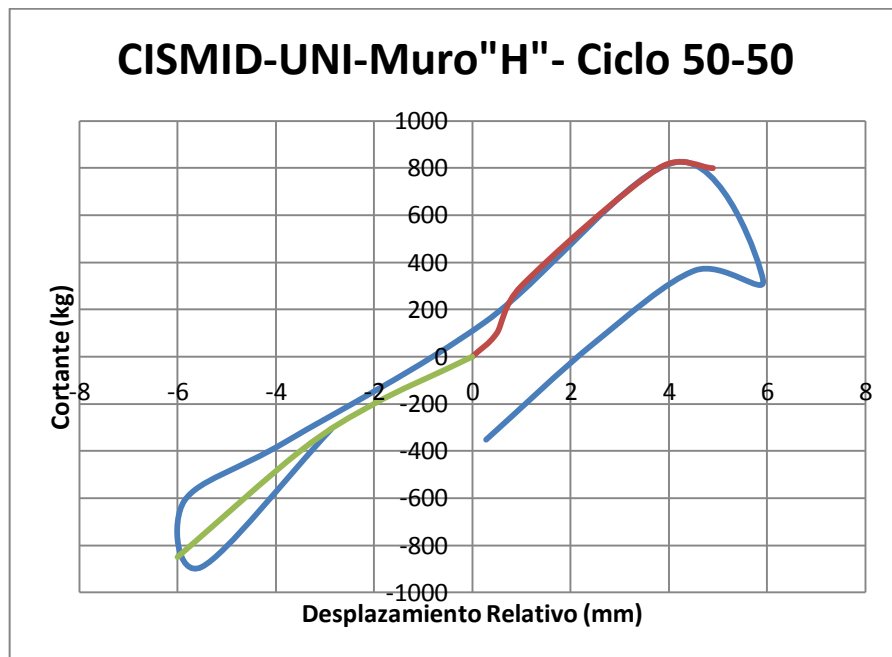
$K_{31} = 130,43 \text{ kg}$
 Drift = 45,29



$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
5,800	1 200,000
-7,500	-1 000,000
13,300	2 200,000

$K_{31} = 165,41 \text{ kg}$

Drift = 46,99



$X_{\text{máx}}$	$Q_{\text{máx}}$
4,900	800,000
-6,000	-850,000
10,900	1 650,000

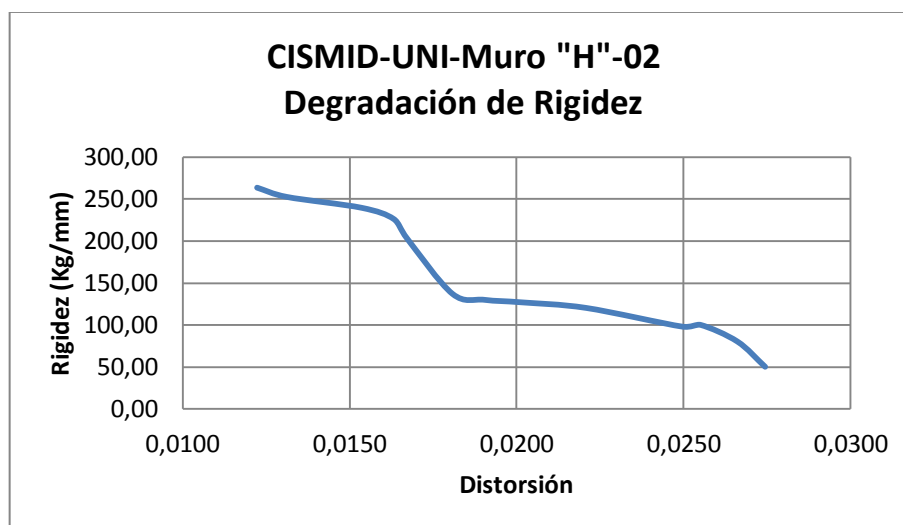
$K_{31} = 151,38 \text{ kg}$

Drift = 57,34

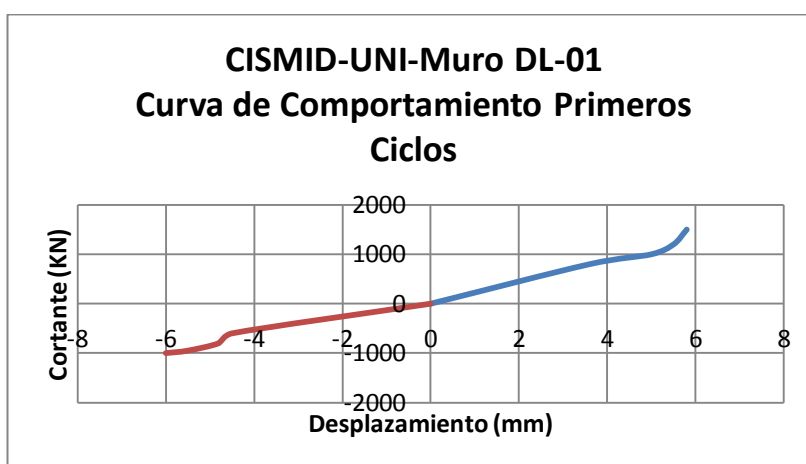
**CUADRO RESUMEN DE COMPORTAMIENTO DE RIGIDEZ DE
MUROS DE FORMA "H" A ESCALA 1:8**

# de ciclos	Empujando		Jalando		Distorsión	Rigidez
	Despl. (mm)	Cortante (kg)	Despl. (mm)	Cortante (kg)		
36	3,600	1 000,000	-4,800	-1 500,000	0,01223	263,53
38	4,900	900,000	-3,420	-950,000	0,01312	252,53
39	3,600	800,000	-4,500	-600,000	0,01536	239,58
40	5,500	800,000	-4,950	-800,000	0,01632	226,27
41	5,000	1 000,000	-4,800	-800,000	0,01672	203,11
42	5,500	550,000	-5,800	-1 000,000	0,01808	137,17
43	5,400	800,000	-6,500	-950,000	0,01904	130,06
45	5,100	850,000	-5,600	-510,000	0,02014	127,10
46	5,500	1 200,000	-5,500	-950,000	0,02208	120,43
47	5,100	850,000	-3,000	-1 000,000	0,02496	98,20
48	4,700	1 500,000	-6,000	-1 000,000	0,02551	100,21
49	5,800	1 200,000	-7,500	-1 000,000	0,02661	80,41
50	4,900	800,000	-6,000	-850,000	0,02744	50,38

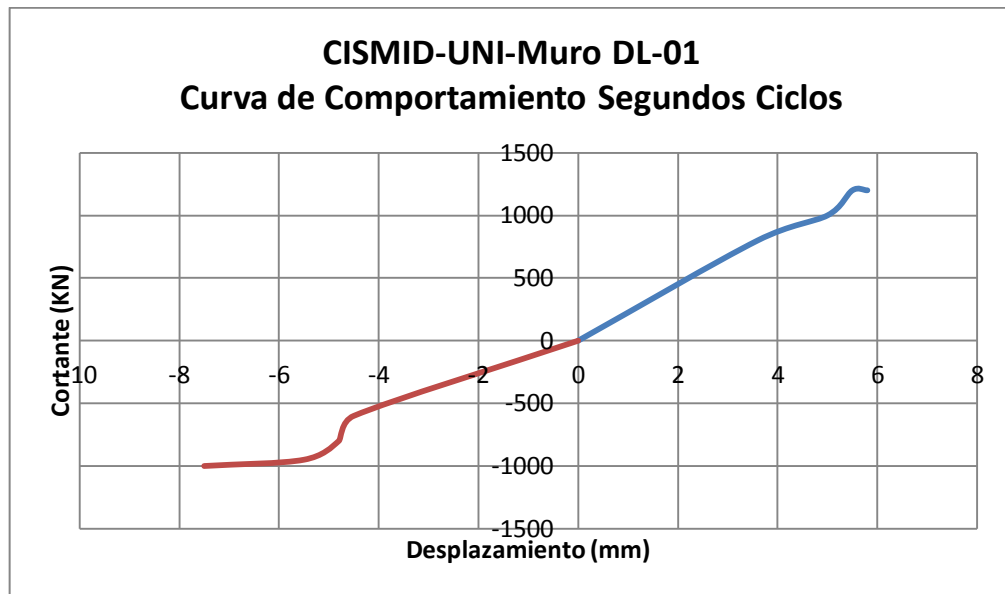
GRÁFICA DE DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ



CURVA DE LOS PRIMEROS CICLOS				
# de ciclos	Empujando		Jalando	
	Despl. (mm)	Cortante (kn)	Despl. (mm)	Cortante (kn)
0	0	0	0	0
39	3,60	800,00	-4,50	-600,00
41	5,00	1 000,00	-4,80	-800,00
46	5,50	1 200,00	-5,50	-950,00
48	5,80	1 500,00	-6,00	-1 000,00



CURVA DE LOS SEGUNDOS CICLOS				
# de ciclos	Empujando		Jalando	
	Despl. (mm)	Cortante (kn)	Despl. (mm)	Cortante (kn)
0	0	0	0	0
39	3,60	800,00	-4,50	-600,00
41	5,00	1 000,00	-4,80	-800,00
46	5,50	1 200,00	-5,50	-950,00
49	5,80	1 200,00	-7,50	-1 000,00



Con los resultados se calculara las proporciones que existe en las alas del muro “H” antes que ocurra la falla del concreto.

3.9.3. MÉTODO ANALÍTICO

Se realizó el modelamiento del espécimen que se va a ensayar en la mesa vibratoria en SAP v15.0.0 con elementos finitos tipo Shell, de este modelo se obtendrán los resultados de período de la estructura, distorsión y niveles de esfuerzos de compresión, tracción y corte, en la estructura de concreto.

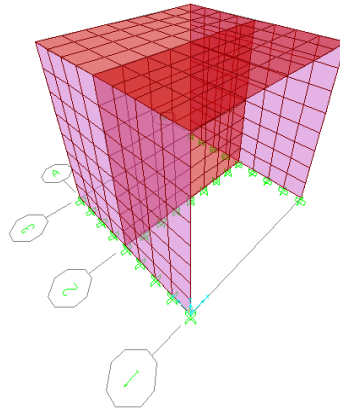


Figura 64. Modelo en sap a escala 1 en 8 del prototipo.

Fuente: Propia

Cuadro N- 5 Carga distribuida en el modelo sap

Carga distribuida en la parte superior	Cant.	U
carga en modelo a escala =	25	kn
L=	0.32	m
B=	0.32	m
w=	244.14	kn/m ²

Se redistribuye la carga superior de 25 kn del modelo a escala en la superficie total superior para simular el efecto de la carga repartida que transmitirán las planchas de acero.

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - T = 0.03469; f = 28.83060

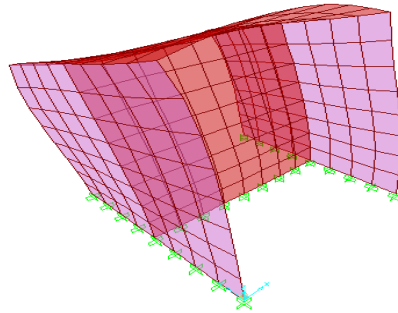


Figura 65. Primer modo de vibración $T=0.035$ seg del prototipo

Fuente: Propia

Deformed Shape (MODAL) - Mode 2 - T = 0.03198; f = 31.26597

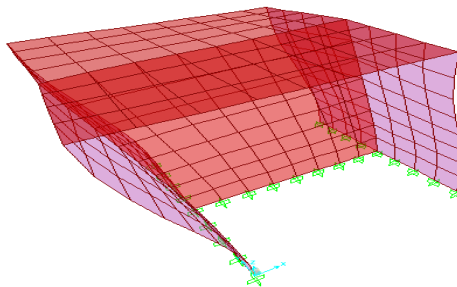


Figura 66. Segundo modo de vibración $T=0.032$ seg del prototipo

Fuente: Propia

Para el primer modo de vibración se tiene un período de 0,035 seg. equivalente a una frecuencia de 28,6 Hz.

Para el segundo modo de vibración se tiene un período de 0,032 seg. equivalente a una frecuencia de 31,25 Hz.

CÁLCULO DE LAS ACELERACIONES EN LOS MODOS DE FALLA DEL CONCRETO

Para la falla en tracción del concreto, se coloca una fuerza lateral de 10kn, que considerando la masa de 25 kn, equivale a una aceleración de 3,924 m/s² que corresponde a un 40% de la gravedad. Con esta aceleración el esfuerzo de tracción en el concreto llega a 29,60 kg/cm² que supera la resistencia a la tracción del concreto calculada con $2\sqrt{f'c}=29 \text{ kg/cm}$

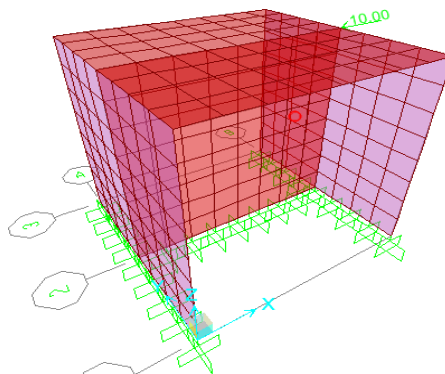


Figura 67. Fuerza lateral $F=10 \text{ kn}$ aplicada al prototipo para ver su comportamiento.

Fuente: Propia

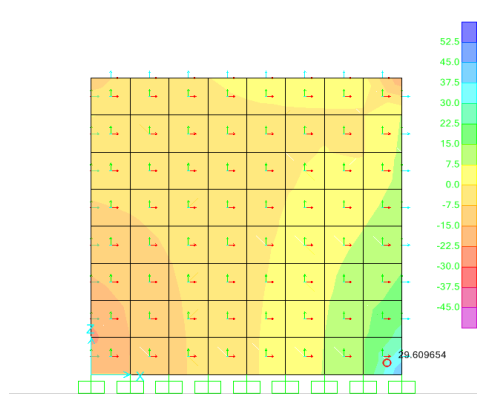


Figura 68. Esfuerzos en tracción = 29,60 kg/cm2

Fuente: Propia

Para la falla en corte del concreto, se coloca una fuerza lateral de 3 kn, que considerando la masa de 25 kn, equivale a una aceleración de 1,177 m/s² que corresponde a un 12% de la gravedad. Con esta aceleración el esfuerzo de corte en el concreto llega a 8kg/cm² que supera la resistencia al corte del concreto calculado con $0.53\sqrt{f'c} = 7,68 \text{ kg/cm}^2$.

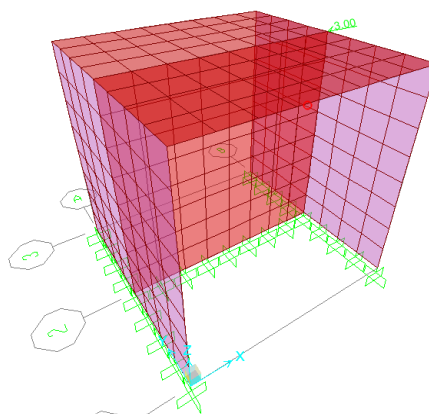


Figura 69. Fuerza lateral F= 3 kn aplicada al modelo.

Fuente: (Propia)

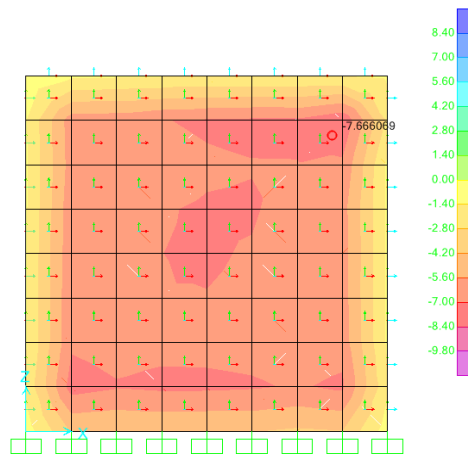


Figura 70. Esfuerzos de corte = 7.66 kg/cm² en el alma del muro "H".

Fuente: Propia

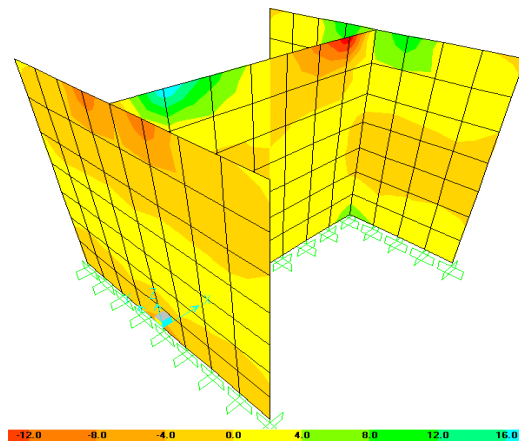


Figura 71. Fuerzas F11 de acuerdo al TEST0059 (kg/cm) en el alma del muro "H".

Fuente: Propia

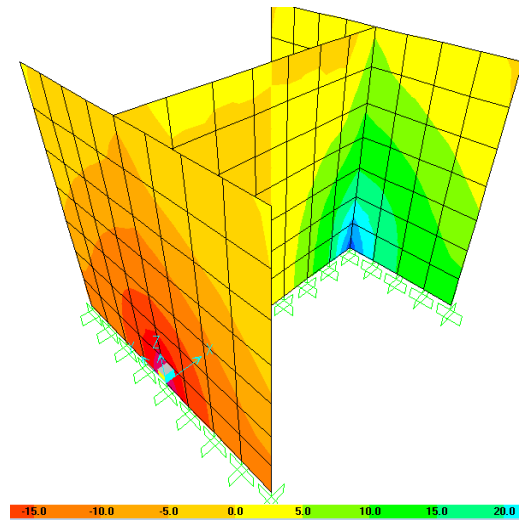


Figura 72. Fuerzas F22 de acuerdo al TEST0059 (kg/cm) en el alma del muro "H".

Fuente: Propia

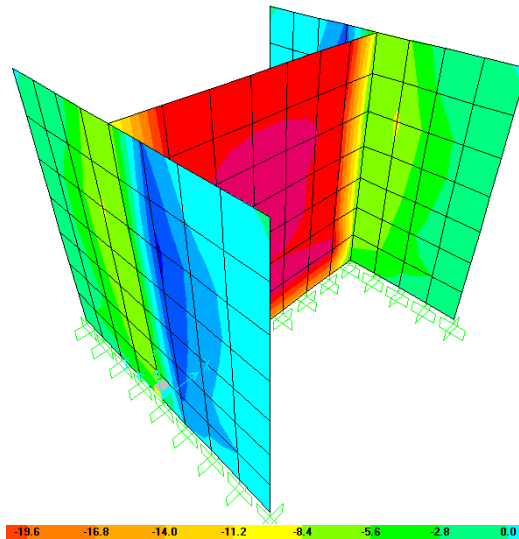


Figura 73. Fuerzas F12 de acuerdo al TEST0059 (Kg/cm) en el alma del muro "H".

Fuente: Propia

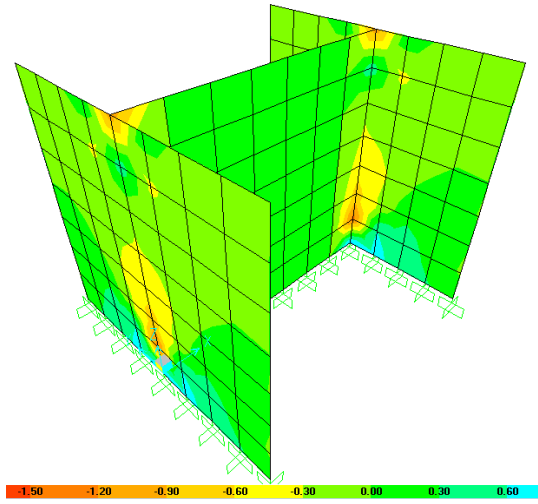


Figura 74. Fuerzas M11 de acuerdo al TEST0059 (kg-cm/cm) en el alma del muro "H".

Fuente: Propia

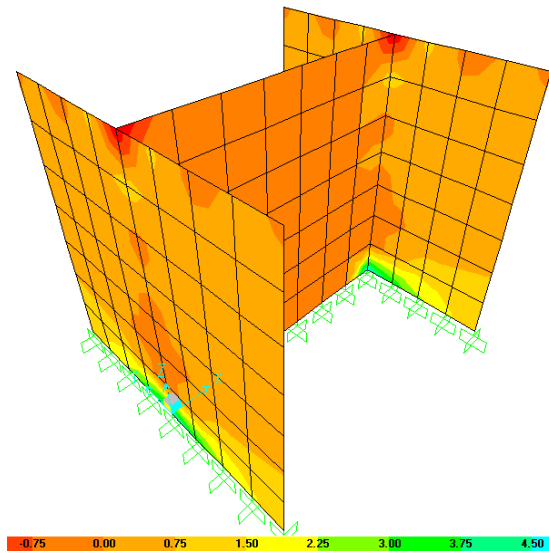


Figura 75. Fuerzas M22 de acuerdo al TEST0059 (kg-cm/cm) en el alma del muro "H".

Fuente: Propia

CAPÍTULO IV – ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DINÁMICO DE VIBRACIÓN LIBRE DEL MURO DE FORMA “H”

Se realizó el método de variación de período de base con aceleración constante, llamado “swapping”, de donde se tienen los siguientes resultados:

Para la primera aceleración inducida, se tiene un desplazamiento en la base constante y en ese tramo se analiza el desplazamiento de la respuesta del espécimen.

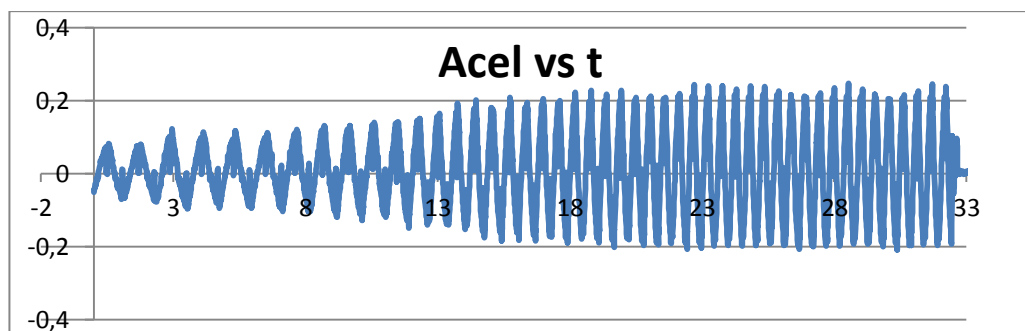


Figura 76. Aceleración inducida vs tiempo – 1er punto

Fuente: Propia

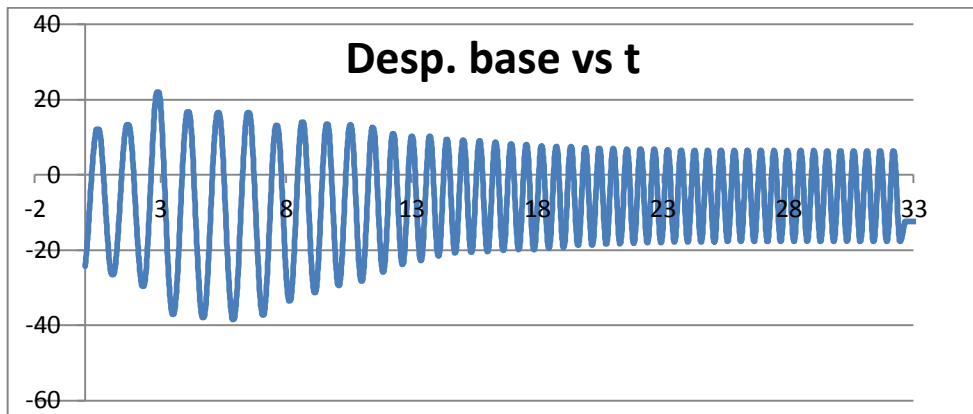


Figura 77. Desplazamiento en la base vs tiempo – 1er punto

Fuente: Propia

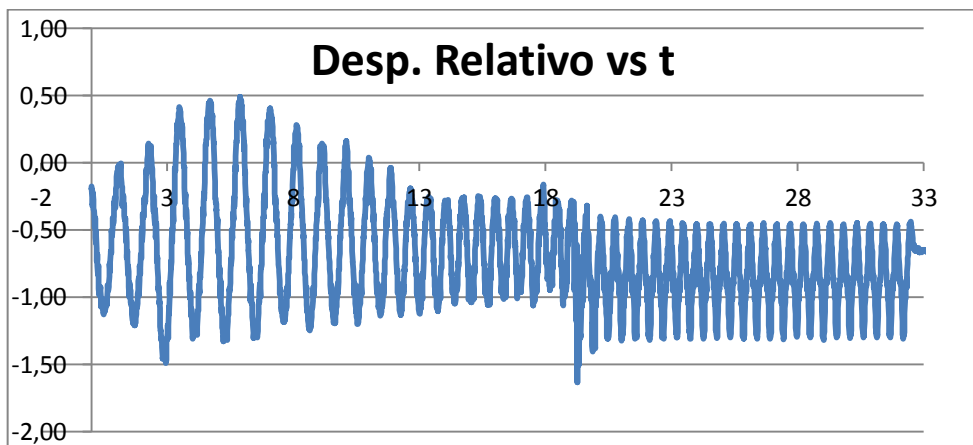


Figura 78. Desplazamiento relativo vs tiempo – 1er punto

Fuente: Propia

Se tienen los siguientes resultados, donde t es tiempo, T es período, f es frecuencia, App es la amplitud pico a pico y A es la amplitud de la respuesta:

Cuadro N- 6 Resultados para el primer punto

t (s) =	4,04	5,24	6,59
T (s) =		1,20	1,35
f (hz) =		0,83	0,74
App(mm)=		1,74	1,74
A (mm) =		0,87	0,87

Cuadro N- 8 Resultados para el segundo punto

t (s) =	2,55	22,16	22,63	23,24	23,74
T (s) =		0,61	0,47	0,61	0,50
f (hz) =		1,64	2,13	1,64	2,00
App(mm)=	0,86	0,85	0,87	0,88	0,87
A (mm) =	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44

Para la segunda aceleración inducida, se tiene un desplazamiento en la base constante y en ese tramo se analiza el desplazamiento de la respuesta del espécimen.

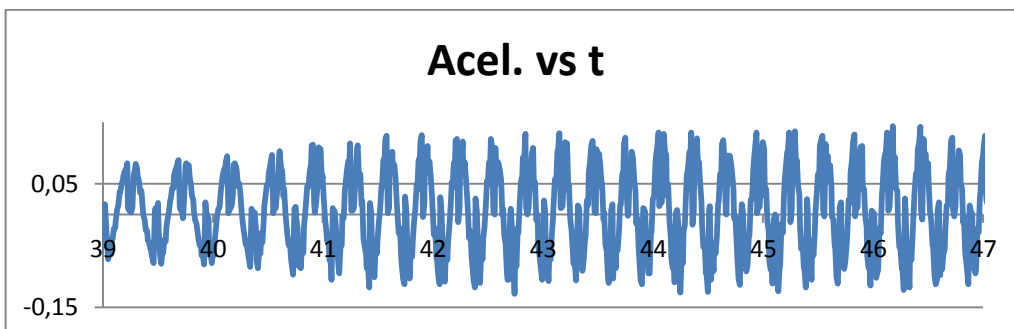


Figura 79. Aceleración inducida vs tiempo – 2do punto.

Fuente: Propia

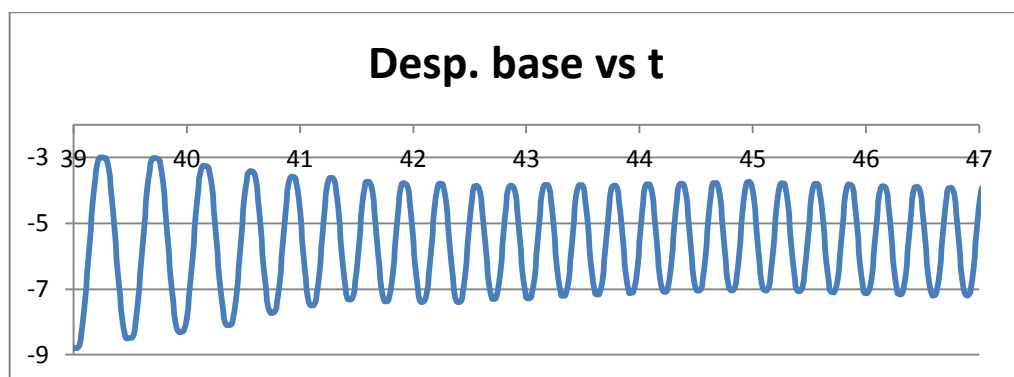


Figura 80. Desplazamiento en la base vs tiempo – 2do punto.

Fuente: Propia

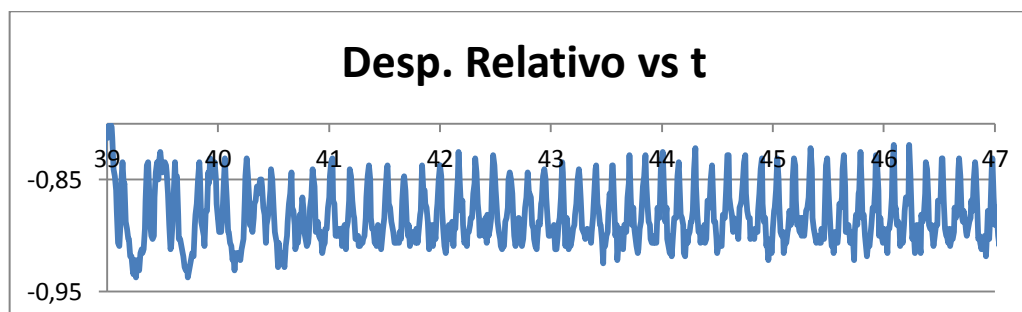


Figura 81. Desplazamiento relativo vs tiempo – 2do punto.

Fuente: Propia

Se tienen los siguientes resultados, donde t es tiempo, T es período, f es frecuencia, App es la amplitud pico a pico y A es la amplitud de la respuesta:

Cuadro N- 7 Resultados para el tercer punto

t (s) =	42,94	43,1	43,25	43,4	4,55	43,71
T (s) =		0,16	0,15	0,15	0,15	0,16
f (hz) =		6,25	6,67	6,67	6,67	6,25
App (mm)=	-0,07	0,07	-0,07	0,07	-0,07	0,91
A (mm) =	-0,04	0,04	-0,04	0,04	-0,04	

Para la tercera aceleración inducida, se tiene un desplazamiento en la base constante y en ese tramo se analiza el desplazamiento de la respuesta del espécimen.

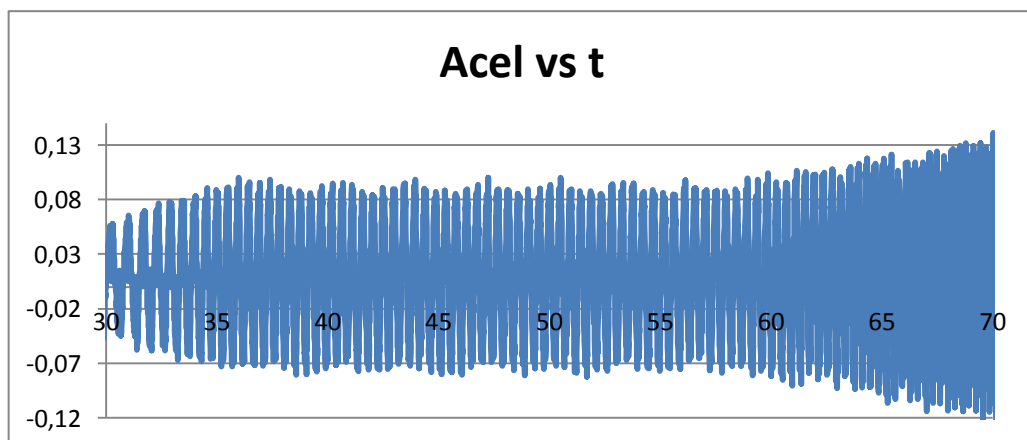


Figura 82. Aceleración inducida vs tiempo – 3er punto.

Fuente: Propia

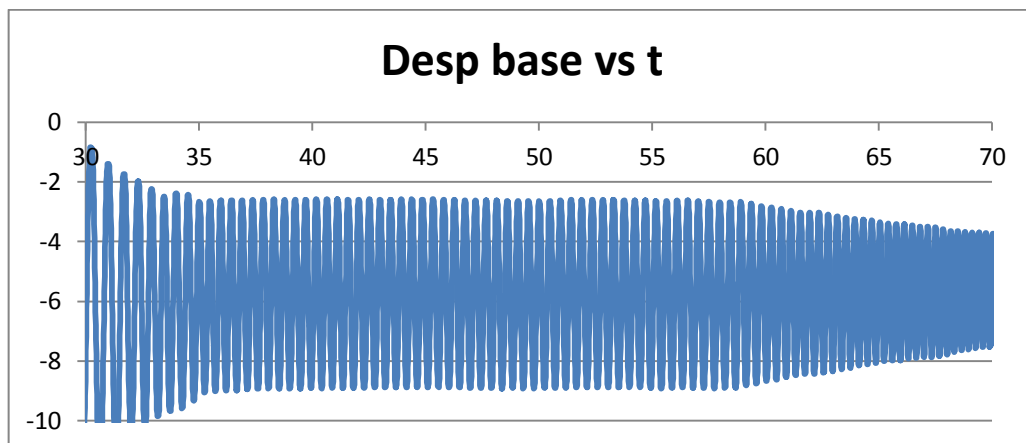


Figura 83. Desplazamiento en la base vs tiempo – 3er punto.

Fuente: Propia

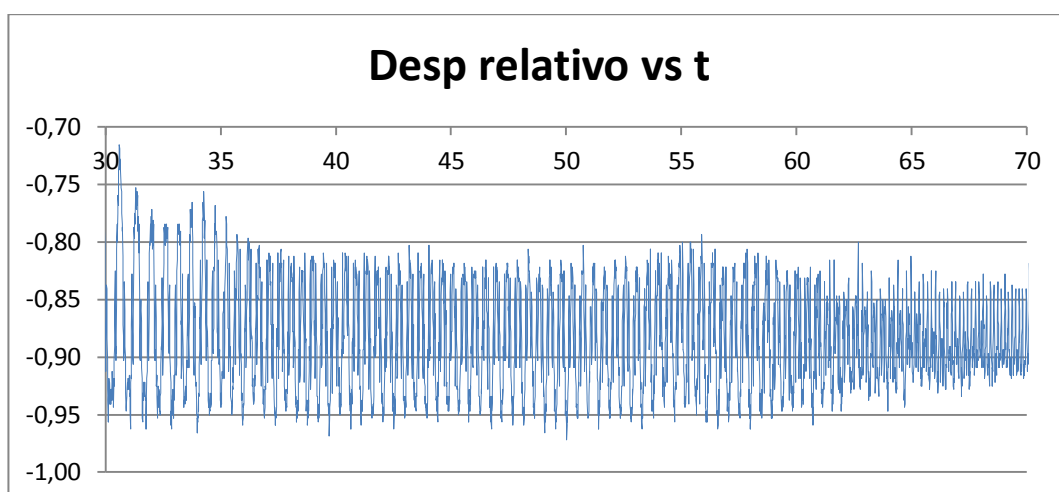


Figura 84. Desplazamiento relativo vs tiempo – 3er punto.

Fuente: Propia

Se tienen los siguientes resultados, donde t es tiempo, T es período, f es frecuencia, A_{pp} es la amplitud pico a pico y A es la amplitud de la respuesta:

Cuadro N- 8 Resultados para el cuarto punto

t (s) =	42,47	42,98	43,47	43,95	44,39
T (s) =		0,51	0,49	0,48	0,44
f (hz) =		1,96	2,04	2,08	2,27
App(mm)=	0,13	-0,13	0,13	-0,12	0,12
A (mm) =	0,07	-0,07	0,07	-0,06	0,06

Para la cuarta aceleración inducida, se tiene un desplazamiento en la base constante y en ese tramo se analiza el desplazamiento de la respuesta del espécimen.

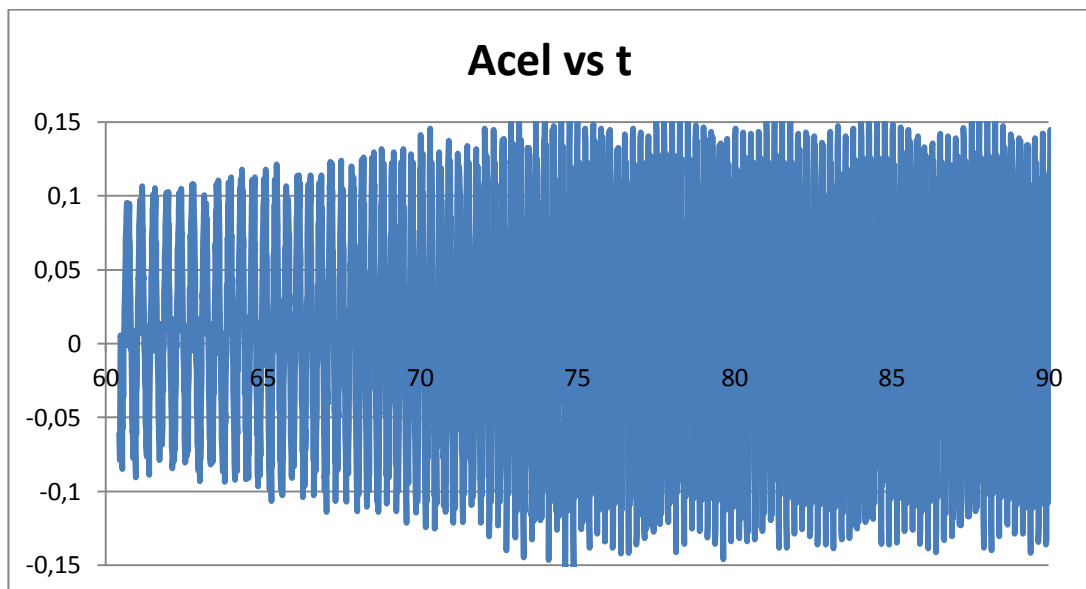


Figura 85. Aceleración inducida vs tiempo – 4to punto.

Fuente: Propio

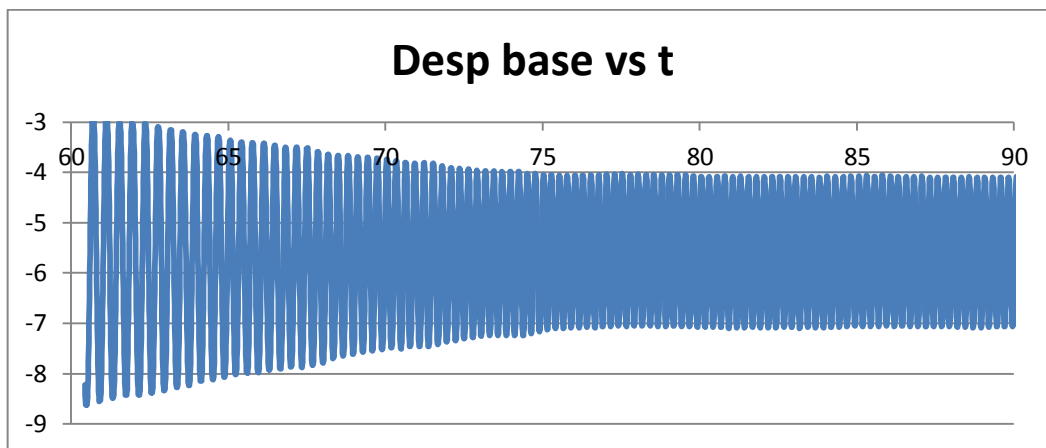


Figura 86. Desplazamiento en la base vs tiempo – 4to punto.

Fuente: Propia

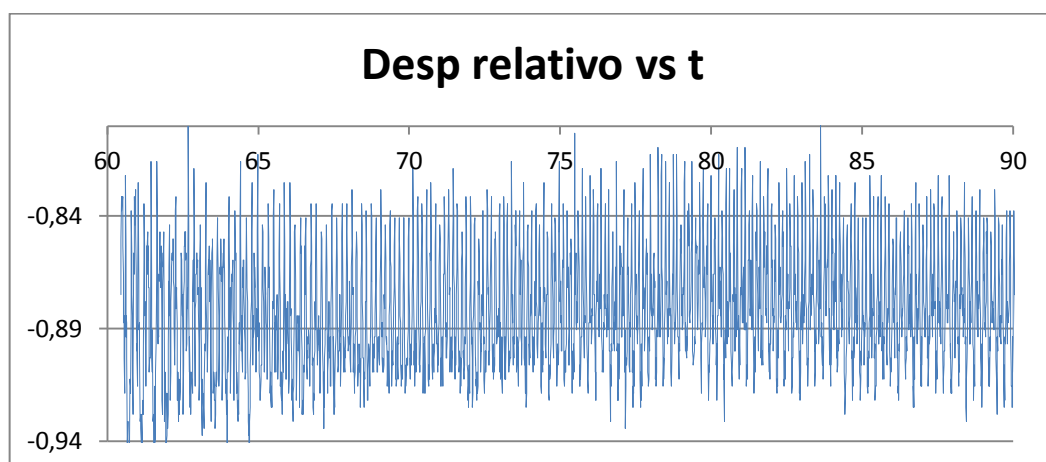


Figura 87. Desplazamiento relativo vs tiempo – 4to punto.

Fuente: Propia

Se tienen los siguientes resultados, donde t es tiempo, T es período, f es frecuencia, A_{pp} es la amplitud pico a pico y A es la amplitud de la respuesta:

Cuadro N- 9 Resultados para el quinto punto

t (s) =	8,2	83,44	83,71	83,95	84,18
T (s) =		0,24	0,27	0,24	0,23
f (hz) =		4,17	3,70	4,17	4,35
App(mm)=	0,1	-0,1	0,09	-0,08	0,09
A (mm) =	0,05	-0,05	0,05	-0,04	0,05

Para la quinta aceleración inducida, se tiene un desplazamiento en la base constante y en ese tramo se analiza el desplazamiento de la respuesta del espécimen.

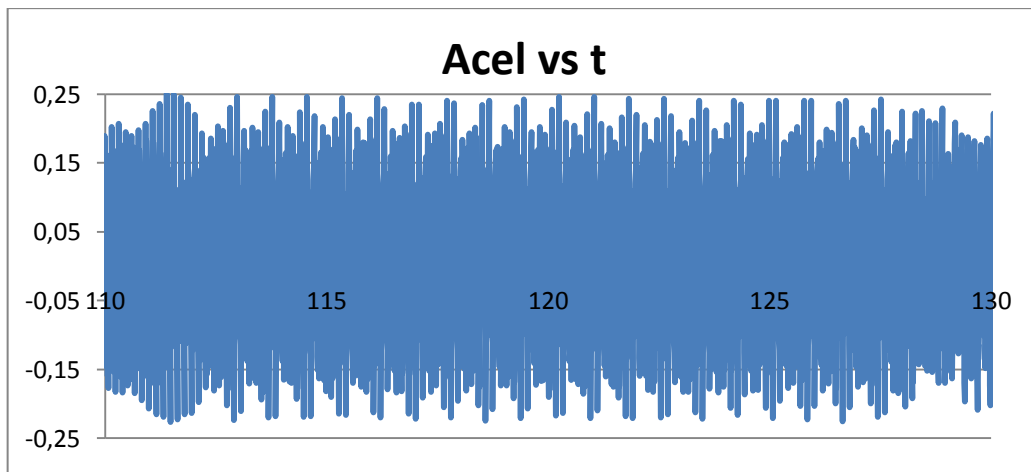


Figura 88. Aceleración inducida vs tiempo – 5to punto.

Fuente: Propia

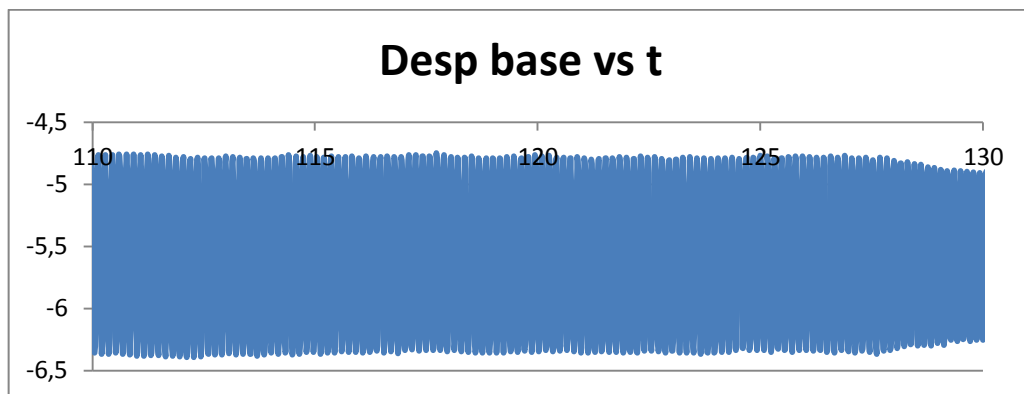


Figura 89. Desplazamiento en la base vs tiempo – 5to punto.

Fuente: Propia

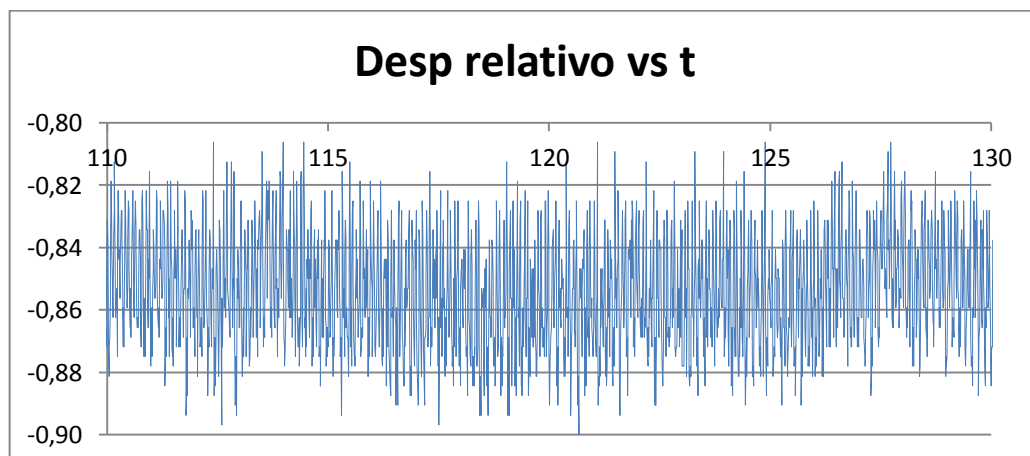


Figura 90. Desplazamiento relativo vs tiempo – 5to punto.

Fuente: Propia

Se tienen los siguientes resultados, donde t es tiempo, T es período, f es frecuencia, A_{pp} es la amplitud pico a pico y A es la amplitud de la respuesta:

Cuadro N- 10 Resultados para el sexto punto

t (s) =	114,49	114,58	114,64	114,74	114,83
T (s) =		0,09	0,06	0,10	0,09
f (hz) =		11,11	16,67	10,00	11,11
App(mm)=	0,04	-0,04	0,04	-0,05	0,05
A (mm) =	0,02	-0,02	0,02	-0,03	0,03

Para la sexta aceleración inducida, se tiene un desplazamiento en la base constante y en ese tramo se analiza el desplazamiento de la respuesta del espécimen.

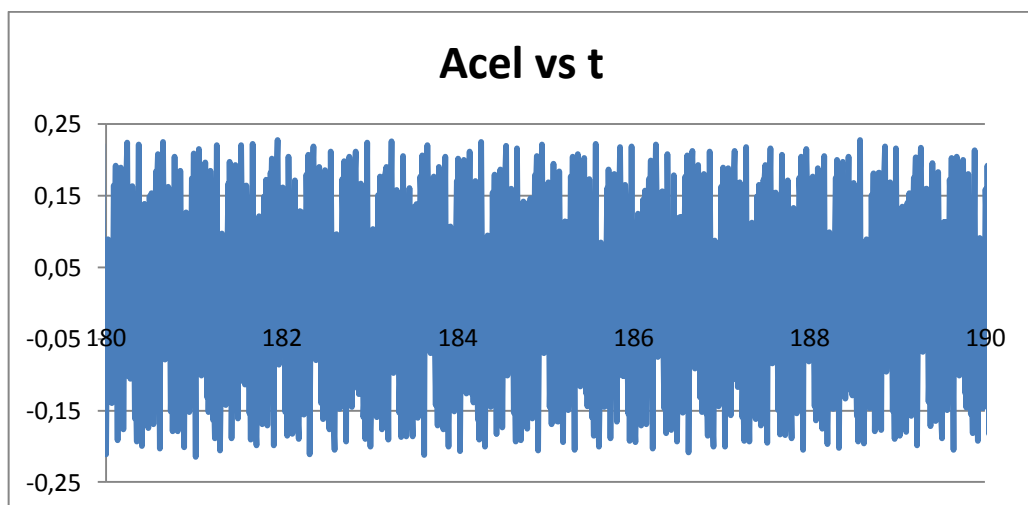


Figura 91. Aceleración inducida vs tiempo – 7to punto.

Fuente: Propia

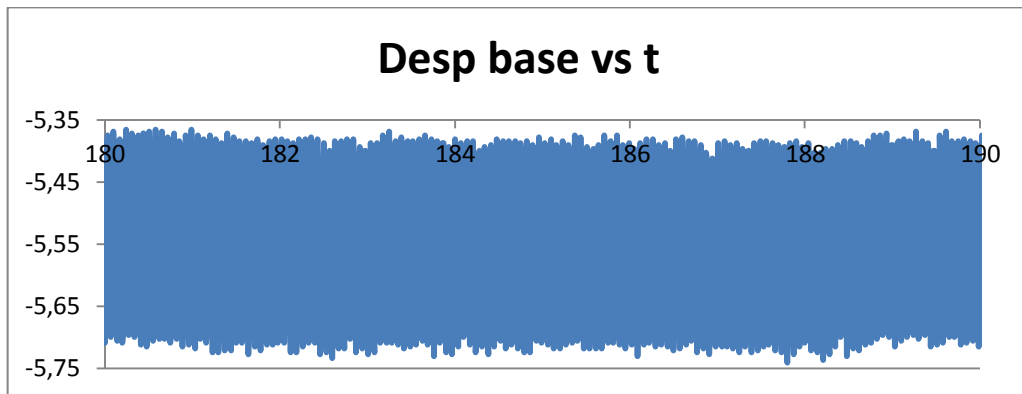


Figura 92. Desplazamiento en la base vs tiempo – 7to punto.

Fuente: Propia

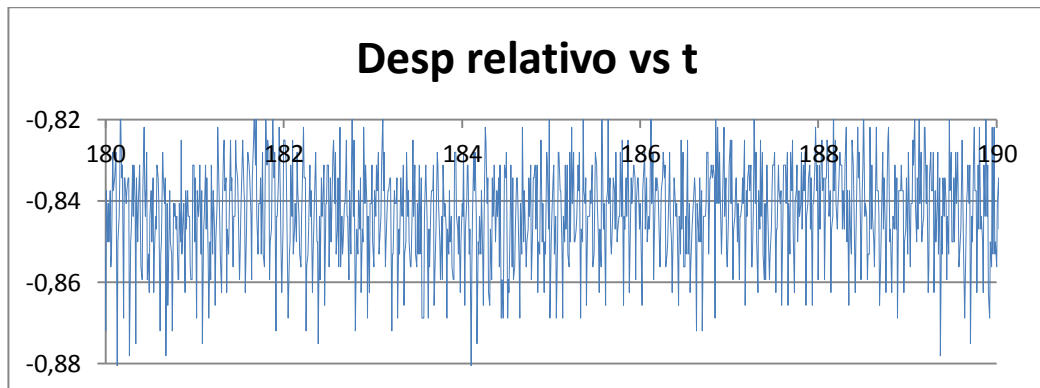


Figura 93. Desplazamiento relativo vs tiempo – 7to punto.

Fuente: Propia

Se tienen los siguientes resultados, donde t es tiempo, T es período, f es frecuencia, A_{pp} es la amplitud pico a pico y A es la amplitud de la respuesta:

Cuadro N- 11 Resultados para el séptimo punto

t (s) =	183,55	183,62	183,69	183,76	183,83
T (s) =		0,07	0,07	0,07	0,07
f (hz) =		14,29	14,29	14,29	14,29
App(mm)=	0,04	-0,04	0,04	-0,04	0,04
A (mm) =	0,02	-0,02	0,02	-0,02	0,02

Para la séptima aceleración inducida, se tiene un desplazamiento en la base constante y en ese tramo se analiza el desplazamiento de la respuesta del espécimen.

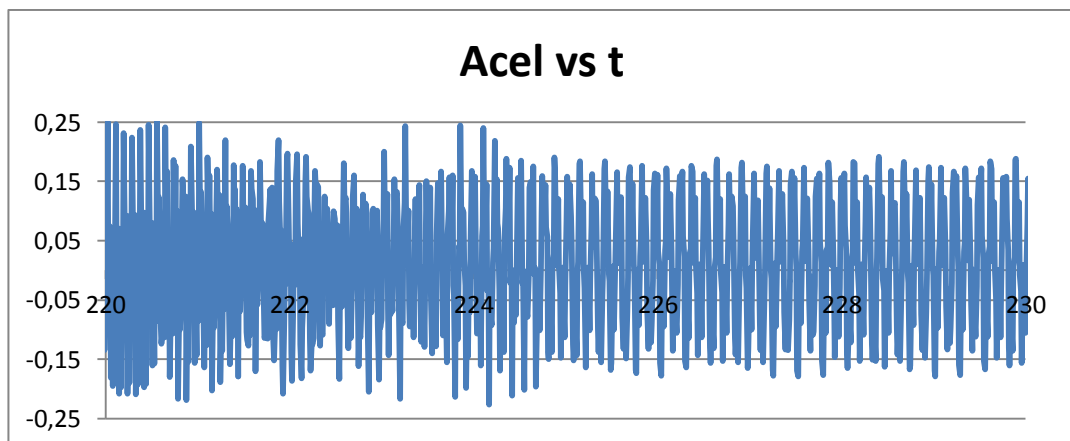


Figura 94. Aceleración inducida vs tiempo – 8vo punto.

Fuente: Propia

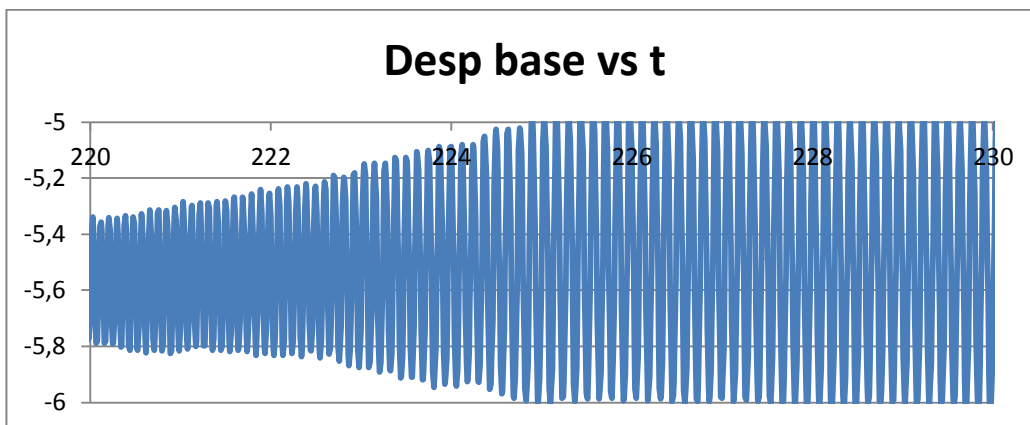


Figura 95. Desplazamiento en la base vs tiempo – 8vo punto.

Fuente: Propia

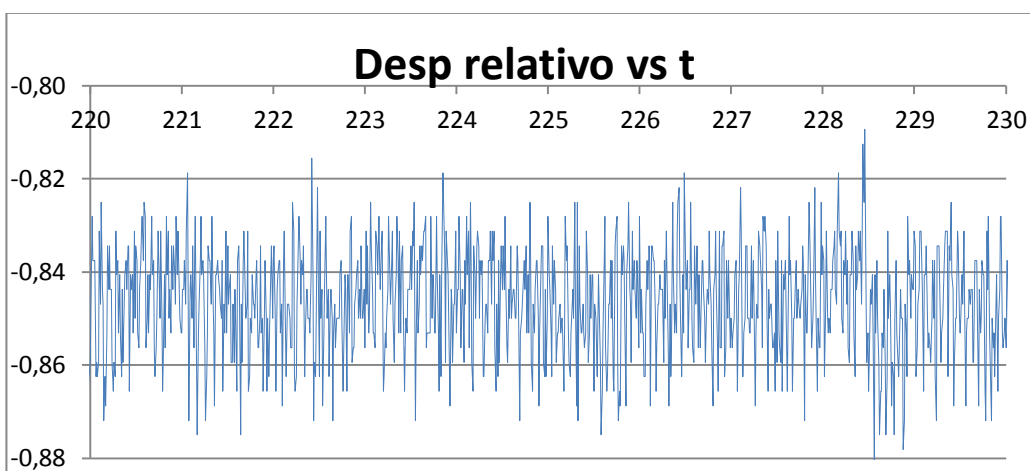


Figura 96. Desplazamiento relativo vs tiempo – 8vo punto.

Fuente: Propia

Se tienen los siguientes resultados, donde t es tiempo, T es período, f es frecuencia, A_{pp} es la amplitud pico a pico y A es la amplitud de la respuesta:

Cuadro N- 12 Resultados para el octavo punto

t (s) =	229,24	229,29	229,37	229,43	229,5
T (s) =		0,05	0,08	0,06	0,07
f (hz) =		20,00	12,50	16,67	14,29
App(mm)=	0,04	-0,03	0,03	-0,03	0,03
A (mm) =	0,02	-0,02	0,02	-0,02	0,02

Para la octava aceleración inducida, se tiene un desplazamiento en la base constante y en ese tramo se analiza el desplazamiento de la respuesta del espécimen.

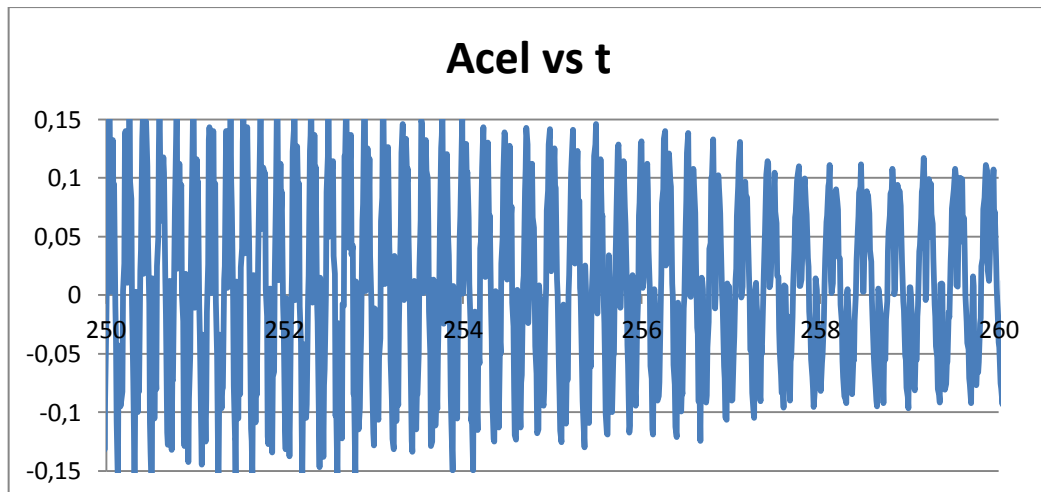


Figura 97. Aceleración inducida vs tiempo – 9vo punto.

Fuente: Propia

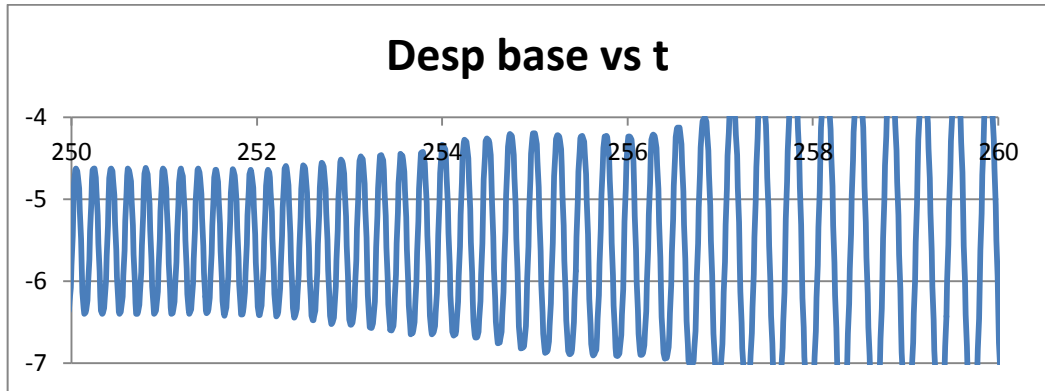


Figura 98. Desplazamiento en la base vs tiempo – 9vo punto.

Fuente: Propia

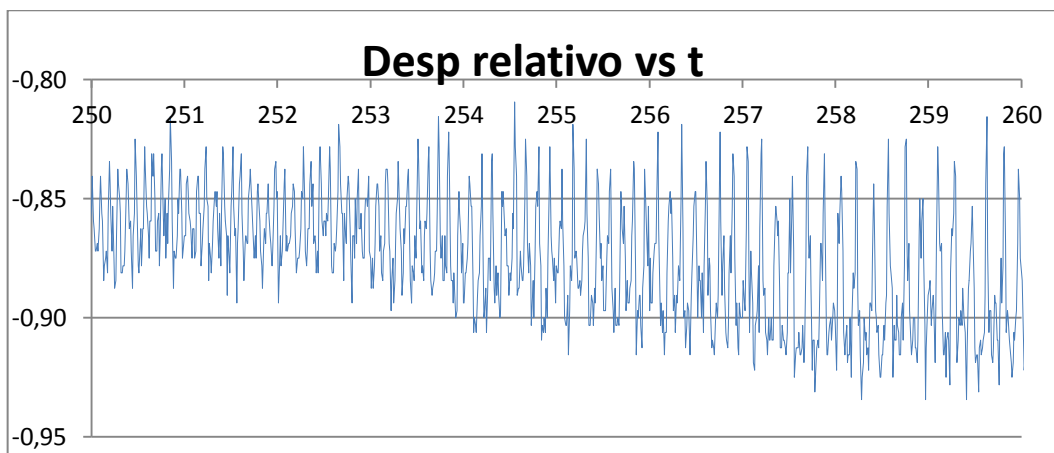


Figura 99. Desplazamiento relativo vs tiempo – 9vo punto.

Fuente: Propia

Se tienen los siguientes resultados, donde t es tiempo, T es período, f es frecuencia, A_{pp} es la amplitud pico a pico y A es la amplitud de la respuesta:

Cuadro N- 13 Resultados para el noveno punto.

t (s) =	258,28	258,48	258,62	258,82	258,97
T (s) =		0,20	0,14	0,20	0,15
f (hz) =		5,00	7,14	5,00	6,67
App(mm)=	0,09	-0,09	0,1	-0,1	0,1
A (mm) =	0,05	-0,05	0,05	-0,05	0,05

Para la novena aceleración inducida, se tiene un desplazamiento en la base constante y en ese tramo se analiza el desplazamiento de la respuesta del espécimen.

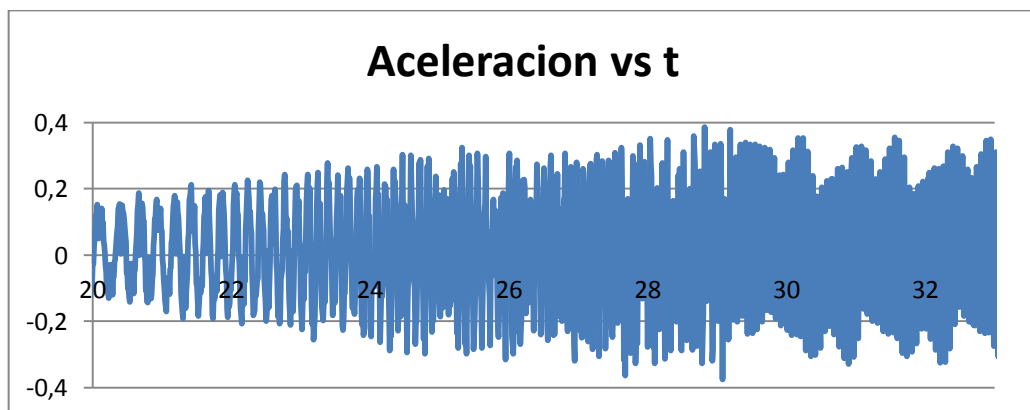


Figura 100. Aceleración inducida vs tiempo – 10 punto.

Fuente: Propia

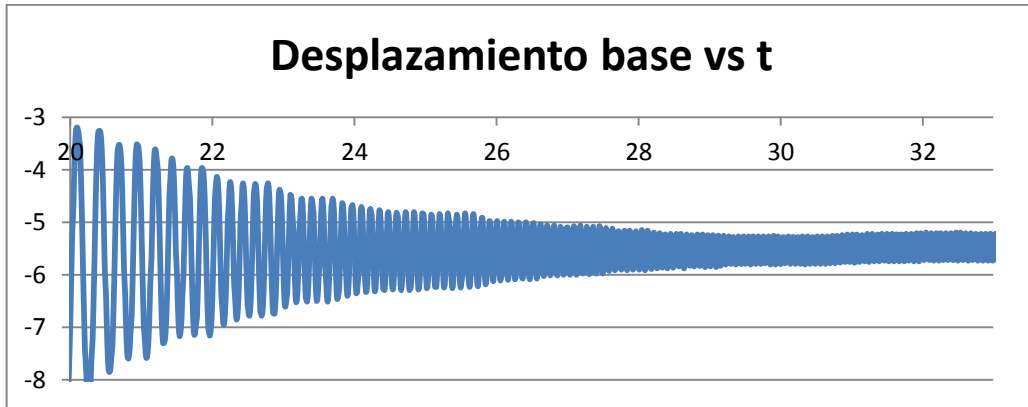


Figura 101. Desplazamiento en la base vs tiempo – 10 punto.

Fuente: Propia

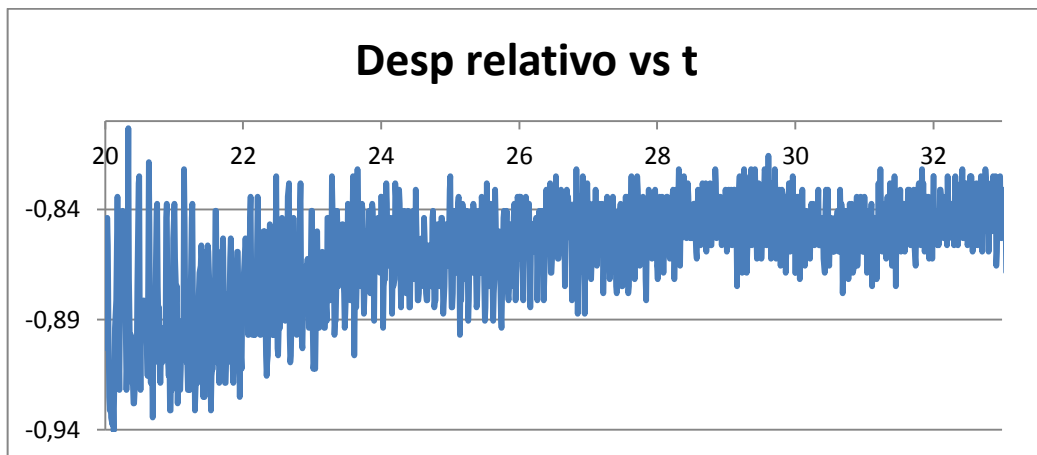


Figura 102. Desplazamiento relativo vs tiempo – 10 punto.

Fuente: Propia

Se tienen los siguientes resultados, donde t es tiempo, T es período, f es frecuencia, A_{pp} es la amplitud pico a pico y A es la amplitud de la respuesta:

Cuadro N- 14 Resultados para el décimo punto

t (s) =	25,14	25,26	25,38	25,50	25,62
T (s) =		0,12	0,12	0,12	0,12
f (hz) =		8,33	8,33	8,33	8,33
App(mm)=	0.06	-0,05	0,05	-0,04	0,04
A (mm) =	0,03	-0,03	0,03	-0,02	0,02

Para la décima aceleración inducida, se tiene un desplazamiento en la base constante y en ese tramo se analiza el desplazamiento de la respuesta del espécimen.

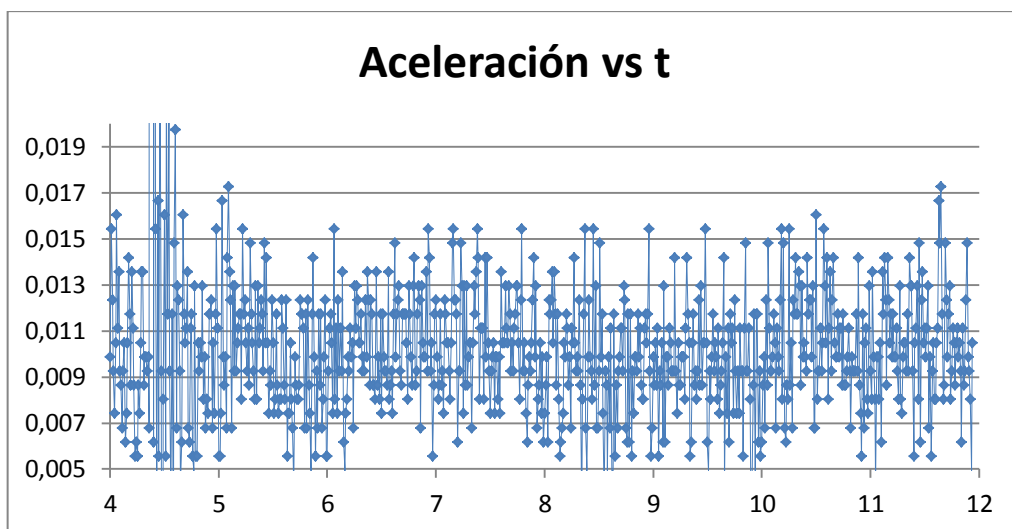


Figura 103. Aceleración inducida vs tiempo – 11 punto.

Fuente: Propia

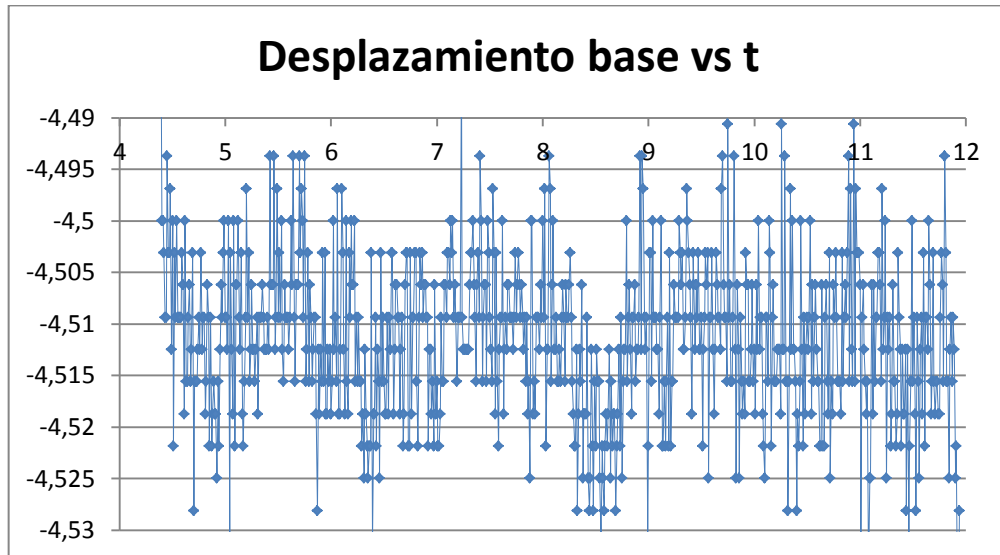


Figura 104. Desplazamiento en la base vs tiempo – 11 punto.

Fuente: Propia

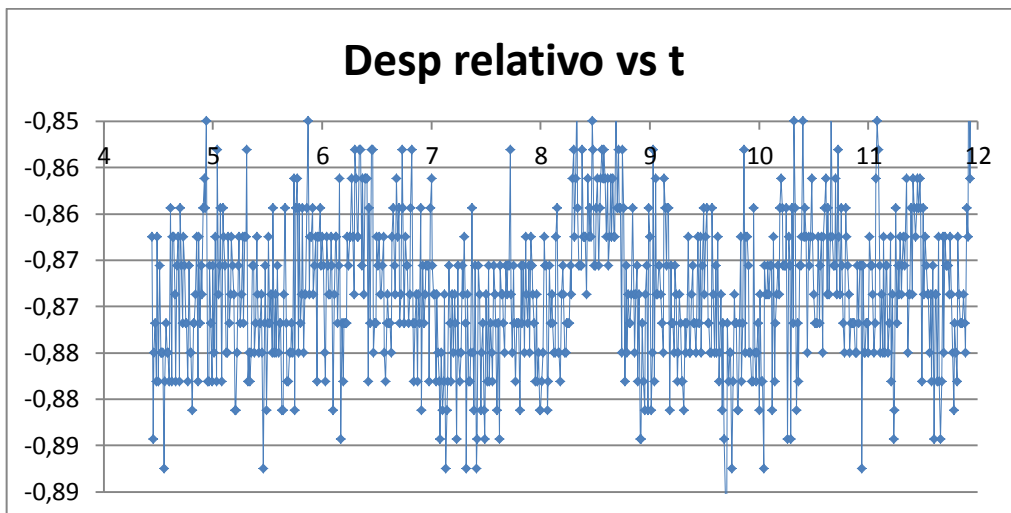


Figura 105. Desplazamiento relativo vs tiempo – 11 punto.

Fuente: Propia

Se tienen los siguientes resultados, donde t es tiempo, T es período, f es frecuencia, App es la amplitud pico a pico y A es la amplitud de la respuesta:

Cuadro N- 15 Resultados para el onceavo punto

t (s) =	5,63	5,68	5,75	5,78	5,84
T (s) =		0,05	0,07	0,03	0,06
f (hz) =		20,00	14,29	33,33	16,67
App (mm)=	0.02	-0,02	0,02	-0,02	0,02
A (mm) =	0.01	-0,01	0,01	-0,01	0,01

Se tienen el siguiente resumen de los resultados obtenidos:

Cuadro N- 16 Resumen de resultados

#	T (s)	A (mm)
1	1,20	0,87
2	0,61	0,44
3	0,5	0,07
4	0,24	0,05
5	0,15	0,05
6	0,15	0,04
7	0,12	0,03

8	0,09	0,03
9	0,07	0,02
10	0,07	0,01
11	0,06	0,02

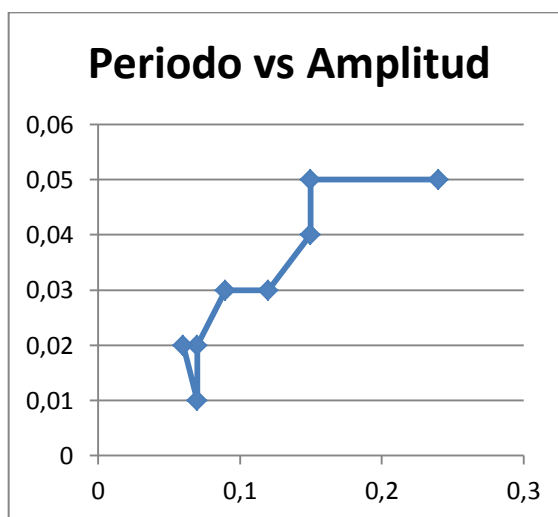


Figura 106. Gráfico del swapping

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CARGA SÍSMICA DEL MURO DE FORMA “H”

Se aplicó una aceleración en la base que fue incrementándose gradualmente, como se muestra en la figura 109.

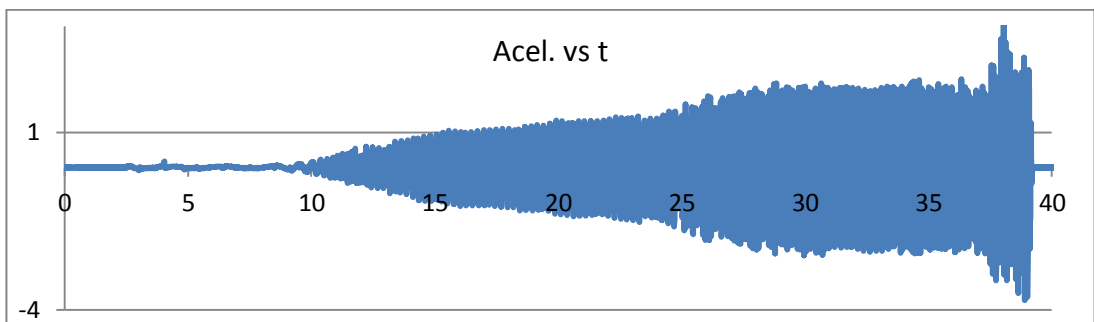


Figura 107. Aceleración inducida en la base del muro "H".

Fuente: Propia

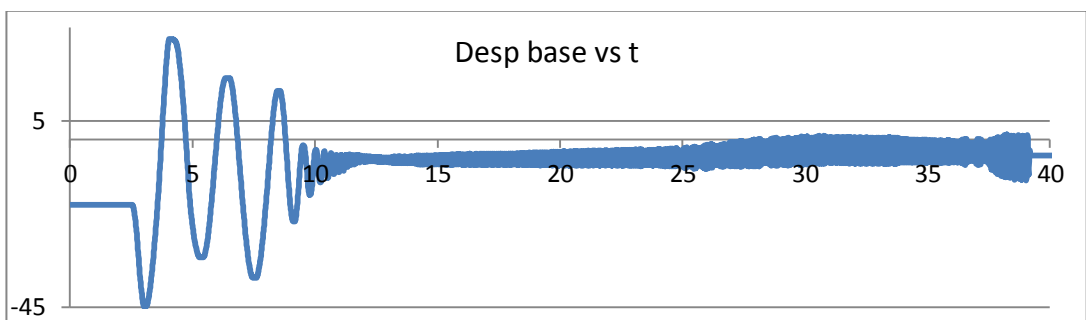


Figura 108. Desplazamiento en la base del muro "H".

Fuente: Propia

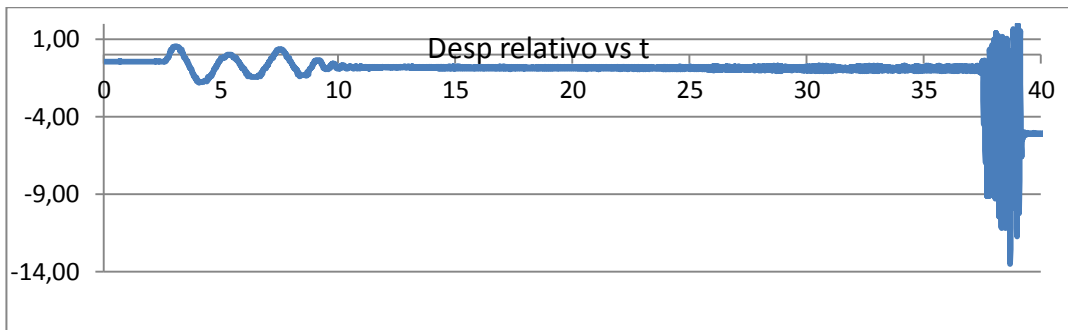
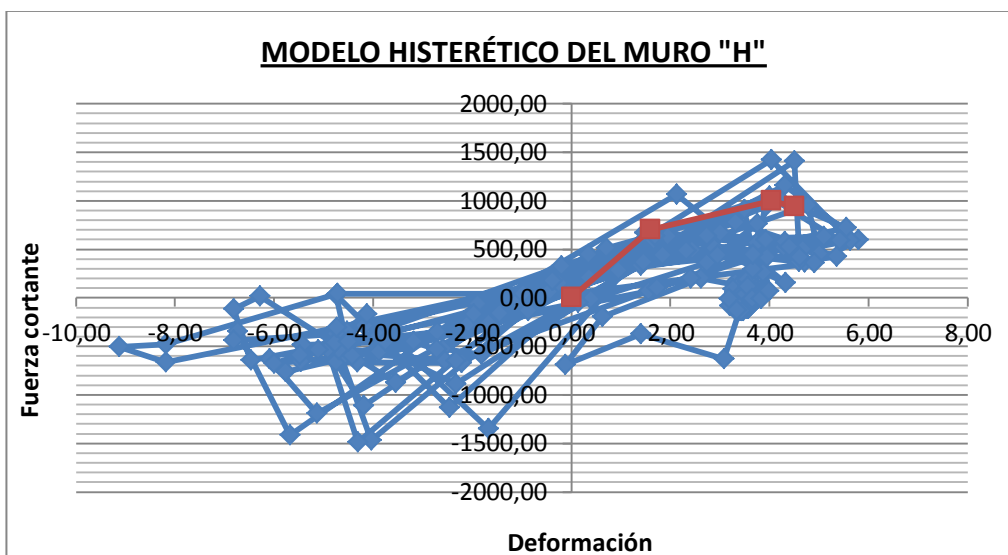


Figura 109. Desplazamiento relativo del espécimen del muro "H".

Fuente: Propia

4.3. COMPARACIÓN DE RIGIDEZ

Para la comparación de rigidez del método experimental se tomara el menor máximo valor lo de la curva histerética, para así tener un factor de seguridad.



Deformación	Fuerza
Unidades:	Unidades:
0,00	0,00
1,60	700,00
4,04	1 000,00
4,50	937,00

Rigidez= 437,5 kg/mm

Rigidez= 280,2 kg/mm

CÁLCULO DE RIGIDEZ DEL MURO "H"		
Método Matemático		Método experimental
Forma tradicional (ton/m)	Considerando la longitud total del ala (ton/m)	Mesa vibradora CISMID
10,85	9103,14	208,22
Comparación		
1,00	839,00	19,19

Al realizar la comparación de la rigidez del muro "H" con el método tradicional, nos da como resultado, que la contribución de sus alas es de al elemento es de 20 veces a lo tradicional.

Mediante el ensayo de laboratorio se ha estimado una rigidez que es muy considerable en comparación con la manera tradicional. La manera que interviene esto es una estructura seria en el aporte de concreto en la resistencia al corte, estos cálculos estructurales se realizan para la distribución de refuerzo.

CONTRIBUCIÓN DEL CONCRETO EN LA RESISTENCIA A CORTE

Falla en corte del concreto

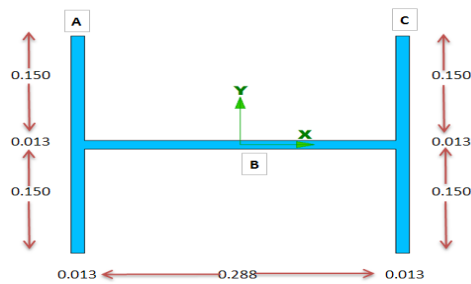
$$V_c := 0.53 \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \cdot A_h$$

$$V_c = 0,876 \text{ tn}$$

Dato del ensayo:

$$V_{\text{ensayo}} = 0,7 \text{ tn}$$

$$A_{\text{contribucion}} := \frac{V_{\text{ensayo}}}{0.53 \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}} = 91,141 \text{ cm}^2$$



LEYENDA: Dimensiones del muro "H".

Fuente: Propia

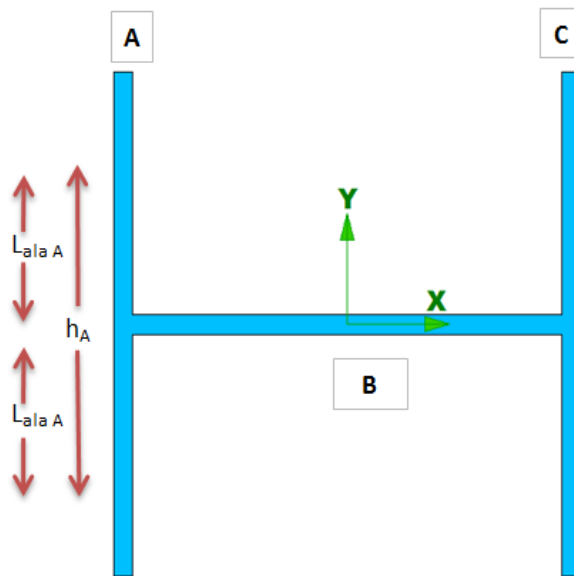
$$\text{Area}_B = 39,063 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area}_{\text{ContribucionAlas}} := \text{Area}_{\text{contribucion}} - \text{Area}_B = 52,078 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area}_A := \frac{\text{Area}_{\text{ContribucionAlas}}}{4} = 13,02 \text{ cm}^2$$

$$L_{\text{alaA}} := \frac{\text{Area}_A}{\frac{0.1}{8}\text{m}} = 0,104 \text{ m}$$

Es por lo tanto, en el aporte de rigidez de las alas al alma es $2/3 L$ (longitud del ala), este resultado nos ayuda a disminuir el acero que se coloca en el alma, ya que el aporte del concreto de las alas es considerable en el diseño estructural de placas de forma H.



LEYENDA: Variables de la ala del muro "H".

Fuente: Propia

CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- 1) En el primer ensayo no se pudo calcular la deformación del muro para una determinada aceleración impuesta, ya que faltaría un sensor laser en la base del muro; por lo tanto, los desplazamientos registrados por los sensores CH04, CH05 y CH06 solo se tiene el desplazamiento de la mesa y la deformación del muro.

Se ha tratado de calcular los desplazamientos en la base del muro a partir de los datos de aceleración registrados por el acelerógrafo sensor CH01 integrándolo dos veces pero los datos salen incoherentes, esto probablemente se deba a que estamos mezclando datos registrados experimentalmente con datos hallados teóricamente.

- 2) En el segundo ensayo se obtuvo los desplazamientos deseados, por lo que se desarrolló la curva histerética y así se visualizó las etapas de deformación del muro “H” y la degradación de su rigidez.

- 3) Comparando los resultados del método matemático con el experimental, se obtuvo un aumento de rigidez de 20 veces más, el cual nos indica aparentemente que el aporte de rigidez de las alas es muy importante para el análisis y diseño estructural.
- 4) La proporción de contribución de rigidez del muro es los $\frac{2}{3}$ de la longitud del ala, por lo cual en los cálculos que se realiza se debería considerar esta fracción adicional en el análisis y diseño de estructuras.
- 5) El muro ensayado tiene un comportamiento rígido por la disposición en forma de H, esto evidencia el gran aporte de estabilidad que le otorga las alas al muro interior, puesto que este último tiene suficiente rigidez.
- 6) Al terminar los ensayos se muestran fisuras y desprendimiento de concreto en las uniones muro Interior – muro Ala y estas se prolongan por todo el muro ala, mas no en el muro interior esto evidencia la diferencia de rigideces en el sentido del análisis.
- 7) Si bien es cierto se esperaba el colapso del muro al final del ensayo, esto no sucedió, solo los muros ala fueron las que quedaron con el acero expuesto y el muro interior estaba intacto, pero hasta este punto ya se había perdido la estabilidad que le otorgaba los muros ala al

muro interior, esto quiere decir que el colapso podría ocurrir debido a la inestabilidad del muro interior por su gran esbeltez en el sentido transversal al análisis.

- 8) Otro aspecto por el cual los muros ala fueron solicitados más que el muro interior es por la distribución del peso adicional al muro H, estas se distribuyen desde las alas hacia el muro interior.
- 9) A partir de la curva de comportamiento se puede concluir que el muro interior ha estado en el rango elástico durante el ensayo, esto de acuerdo al modelamiento en SAP2000.
- 10) Del swapping se obtuvo un período de 0,07s, el cual difiere del período calculado matemáticamente con el sap que es de 0,035s, esto se deberan a que se necesita explorar el desplazamiento con periodos más bajos de los realizados, lo cual fue difícil de realizar en laboratorio.
- 11) Para los cálculos de la gráfica de esfuerzo de corte versus distorsión se observa que el modelo desarrolla más resistencia con una distorsión mayor.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Para posteriores ensayos se debe adicionar una viga en la parte superior del muro interior para anclar el peso adicional a la viga y de esta manera distribuir las cargas solo al muro interior para observar con más claridad el aporte de los muros ala, puesto que lo que se busca es evaluar el comportamiento del muro interior.
2. Al momento de realizar la mezcla de concreto para el vaciado del muro H, se debe de tener una adecuada dosificación del concreto, el valor de la resistencia del concreto es 210 kg/cm^2 se mantuvo la escala del modelo al prototipo.
3. En el proceso constructivo se debe escalar el material, es decir que el diámetro del agregado es un factor importante en la realización de la muestra. Por lo cual, resultados obtenidos en la Tesis, no fueron los esperados.
4. La consistencia del concreto a usarse debe ser lo suficientemente fluida como para poder distribuirse y ocupar todos los espacios

dentro del encofrado y de esta manera evitar cangrejas por el poco espacio que se tiene al estar escalado.

5. Se debe de usar algún tipo de aditivo para realizar un desencofrado adecuado y de esta manera evitar forzar al momento del desencofrado.
6. Para ensayos posteriores se debe de agregar un sensor laser en la base del muro, para poder cuantificar por simple diferencia con el sensor laser ubicado en la parte superior y de esta manera calcular la deformación real del muro.
7. Se debió de registrar la aceleración en el momento en que se produjo la primera fisura para poder establecer la fluencia del acero, en el presente ensayo se descuidó este aspecto por este motivo se recomienda que para posteriores ensayo se tenga presente.
8. Se cometió un error al analizar un elemento de un solo nivel y adicionarle el peso de los 4 niveles superiores, porque se estaría despreciando los desplazamiento relativos de cada nivel y la participación de la masa concentrada ante la acción sísmica. Por lo que se recomienda que para la construcción de modelos a escala reducida deberá ser con su respectivo nivel.

Escalar las unidades y propiedades del material es importante en la realización de la Tesis, porque se debe buscar la similitud en la construcción del modelo y el prototipo, ya que en la realidad el muro de forma "H", no trabaja de manera independiente es decir un solo nivel.

9. Se debe tener en cuenta que al momento de ensayar el modelo ante acciones sísmicas, también se va a evaluar ante acciones dinámicas para determinar los periodos fundamentales y estimar el amortiguamiento.

10. Para una adecuada comparación de resultados se debe tener como mínimo 3 prototipos, para así evitar errores en la realización de cada ensayo, por ejemplo: la selección de material, el proceso constructivo, el colocado de sensores y por último la interpretación de datos.

BIBLIOGRAFÍA

1. BUSTOS, JOSÉ – ZAVALA, FRANCISCO – MASANET, ALBERTO – SANTALUCÍA, JORGE. (2000). “Estudio del comportamiento dinámico de un modelo de mampostería encadenada mediante un ensayo de mesa vibradora.”. Uruguay. XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural.
2. DULHOSTE, JEAN FRANÇOIS. “Mecánica de Fluidos – Análisis Dimensional”. ULA.
3. DR. ZAVALA, CARLOS. “Análisis Dimensional y Semejanza”. Perú. UNI.
4. Park R y T Paulay (2003), “Diseño Sísmico de Edificios”, Editorial Limusa”.
5. Park R y T Paulay (2003), “Estructuras de concreto reforzado”.
6. Arthur Nilson (Duodécima Edición) “Diseño de Estructuras de Concreto ” Editorial Mc Graw Hill

7. Ing. Gianfranco OttazziPasino (2006), "Diseño en Concreto Armado", Capitulo Peruano del American Concrete Institute, Primera Edición
8. Ing. Roberto Morales (2002), "Curso de Maestría en Estructuras" Apuntes de Clases de Maestría en Estructuras de la Universidad Nacional de Ingeniería"
9. Francisco Beltrán "Teoría General del Método de los Elementos Finitos", Departamento de Mecánica Estructural y Construcciones Industriales - ETS Ingenieros Industriales Madrid. Notas de Clase / Curso de Doctorado 1998-99
10. Luiz M. Bozzo – Alex H. Barbat (2000) "Diseño Sismorresistente de Edificios – Técnicas Convencionales y Avanzadas", Editorial Reverté S.A.
11. Jeffrey P. Laible (1995) "Análisis Estructural", Editorial Limusa
12. Jack C. McCormac (1995) "Análisis Estructural", Editorial Harla – Tercera Edición.
13. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05), Producido por el Comité ACI 318 (2005)

14. Alfonso Larraín Vidal, Fernando Yañez Uribe “Manual de Cálculo de Hormigón Armado” 2ª Edición en Base al Código ACI 318-05, Constructora Gerdau Aza Chile.

ANEXO

Datos obtenidos del ensayo de la mesa vibradora usando los laboratorios de estructuras del CISMID

ID No. DCS-100A
 Title
 Test Date 19/12/2013 17:10:08
 MEAS CHs 7
 Digital Input OFF
 Sampling Rate(Hz) 100
 Data Nos/CH 4460
 MEAS Time(sec) 44,6
 CH Name

CH No.	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH07	CH08
Range	5000	5000	5000	10	10	10	10
Calibration	0,003943	0,0039	0,0039	10	10	10	10
Offset	0	0	0	0	0	0	0
Unit	G	G	G	mm	mm	mm	mm
0	0,0110896	0,0176	-0,0086	-22,263	-17,981	-19,425	-17,547
0,01	0,0110896	0,0176	-0,0122	-22,263	-17,991	-19,441	-17,553
0,02	0,0117057	0,0195	-0,0086	-22,244	-17,978	-19,422	-17,534
0,03	0,0178666	0,0225	-0,0061	-22,25	-17,969	-19,413	-17,534
0,04	0,0154023	0,0207	-0,0061	-22,25	-17,988	-19,425	-17,547
0,05	0,0129379	0,0201	-0,011	-22,256	-17,981	-19,422	-17,55
0,06	0,0154023	0,0164	-0,0098	-22,269	-17,975	-19,419	-17,538
0,07	0,013554	0,0219	-0,0122	-22,256	-17,981	-19,425	-17,55
0,08	0,0197149	0,028	-0,011	-22,247	-17,963	-19,397	-17,534
0,09	0,0141701	0,0189	-0,0116	-22,272	-17,981	-19,428	-17,55
0,1	0,013554	0,0189	-0,0061	-22,256	-17,972	-19,416	-17,544

0,11	0,0147862	0,0195	-0,0098	-22,269	-17,988	-19,416	-17,55
0,12	0,0172505	0,0201	-0,0098	-22,269	-17,975	-19,419	-17,538
0,13	0,0092414	0,0219	-0,0128	-22,284	-17,981	-19,422	-17,559
0,14	0,0154023	0,0207	-0,0086	-22,269	-17,972	-19,416	-17,531
0,15	0,0141701	0,0146	-0,0086	-22,272	-17,975	-19,416	-17,544
0,16	0,0166344	0,0158	-0,0116	-22,275	-17,978	-19,422	-17,534
0,17	0,0147862	0,0158	-0,019	-22,266	-17,978	-19,431	-17,538
0,18	0,0172505	0,0213	-0,0122	-22,278	-17,978	-19,425	-17,544
0,19	0,0160183	0,0213	-0,0079	-22,263	-17,978	-19,428	-17,538
0,2	0,0117057	0,0183	-0,0098	-22,269	-17,981	-19,413	-17,538
0,21	0,0154023	0,0164	-0,0079	-22,263	-17,984	-19,422	-17,534
0,22	0,0104735	0,0353	-0,0281	-22,272	-17,991	-19,422	-17,531
0,23	0,0117057	0,0225	-0,0073	-22,253	-17,975	-19,416	-17,531
0,24	0,0123218	0,0183	-0,0098	-22,269	-17,988	-19,428	-17,547
0,25	0,0147862	0,0243	-0,0079	-22,253	-17,978	-19,416	-17,522
0,26	0,0172505	0,0201	-0,0116	-22,256	-17,978	-19,419	-17,538
0,27	0,0080092	0,0329	-0,0196	-22,263	-17,981	-19,425	-17,531
0,28	0,0147862	0,0189	-0,011	-22,263	-17,988	-19,425	-17,541
0,29	0,0123218	0,0195	-0,0079	-22,272	-17,988	-19,422	-17,538
0,3	0,0141701	0,0183	-0,0092	-22,253	-17,972	-19,428	-17,528
0,31	0,0141701	0,0183	-0,0098	-22,269	-17,975	-19,425	-17,528
0,32	0,0154023	0,0219	-0,0061	-22,25	-17,972	-19,413	-17,534
0,33	0,0117057	0,0201	-0,0104	-22,269	-17,978	-19,422	-17,544
0,34	0,0123218	0,0164	-0,0098	-22,259	-17,984	-19,419	-17,538
0,35	0,0141701	0,0164	-0,0061	-22,259	-17,981	-19,419	-17,534
0,36	0,0141701	0,0225	-0,0067	-22,269	-17,975	-19,416	-17,538
0,37	0,0154023	0,0164	-0,0037	-22,253	-17,972	-19,413	-17,541
0,38	0,0160183	0,0176	-0,0086	-22,256	-17,972	-19,416	-17,547
0,39	0,0129379	0,0189	-0,0079	-22,247	-17,966	-19,413	-17,538
0,4	0,0129379	0,0189	-0,0098	-22,259	-17,975	-19,425	-17,55

0,41	0,0110896	0,017	-0,0055	-22,259	-17,984	-19,425	-17,544
0,42	0,013554	0,0097	-0,0012	-22,259	-17,978	-19,419	-17,531
0,43	0,0197149	0,0128	-0,0043	-22,259	-17,978	-19,413	-17,519
0,44	0,0209471	0,0176	-0,0098	-22,266	-17,972	-19,422	-17,534
0,45	0,0184827	0,0201	-0,0092	-22,259	-17,978	-19,413	-17,538

0,46	0,0160183	0,0158	-0,0086	-22,275	-17,984	-19,422	-17,538
0,47	0,0209471	0,0146	-0,0043	-22,269	-17,969	-19,406	-17,525
0,48	0,0197149	0,0243	-0,0098	-22,253	-17,969	-19,406	-17,531
0,49	0,0147862	0,0225	-0,0122	-22,259	-17,966	-19,413	-17,534
0,5	0,0110896	0,0176	-0,0134	-22,275	-17,978	-19,422	-17,544
0,51	0,0147862	0,0237	-0,0122	-22,256	-17,975	-19,406	-17,528
0,52	0,0178666	0,0122	-0,0024	-22,259	-17,978	-19,422	-17,534
0,53	0,0123218	0,0152	-0,0098	-22,263	-17,981	-19,419	-17,541
0,54	0,0129379	0,0207	-0,0098	-22,269	-17,975	-19,422	-17,544
0,55	0,0129379	0,0195	-0,0086	-22,275	-17,988	-19,419	-17,538
0,56	0,0160183	0,0189	-0,0043	-22,259	-17,969	-19,413	-17,534
0,57	0,0147862	0,0134	-0,0055	-22,263	-17,975	-19,419	-17,541
0,58	0,0110896	0,0207	-0,0092	-22,269	-17,978	-19,416	-17,547
0,59	0,0172505	0,0207	-0,0079	-22,269	-17,978	-19,413	-17,531
0,6	0,0178666	0,0183	-0,0092	-22,263	-17,975	-19,416	-17,534
0,61	0,0147862	0,0201	-0,0031	-22,263	-17,972	-19,422	-17,534
0,62	0,0154023	0,0103	-0,0049	-22,278	-17,984	-19,422	-17,55
0,63	0,0190988	0,0213	-0,0104	-22,272	-17,972	-19,422	-17,544
0,64	0,0154023	0,0207	-0,0147	-22,256	-17,978	-19,403	-17,534
0,65	0,0129379	0,0176	-0,0092	-22,259	-17,969	-19,413	-17,541
0,66	0,0178666	0,0097	0,0037	-22,272	-17,984	-19,422	-17,544
0,67	0,0147862	0,0164	-0,0061	-22,269	-17,966	-19,422	-17,544
0,68	0,0172505	0,0183	-0,0049	-22,266	-17,966	-19,416	-17,547
0,69	0,0141701	0,0201	-0,0104	-22,272	-17,972	-19,419	-17,547
0,7	0,0172505	0,0189	-0,0086	-22,272	-17,978	-19,428	-17,55
0,71	0,0215632	0,0012	0,0018	-22,266	-17,966	-19,416	-17,553
0,72	0,0123218	0,0176	-0,0073	-22,269	-17,981	-19,422	-17,544
0,73	0,013554	0,0201	-0,0116	-22,272	-17,978	-19,425	-17,544
0,74	0,0110896	0,0207	-0,0098	-22,263	-17,981	-19,419	-17,538
0,75	0,013554	0,0189	-0,0086	-22,256	-17,972	-19,416	-17,55
0,76	0,0172505	0,0103	-0,0061	-22,259	-17,969	-19,413	-17,544
0,77	0,0184827	0,0183	-0,0122	-22,269	-17,975	-19,425	-17,544
0,78	0,0141701	0,0201	-0,0055	-22,269	-17,975	-19,413	-17,541
0,79	0,013554	0,0183	-0,0116	-22,272	-17,984	-19,422	-17,55
0,8	0,0160183	0,0158	-0,0116	-22,269	-17,984	-19,416	-17,55

0,81	0,0166344	0,0207	-0,0128	-22,253	-17,975	-19,416	-17,534
0,82	0,0141701	0,0189	-0,0086	-22,263	-17,981	-19,416	-17,534
0,83	0,0141701	0,0189	-0,0086	-22,272	-17,975	-19,413	-17,541
0,84	0,0172505	0,0201	-0,0079	-22,256	-17,975	-19,406	-17,547
0,85	0,0178666	0,017	-0,0098	-22,266	-17,975	-19,413	-17,531
0,86	0,0160183	0,0329	-0,0177	-22,247	-17,959	-19,403	-17,528
0,87	0,0141701	0,0158	-0,0122	-22,259	-17,981	-19,413	-17,534
0,88	0,0117057	0,0195	-0,011	-22,275	-17,984	-19,419	-17,547
0,89	0,0141701	0,0262	-0,0098	-22,25	-17,978	-19,403	-17,519
0,9	0,0166344	0,0207	-0,0061	-22,263	-17,978	-19,416	-17,534
0,91	0,0147862	0,0249	-0,0134	-22,266	-17,978	-19,419	-17,541
0,92	0,0141701	0,0158	-0,0092	-22,266	-17,972	-19,413	-17,528
0,93	0,0160183	0,0207	-0,0134	-22,263	-17,975	-19,422	-17,538
0,94	0,0160183	0,0195	-0,0067	-22,256	-17,978	-19,413	-17,525
0,95	0,0172505	0,0164	-0,0092	-22,266	-17,975	-19,422	-17,531
0,96	0,0178666	0,0286	-0,0134	-22,253	-17,966	-19,406	-17,528
0,97	0,0172505	0,0219	-0,0073	-22,263	-17,981	-19,422	-17,538
0,98	0,0141701	0,0195	-0,0104	-22,263	-17,984	-19,425	-17,538
0,99	0,0166344	0,0195	-0,0098	-22,263	-17,969	-19,413	-17,528
1	0,0172505	0,0207	-0,0079	-22,263	-17,975	-19,416	-17,522
1,01	0,013554	0,0213	-0,0141	-22,269	-17,978	-19,428	-17,531
1,02	0,0178666	0,0213	-0,0079	-22,259	-17,975	-19,419	-17,522
1,03	0,0154023	0,0225	-0,0055	-22,266	-17,975	-19,419	-17,525
1,04	0,0184827	0,0195	-0,0104	-22,269	-17,978	-19,419	-17,534
1,05	0,0166344	0,0189	-0,0171	-22,266	-17,978	-19,425	-17,541
1,06	0,0172505	0,0256	-0,0098	-22,256	-17,978	-19,422	-17,525
1,07	0,013554	0,0152	-0,0055	-22,259	-17,978	-19,428	-17,528
1,08	0,0154023	0,0189	-0,0079	-22,266	-17,981	-19,428	-17,528
1,09	0,0172505	0,0183	-0,0073	-22,269	-17,978	-19,419	-17,525
1,1	0,0129379	0,031	-0,0208	-22,256	-17,972	-19,422	-17,522
1,11	0,0160183	0,0213	-0,011	-22,263	-17,969	-19,438	-17,534
1,12	0,0154023	0,0146	-0,0104	-22,266	-17,978	-19,431	-17,538
1,13	0,0172505	0,0219	-0,0092	-22,259	-17,972	-19,416	-17,522
1,14	0,0166344	0,0219	-0,0086	-22,259	-17,984	-19,428	-17,538
1,15	0,0086253	0,0377	-0,0238	-22,256	-17,972	-19,419	-17,516
1,16	0,0197149	0,0201	-0,0098	-22,266	-17,978	-19,419	-17,525
1,17	0,0215632	0,0231	-0,011	-22,263	-17,969	-19,406	-17,531
1,18	0,0172505	0,0207	-0,0079	-22,263	-17,978	-19,422	-17,528
1,19	0,0178666	0,0231	-0,0073	-22,266	-17,994	-19,428	-17,534
1,2	0,0141701	0,0322	-0,0104	-22,263	-17,978	-19,416	-17,525

1,21	0,0166344	0,0189	-0,0061	-22,263	-17,981	-19,416	-17,522
1,22	0,0184827	0,0152	-0,0104	-22,259	-17,984	-19,419	-17,534
1,23	0,013554	0,0195	-0,0098	-22,266	-17,975	-19,422	-17,531
1,24	0,0172505	0,0158	-0,0092	-22,275	-17,984	-19,425	-17,531
1,25	0,0129379	0,0164	-0,0012	-22,272	-17,984	-19,422	-17,547
1,26	0,0154023	0,0176	-0,0073	-22,269	-17,972	-19,428	-17,522
1,27	0,0160183	0,0176	-0,0092	-22,269	-17,981	-19,419	-17,528
1,28	0,0190988	0,0213	-0,0086	-22,269	-17,981	-19,416	-17,531
1,29	0,0129379	0,017	-0,0049	-22,281	-17,978	-19,422	-17,538
1,3	0,0166344	0,0085	-0,0043	-22,272	-17,981	-19,422	-17,531
1,31	0,0172505	0,0201	-0,0098	-22,269	-17,981	-19,422	-17,525
1,32	0,0129379	0,017	-0,0061	-22,266	-17,975	-19,425	-17,541
1,33	0,0178666	0,0207	-0,0067	-22,247	-17,963	-19,409	-17,522
1,34	0,0154023	0,0195	-0,0067	-22,263	-17,972	-19,425	-17,525
1,35	0,020331	0,0134	0,0037	-22,256	-17,975	-19,413	-17,525
1,36	0,0154023	0,0189	-0,0098	-22,266	-17,978	-19,422	-17,544
1,37	0,0154023	0,0189	-0,0049	-22,25	-17,966	-19,406	-17,534
1,38	0,0178666	0,0152	-0,0086	-22,266	-17,978	-19,419	-17,531
1,39	0,0178666	0,0201	-0,0079	-22,25	-17,972	-19,409	-17,522
1,4	0,013554	0,0097	-0,0043	-22,269	-17,981	-19,413	-17,534
1,41	0,013554	0,0176	-0,0098	-22,269	-17,984	-19,428	-17,534
1,42	0,013554	0,0158	-0,0098	-22,266	-17,984	-19,428	-17,531
1,43	0,0172505	0,017	-0,0104	-22,259	-17,991	-19,419	-17,547
1,44	0,0086253	0,0158	-0,011	-22,263	-17,984	-19,425	-17,55
1,45	0,0209471	0,011	-0,0049	-22,256	-17,972	-19,416	-17,525
1,46	0,0141701	0,0164	-0,0104	-22,272	-17,978	-19,419	-17,541
1,47	0,0117057	0,0195	-0,0116	-22,275	-17,969	-19,419	-17,538
1,48	0,0190988	0,0231	-0,0067	-22,25	-17,975	-19,409	-17,534
1,49	0,0080092	0,0176	-0,0055	-22,284	-17,988	-19,425	-17,541
1,5	0,0141701	0,0176	-0,0073	-22,256	-17,981	-19,413	-17,528
1,51	0,0209471	0,0219	-0,0049	-22,256	-17,972	-19,413	-17,534
1,52	0,0129379	0,0219	-0,0122	-22,253	-17,981	-19,419	-17,531
1,53	0,0172505	0,0183	-0,0073	-22,256	-17,975	-19,422	-17,541
1,54	0,0172505	0,0134	0,0037	-22,25	-17,969	-19,413	-17,528
1,55	0,0184827	0,0176	-0,0104	-22,25	-17,969	-19,416	-17,534
1,56	0,0160183	0,0183	-0,0073	-22,256	-17,975	-19,419	-17,531
1,57	0,0129379	0,017	-0,0104	-22,259	-17,978	-19,431	-17,541
1,58	0,0154023	0,017	-0,0098	-22,263	-17,978	-19,422	-17,544
1,59	0,0172505	-0,0006	0,0055	-22,25	-17,966	-19,413	-17,538
1,6	0,0141701	0,0237	-0,0086	-22,247	-17,975	-19,416	-17,538

1,61	0,0166344	0,0176	-0,0122	-22,256	-17,969	-19,413	-17,544
1,62	0,013554	0,0164	-0,0122	-22,263	-17,978	-19,419	-17,541
1,63	0,0184827	0,0237	-0,0061	-22,238	-17,969	-19,397	-17,528
1,64	0,0190988	0,0097	-0,0006	-22,241	-17,969	-19,413	-17,528
1,65	0,0154023	0,017	-0,0086	-22,25	-17,975	-19,419	-17,531
1,66	0,0141701	0,0164	-0,0128	-22,25	-17,988	-19,413	-17,538
1,67	0,0141701	0,0158	-0,0116	-22,266	-17,984	-19,422	-17,544
1,68	0,0172505	0,0164	-0,0073	-22,263	-17,984	-19,413	-17,538
1,69	0,0141701	0,0183	-0,0134	-22,256	-17,978	-19,416	-17,541
1,7	0,0172505	0,0176	-0,0159	-22,272	-17,984	-19,425	-17,538
1,71	0,0129379	0,017	-0,011	-22,256	-17,978	-19,409	-17,534
1,72	0,013554	0,0213	-0,0073	-22,266	-17,969	-19,416	-17,531
1,73	0,0172505	0,0231	-0,0098	-22,256	-17,963	-19,4	-17,519
1,74	0,0123218	0,0268	-0,0208	-22,259	-17,978	-19,409	-17,528
1,75	0,0215632	0,0237	-0,0079	-22,259	-17,969	-19,409	-17,525
1,76	0,0166344	0,0231	-0,0067	-22,259	-17,978	-19,413	-17,528
1,77	0,0178666	0,0213	-0,0055	-22,269	-17,984	-19,425	-17,531
1,78	0,0141701	0,0195	-0,0092	-22,259	-17,975	-19,419	-17,531
1,79	0,0104735	0,0274	-0,0147	-22,263	-17,975	-19,419	-17,531
1,8	0,0154023	0,0262	-0,0079	-22,244	-17,963	-19,413	-17,519
1,81	0,0172505	0,0207	-0,0049	-22,247	-17,972	-19,413	-17,522
1,82	0,0154023	0,0231	-0,0079	-22,244	-17,972	-19,422	-17,531
1,83	0,0129379	0,0195	-0,0134	-22,256	-17,978	-19,413	-17,531
1,84	0,0117057	0,0249	-0,0098	-22,247	-17,969	-19,416	-17,528
1,85	0,0117057	0,0176	-0,0128	-22,25	-17,972	-19,419	-17,531
1,86	0,0123218	0,0176	-0,0079	-22,253	-17,975	-19,422	-17,544
1,87	0,0160183	0,0164	-0,0073	-22,253	-17,981	-19,428	-17,559
1,88	0,0147862	0,0219	-0,0037	-22,25	-17,969	-19,413	-17,534
1,89	0,0154023	0,0237	-0,0116	-22,25	-17,978	-19,406	-17,538
1,9	0,0154023	0,0201	-0,0116	-22,259	-17,972	-19,428	-17,538
1,91	0,013554	0,0176	-0,0073	-22,253	-17,975	-19,419	-17,531
1,92	0,0141701	0,0183	-0,0092	-22,25	-17,975	-19,416	-17,531
1,93	0,0147862	0,0176	-0,0122	-22,25	-17,978	-19,409	-17,534
1,94	0,0166344	0,0219	-0,011	-22,25	-17,978	-19,422	-17,544
1,95	0,0147862	0,0183	-0,0079	-22,256	-17,969	-19,419	-17,531
1,96	0,0098574	0,0201	-0,0116	-22,259	-17,991	-19,419	-17,534
1,97	0,0160183	0,0195	-0,0049	-22,25	-17,978	-19,419	-17,534
1,98	0,0160183	0,0201	-0,022	-22,256	-17,975	-19,425	-17,544
1,99	0,013554	0,0189	-0,0098	-22,263	-17,975	-19,422	-17,547
2	0,0123218	0,0183	-0,0134	-22,256	-17,978	-19,416	-17,531
2,01	0,013554	0,0219	-0,0067	-22,244	-17,966	-19,406	-17,525

2,11	0,013554	0,0152	-0,0061	-22,272	-17,984	-19,416	-17,531
2,12	0,0160183	0,0195	-0,0092	-22,266	-17,981	-19,416	-17,534
2,13	0,0154023	0,0189	-0,0055	-22,269	-17,969	-19,422	-17,538
2,14	0,0154023	0,0213	-0,0079	-22,266	-17,975	-19,419	-17,534
2,15	0,0160183	0,0146	-0,0098	-22,269	-17,981	-19,419	-17,544
2,16	0,0117057	0,0207	-0,0098	-22,263	-17,969	-19,406	-17,534
2,17	0,0110896	0,0189	-0,0098	-22,269	-17,978	-19,431	-17,55
2,18	0,0098574	0,0079	-0,0031	-22,278	-17,981	-19,428	-17,559
2,19	0,0197149	0,0219	-0,0067	-22,278	-17,975	-19,419	-17,544
2,2	0,0147862	0,0201	-0,0092	-22,269	-17,975	-19,416	-17,547
2,21	0,0147862	0,0225	-0,0073	-22,266	-17,978	-19,409	-17,559
2,22	0,0110896	0,0219	-0,0116	-22,256	-17,966	-19,419	-17,544
2,23	0,0190988	0,0116	-0,0024	-22,259	-17,969	-19,413	-17,541
2,24	0,0117057	0,0183	-0,0092	-22,288	-17,988	-19,416	-17,55
2,25	0,013554	0,0183	-0,0073	-22,263	-17,975	-19,422	-17,531
2,26	0,0141701	0,0219	-0,0061	-22,247	-17,969	-19,419	-17,534
2,27	0,0160183	0,017	-0,011	-22,259	-17,972	-19,416	-17,531
2,28	0,0117057	0,0116	0,0012	-22,263	-17,966	-19,406	-17,541
2,29	0,0160183	0,017	-0,0116	-22,263	-17,981	-19,413	-17,544
2,3	0,0141701	0,0195	-0,011	-22,253	-17,981	-19,428	-17,541
2,31	0,0178666	0,0152	-0,0073	-22,269	-17,991	-19,419	-17,544
2,32	0,0160183	0,0231	-0,0067	-22,263	-17,975	-19,409	-17,541
2,33	0,0141701	0,0158	-0,0031	-22,263	-17,972	-19,413	-17,544
2,34	0,0184827	0,0158	-0,0086	-22,269	-17,978	-19,425	-17,538
2,35	0,0172505	0,0176	-0,0086	-22,272	-17,981	-19,416	-17,55
2,36	0,0160183	0,0201	-0,0086	-22,259	-17,972	-19,409	-17,553
2,37	0,0166344	0,0237	-0,0049	-22,256	-17,966	-19,406	-17,55
2,38	0,013554	0,0164	-0,0018	-22,259	-17,978	-19,416	-17,547
2,39	0,013554	0,0207	-0,0037	-22,256	-17,981	-19,403	-17,55
2,4	0,0166344	0,0176	-0,0092	-22,259	-17,981	-19,416	-17,538
2,41	0,0147862	0,0201	-0,011	-22,256	-17,984	-19,419	-17,55
2,42	0,0240275	0,0164	0,0049	-22,263	-17,981	-19,413	-17,531
2,43	0,0172505	0,017	-0,0049	-22,263	-17,978	-19,419	-17,544
2,44	0,0147862	0,0122	-0,0073	-22,259	-17,966	-19,409	-17,531
2,45	0,0129379	0,0176	-0,0073	-22,247	-17,975	-19,413	-17,528
2,46	0,013554	0,0189	-0,0092	-22,263	-17,972	-19,428	-17,541
2,47	0,0190988	0	0,0079	-22,253	-17,972	-19,416	-17,528
2,48	0,0154023	0,0189	-0,0055	-22,256	-17,978	-19,419	-17,538
2,49	0,0172505	0,0195	-0,0049	-22,253	-17,966	-19,419	-17,534
2,5	0,0154023	0,0189	-0,0092	-22,272	-17,981	-19,425	-17,544
2,51	0,0154023	0,0158	-0,0061	-22,25	-17,972	-19,425	-17,541

2,52	0,0394298	0,0298	0,0159	-22,263	-17,966	-19,409	-17,541
2,53	0,048055	0,0566	0,0324	-22,275	-17,991	-19,434	-17,559
2,54	0,0572964	0,0627	0,0348	-22,3	-18,019	-19,463	-17,591
2,55	0,0609929	0,0572	0,0318	-22,394	-18,109	-19,559	-17,681
2,56	0,0640734	0,059	0,033	-22,509	-18,219	-19,678	-17,797
2,57	0,0609929	0,0645	0,0385	-22,678	-18,397	-19,838	-17,969
2,58	0,0579125	0,0615	0,0367	-22,881	-18,594	-20,034	-18,172
2,59	0,0566803	0,0639	0,0342	-23,131	-18,841	-20,303	-18,425
2,6	0,0560642	0,0608	0,0336	-23,438	-19,125	-20,6	-18,7
2,61	0,0523677	0,0584	0,0318	-23,778	-19,463	-20,941	-19,041
2,62	0,0511355	0,0645	0,0245	-24,131	-19,828	-21,303	-19,428
2,63	0,0517516	0,0596	0,0318	-24,559	-20,231	-21,741	-19,828
2,64	0,054832	0,0554	0,0312	-25,016	-20,663	-22,191	-20,256
2,65	0,0486711	0,0566	0,0245	-25,538	-21,15	-22,697	-20,778
2,66	0,0566803	0,0596	0,0342	-26,044	-21,672	-23,197	-21,303
2,67	0,0529837	0,0651	0,0214	-26,609	-22,244	-23,784	-21,881
2,68	0,0560642	0,0548	0,0281	-27,234	-22,825	-24,4	-22,478
2,69	0,0511355	0,0554	0,0306	-27,875	-23,444	-25,05	-23,156
2,7	0,0462068	0,0487	0,0202	-28,559	-24,125	-25,722	-23,919
2,71	0,0443585	0,0481	0,0171	-29,234	-24,834	-26,428	-24,653
2,72	0,0431263	0,0554	0,0147	-29,966	-25,55	-27,191	-25,338
2,73	0,0394298	0,0402	0,011	-30,753	-26,278	-28,003	-26,081
2,74	0,0388137	0,0444	0,0202	-31,531	-27,075	-28,763	-26,894
2,75	0,0264919	0,0377	0,0134	-32,306	-27,897	-29,597	-27,741
2,76	0,0264919	0,0341	0,0024	-33,141	-28,722	-30,463	-28,541
2,77	0,0252597	0,0304	-0,0092	-33,981	-29,525	-31,341	-29,341
2,78	0,0110896	0,0116	-0,0159	-34,831	-30,372	-32,188	-30,247
2,79	0,0141701	0,003	-0,019	-35,678	-31,225	-33,053	-31,191
2,8	-0,001848	0,0091	-0,022	-36,503	-32,022	-33,95	-32,066
2,81	-0,000616	0,0061	-0,0232	-37,372	-32,816	-34,816	-32,875
2,82	0,0049287	0,011	-0,0263	-38,194	-33,588	-35,65	-33,688
2,83	-0,001848	0,0024	-0,0232	-38,981	-34,388	-36,447	-34,488
2,84	-0,013554	-0,003	-0,0281	-39,778	-35,169	-37,281	-35,369
2,85	-0,012938	-0,0043	-0,033	-40,581	-35,919	-38,081	-36,188
2,86	-0,010474	-0,0037	-0,0483	-41,356	-36,656	-38,844	-36,981
2,87	-0,016634	-0,0085	-0,041	-42,081	-37,416	-39,566	-37,706
2,88	-0,010474	-0,0043	-0,0355	-42,766	-38,094	-40,275	-38,347
2,89	-0,017867	-0,0055	-0,0355	-43,444	-38,741	-40,959	-38,984
2,9	-0,008625	-0,0067	-0,0342	-44,116	-39,372	-41,628	-39,641
2,91	-0,016018	0,0091	-0,0507	-44,719	-39,988	-42,222	-40,281
2,92	-0,008625	-0,0073	-0,0336	-45,281	-40,563	-42,838	-40,9

2,93	-0,004929	-0,0018	-0,0318	-45,859	-41,103	-43,419	-41,469
2,94	-0,018483	-0,0103	-0,0318	-46,4	-41,609	-43,975	-42,053
2,95	-0,016634	-0,0146	-0,0477	-46,922	-42,113	-44,481	-42,603
2,96	-0,032037	-0,0146	-0,0593	-47,403	-42,588	-44,966	-43,091
2,97	-0,037581	-0,0365	-0,0611	-47,847	-43,028	-45,431	-43,519
2,98	-0,044975	-0,0426	-0,0679	-48,244	-43,388	-45,847	-43,875
2,99	-0,052984	-0,0462	-0,0746	-48,575	-43,716	-46,188	-44,203
3	-0,051752	-0,0475	-0,0746	-48,831	-43,991	-46,463	-44,488
3,01	-0,057296	-0,0572	-0,0776	-49,053	-44,191	-46,694	-44,719
3,02	-0,051135	-0,0511	-0,0764	-49,181	-44,316	-46,844	-44,856
3,03	-0,048671	-0,0426	-0,0672	-49,266	-44,388	-46,913	-44,934
3,04	0,0252597	0,0414	0,0141	-49,263	-44,391	-46,913	-44,953
3,05	0,0178666	0,0365	0,0061	-49,269	-44,391	-46,916	-44,947
3,06	0,0098574	0,0024	-0,0183	-49,269	-44,391	-46,916	-44,95
3,07	0,0141701	0,0304	0	-49,266	-44,394	-46,913	-44,95
3,08	0,0061609	0,0049	-0,0245	-49,278	-44,4	-46,913	-44,944
3,09	-0,010474	-0,0055	-0,0348	-49,259	-44,384	-46,913	-44,931
3,1	-0,017251	-0,0189	-0,0458	-49,231	-44,347	-46,878	-44,913
3,11	-0,015402	-0,0201	-0,0403	-49,169	-44,306	-46,828	-44,847
3,12	-0,027108	-0,0176	-0,0452	-49,081	-44,216	-46,741	-44,75
3,13	-0,022179	-0,0183	-0,044	-48,969	-44,091	-46,6	-44,613
3,14	-0,022795	-0,0146	-0,044	-48,788	-43,934	-46,434	-44,438
3,15	-0,017251	-0,0164	-0,0458	-48,606	-43,759	-46,238	-44,272
3,16	-0,017251	-0,0146	-0,0306	-48,363	-43,531	-45,981	-44,019
3,17	-0,009241	-0,0043	-0,0361	-48,122	-43,281	-45,741	-43,769
3,18	-0,010474	-0,0037	-0,0342	-47,847	-42,997	-45,431	-43,506
3,19	-0,006161	-0,0037	-0,0361	-47,525	-42,694	-45,1	-43,206
3,2	-0,003697	-0,003	-0,0263	-47,172	-42,378	-44,763	-42,869
3,21	-0,009857	-0,0061	-0,0287	-46,816	-42,025	-44,413	-42,5
3,22	0,0049287	0,0037	-0,0232	-46,441	-41,641	-43,997	-42,088
3,23	-0,004929	-0,0006	-0,03	-46,038	-41,272	-43,594	-41,688
3,24	-0,004929	-0,0061	-0,0324	-45,619	-40,881	-43,175	-41,228
3,25	-0,01109	-0,0085	-0,0324	-45,175	-40,434	-42,734	-40,744
3,26	-0,004929	-0,0116	-0,0275	-44,728	-39,984	-42,259	-40,266
3,27	-0,005545	-0,0012	-0,0312	-44,234	-39,528	-41,763	-39,784
3,28	-0,006777	-0,0067	-0,0324	-43,725	-39,025	-41,225	-39,278
3,29	-0,006161	-0,0012	-0,0287	-43,181	-38,484	-40,688	-38,719
3,3	-0,004929	-0,011	-0,0116	-42,647	-37,928	-40,141	-38,169
3,31	-0,000616	0,0012	-0,0245	-42,066	-37,366	-39,547	-37,653
3,32	0,0006161	0,003	-0,022	-41,45	-36,784	-38,947	-37,125
3,33	-0,003697	0,0024	-0,0245	-40,834	-36,194	-38,338	-36,494

3,33	-0,003697	0,0024	-0,0245	-40,834	-36,194	-38,338	-36,494
3,34	-0,004313	0,0006	-0,0245	-40,219	-35,559	-37,734	-35,806
3,35	0,0092414	-0,0176	-0,0147	-39,6	-34,941	-37,066	-35,113
3,36	0,0030805	0,0049	-0,0208	-38,934	-34,3	-36,413	-34,434
3,37	0,0030805	0,0037	-0,019	-38,238	-33,678	-35,731	-33,769
3,38	-0,000616	0,0043	-0,022	-37,584	-33,022	-35,05	-33,109
3,39	0,0043126	0,0037	-0,0177	-36,903	-32,344	-34,322	-32,422
3,4	0,0073931	-0,0012	-0,0202	-36,194	-31,669	-33,588	-31,7
3,41	0,0024644	0,0055	-0,0226	-35,469	-31,009	-32,847	-30,95
3,42	0,0043126	0,0128	-0,0208	-34,734	-30,306	-32,134	-30,153
3,43	0,0043126	0,0037	-0,0183	-34,031	-29,566	-31,384	-29,391
3,44	0,0043126	0,0067	-0,0208	-33,284	-28,806	-30,575	-28,653
3,45	0,0006161	0,0158	-0,0257	-32,522	-28,091	-29,791	-27,944
3,46	0,0006161	0,0091	-0,0251	-31,734	-27,322	-29,019	-27,116
3,47	-0,000616	0,0103	-0,0196	-30,972	-26,509	-28,231	-26,281
3,48	-0,004313	0,0012	-0,0263	-30,191	-25,731	-27,406	-25,513
3,49	0,0006161	0,0067	-0,0232	-29,359	-24,95	-26,556	-24,763
3,5	0,0055448	0,0225	-0,0263	-28,522	-24,134	-25,709	-23,897
3,51	0,0018483	0,0073	-0,0196	-27,694	-23,278	-24,881	-22,959
3,52	0,0049287	0,0091	-0,0196	-26,875	-22,419	-24,009	-22,063
3,53	0,0086253	0,011	-0,0141	-25,981	-21,588	-23,122	-21,234
3,54	0,0104735	0,0146	-0,0116	-25,088	-20,753	-22,234	-20,356
3,55	0,0086253	0,0207	-0,0208	-24,213	-19,906	-21,397	-19,472
3,56	0,0123218	0,011	-0,0128	-23,369	-19,013	-20,516	-18,591
3,57	0,0166344	0,014	-0,0183	-22,444	-18,131	-19,588	-17,713
3,58	-0,000616	0,0073	-0,011	-21,544	-17,3	-18,675	-16,834
3,59	0,0012322	0,0024	-0,0226	-20,647	-16,403	-17,769	-15,853
3,6	-0,009241	-0,0043	-0,0397	-19,763	-15,469	-16,844	-14,891
3,61	-0,014786	-0,0146	-0,0367	-18,831	-14,575	-15,875	-13,991
3,62	-0,014786	-0,0091	-0,0373	-17,844	-13,663	-14,894	-13,069
3,63	-0,017867	-0,0085	-0,0385	-16,834	-12,7	-13,891	-12,028
3,64	-0,008009	-0,0043	-0,0342	-15,844	-11,678	-12,897	-10,972
3,65	-0,01109	0,0024	-0,0312	-14,8	-10,634	-11,8	-9,9094
3,66	-0,002464	-0,0037	-0,0293	-13,681	-9,5938	-10,681	-8,8719
3,67	0,0006161	0,0018	-0,0232	-12,581	-8,5625	-9,5813	-7,7313
3,68	-0,005545	0,0067	-0,0196	-11,472	-7,4375	-8,4813	-6,5969
3,69	0,0104735	0,0183	-0,0147	-10,381	-6,2656	-7,3	-5,4656
3,7	0,0080092	0,0225	-0,0098	-9,2438	-5,1406	-6,125	-4,3063

3,71	0,0160183	0,0158	-0,0116	-8,0938	-4,0375	-4,9344	-3,1406
3,72	0,0178666	0,0225	-0,0043	-6,9406	-2,8875	-3,8031	-1,9813
3,73	0,0234114	0,0128	-0,0043	-5,8563	-1,7563	-2,6875	-0,8438
3,74	0,0197149	0,0365	-0,0263	-4,7313	-0,6313	-1,5125	0,275
3,75	0,0129379	0,0231	-0,0067	-3,5844	0,4344	-0,3375	1,3875
3,76	0,0172505	0,0201	-0,0067	-2,4469	1,5344	0,775	2,5344
3,77	0,0215632	0,0225	-0,0006	-1,3625	2,6594	1,8719	3,7156
3,78	0,0246436	0,0256	-0,0031	-0,2688	3,7781	3,0469	4,9344
3,79	0,0197149	0,0462	-0,0086	0,8625	4,8625	4,2	6,0594
3,8	0,0283401	0,0335	0	1,975	5,9063	5,3063	7,075
3,81	0,0252597	0,0304	0,0037	3,0781	7,0063	6,3875	8,1656
3,82	0,033885	0,0353	0,0061	4,1281	8,0781	7,4906	9,3625
3,83	0,0301884	0,0316	0,0086	5,2031	9,125	8,6063	10,447
3,84	0,0258758	0,0371	0,0067	6,3	10,131	9,6813	11,506
3,85	0,0314206	0,0353	0,0067	7,3688	11,178	10,713	12,528
3,86	0,0351171	0,0316	0,0092	8,375	12,247	11,778	13,575
3,87	0,0308045	0,0341	0,0086	9,3938	13,253	12,85	14,603
3,88	0,033885	0,042	0,0073	10,406	14,203	13,881	15,578
3,89	0,0425102	0,0359	0,0269	11,431	15,169	14,866	16,625
3,9	0,0431263	0,0517	0,0214	12,378	16,141	15,803	17,631
3,91	0,0499033	0,0542	0,0226	13,3	17,088	16,781	18,525
3,92	0,0517516	0,0535	0,0281	14,197	17,956	17,725	19,413
3,93	0,0591446	0,0602	0,03	15,072	18,794	18,628	20,341
3,94	0,0609929	0,0535	0,0416	15,897	19,647	19,441	21,159
3,95	0,0628412	0,0645	0,0379	16,656	20,438	20,247	21,909
3,96	0,0597607	0,0694	0,0416	17,406	21,141	21,019	22,7
3,97	0,0622251	0,073	0,0434	18,131	21,8	21,744	23,5
3,98	0,0622251	0,0675	0,0397	18,744	22,441	22,372	24,169
3,99	0,0696182	0,0663	0,0452	19,331	23,038	22,972	24,75
4	0,0696182	0,0767	0,0507	19,875	23,575	23,538	25,231
4,01	0,0733147	0,0712	0,0538	20,381	24,028	24,044	25,688
4,02	0,102887	0,0967	0,074	20,816	24,425	24,466	26,125
4,03	0,1749696	0,1758	0,1473	21,169	24,788	24,834	26,528
4,04	0,1823626	0,1886	0,173	21,434	25,016	25,094	26,781
4,05	0,020331	0,0201	-0,0067	21,497	25,088	25,169	26,866
4,06	0,0147862	-0,0006	-0,0318	21,484	25,084	25,166	26,863
4,07	0,0209471	0,0986	0,0679	21,491	25,1	25,172	26,859
4,08	0,013554	-0,0207	-0,0483	21,488	25,088	25,156	26,872
4,09	0,0160183	0,0237	0,0043	21,491	25,081	25,153	26,853
4,1	0,0117057	-0,003	-0,033	21,481	25,091	25,159	26,85

4,11	0,0141701	0,0383	0,0098	21,481	25,084	25,156	26,859
4,12	0,0178666	0,0353	0,0049	21,5	25,1	25,169	26,866
4,13	0,0018483	0,0037	-0,0165	21,484	25,078	25,156	26,856
4,14	0,0172505	0,0195	-0,0067	21,494	25,091	25,166	26,859
4,15	0,0234114	0,0085	-0,0177	21,488	25,078	25,156	26,856
4,16	0,0227953	0,0274	0,0006	21,488	25,084	25,156	26,866
4,17	0,0209471	0,028	0,0012	21,491	25,081	25,153	26,856
4,18	0,0314206	0,0128	0,0141	21,472	25,069	25,131	26,838
4,19	0,0160183	0,0225	-0,0073	21,453	25,041	25,119	26,816
4,2	0,0221792	0,0249	-0,0049	21,419	25,019	25,088	26,791
4,21	0,0154023	0,0213	-0,0049	21,394	24,991	25,059	26,756
4,22	0,0172505	0,0195	-0,0116	21,353	24,953	25,025	26,713
4,23	0,0246436	0,0116	0,0031	21,316	24,925	24,997	26,688
4,24	0,0178666	0,0262	-0,0037	21,275	24,888	24,963	26,634
4,25	0,020331	0,0243	-0,0024	21,222	24,834	24,897	26,569
4,26	0,0197149	0,0237	-0,0006	21,169	24,797	24,85	26,525
4,27	0,0258758	0,0274	-0,0006	21,125	24,753	24,794	26,481
4,28	0,027108	0,0316	-0,0024	21,069	24,706	24,75	26,416
4,29	0,0301884	0,0371	0,0079	21,006	24,628	24,678	26,344
4,3	0,0381976	0,0383	0,0134	20,928	24,547	24,588	26,244
4,31	0,0369654	0,0408	0,0122	20,819	24,453	24,472	26,144
4,32	0,0462068	0,0462	0,022	20,694	24,347	24,378	26,022
4,33	0,0455907	0,0572	0,0147	20,556	24,219	24,216	25,863
4,34	0,0431263	0,0517	0,0232	20,388	24,053	24,041	25,688
4,35	0,048055	0,0535	0,0263	20,181	23,85	23,838	25,491
4,36	0,0455907	0,0505	0,0269	19,925	23,622	23,591	25,263
4,37	0,048055	0,0542	0,0251	19,669	23,356	23,322	25,022
4,38	0,0437424	0,059	0,0159	19,384	23,059	23,016	24,747
4,39	0,0474389	0,0523	0,0245	19,025	22,725	22,672	24,45
4,4	0,0437424	0,0487	0,0232	18,663	22,369	22,281	24,081
4,41	0,0455907	0,0517	0,019	18,297	21,994	21,919	23,697
4,42	0,0455907	0,0517	0,0214	17,872	21,563	21,478	23,231
4,43	0,0418941	0,0554	0,0122	17,4	21,119	21,003	22,725
4,44	0,0406619	0,042	0,0165	16,913	20,678	20,506	22,188
4,45	0,0425102	0,0432	0,0122	16,413	20,172	20,006	21,603
4,46	0,0400459	0,042	0,011	15,9	19,644	19,466	21,103
4,47	0,0400459	0,0402	0,0141	15,338	19,078	18,888	20,619
4,48	0,0351171	0,0456	0,0067	14,753	18,534	18,3	20,053
4,49	0,0375815	0,0395	0,0061	14,169	17,941	17,7	19,409
4,5	0,0406619	0,0389	0,0098	13,581	17,319	17,063	18,728

4,51	0,041278	0,0414	0,0165	12,969	16,691	16,409	18,134
4,52	0,0332689	0,0414	0,0098	12,291	16,053	15,738	17,522
4,53	0,0363493	0,0389	0,0061	11,606	15,397	15,059	16,816
4,54	0,0351171	0,0329	0,0067	10,909	14,684	14,369	16,097
4,55	0,0388137	0,0432	0,0098	10,203	13,978	13,653	15,378
4,56	0,0301884	0,0432	0,0086	9,4438	13,253	12,863	14,656
4,57	0,0357332	0,045	-0,0024	8,675	12,547	12,097	13,85
4,58	0,0326528	0,0389	0,0098	7,9188	11,756	11,331	13,05
4,59	0,0264919	0,0304	0,0031	7,1438	10,95	10,478	12,269
4,6	0,0301884	0,0322	0,0061	6,3	10,159	9,6563	11,541
4,61	0,0295723	0,0341	0,0049	5,4594	9,3906	8,8438	10,734
4,62	0,0258758	0,0475	-0,0104	4,6344	8,5406	8,05	9,8656
4,63	0,027108	0,0304	0,0018	3,8281	7,7	7,1781	8,9406
4,64	0,0246436	0,0322	0,0018	2,9563	6,8781	6,275	8,0406
4,65	0,0264919	0,028	0,0055	2,0406	6,0469	5,3906	7,1719
4,66	0,0289562	0,0377	0,0092	1,1969	5,1781	4,5406	6,3656
4,67	0,0277241	0,0402	-0,0006	0,3375	4,2688	3,6219	5,4656
4,68	0,0283401	0,0304	0,0055	-0,575	3,3875	2,6813	4,5125
4,69	0,0252597	0,0347	0,0049	-1,525	2,5188	1,75	3,5469
4,7	0,0301884	0,0365	0,0061	-2,4375	1,6156	0,8313	2,575
4,71	0,0314206	0,0414	0,0165	-3,3281	0,6563	-0,1125	1,6094
4,72	0,041278	0,0402	0,0177	-4,2844	-0,2781	-1,1125	0,6688
4,73	0,0381976	0,0408	0,0098	-5,3	-1,2219	-2,1281	-0,3125
4,74	0,0295723	0,0395	0,0086	-6,2969	-2,1844	-3,1156	-1,3375
4,75	0,0308045	0,0347	0,0043	-7,2938	-3,2188	-4,0938	-2,3438
4,76	0,0240275	0,0292	-0,0006	-8,3125	-4,2875	-5,2063	-3,3875
4,77	0,0209471	0,0195	0,0043	-9,3844	-5,325	-6,2875	-4,4563
4,78	0,0147862	0,0116	-0,0141	-10,444	-6,3406	-7,3563	-5,5688
4,79	0,0123218	0,0134	-0,0122	-11,469	-7,4281	-8,4063	-6,6125
4,8	0,0104735	0,011	-0,0214	-12,497	-8,4813	-9,5	-7,6688
4,81	0,0104735	0,0213	-0,0159	-13,55	-9,5	-10,588	-8,7188
4,82	0,0129379	0,0103	0	-14,613	-10,484	-11,659	-9,7844
4,83	-0,006161	0,0067	-0,0275	-15,675	-11,519	-12,656	-10,841
4,84	-0,018483	-0,0152	-0,0446	-16,65	-12,544	-13,719	-11,888
4,85	-0,027724	-0,028	-0,0562	-17,678	-13,519	-14,747	-12,866
4,86	-0,038814	-0,0377	-0,063	-18,672	-14,413	-15,725	-13,822
4,87	-0,035117	-0,0444	-0,0599	-19,559	-15,297	-16,606	-14,747
4,88	-0,034501	-0,0274	-0,0569	-20,388	-16,172	-17,488	-15,628
4,89	-0,033885	-0,0359	-0,0636	-21,188	-16,944	-18,328	-16,422
4,9	-0,036965	-0,0243	-0,0556	-21,95	-17,647	-19,109	-17,191

4,91	-0,02526	-0,0146	-0,0391	-22,663	-18,331	-19,788	-17,922
4,92	-0,01417	-0,0146	-0,033	-23,284	-18,994	-20,434	-18,584
4,93	-0,003697	-0,003	-0,0318	-23,928	-19,631	-21,106	-19,197
4,94	0,0043126	0,003	-0,0238	-24,544	-20,197	-21,713	-19,772
4,95	0,0049287	0,0061	-0,0208	-25,134	-20,753	-22,288	-20,375
4,96	0,0018483	0,0079	-0,0147	-25,691	-21,328	-22,844	-20,963
4,97	0,0036965	0,0061	-0,0183	-26,25	-21,875	-23,422	-21,516
4,98	0,0086253	0,0122	-0,0165	-26,809	-22,409	-23,975	-22,034
4,99	-0,000616	0,0103	-0,0171	-27,356	-22,928	-24,516	-22,609
5	0,0086253	0,011	-0,0159	-27,863	-23,463	-25,025	-23,194
5,01	0,0080092	-0,0037	-0,0006	-28,381	-23,975	-25,575	-23,766
5,02	-0,000616	0,0037	-0,022	-28,888	-24,475	-26,094	-24,263
5,03	-0,001848	0,0055	-0,0208	-29,381	-24,947	-26,581	-24,75
5,04	-0,003697	0,0043	-0,0232	-29,841	-25,416	-27,069	-25,219
5,05	-0,002464	0,0006	-0,0281	-30,3	-25,875	-27,541	-25,675
5,06	0,0030805	-0,0128	-0,0122	-30,728	-26,309	-28,003	-26,091
5,07	-0,005545	-0,0043	-0,0306	-31,178	-26,725	-28,441	-26,522
5,08	-0,006161	-0,0018	-0,0275	-31,581	-27,128	-28,834	-26,95
5,09	-0,004313	0,0006	-0,0287	-31,953	-27,538	-29,228	-27,363
5,1	-0,003697	-0,0012	-0,0342	-32,313	-27,903	-29,619	-27,738
5,11	-0,005545	-0,0067	-0,0281	-32,688	-28,247	-29,988	-28,069
5,12	-0,009241	-0,0037	-0,0281	-33,016	-28,556	-30,3	-28,394
5,13	-0,006777	-0,0006	-0,0263	-33,316	-28,881	-30,609	-28,703
5,14	0,0024644	0	-0,0251	-33,594	-29,175	-30,922	-28,975
5,15	0,0006161	0,0067	-0,0245	-33,866	-29,438	-31,219	-29,244
5,16	0,0018483	0,0146	-0,0306	-34,119	-29,688	-31,484	-29,506
5,17	0,0006161	0,0085	-0,022	-34,359	-29,931	-31,716	-29,778
5,18	0,0036965	0,0122	-0,0196	-34,594	-30,163	-31,969	-30,016
5,19	0,0049287	0,0049	-0,019	-34,831	-30,381	-32,191	-30,238
5,2	0	0,0061	-0,0251	-35,025	-30,575	-32,406	-30,478
5,21	0,0006161	0,0091	-0,0281	-35,231	-30,775	-32,609	-30,684
5,22	-0,004929	0,0055	-0,0269	-35,413	-30,956	-32,797	-30,878
5,23	-0,004313	0,0049	-0,0257	-35,594	-31,106	-32,972	-31,047
5,24	-0,006161	0	-0,0281	-35,756	-31,266	-33,15	-31,231
5,25	-0,007393	-0,0049	-0,0306	-35,863	-31,378	-33,263	-31,363
5,26	-0,006161	0,003	-0,0342	-35,975	-31,478	-33,381	-31,478
5,27	-0,013554	-0,003	-0,0306	-36,063	-31,563	-33,472	-31,566
5,28	-0,005545	0,0012	-0,0348	-36,131	-31,634	-33,547	-31,638
5,29	-0,007393	-0,0043	-0,0361	-36,169	-31,675	-33,597	-31,7
5,3	0,0092414	0,003	-0,0275	-36,191	-31,7	-33,613	-31,719

5,34	0,0178666	0,0152	-0,0104	-36,2	-31,709	-33,628	-31,719
5,35	0,013554	0,0146	-0,019	-36,2	-31,706	-33,625	-31,722
5,36	0,013554	0,0225	-0,0122	-36,197	-31,7	-33,616	-31,709
5,37	0,0154023	0,0219	-0,0086	-36,191	-31,7	-33,619	-31,716
5,38	0,0190988	0,0274	-0,0031	-36,191	-31,703	-33,609	-31,7
5,39	0,013554	0,0146	-0,0122	-36,194	-31,713	-33,613	-31,719
5,4	0,0098574	0,0201	-0,022	-36,2	-31,713	-33,622	-31,719
5,41	0,0049287	0,0128	-0,0141	-36,197	-31,7	-33,613	-31,713
5,42	0,0018483	0,0091	-0,0269	-36,188	-31,691	-33,609	-31,706
5,43	-0,008625	-0,0024	-0,0312	-36,172	-31,681	-33,613	-31,691
5,44	-0,009241	-0,003	-0,0342	-36,134	-31,631	-33,556	-31,656
5,45	-0,020331	0,0079	-0,0514	-36,072	-31,594	-33,497	-31,584
5,46	-0,009857	-0,0079	-0,033	-35,994	-31,509	-33,406	-31,491
5,47	-0,011706	-0,0116	-0,0293	-35,875	-31,391	-33,3	-31,369
5,48	-0,010474	-0,0103	-0,0361	-35,753	-31,263	-33,159	-31,219
5,49	-0,011706	-0,0122	-0,033	-35,575	-31,097	-32,975	-31,053
5,5	-0,018483	0,0024	-0,0428	-35,381	-30,925	-32,775	-30,841
5,51	-0,014786	-0,0091	-0,041	-35,166	-30,697	-32,55	-30,597
5,52	-0,009241	-0,0055	-0,0348	-34,913	-30,453	-32,284	-30,325
5,53	-0,009857	-0,0037	-0,0324	-34,625	-30,191	-32,006	-30,05
5,54	-0,006777	-0,0024	-0,0312	-34,313	-29,894	-31,684	-29,728
5,55	-0,010474	-0,0091	-0,0257	-34,009	-29,584	-31,372	-29,394
5,56	-0,006777	-0,003	-0,0348	-33,672	-29,216	-31,009	-29,028
5,57	-0,008009	-0,003	-0,0324	-33,288	-28,856	-30,597	-28,678
5,58	-0,009857	-0,0024	-0,033	-32,903	-28,484	-30,209	-28,316
5,59	-0,007393	-0,0018	-0,0245	-32,491	-28,063	-29,788	-27,9
5,6	-0,005545	-0,0091	-0,0232	-32,078	-27,625	-29,356	-27,444
5,61	0,0006161	-0,003	-0,022	-31,606	-27,147	-28,866	-26,969
5,62	-0,001232	0,0024	-0,0275	-31,131	-26,697	-28,391	-26,506
5,63	-0,005545	-0,0012	-0,0312	-30,634	-26,241	-27,906	-25,984
5,64	-0,008009	0,0037	-0,0281	-30,119	-25,706	-27,378	-25,475
5,65	-0,004313	-0,0091	-0,022	-29,616	-25,188	-26,831	-24,975
5,66	-0,00308	0,0006	-0,0257	-29,066	-24,638	-26,247	-24,463
5,67	0,0024644	0,0043	-0,0202	-28,475	-24,078	-25,656	-23,847
5,68	0,0006161	0,0055	-0,0232	-27,897	-23,509	-25,088	-23,194
5,69	-0,001232	0,003	-0,0226	-27,341	-22,9	-24,472	-22,55
5,7	-0,001232	-0,0018	-0,0183	-26,688	-22,275	-23,841	-21,934
5,71	0,0061609	0,0055	-0,0226	-26,041	-21,669	-23,194	-21,288
5,72	0,0030805	0,0067	-0,022	-25,394	-21,044	-22,569	-20,628
5,73	0,0024644	0,0055	-0,0226	-24,744	-20,375	-21,9	-19,959
5,74	0,0055448	0,0079	-0,019	-24,056	-19,719	-21,213	-19,319
5,75	0,0043126	0,0018	-0,0147	-23,366	-19,056	-20,509	-18,644



LABORATORIO COSOLA S.A.C.

www.cosola.com

RUC.: 20552814089

SOLICITANTE : BAUTILLER LUIS MIGUEL JAHUIRA MAMAKI
 DIRECCIÓN : INTERDIRECCIÓN DEL 2013

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

HUMEDAD NATURAL (ASTM C-566)

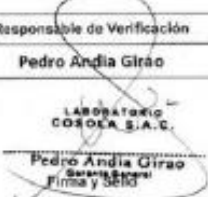

Descripción	AGREGADO MORTERO	
	1	2
Nº Recipiente		
Peso Recipiente	48.25	49.18
Peso Recipiente + Muestra húmeda	142.60	155.46
Peso Recipiente + Muestra seca	137.82	149.71
Humedad (%)	5.34	5.72
Humedad Promedio (%)	5.53 %	

PESO UNITARIO (ASTM C-29)

Descripción	AGREGADO MORTERO		AGREGADO MORTERO	
	seco		varillado	
Peso Molde	6505.00	6507.00	6507.00	6507.00
Volumen Molde	2104.91	2104.91	2104.91	2104.91
Peso Muestra + Molde	10111.00	10106.00	10422.00	10424.00
Peso Unitario	1.713	1.710	1.860	1.861
Peso Unitario PROMEDIO	1.711		1.860	

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO MORTERO (ASTM C-128)

Peso muestra húmeda (Sup. Seca)	375.50	365.50
Peso muestra seca	366.74	357.01
Peso muestra + matraz + H ₂ O	879.95	852.30
Nº de Fiola	1	2
Temperatura de H ₂ O en fiola °C	20.00	20.00
Peso matraz + H ₂ O	650.40	629.20
Gravedad Específica	2.573	2.567
Absorción	2.39	2.38
Gravedad Específica (valor promedio)	2.570 gr./cm ³	
Absorción (valor promedio)	2.38 %	

Responsable de Verificación	Propietario	Obra:
Pedro Andía Girao	Laboratorio Cosola S.A.C.	
 LABORATORIO COSOLA S.A.C. Pedro Andía Girao Supervisor Firma y Sello		

OFICINA PRINCIPAL: Av. Aronales 1055 Santa Beatriz - Lima 11 Tel.: (01) 265-1001 / 471-2520 Anexo: 24
 Nextel: 822*2609 Movistar: 944644752 / 958691517 RPM: #945180644 / *248910
 E-mail: laboratorio@cosola.com / laboratorio2@cosola.com / angelapessagno@cosola.com



LABORATORIO COSOLA S.A.C.

www.cosola.com

RUC.: 20552814089

SOLICITANTE : BACHILLER LUIS MIGUEL JAHUIRA MAMANI
FECHA : 20 DE FEBRERO DEL 2014

DISEÑO DE CONCRETO (MORTERO) 219 Kg/cm²

Diseño N° : DM-01
Procedencia del material : CANTERA AYORUNCA
Tipo de Cemento : VIRA TIPO IP P.c. = 1.87

PROPIEDADES FÍSICAS	Agregado Mortero
Tamaño máximo nominal	3/8"
Módulo de finura	3.64
Peso específico	2.570
Peso unitario (suelto)	1.711
Peso unitario (varillado)	1.860
% Humedad natural	5.53
% Absorción	2.58

CONSIDERACIONES:



Slump	3" @ 4"
Agua	202.00
Relación agua-cemento	0.412

Materiales para 1 m ³ de Concreto	Volumen Absoluto (m ³)	Peso (kg.)
Agua	0.202	202.000
Cemento	0.171	499.291
Agregado Mortero	0.627	1611.666

Corrección por humedad y absorción	Volumen Agregado (m ³)	Peso (kg.)
Agua	0.151	151.316
Cemento	0.327	499.291
Agregado Mortero	0.994	1708.761

Dotificación	Cemento	Agregado Mortero	Agua
En peso	1.00	3.47	0.31
En volumen	1.00	3.84	0.46
Peso por saca de 1 bolsa	42.50	147.43	13.12

FACTOR CEMENTO **11.54 Bolsas / m³**

Responsable de Verificación	Propietario	Obra:
Pedro Andia Girao	Laboratorio Cosola S.A.C.	
 LABORATORIO COSOLA S.A.C. Pedro Andia Girao Gerente General Firma y Sello		

OFICINA PRINCIPAL: Av. Arenales 1055 Santa Beatriz - Lima 11 Tel.: (01) 265-1001 / 471-2520 Anexo: 24
Nextel: 822*2009 Movistar: 944644752 / 950661517 RPM: #945160944 / *248910
E-mail: laboratorio@cosola.com / laboratorio2@cosola.com / angelpessagno@cosola.com

