

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO DE LAS CONEXIONES PARA MUROS
ESTRUCTURALES MIXTOS ACERO - CONCRETO**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN
ESTRUCTURAS**

CARLOS PAÚL QUISHPE OTACOMA
carlosquishpe@yahoo.com

DIRECTOR: ING. MSC. PATRICIO HONORATO PLACENCIA ANDRADE

patohpla@hotmail.com

Quito, Abril 2015

DECLARACIÓN

Yo Carlos Paúl Quishpe Otacoma, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Carlos Paúl Quishpe Otacoma

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Paúl Quishpe Otacoma, bajo mi supervisión.

**Ing. MSc. Patricio Honorato
Placencia Andrade
DIRECTOR DE PROYECTO**

AGRADECIMIENTO

A Dios, fuente creadora de todo lo bueno.

Al Ing. Patricio Placencia, por la guía, dedicación y supervisión en esta investigación, además un agradecimiento especial por su orientación y exigencia.

Al Centro de investigación de la vivienda de la Escuela Politécnica Nacional, lugar donde se desarrolló la Tesis.

A las facultades de ingeniería Civil, Mecánica y Química de la Escuela Politécnica Nacional que han contribuido al desarrollo de esta investigación con el apoyo incondicional de docentes, técnicos y laboratorios.

A mi familia por el apoyo incondicional durante todos los proyectos de mi vida.

A todos mis compañeros de la Maestría, con quienes se ha generado una amistad sincera que va más allá de las aulas de la Escuela Politécnica Nacional.

DEDICATORIA

A Dios sobre todo, a mi madre por su apoyo incondicional durante toda mi vida y a toda mi familia.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT	XVIII
PRESENTACIÓN	XIX
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.3 ALCANCE	5
1.4 METODOLOGÍA	6
CAPÍTULO 2.....	7
DISEÑO DEL ENSAYO.....	7
2.1 MUROS A ANALIZAR	7
2.2 GEOMETRÍA Y RELACIÓN DE ASPECTO	7
2.3 CARGA ACTUANTE.....	9
2.3.1 CARGA VERTICAL	9
2.3.2 CARGA LATERAL.....	9
2.4 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD	9
2.5 DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	10
2.5.1 MATERIALES	10

2.5.2	DIAGRAMA DE FLEXO-COMPRESIÓN.....	11
2.6	REFUERZO TRANSVERSAL	13
2.6.1	ESPACIAMIENTO ST DEL REFUERZO TRANSVERSAL.....	13
2.7	RESISTENCIA AL CORTE.....	13
2.8	CABEZALES.....	15
2.9	DEFORMACIÓN POR FLEXIÓN Y CORTE	17
2.10	MOMENTO DE AGRIETAMIENTO	17
2.11	CONECTORES DE CORTE.....	18
2.12	PLANOS Y ESQUEMAS	19
2.12.1	MURO 1.....	20
2.12.2	MURO 2.....	22
2.12.3	LOSA DE CIMENTACIÓN	24
2.12.4	PLACA BASE Y ANCLAJES.....	24
2.12.5	CONECTORES DE CORTE	26
2.12.6	STRAIN GAUGES.....	28
2.13	MODELACIÓN MATEMÁTICA.....	30
2.13.1	MATERIALES.....	30
2.13.2	SECCIONES	31
2.13.3	CLASES DE ELEMENTOS.....	32
2.13.4	CURVA DE LA HISTORIA DE LA CARGA EN EL TIEMPOS.....	32
2.13.5	CURVAS DE HISTÉRESIS.....	33
CAPÍTULO 3.....		35
SOLDADURA Y ENSAYOS PREVIOS.....		35
3.1	NORMATIVA.....	35
3.2	MATERIAL BASE (ACERO DE REFUERZO).....	35
3.2.1	VARILLA NTE INEN 2167	36
3.2.2	ACERO DE REFUERZO SEGÚN ACI-318.....	36

3.2.3	ANÁLISIS POR ESPECTROMETRÍA DE CHISPA.....	37
3.2.4	SOLDABILIDAD DEL MATERIAL BASE.....	38
3.3	PROCESO DE SOLDADURA.....	39
3.4	PRECALENTAMIENTO.....	39
3.6	MATERIAL DE APORTE (ELECTRODO).....	40
3.4.1	ELECTRODO E9018.....	40
3.4.2	ELECTRODO E7018.....	41
3.7	ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS).....	41
3.7	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.....	48
3.8	ENSAYO DE TRACCIÓN.....	48
3.8.1	ENSAYO DE TRACCIÓN DE PROBETAS SOLDADAS.....	48
3.8.2	ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	55
3.8.3	ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO A-36.....	55
3.9	TIPO DE FALLAS.....	56
3.10	METALOGRAFÍA.....	60
3.10.1	MACROGRAFÍA.....	63
3.10.2	MICROGRAFÍA.....	69
3.11	COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN.....	80
CAPÍTULO 4.....		81
4.	CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE LOS MUROS.....	81
4.1	PREDICCIÓN.....	81
4.2	CONSTRUCCIÓN DE MUROS.....	83
4.2.1	LUGAR DEL ENSAYO.....	83
4.2.1	LOSA DE CIMENTACIÓN.....	84
4.2.2	PLACAS DE ANCLAJE.....	84
4.2.3	ELEMENTOS DE BORDE.....	85
4.2.4	REFUERZO, CONECTORES Y STRAIN GAUGES.....	86

4.2.5	HORMIGONADO Y TERMINADO	88
4.3	ENSAYO DEL MURO 1.....	90
4.3.1	HISTORIA DEL CICLO DE CARGA PARA EL MURO 1.....	91
4.3.2	MAPEO DE LAS FISURAS DEL MURO 1.....	91
4.3.3	DATOS DE LOS LVDT_MURO 1.....	93
4.3.4	DATOS DEL STRAIN GAUGE 1_MURO 1.....	95
4.3.5	DATOS DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 1.....	96
4.3.6	DATOS DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 1.....	97
4.3.7	DATOS DEL STRAIN GAUGE 4_MURO 1.....	98
4.3.8	DATOS DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 1.....	99
4.3.9	DATOS DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 1.....	100
4.3.10	DATOS DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 1	101
4.3.11	DATOS DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 1	102
4.3.12	DATOS DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 1	103
4.4	ENSAYO DEL MURO 2.....	104
4.4.1	HISTORIA DEL CICLO DE CARGA PARA EL MURO 2.....	105
4.3.2	MAPEO DE LAS FISURAS DEL MURO 2.....	105
4.3.3	DATOS DE LOS LVDT_MURO 2.....	107
4.3.4	DATOS DEL STRAIN GAUGE 1_MURO 2.....	108
4.3.5	DATOS DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 2.....	109
4.3.6	DATOS DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 2.....	110
4.3.7	DATOS DEL STRAIN GAUGE 4_MURO 2.....	111
4.3.8	DATOS DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 2.....	112
4.3.9	DATOS DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 2.....	113
4.3.10	DATOS DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 2	114
4.3.11	DATOS DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 2	115
4.3.12	DATOS DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 2	116

CAPÍTULO 5.....	117
5. MODELACIÓN Y ANALISIS	117
5.1 MODELACIÓN MATEMÁTICA.....	117
5.1 LÍMITE DE CAPACIDAD DE LOS MUROS	119
5.1.1 AGOTAMIENTO DEL MURO 1	119
5.1.2 AGOTAMIENTO DEL MURO 2.....	123
5.2 MODELACIÓN VS DATOS EXPERIMENTALES	124
5.3 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MURO 1 Y 2.....	126
5.4 ESTUDIO DE LAS CONEXIONES.....	129
5.4.1 CONEXIÓN DEL MURO 1	130
5.4.2 CONEXIÓN DEL MURO 2	132
5.5 ANÁLISIS DE FISURAS	134
5.5.1 APARICIÓN DE LA PRIMERA FISURA.....	134
5.5.2 INCLINACIÓN DE LAS FISURAS EN EL MURO 1 Y 2.....	136
5.5.3 FISURAS EN EL MURO 1 Y 2	139
5.6 DEFORMACIÓN DEL ACERO LONGITUDINAL	141
5.7 DEFORMACIÓN DEL ACERO TRANSVERSAL	144
CAPÍTULO 6.....	148
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
6.1 CONCLUSIONES	148
6.2 RECOMENDACIONES.....	150
6.3 BIBLIOGRAFÍA.....	152
ANEXO N° 1.....	153
PLANOS	153

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA1. 1 CONSTRUCCIÓN DE UN MURO MIXTO ACERO-CONCRETO	1
---	---

FIGURA1. 2 MURO DE CORTE MIXTO ACERO-CONCRETO CONSTRUIDO	2
FIGURA1. 3 MURO DE CORTE DE CONCRETO (14 PISOS).....	3
FIGURA1. 4 MURO DE CORTE DE CONCRETO (5 PISOS).....	4
FIGURA 2.1 GEOMETRÍA Y RELACIÓN DE ASPECTO.....	8
FIGURA 2. 2 SECCIÓN TRANSVERSAL.....	10
FIGURA 2.3 DIAGRAMA DE FLEXO-COMPRESIÓN	11
FIGURA 2. 4 LW PARA EL MURO	14
FIGURA 2. 5 SECCIÓN TRANSVERSAL CON ALMA CONFINADA	17
FIGURA 2.6 IMPLANTACIÓN DE LOS MUROS.....	19
FIGURA 2.7 MURO 1_ IMPLANTACIÓN GENERAL	20
FIGURA 2.8 MURO 1_ CONEXIONES ANCLADAS.....	21
FIGURA 2. 9 MURO 2_ IMPLANTACIÓN GENERAL	22
FIGURA 2.10 MURO 2_ CON CONEXIONES SOLDADAS.....	23
FIGURA 2.11 IMPLANTACIÓN DE LAS PLACAS BASE.....	24
FIGURA 2.12 ANCLAJE _MURO1	25
FIGURA 2.13 ANCLAJE DEL MURO 2	26
FIGURA 2.14 CONECTORES DEL MURO 1	27
FIGURA 2.15 CONECTORES DEL MURO 2.....	27
FIGURA 2.16 STRAIN GAUGES.....	28
FIGURA 2.17 UBICACIÓN DE LOS STRAIN GAUGES EN EL MURO 1.....	29
FIGURA 2.18 UBICACIÓN DE STRAIN GAUGES EN EL MURO 2.....	29
FIGURA 2. 19 MODELO NO LINEAL DE MANDER PARA $F'C=180\text{KG}/\text{CM}^2$	30
FIGURA 2.20 MODELO BI-LINEAL PARA ACERO CON $FY=4200\text{KG}/\text{CM}^2$	31
FIGURA 2.21 SECCIONES DE LOS ELEMENTOS.....	31
FIGURA 2.22 ESQUEMA DE NODOS Y ELEMENTOS	32
FIGURA 2.23 HISTORIA DE LA CARGA EN EL TIEMPO-TEÓRICA	33
FIGURA 2.24 CURVAS DE HISTÉRESIS NOMINAL Y PROBABLE	34
FIGURA 3. 1 ESPECTRÓMETRO DE CHISPA	37
FIGURA 3. 2 SOLDABILIDAD SEGÚN EL CONTENIDO DE CARBONO.....	38
FIGURA 3. 3 MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS.....	49

FIGURA 3. 4 IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS.....	50
FIGURA 3. 5 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA LA VARILLA Ø=25MM....	52
FIGURA 3. 6 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA LA VARILLA Ø=18MM....	53
FIGURA 3. 7 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA LA VARILLA Ø=8MM.....	54
FIGURA 3. 8 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE LAS VARILLAS Ø=8MM.....	55
FIGURA 3. 9 FALLA DEL MATERIAL BASE.....	56
FIGURA 3. 10 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO 7 Y 8.....	57
FIGURA 3. 11 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO. 9 Y 10	57
FIGURA 3. 12 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO. 11 Y 12	58
FIGURA 3. 13 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO. 13 Y 14	58
FIGURA 3. 14 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO. 15 Y 16	59
FIGURA 3. 15 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO. 17 Y 18	59
FIGURA 3. 16 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 0 Y 3	63
FIGURA 3. 17 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 1 Y 2	64
FIGURA 3. 18 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 4 Y 5	65
FIGURA 3. 19 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 6 Y 7	66
FIGURA 3. 20 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 8 Y 9	67
FIGURA 3. 21 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 11	68
FIGURA 3. 22 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 12.....	68
FIGURA 3. 23 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 13.....	69
FIGURA 4. 1 DIAGRAMA DE FLEXO-COMPRESIÓN	81
FIGURA 4. 2 CURVAS DE HISTÉRESIS CON MATERIALES ENSAYADOS	82
FIGURA 4. 3 LUGAR DE ENSAYO	83
FIGURA 4. 4 LOSA DE CIMENTACIÓN.....	84
FIGURA 4. 5 PLACAS Y ANCLAJES	85
FIGURA 4. 6 ELEMENTOS DE BORDE	86
FIGURA 4. 7 MURO1_REFUERZO, CONECTORES Y STRAIN GAUGES.....	86
FIGURA 4. 8 MURO1_REFUERZO, CONECTORES	87
FIGURA 4. 9 MURO 2_ CONECTORES EN ARCO Y REFUERZO SOLDADO ..	88
FIGURA 4. 10 MURO 2_ CONECTORES Y REFUERZO SOLDADO.....	88
FIGURA 4. 11 MUROS DESENCOFRADOS Y TERMINADOS	88
FIGURA 4. 12 ESQUEMA GENERAL DEL MURO 1	90

FIGURA 4. 13 HISTORIAL DEL CICLO DE CARGA_MURO 1	91
FIGURA 4. 14 DETALLE X_FISURA APARENTE.	91
FIGURA 4. 15 MAPEO DEL MURO 1.....	92
FIGURA 4. 16 UBICACIÓN DE LOS LVDT_MURO 1.....	93
FIGURA 4. 17 DESPLAZAMIENTO MEDIDO POR EL LVDT 1_MURO 1	94
FIGURA 4. 18 DESPLAZAMIENTO MEDIDO POR EL LVDT 2_MURO 1	94
FIGURA 4. 19 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 1_MURO 1	95
FIGURA 4. 20 DATOS DEL STRAIN GAUGE 1_MURO 1.....	95
FIGURA 4. 21 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 1.....	96
FIGURA 4. 22 DATOS DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 1.....	96
FIGURA 4. 23 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 1	97
FIGURA 4. 24 DATOS DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 1.....	97
FIGURA 4. 25 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 1	98
FIGURA 4. 26 DATOS DEL STRAIN GAUGE 4_MURO 1.....	98
FIGURA 4. 27 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 1	99
FIGURA 4. 28 DATOS DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 1.....	99
FIGURA 4. 29 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 1	100
FIGURA 4. 30 DATOS DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 1.....	100
FIGURA 4. 31 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 1	101
FIGURA 4. 32 DATOS DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 1.....	101
FIGURA 4. 33 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 1	102
FIGURA 4. 34 DATOS DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 1.....	102
FIGURA 4. 35 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 1	103
FIGURA 4. 36 DATOS DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 1.....	103
FIGURA 4. 37 ESQUEMA GENERAL DEL MURO 2	104
FIGURA 4. 38 HISTORIAL DEL CICLO DE CARGA_MURO 2	105
FIGURA 4. 39 MAPEO DE FISURAS_MURO 2.....	106
FIGURA 4. 40 DESPLAZAMIENTO MEDIDO POR EL LVDT 1_MURO 2	107
FIGURA 4. 41 DESPLAZAMIENTO MEDIDO POR EL LVDT 2_MURO 2	107
FIGURA 4. 42 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 1_MURO2.....	108
FIGURA 4. 43 DATOS DEL STRAIN GAUGE 1_MURO 2.....	108
FIGURA 4. 44 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 2.....	109
FIGURA 4. 45 DATOS DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 2.....	109

FIGURA 4. 46 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 2.....	110
FIGURA 4. 47 DATOS DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 2.....	110
FIGURA 4. 48 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 4_MURO 2.....	111
FIGURA 4. 49 DATOS DEL STRAIN GAUGE 4_MURO 2.....	111
FIGURA 4. 50 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 2.....	112
FIGURA 4. 51 DATOS DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 2.....	112
FIGURA 4. 52 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 2.....	113
FIGURA 4. 53 DATOS DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 2.....	113
FIGURA 4. 54 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 1.....	114
FIGURA 4. 55 DATOS DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 1.....	114
FIGURA 4. 56 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 2.....	115
FIGURA 4. 57 DATOS DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 2.....	115
FIGURA 4. 58 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 2.....	116
FIGURA 4. 59 DATOS DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 2.....	116
FIGURA 5. 1 HISTÉRESIS DEL MURO 1_MODELACIÓN.....	118
FIGURA 5. 2 HISTÉRESIS DEL MURO 2_MODELACIÓN.....	118
FIGURA 5. 3 AGOTAMIENTO DEL CABEZAL DEL MURO 1.....	119
FIGURA 5. 4 ANCLAJES QUE DIFICULTAN EL INGRESO DEL HORMIGÓN.....	120
FIGURA 5. 5 DEFORMACIÓN DEL CABEZAL.....	121
FIGURA 5. 6 AGOTAMIENTO DEL MURO 1.....	121
FIGURA 5. 7 AGOTAMIENTO DEL MURO 1_ANCLAJES.....	122
FIGURA 5. 8 FISURA PREDOMINANTE_MURO 1.....	122
FIGURA 5. 9 AGOTAMIENTO DEL MURO 2_CABEZAL A.....	123
FIGURA 5. 10 AGOTAMIENTO DEL MURO 2_CABEZAL B.....	123
FIGURA 5. 11 FISURA PREDOMINANTE_MURO 2.....	124
FIGURA 5. 12 MODELACIÓN VS EXPERIMENTACIÓN_MURO 1.....	124
FIGURA 5. 13 MODELACIÓN VS EXPERIMENTACIÓN_MURO 2.....	125
FIGURA 5. 14 MURO 1 VS MURO 2.....	127
FIGURA 5. 15 MURO 1 VS MURO 2.....	128
FIGURA 5.16 CONEXIÓN_MURO 1.....	130
FIGURA 5.17 MAPEO DE LAS FISURAS DEL MURO.....	131
FIGURA 5.18 CONEXIÓN_MURO 2.....	132

FIGURA 5.19 MAPEO DE LAS FISURAS DEL MURO 2.....	133
FIGURA 5.20 PRIMERAS FISURAS DE LOS MUROS 1 Y 2.....	135
FIGURA 5.21 PRIMERAS FISURAS DE LOS MUROS 1 Y 2.....	136
FIGURA 5.22 INCLINACIÓN DE LAS FISURAS EN EL MURO 1	137
FIGURA 5.23 INCLINACIÓN DE LAS FISURAS EN EL MURO 1	138
FIGURA 5.24 FISURAS DEL MURO 1 Y 2	140
FIGURA 5.25 UBICACIÓN DE STRAIN GAUGES EN EL ACERO LONGITUDINAL DEL MURO 1.....	141
FIGURA 5.26 STRAIN GAUGES EN EL ACERO LONGITUDINAL DEL MURO 1	141
FIGURA 5.27 UBICACIÓN DE STRAIN GAUGES EN EL ACERO LONGITUDINAL DEL MURO 2.....	142
FIGURA 5.28 STRAIN GAUGES EN EL ACERO LONGITUDINAL DEL MURO 2	142
FIGURA 5.29 STRAIN GAUGES SG8 DEL MURO 1 Y 2	143
FIGURA 5.30 STRAIN GAUGES SG9 DEL MURO 1 Y 2	143
FIGURA 5.31 STRAIN GAUGES SG10 DEL MURO 1 Y 2	144
FIGURA 5.32 UBICACIÓN DE STRAIN GAUGES EN EL ACERO TRANSVERSAL DEL MURO 1.....	145
FIGURA 5.33 HISTÉRESIS DEL ACERO TRANSVERSAL DEL MURO 1	145
FIGURA 5.34 HISTÉRESIS DEL ACERO TRANSVERSAL DEL MURO 1	146
FIGURA 5.35 HISTÉRESIS DEL ACERO TRANSVERSAL DEL MURO 2	146

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1 VALORES DEL DIAGRAMA DE FLEXO-COMPRESIÓN	12
TABLA 2. 2 FUERZA LATERAL	13
TABLA 2. 3 DEFORMACIÓN POR FLEXIÓN Y CORTE	17
TABLA 2. 4 MOMENTO DE AGRIETAMIENTO	18
TABLA 3. 1 ESPECIFICACIONES DE LA VARILLA NTE INEN 2167	36
TABLA 3. 2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA VARILLA NTE INEN 2167	36
TABLA 3. 3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS VARILLAS	37

TABLA 3. 4 PRECALENTAMIENTO MÍNIMO DE LAS VARILLAS.....	39
TABLA 3. 5 ELECTRODOS RECOMENDADOS (AWS D1.4)	40
TABLA 3. 6 WPS-D14-101.....	42
TABLA 3. 7 WPS-D14-102.....	43
TABLA 3. 8 WPS-D14-103.....	44
TABLA 3. 9 WPS-D14-104.....	45
TABLA 3. 10 WPS-D14-105.....	46
TABLA 3. 11 WPS-D14-106.....	47
TABLA 3. 12 PROBETAS SEGÚN WPS	48
TABLA 3. 13 IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	49
TABLA 3. 14 ENSAYO DE TRACCIÓN	51
TABLA 3. 15 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA EL PERFIL A-36	56
TABLA 3.16 IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS (METALOGRAFÍA).....	60
TABLA 3. 17 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 1	70
TABLA 3. 18 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 3	71
TABLA 3. 19 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 4	72
TABLA 3. 20 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 7	74
TABLA 3. 21 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 9	74
TABLA 3. 22 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 11	76
TABLA 3. 23 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 12	77
TABLA 3. 24 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 13	79
TABLA 3. 25 COMPRESIÓN DE CILINDROS	80
TABLA 4. 1 MOMENTO PARA LA CARGA AXIAL NULA.....	82
TABLA 4. 2 CARGA LATERAL ESPERADA	82
TABLA 5. 1 VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS	129
TABLA 5. 2 IDENTIFICACIÓN DE COLORES PARA LAS FISURAS	134
TABLA 5. 3 IDENTIFICACIÓN DE COLORES PARA LAS FISURAS	134
TABLA 5. 4 DEFORMACIÓN SEGÚN LA CARGA.....	136

RESUMEN

En la industria de la construcción se emplea los muros mixtos acero-concreto (cabezales de acero unidos por el alma de concreto) sin que exista un código al respecto, además es común el apareamiento de fisuras entre un elemento flexible como el acero y uno rígido como el concreto (en la unión del cabezal y el alma), para tratar de unir estos dos materiales, diseñadores y constructores han propuesto sus propias formas de conectar el concreto a elementos de acero estructural, sin que haya un estudio que respalde dichas conexiones. Debido a la importancia que tiene un muro estructural se ha elaborado la presente investigación que pretende mostrar el comportamiento de los muros de corte de acero-concreto, y además se proponen varias formas de conectar el concreto a sus elementos de acero estructural.

Se diseña el ensayo para dos muros de corte acero-concreto. Los muros tienen igual diagrama de flexo-compresión e igual límite de capacidad, sin embargo, se diferencian en la forma constructiva, mientras el primero tiene el refuerzo transversal anclado en el hormigón de las columnas y conectores soldados a los elementos de acero. En el segundo se suelda el refuerzo transversal a las columnas y se duplica la cantidad de conectores de corte.

Se estudia la soldadura del acero de refuerzo que permite elaborar las especificaciones del proceso de soldadura (WPS) según la norma AWS D1.4. Se realizan ensayos previos de los materiales a utilizar, esta información ayuda a generar modelos matemáticos más cercanos a la realidad.

En sitios estratégicos se colocan Strain gauges para obtener una gráfica carga vs deformación unitaria del acero, además se coloca LVDT para obtener la curva de histéresis del muro a una altura de 4.2m y de 2.1m.

Finalmente, se ensaya y los datos obtenidos son estudiados para analizar el comportamiento de los muros de corte de acero-concreto con un énfasis en las conexiones entre elementos de acero y de hormigón.

ABSTRACT

In the construction industry steel-concrete shear walls (steel columns linked by the concrete wall) are used without any code about it. also is common that fissures appearance between a flexible member such as steel and one hard as concrete (at the junction of the column and the wall), in order to unite these two materials, designers and builders have proposed their own ways to connect the concrete to structural steel elements, without a study to support these connections. Due to the importance of a structural Wall, this research is prepared, it is trying to show the behavior of steel-concrete shear walls, and also several ways to connect concrete to steel elements are proposed.

The test for two steel-concrete shear walls are designed steel. The walls has the same flexo-compression diagram and equal capacity limit, however, they are differ in the type of construction, while the first one has the transverse reinforcement anchored in the concrete of the column and connectors welded to the steel elements. In the second one, transverse reinforcement is welded to the columns and the shear connectors are duplicate.

Reinforcing steel welding is study in order to development welding procedure specification (WPS) according to AWS D1.4 standard. Preliminary experiments are done to the materials used, this information helps to generate better mathematical models.

Strain gauges are placed in strategic locations for graphical load vs strain of steel, and LVDT are used for the hysteresis curve of the wall at height of 2.1m and 4.2m.

Finally, it is tested and the data obtained is analyzed to study the behavior of steel-concrete shear walls with an emphasis on the connections between elements of steel and concrete.

PRESENTACIÓN

Con la finalidad de realizar el estudio de las conexiones para muros mixtos acero-concreto, utilizados en la construcción donde la unión entre el acero estructural y el concreto se realiza según el mejor criterio de diseñadores y constructores pero sin haber estudios de por medio, se ha elaborado la presente investigación que consta de seis capítulos que se indican a continuación:

Capítulo 1: Introducción.- Se presenta el uso de los muros de corte en la construcción de grandes edificios en el Ecuador así como el alcance, los objetivos del presente trabajo y termina con la metodología.

Capítulo 2: Diseño del ensayo.- Está dedicado al diseño de los muros y de los diferentes elementos que entran a formar parte del ensayo.

Capítulo 3: Soldadura y ensayos previos.- Se hace un breve estudio de la soldabilidad respaldada con ensayos de espectrometría de chispa, tracción, macrografía, micrografía, que permite conocer el comportamiento del acero de refuerzo ante la soldadura además de los ensayos de tracción del acero estructural y de refuerzo que permita elaborar los modelos matemáticos de los muros.

Capítulo 4: Construcción y ensayo de los muros.- Se describe la forma constructiva y de ensayo de los muros así como una predicción del comportamiento de los muros ante una carga lateral cíclica teórica. Se realiza el ensayo de los muros y los datos registrados son documentados.

Capítulo 5: Modelación y análisis.- Con los datos experimentales de cada muro ensayado se completa el modelo matemático y se lo compara con los resultados experimentales presentándolo en gráficas con su respectivo análisis.

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones.- Se expone las conclusiones y recomendaciones de todo el trabajo de investigación realizado. Se indica la necesidad de continuar con investigaciones relacionadas.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El Ecuador es un país con un alto riesgo sísmico y una necesidad creciente de construir edificaciones de gran altura que sean seguras para las personas que las habitan.

Los grandes edificios a construirse deben ser capaces de soportar grandes cargas laterales por lo que en la actualidad se utilizan muros de corte que permiten cumplir este objetivo y reducir las derivas de piso en las siguientes fotografías se puede apreciar el uso de estos elementos:

FIGURA 1. 1 CONSTRUCCIÓN DE UN MURO MIXTO ACERO-CONCRETO



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA1. 2 MURO DE CORTE MIXTO ACERO-CONCRETO CONSTRUIDO



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA1. 3 MURO DE CORTE DE CONCRETO (14 PISOS)



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA1. 4 MURO DE CORTE DE CONCRETO (5 PISOS)



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En las fotografías se observa la utilización de muros de corte, contruidos completamente de hormigón y muros mixtos contruidos con acero estructural-hormigón. Además del uso de muros de corte, se puede notar que en edificios de gran altura el uso de acero estructural se incrementa.

En el Ecuador está aumentando el uso de muros de corte mixtos acero – concreto sin embargo, poco se conoce de comportamiento de un muro contruido con un material bastante rígido (concreto) y otro muy flexible (acero estructural), por lo que es necesario estudios que permitan diseñar y contruir de manera confiable un muro mixto de acero-concreto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento de muros estructurales mixtos de acero-concreto, analizando la respuesta de carga-desplazamiento lateral..

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se ha planteado de forma específica los siguientes objetivos:

- Proponer y analizar varias formas de conectar un muro de alma de hormigón armado a los miembros de borde de acero estructural.
- Comparar el comportamiento de muros mixtos acero-concreto con conexiones soldadas y ancladas en concreto.
- Elaborar procedimientos de soldadura según la norma AWS para las diferentes juntas, mediante un proceso de soldadura por fusión con electrodo revestido (SMAW).
- Analizar la soldabilidad del acero de refuerzo fabricado en el Ecuador según la norma ASTM A615.

1.3 ALCANCE

El presente documento abarca el estudio de las conexiones en muros de alma en hormigón armado y sus elementos de borde de acero, así como la influencia del uso de soldadura en las conexiones, para lo cual se ensayará a carga horizontal monótona en el plano dos muros constituidos de la siguiente manera:

Primer muro.- Elementos de borde en acero estructural y alma de hormigón armado con el refuerzo transversal anclado en el hormigón de las columnas.

Segundo muro.- Elementos de borde en acero estructural y alma de hormigón armado con el refuerzo transversal soldado en las columnas de acero.

1.4 METODOLOGÍA

En la industria de la construcción se emplea los muros mixtos acero-concreto sin que exista una normativa clara de su comportamiento, además, es común el apareamiento de fisuras entre un elemento flexible como el acero y uno rígido como el concreto, para tratar de unir estos dos materiales, diseñadores y constructores han propuesto sus propias formas de conectar el alma de hormigón armado a sus respectivos elementos de borde en acero estructural, sin que haya un estudio que respalde dichas conexiones. Debido a la importancia que tiene un muro estructural se ha elaborado el presente tema de investigación que pretende mostrar el comportamiento de los muros estructurales mixtos a la vez que se proponen varias formas de conectar el alma de concreto a sus elementos de borde en acero estructural, para lo cual se han elaborado seis capítulos:

En el capítulo 1 se presenta el uso de los muros de corte en la construcción de grandes edificios así como el alcance y los objetivos del presente trabajo.

El capítulo 2 está dedicado al diseño de los muros y de los diferentes elementos que entran a formar parte del ensayo.

En el capítulo 3 se hace un breve estudio del acero de refuerzo y de la soldabilidad respaldada con ensayos de espectrometría de chispa, tracción, macrografía, micrografía, que permite conocer el comportamiento del acero de refuerzo ante la soldadura además de los ensayos de tracción del acero estructural y de refuerzo que permita elaborar los modelos matemáticos de los muros.

El capítulo 4 describe la forma constructiva y de ensayo de los muros así como una predicción del comportamiento de los muros ante una carga lateral cíclica teórica.

En el capítulo 5 se presentan los resultados de los ensayo en diferentes gráficas acompañadas de un análisis de estos resultados y terminando con un modelo matemático en el que se emplea el ciclo de carga real utilizado en el ensayo.

Finalmente, el Capítulo 6 expone las conclusiones y recomendaciones de todo el trabajo investigativo realizado.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL ENSAYO

Como parte de la preparación de los ensayos se realizará cálculos y modelación matemática que permita predecir de manera aproximada los resultados de la experimentación con los que se puede planificar el trabajo tomando en cuenta los equipos que se dispone y los resultados que se quiere analizar.

Además se considerará el trabajo de titulación que están realizando los ingenieros Oscar Anasi y Diego Arévalo en el que una de las alternativas es un muro de hormigón armado esbelto de similar resistencia que los muros mixtos acero-concreto que se van a analizar en el presente trabajo.

2.1 MUROS A ANALIZAR

Se analizará dos muros de corte. A continuación se describe las características generales de los muros objeto de estudio.

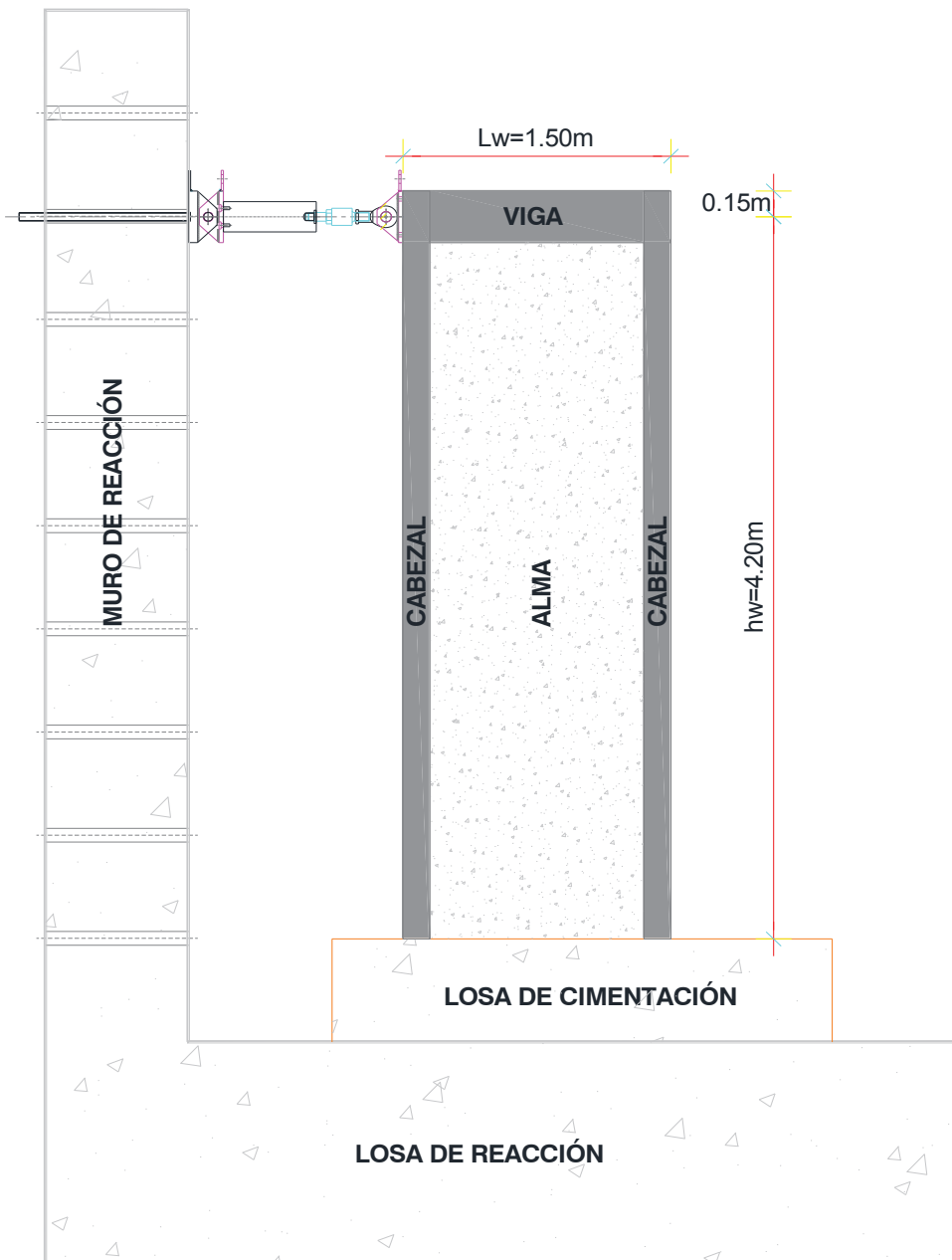
Muro 1.- muro sin suelda, es decir el refuerzo transversal y longitudinal del alma será anclado al hormigón de los elementos de borde de acero estructural sin el empleo de soldadura. Este muro tendrá igual diagrama de flexo-compresión que el muro 2.

Muro 2.- muro con suelda, es decir el refuerzo transversal y longitudinal del alma será conectado a los elementos de borde de acero estructural con el empleo de soldadura. Este muro tendrá igual diagrama de flexo-compresión que el muro 1.

2.2 GEOMETRÍA Y RELACIÓN DE ASPECTO

Los muros esbeltos son los más comunes en los edificios y considerando la capacidad del muro de reacción del laboratorio se tomará una relación de aspecto cercana a 3, de este modo el muro a ensayar tiene la geometría que se indica en la figura 2.1.

FIGURA 2.1 GEOMETRÍA Y RELACIÓN DE ASPECTO



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Según la figura 2.1 se tiene una relación de aspecto de:

$$\text{relación de aspecto} = \frac{hw}{lw} = \frac{4.20}{1.50} = 2.8 \quad (2.1)$$

Por lo tanto se trata de un muro esbelto en donde predomina la flexión.

2.3 CARGA ACTUANTE

Para estimar la carga que se aplica se considera la capacidad de los equipos en el laboratorio..

2.3.1 CARGA VERTICAL

El aplicar una carga vertical le dará al muro una mayor capacidad para soportar la carga lateral, como uno de los objetivos principales de los muros de corte es soportar cargas laterales entonces no se aplicara carga vertical para que sea más critica la situación de la carga lateral.

Por lo tanto:

Carga vertical = 0 T

2.3.2 CARGA LATERAL

En el laboratorio se dispone las siguientes celdas de carga:

1. Celda de carga de hasta 20T y reversible
2. Celda de carga de hasta 80T y no reversible

Se quiere una carga reversible para poder formar la histéresis completa por lo que se selecciona la celda de carga de 20T.

Es decir, en el ensayo no se puede sobrepasar por ningún motivo una carga lateral de 20T, por lo tanto la carga lateral máxima es 20T

2.4 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD

Para estimar la capacidad o carga resistente se considera la geometría indicada en la figura 2.1 donde se observa un muro esbelto que permite el agotamiento en flexión para lo cual hay que diseñar bien en corte.

El límite de capacidad de carga lateral es de 20T para lo cual se plantea una geometría y armado de la sección transversal cuya capacidad no sobrepase las 20T.

2.5 DISEÑO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

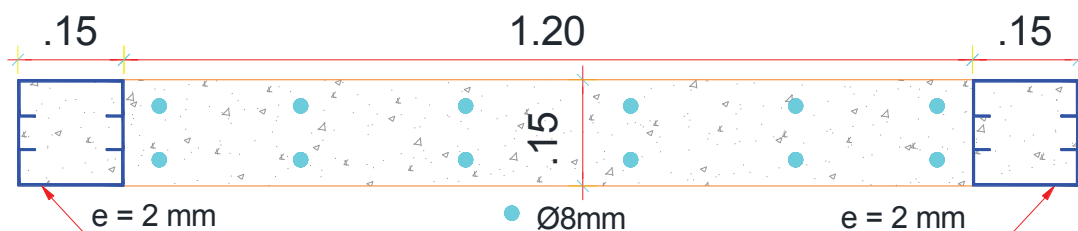
Para el diseño de la sección transversal se debe tener presente que:

Carga lateral máxima = 20T

Momento máximo en la base = 20T x 4.2m = 84T-m

Con las consideraciones se adopta la sección transversal indicada en la figura 2.2.

FIGURA 2. 2 SECCIÓN TRANSVERSAL



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

2.5.1 MATERIALES

Los materiales seleccionados tienen las siguientes especificaciones:

Acero de refuerzo:

$$\text{Ø} = 8\text{mm}$$

$$f_y = 4200\text{Kg/cm}^2$$

Acero estructural:

$$f_y = 2531\text{Kg/cm}^2$$

$$e = 2\text{mm}$$

Hormigón:

$$f'_c = 180\text{Kg/cm}^2$$

Sin embargo, hay que considerar que los valores probables son superiores, como primera aproximación se considera que el f_y del acero se incrementa en un 25% y el hormigón aumenta 20Kg/cm^2 así se tiene:

Acero de refuerzo:

$$\text{Ø} = 8\text{mm}$$

$$f_y = 4200\text{Kg/cm}^2 * 1.25 = 5250\text{Kg/cm}^2$$

Acero estructural:

$$f_y = 2531 \text{Kg/cm}^2 * 1.25 = 3164 \text{Kg/cm}^2$$

$$e = 2 \text{mm}$$

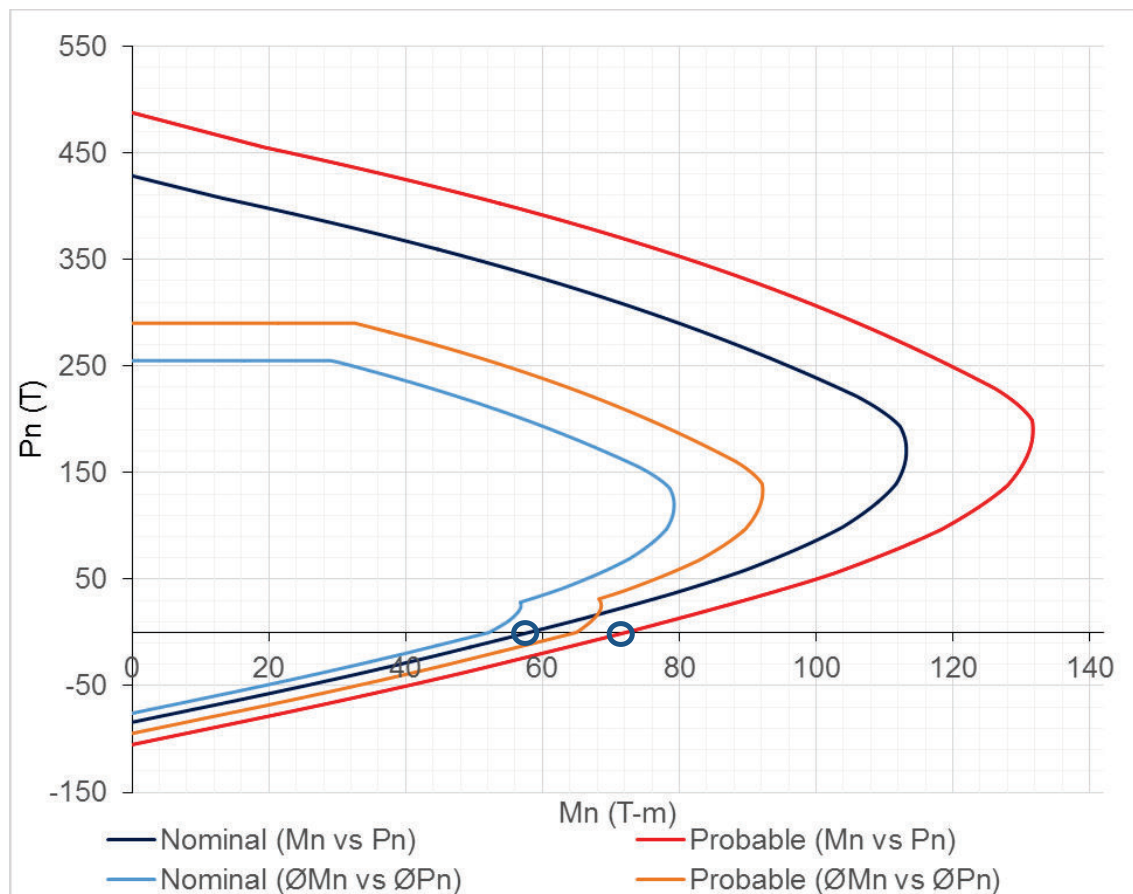
Hormigón:

$$f'_c = 180 \text{Kg/cm}^2 + 20 \text{Kg/cm}^2 = 200 \text{Kg/cm}^2$$

2.5.2 DIAGRAMA DE FLEJO-COMPRESIÓN

Con la utilización del programa de flexo-compresión, desarrollado en clases de “Estructuras de hormigón armado”, para la sección transversal y materiales indicados anteriormente se tiene los diagramas de la figura 2.3.

FIGURA 2.3 DIAGRAMA DE FLEJO-COMPRESIÓN



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la figura 2.3 para la curva “nominal” se han tomado los valores:

Acero de refuerzo:

$$f_y = 4200 \text{Kg/cm}^2$$

Acero estructural:

$$f_y = 2531 \text{Kg/cm}^2$$

Hormigón:

$$f'_c = 180 \text{Kg/cm}^2$$

Y para la curva "probable" se toman los siguientes valores:

Acero de refuerzo:

$$f_y = 4200 \text{Kg/cm}^2 * 1.25 = 5250 \text{Kg/cm}^2$$

Acero estructural:

$$f_y = 2531 \text{Kg/cm}^2 * 1.25 = 3164 \text{Kg/cm}^2$$

Hormigón:

$$f'_c = 180 \text{Kg/cm}^2 + 20 \text{Kg/cm}^2 = 200 \text{Kg/cm}^2$$

En la tabla 2.1 se muestran valores correspondientes al diagrama de flexo compresión de la figura 2.3

TABLA 2. 1 VALORES DEL DIAGRAMA DE FLEXO-COMPRESIÓN

C	Nominal		Probable	
	Mn	Pn	Mn	Pn
To	0.00	-84.11	0.00	-105.14
14.81	57.93	-0.02	68.99	-5.07
	57.94	0.00		
14.83	57.97	0.05	69.04	-4.99
15.93	60.75	4.56	72.08	-0.06
			72.12	0.00
15.95	60.79	4.62	72.12	0.01
Po	0.00	428.36	0.00	487.64

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Para el $h_w = 4.2 \text{m}$ se tiene una fuerza lateral = M_n/h_w , los valores se resumen en la tabla 2.2

TABLA 2. 2 FUERZA LATERAL

	Nominal	Probable
Mn (T-m)	57.94	72.08
F.lateral(T)	13.80	17.17

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Cabe notar que la fuerza lateral que se le puede aplicar al muro a una altura $h_w=4.2\text{m}$ es menor que la capacidad de la celda de carga (20T), sin olvidar que solo se ha calculado en el rango lineal, se espera que la carga aumente en el rango no lineal.

2.6 REFUERZO TRANSVERSAL

Para el refuerzo transversal se considera que la resistencia a corte sea mayor que la resistencia a flexión.

2.6.1 ESPACIAMIENTO ST DEL REFUERZO TRANSVERSAL

En ningún caso St será mayor a:

$$L_w/5 = 150/5 = 30\text{cm}$$

$$3*t = 3*15 = 45\text{cm}$$

$$45\text{cm}$$

Para facilitar la medición se toma $St=25\text{cm}$ como se indica en la figura 2.4

2.7 RESISTENCIA AL CORTE

Para el cálculo del corte se tiene:

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_n = V_c + V_s$$

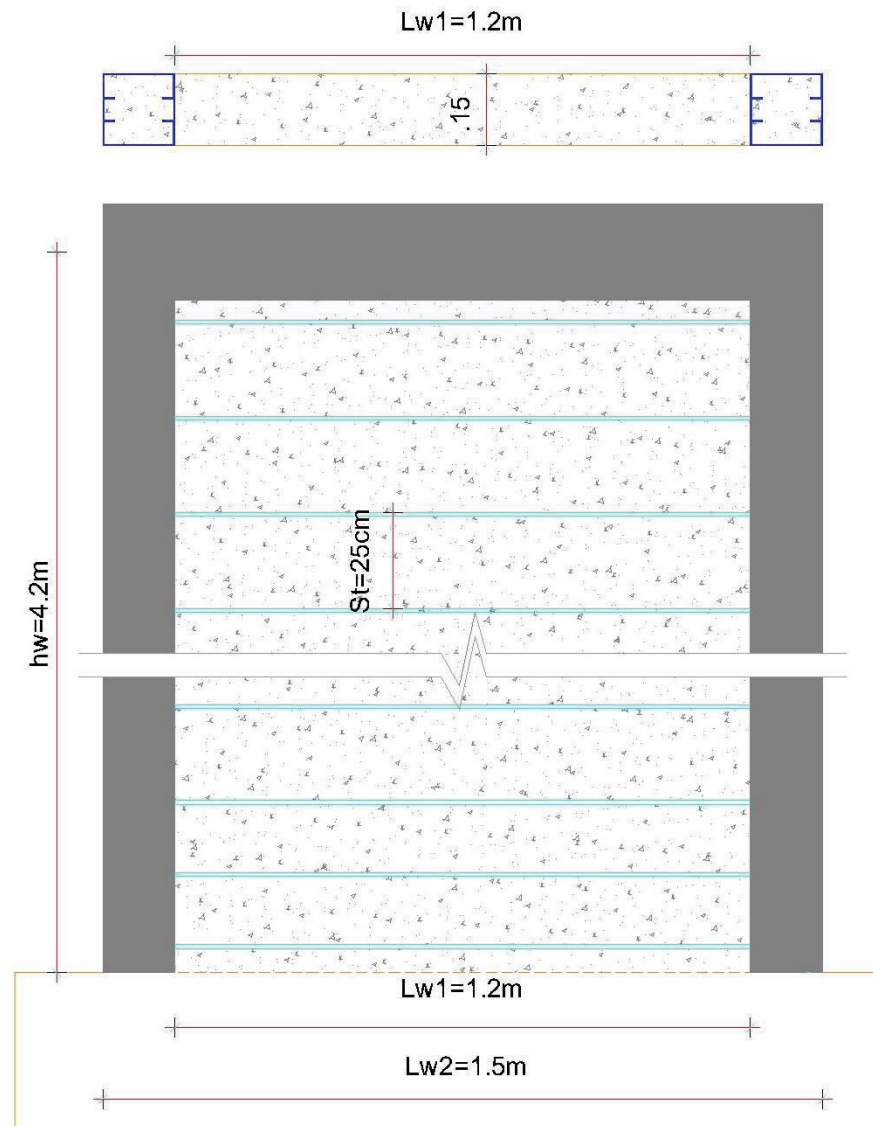
$$V_n = L_w * t * \alpha_c * \lambda (f_c^{0.5}) + L_w * t * p_t * f_y$$

$$V_n = L_w * t * 0.53 (f_c^{0.5}) + L_w * t * p_t * f_y$$

Para determinar la longitud L_w se considera dos situaciones, la primera conservadora en la que solo el alma aporta para el corte ($L_w=1.20\text{m}$), en la

segunda se considera que para el corte aporta el alma y los cabezales ($L_w=1.50m$) como se indica en la figura 2.4.

FIGURA 2. 4 LW PARA EL MURO



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

De este modo se calcula dos casos:

Caso 1, donde $L_{w1}=1.20m$ se tiene:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.2)$$

$$V_n = L_w \cdot t \cdot 0.53(f_c^{0.5}) + L_w \cdot t \cdot p_t \cdot f_y \quad (2.3)$$

$$V_n = 120 \cdot 15 \cdot 0.53 \cdot 180^{0.5} + 120 \cdot 15 \cdot 0.0026 \cdot 4200$$

$$V_n = 12.80T + 19.80T$$

$$V_n = 32.60T$$

Caso 2, donde $L_w = 1.50m$ se tiene:

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_n = L_w \cdot t \cdot 0.53(f_c^{0.5}) + L_w \cdot t \cdot \rho_t \cdot f_y$$

$$V_n = 150 \cdot 15 \cdot 0.53 \cdot 180^{0.5} + 150 \cdot 15 \cdot 0.0026 \cdot 4200$$

$$V_n = 16T + 24.75T$$

$$V_n = 40.75T$$

En ambos casos la resistencia al corte es mayor que la resistencia a la flexión.

2.8 CABEZALES

Si el f_c máximo es mayor a $0.2f'_c$ entonces hay la necesidad de confinar parte del alma para soportar la carga axial.

$$f_c = \frac{Nu}{At} + 6 \frac{Mu}{bxh^2} \quad (2.4)$$

Donde:

$N_u = 0$, al muro no se lo carga axialmente

$A_t = \text{Área transversal} = 1.5 \cdot 0.15m = 0.225m^2$

$M_u = 20T \cdot 4.2m = 84T \cdot m$, considerando que el equipo puede suministra una carga lateral máxima de 20T.

$b = \text{ancho del muro} = 0.15m$

$h = \text{largo del muro} = 1.50m$

$$f_c = \frac{0}{0.225} + 6 \frac{84}{0.15 \cdot 1.5^2} = 1493.3T/m^2 = 149.33Kg/cm^2$$

$$0.2f'_c = 0.2 \cdot 180 = 36Kg/cm^2$$

$$f_c > 0.2f'_c \quad (2.5)$$

$$149.33Kg/cm^2 > 36Kg/cm^2$$

Por lo tanto se necesita cabezales:

$$Pu_{cabezal} = \frac{Pu}{2} + \frac{Mu}{l} \quad (2.6)$$

$$Pu_{cabezal} = \frac{0}{2} + \frac{84}{1.5 - 0.15} = 62.22T$$

El muro puede soportar la siguiente carga axial:

$$0,56*Po = 0,56(0,85*A.cab*f'c + As*fy) \quad (2.7)$$

Donde:

A.cab= es el área del cabezal=0.15*0.15

As= área de la columna metálica por catálogo es = 13.48cm²

$$=0,56(0,85*15*15*180 + 13.48*2531)=38384Kg=38.38T$$

Como no se cumple que $Pu_{cabezal} \leq 0,56*Po$ entonces es necesario confinar el alma:

Se confinara 20cm del alma incluidas 4 varillas $\Phi 8$ así la capacidad para soportar carga axial aumenta en:

$$0,56*Po = 0,56(0,85*A.alm*f'c + As.alm*fy)$$

Donde:

A.alm= es el área del alma confinada=15*20

As.alm= área de acero en el alma confinada (4 varillas $\Phi 8$)= 2.01cm²

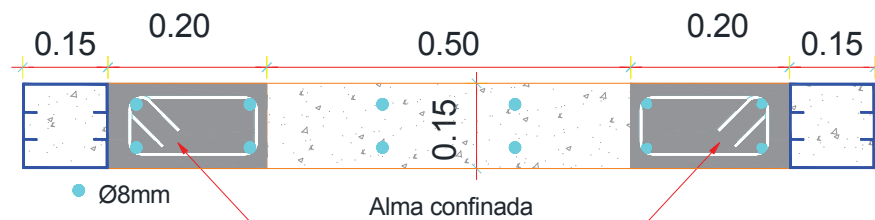
$$=0,56(0,85*15*20*180 + 2.01*4200)=28553Kg=28.55T$$

La capacidad total es:

$$0.56Po=38.38T+28.55T=66.94T$$

Con lo que se cumple que $Pu_{cabezal} \leq 0,56*Po$

Ahora la sección transversal es la indicada en la figura 2.5.

FIGURA 2. 5 SECCIÓN TRANSVERSAL CON ALMA CONFINADA

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

2.9 DEFORMACIÓN POR FLEXIÓN Y CORTE

La deformación por flexión y corte será calculada con las fórmulas:

$$\Delta_{\text{flexión}} = PL^3 / 3EI \quad (2.8)$$

$$\Delta_{\text{corte}} = PL / AG \quad (2.9)$$

$$\Delta T = \Delta_{\text{flexión}} + \Delta_{\text{corte}}$$

Se considera dos situaciones, la primera en la que solo se considera el alma ($L_w1=1.20\text{m}$), en la segunda se considera el alma y los cabezales ($L_w=1.50\text{m}$) como se indica en la figura 2.4 los valores de los cálculos se indican en la tabla 2.5

TABLA 2. 3 DEFORMACIÓN POR FLEXIÓN Y CORTE

	Caso1. Lw 1	Caso2. Lw 2
L(m)=	4.20	4.20
P(T) _{flexión} =	17.07	17.07
E(T/m ²)=	1609969	1609969
I 1, 2(m ⁴)=	0.0216	0.0422
A(m ²)=	0.23	0.23
$\Delta_{\text{flexión}}(\text{mm}) = PL^3 / 3EI =$	12.12	6.21
$\Delta_{\text{corte}}(\text{mm}) = PL / AG =$	0.48	0.48
$\Delta T(\text{mm}) = \Delta_{\text{flexión}} + \Delta_{\text{corte}} =$	12.60	6.68

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

La deformación por flexión y corte cuando se considera el alma y los cabezales es 6.68mm mientras que cuando se considera solo el alma es de 12.60mm.

2.10 MOMENTO DE AGRIETAMIENTO

El momento de agrietamiento se calcula con la fórmula:

$$M_{agr} = ft \cdot I / Y_{cg} \quad (2.10)$$

Donde:

$ft = t \cdot f'c^{0.5}$; el factor t toma valores entre 2 y 4

$I = \text{inercia} = b \cdot h^3 / 12 = 0.15 \cdot 1.5^3 / 12 = 0.0422 \text{m}^4$

$Y_{cg} = L_w / 2 = 1.50 / 2 = 0.75 \text{m}$

Para un M_{agr} le corresponde una carga lateral $V_{agr} = M_{agr} / h_w = M_{agr} / 4.2$

Los valores del cálculo del momento de agrietamiento y la carga lateral cuando hay gran posibilidad de que aparezca la primera fisura se muestra en la tabla 2.4

TABLA 2. 4 MOMENTO DE AGRIETAMIENTO

t	ft(Kg/cm ²)	Magr(T-m)	Vagr(T)
2	26.83	15.09	3.47
4	53.67	30.19	6.94

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

La tabla 2.4 indica que la primera fisura aparecerá ante una carga lateral entre 3.47T y 6.94T, aplicada en el muro a 4.2m de altura.

2.11 CONECTORES DE CORTE

El flujo de corte q_{sv} entre el cabezal metálico y el alma de hormigón se calcula con la siguiente formula:

$$q_{sv} = \frac{VQ'}{I} = \frac{V \cdot A' \cdot y'}{I} \quad (2.11)$$

Donde:

I = momento de inercia de la sección. $= b \cdot h^3 / 12 = 0.0422 \text{m}^4$

V = fuerza cortante máxima. $= 20 \text{T}$

A' = área de la sección transversal del cabezal $= 0.15 \cdot 0.15 = 0.0225 \text{m}^2$

y' = distancia del eje neutro del muro al centroide de $A' = (1.50 - 0.15) = 0.675 \text{m}$

Q' = momento estático del área A'

q_{sv} = flujo de cortante

$$q_{sv} = \frac{VQ'}{I} = \frac{20 \cdot 0.0225 \cdot 0.675}{0.0422} = 7.20 \text{T/m} \quad (2.12)$$

Se utiliza varillas de acero de refuerzo como conectores de corte por lo que el área de la sección de acero de calcula con la siguiente

Formula:

$$0,40 \cdot F_y \cdot A_s = q_{sv}$$

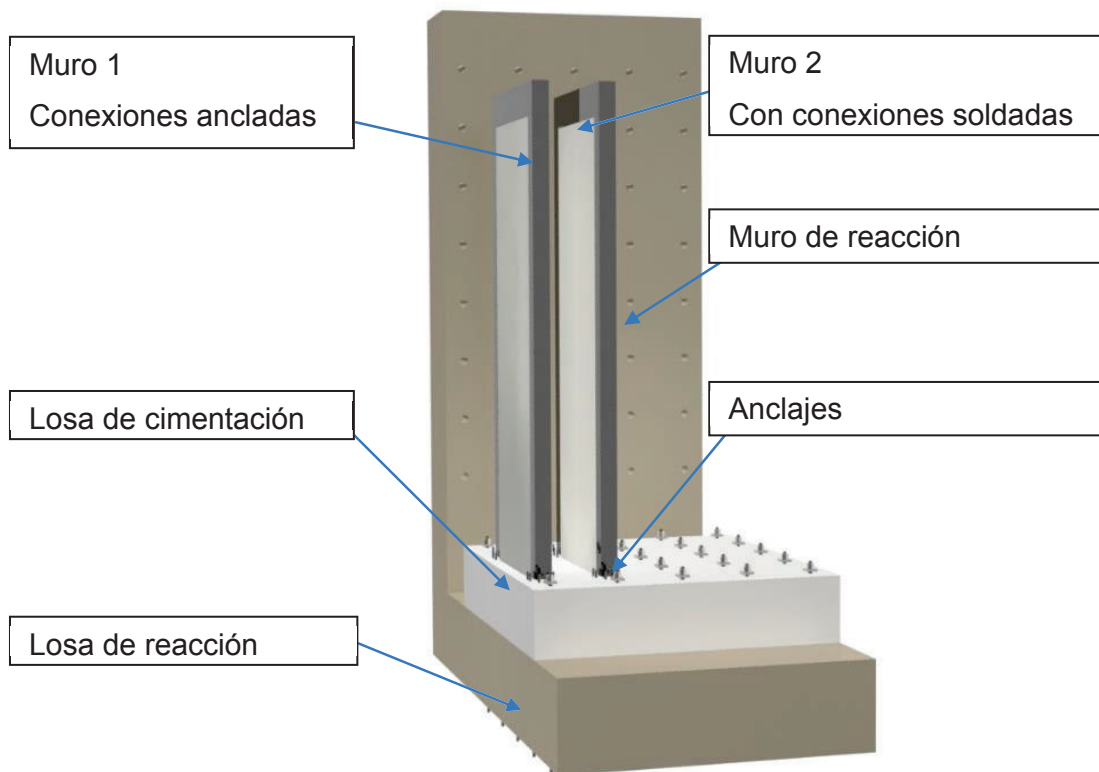
$$0,40 \cdot 4200 \cdot A_s = 7200 \text{ Kg/m}$$

$$A_s = 4,29 \text{ cm}^2/\text{m}$$

2.12 PLANOS Y ESQUEMAS

Los dos muros objeto de la investigación conjuntamente con tres muros de otra investigación son construidos sobre una losa de cimentación y está a la vez sujeta con pernos a la losa de reacción como se indica en la figura 2.6.

FIGURA 2.6 IMPLANTACIÓN DE LOS MUROS

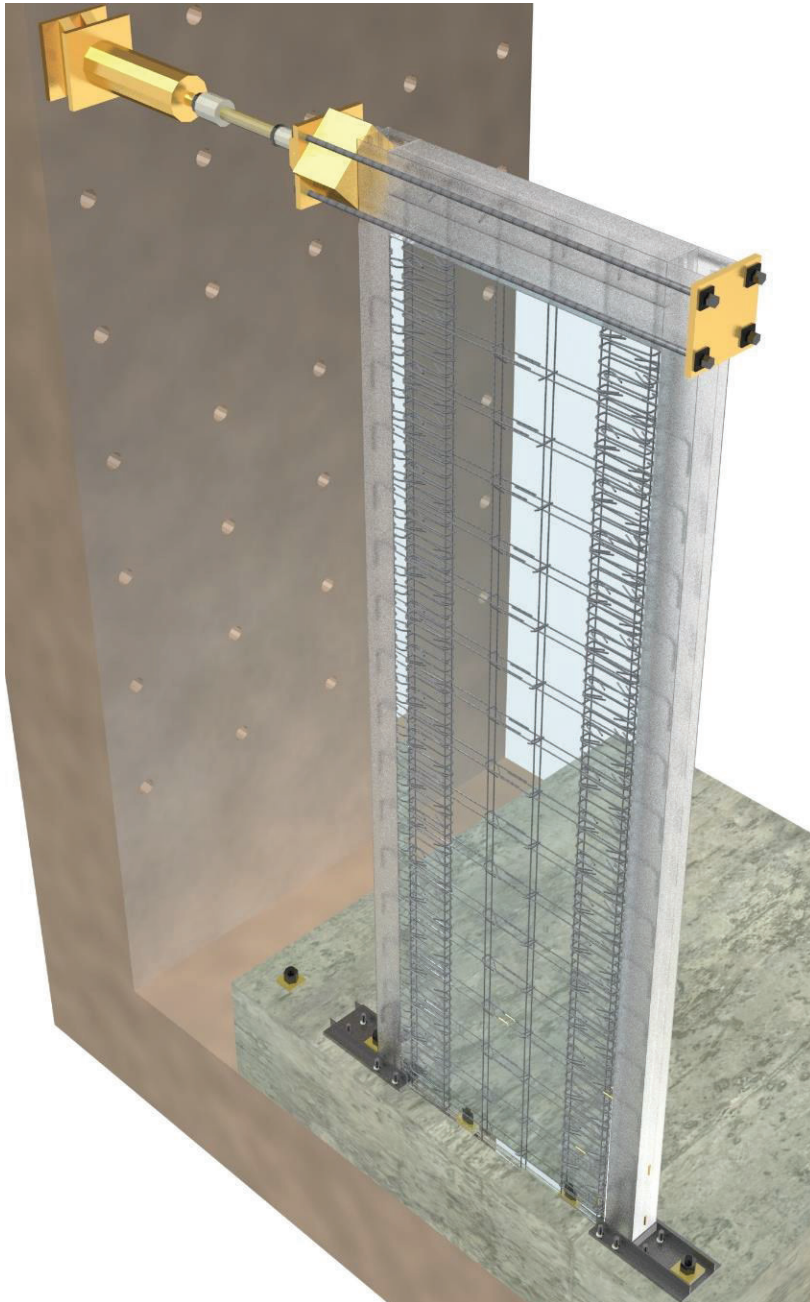


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

2.12.1 MURO 1

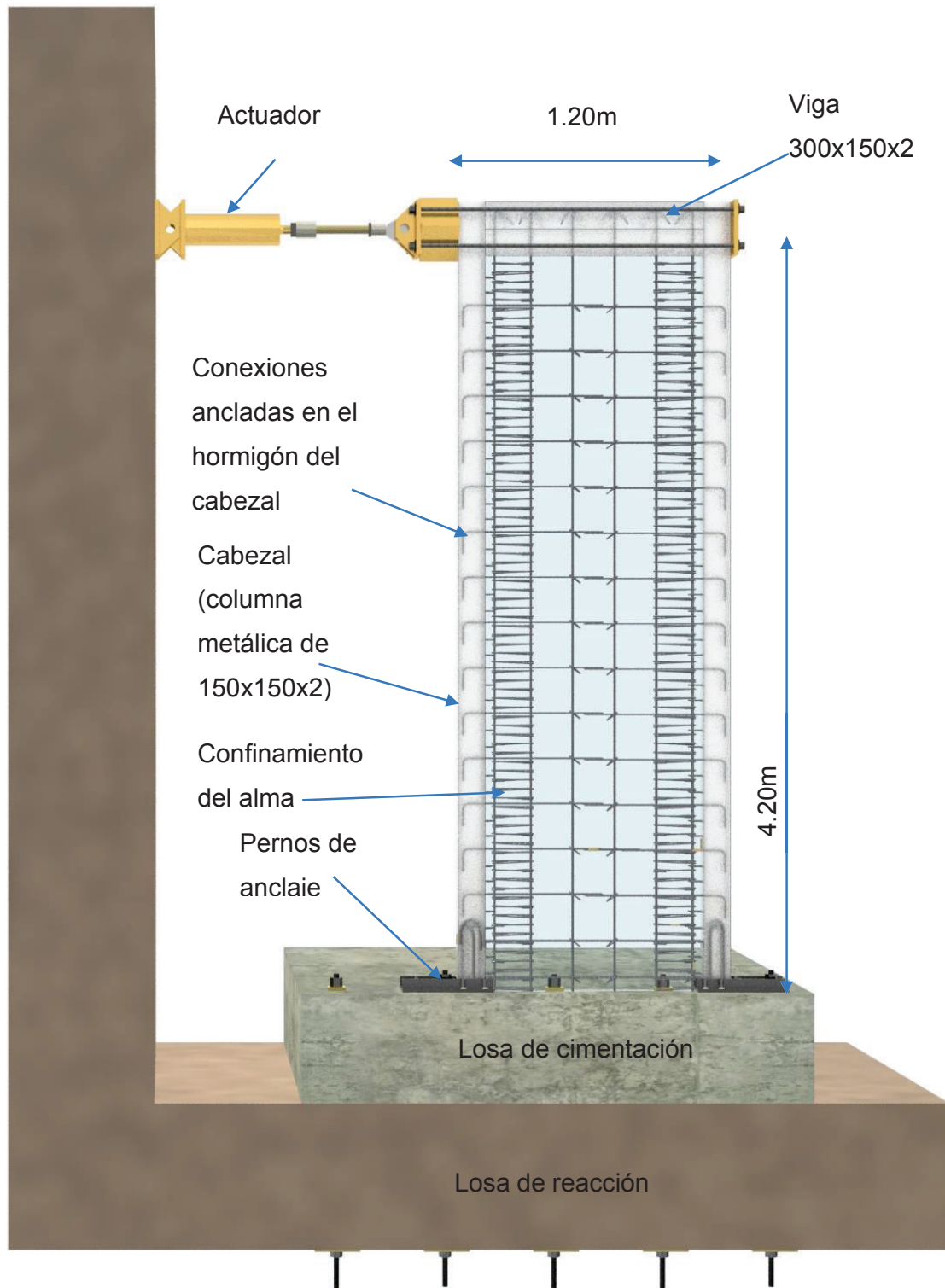
En el muro 1, el acero transversal se ancla en el concreto de los cabezales, los conectores de corte son soldados a los cabezales, en el anexo está el plano del muro1 y en las figura 2.7 y 2.8 se lo esquematiza.

FIGURA 2.7 MURO 1_ IMPLANTACIÓN GENERAL



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 2.8 MURO 1_ CONEXIONES ANCLADAS



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

2.12.2 MURO 2

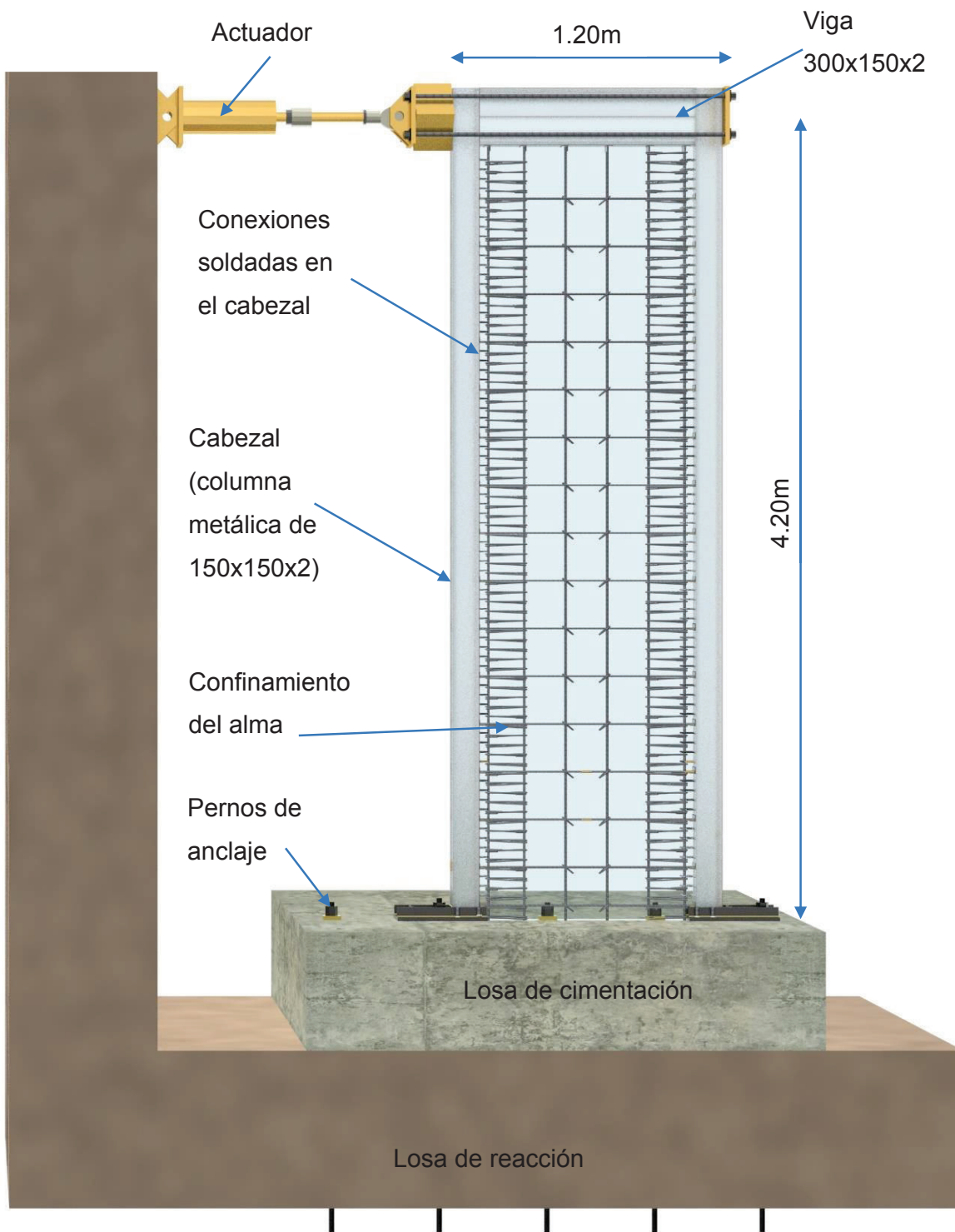
En el muro 2 el alma de hormigón se conecta a los elementos de borde de acero soldando el refuerzo transversal y los conectores de corte, en el anexo está el plano del muro 2 y en la figura 2.8 se lo esquematiza.

FIGURA 2. 9 MURO 2_ IMPLANTACIÓN GENERAL



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 2.10 MURO 2_CONEXIONES SOLDADAS



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

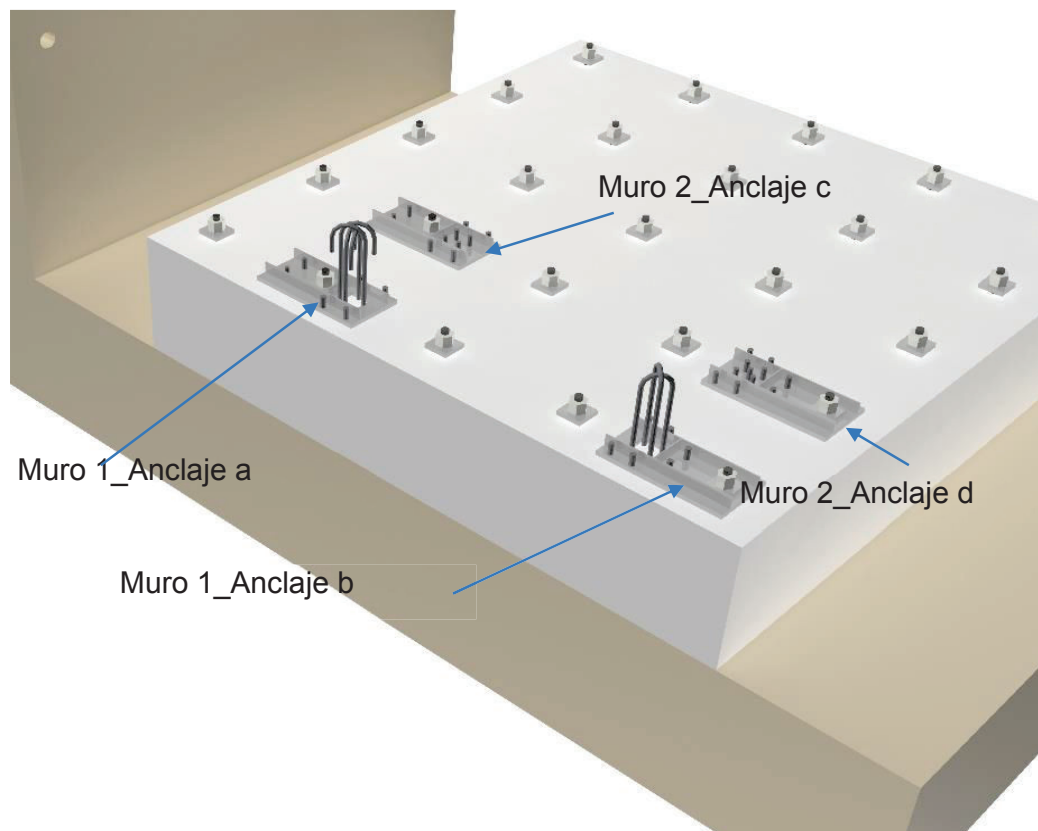
2.12.3 LOSA DE CIMENTACIÓN

Se construye una losa de cimentación de 2.8m x2.8m y una altura de 0.60m sobre la que se construye los muros, el plano se encuentra en el anexo.

2.12.4 PLACA BASE Y ANCLAJES

Cada cabezal tiene una forma particular de sujetarse a la losa de cimentación en la figura 2.11 están implantadas las cuatro formas de anclar:

FIGURA 2.11 IMPLANTACIÓN DE LAS PLACAS BASE



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En el muro 1 los cabezales están anclados como se indican en la figura 2.12

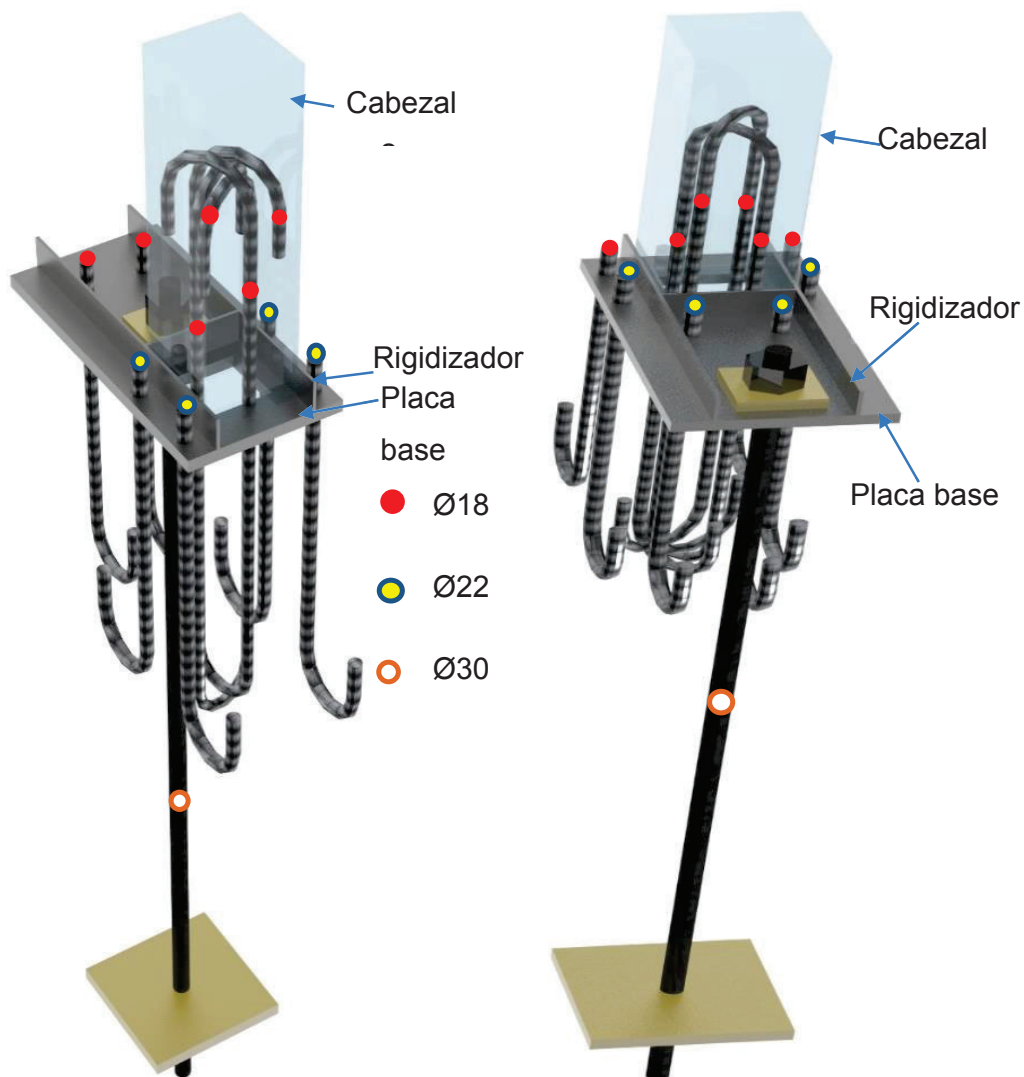
En los anclajes “a” y “b” se tiene 6Ø18, 4Ø22 y 1Ø30 ($A_s=37.54\text{cm}^2$) en diferente ubicación y orientación, con esa cantidad de acero se garantiza que no falle los

anclajes en el muro1. Además las placas bases se encuentran perforadas para que pueda ingresar el hormigón.

En el muro 2 los anclajes de los cabezales se los indica en las figuras 2.13

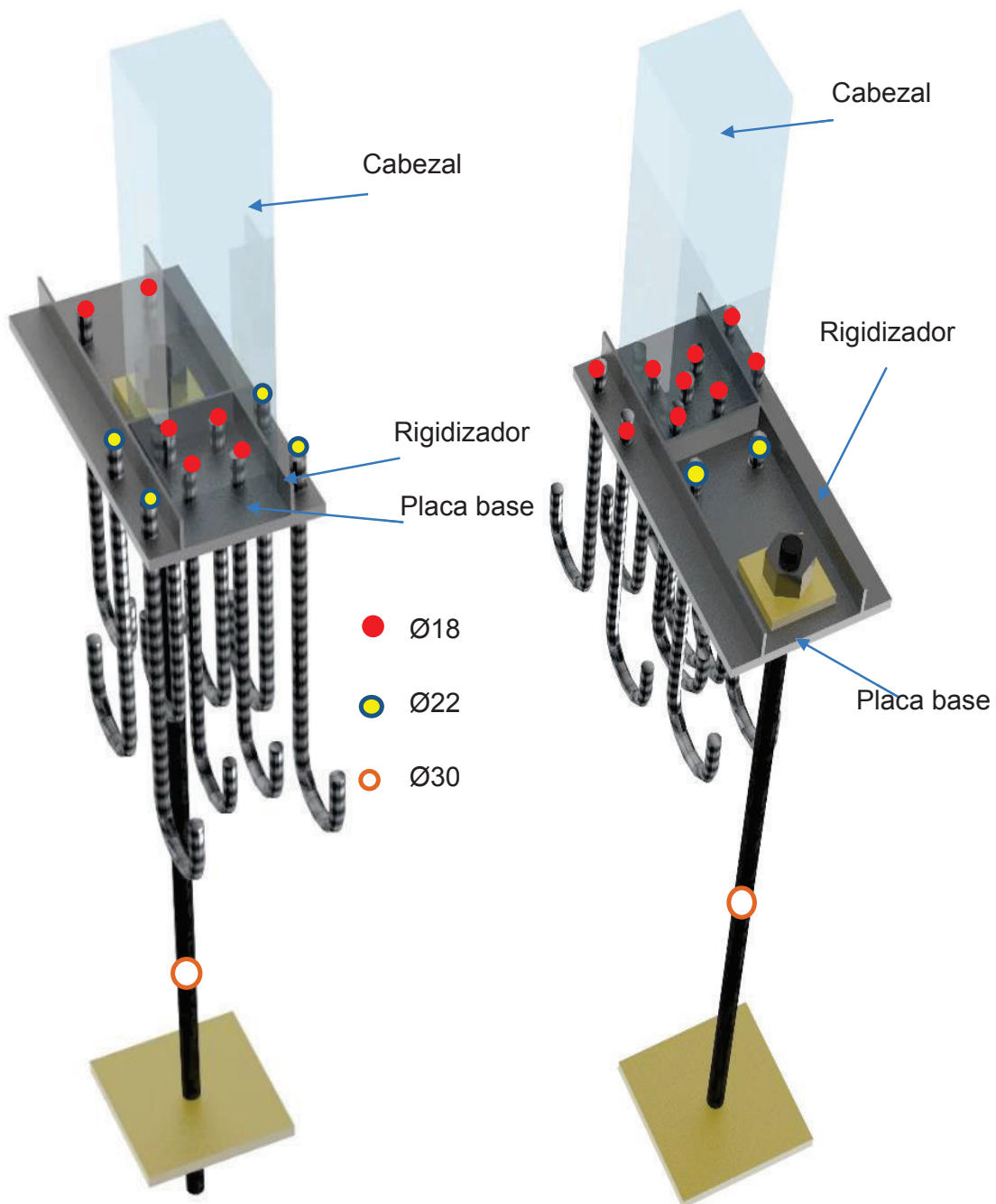
Los anclajes para el muro 2 a diferencia de las del muro 1 no son agujeradas pero tienen similar cantidad de acero así el anclaje "c" tiene 6Ø18, 4Ø22 y 1Ø30 ($A_s=37.54\text{cm}^2$) y el anclaje "d" tiene 9Ø18, 2Ø22 y 1Ø30 ($A_s=37.57\text{cm}^2$).

FIGURA 2.12 ANCLAJE _MURO1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 2.13 ANCLAJE DEL MURO 2

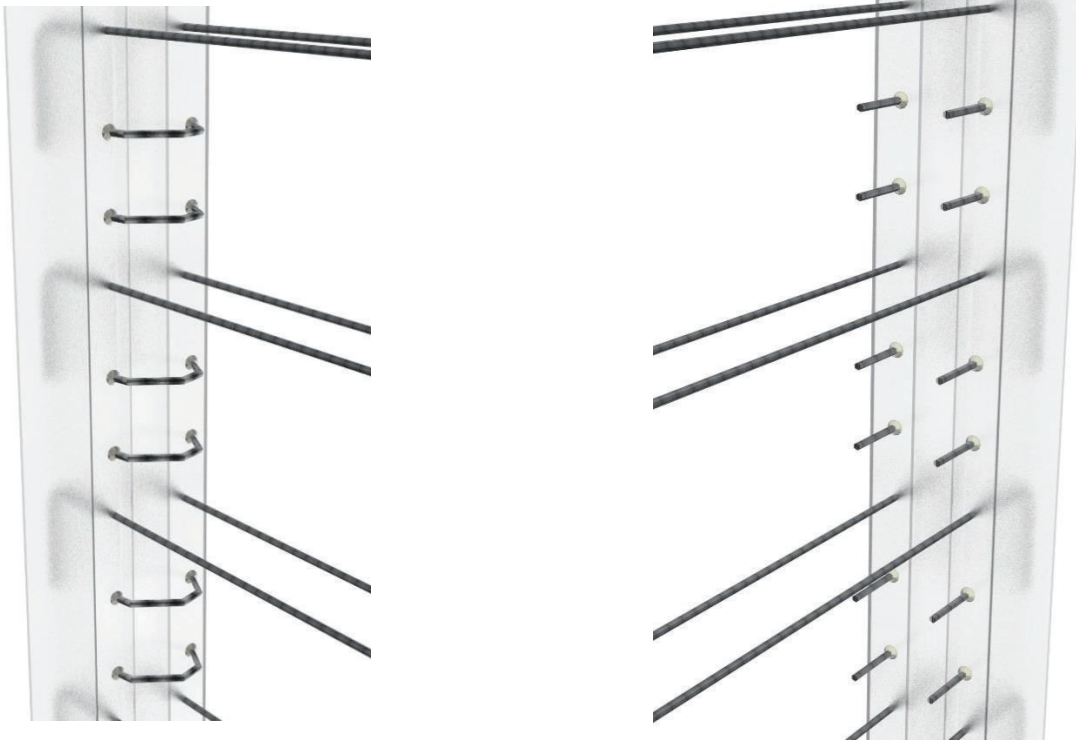


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

2.12.5 CONECTORES DE CORTE

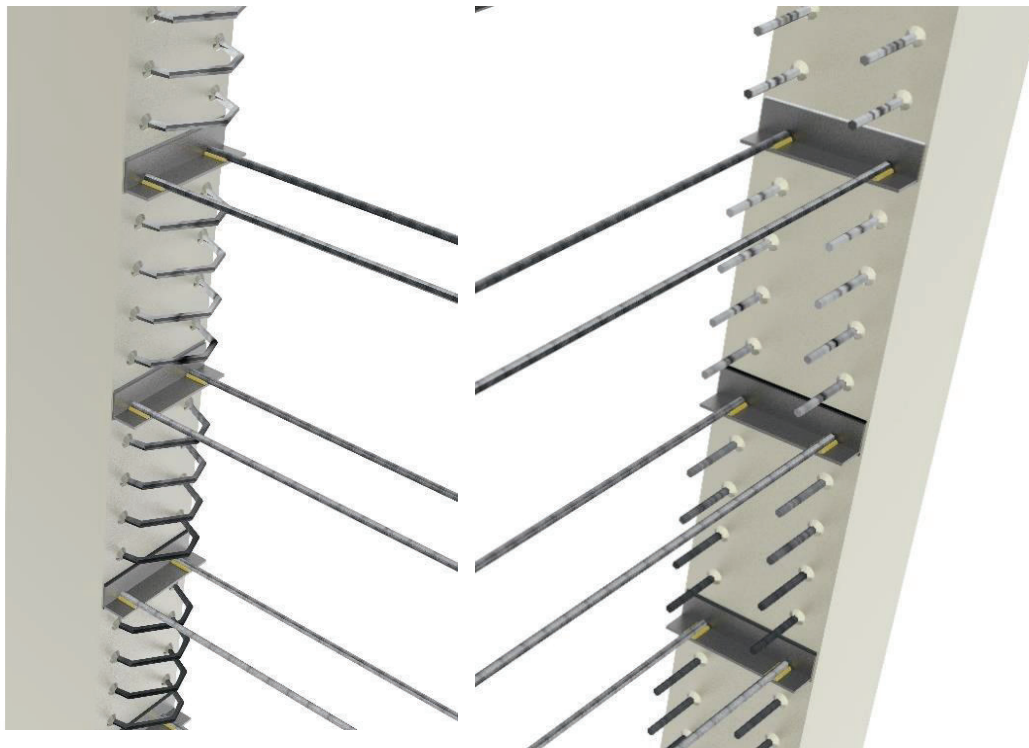
El muro 2 tendrá el doble de conectores de corte que el muro 1, además se tiene dos tipos de conectores como se indica en las figuras 2.14 y 2.15

FIGURA 2.14 CONECTORES DEL MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 2.15 CONECTORES DEL MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

2.12.6 STRAIN GAUGES

Para medir la deformación del acero se utilizan strain gauges fabricados por Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd. Con las características que se indican en la figura 2.16

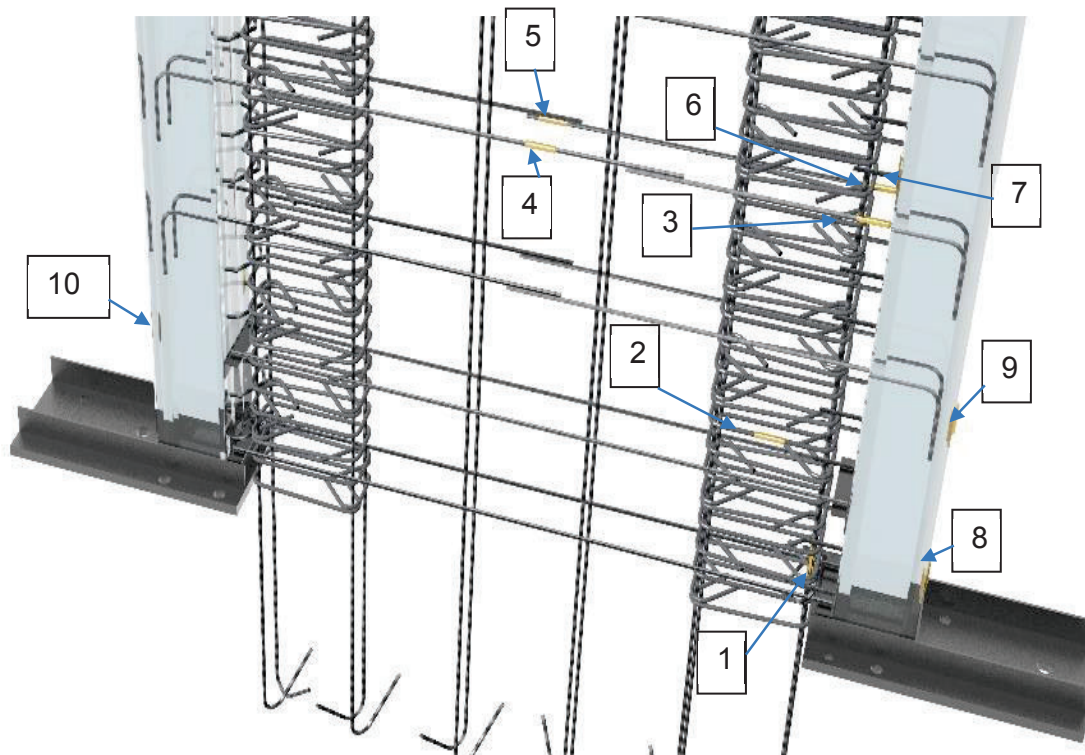
FIGURA 2.16 STRAIN GAUGES



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

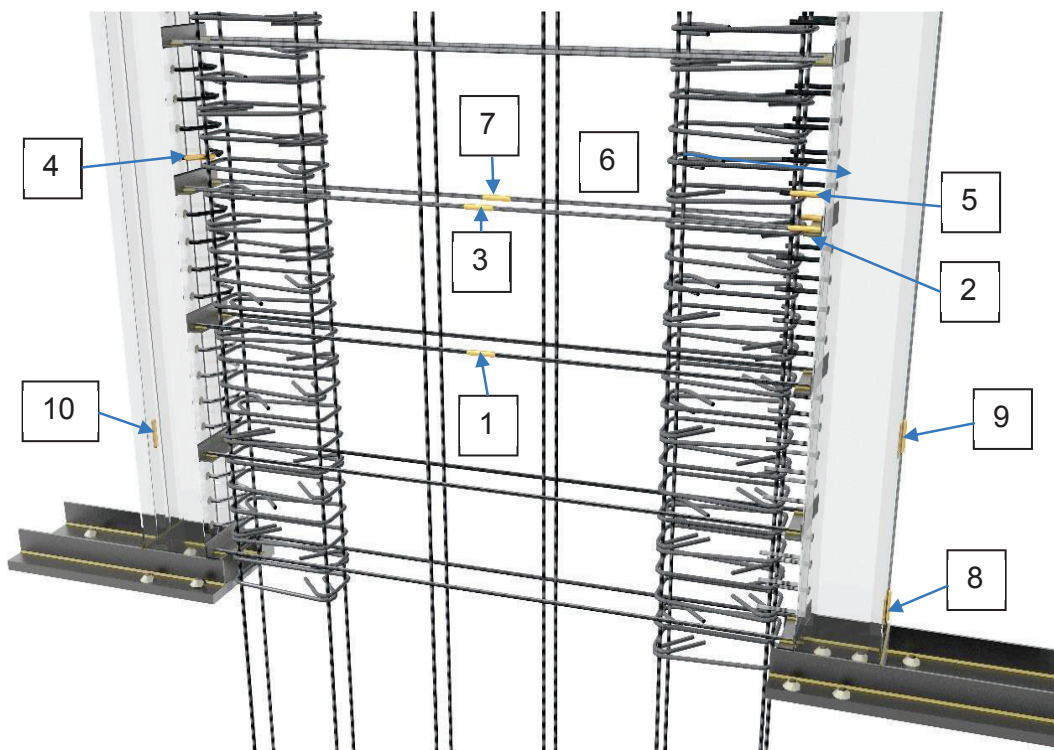
En la figura 2.17 se indica la ubicación de los strain gauge para el muro 1, mientras que para el muro 2 se tiene la figura 2.18.

FIGURA 2.17 UBICACIÓN DE LOS STRAIN GAUGES EN EL MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 2.18 UBICACIÓN DE STRAIN GAUGES EN EL MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

2.13 MODELACIÓN MATEMÁTICA

Para realizar la modelación matemática se utiliza el programa “SeismoStruct” con el cual se genera la curva de histéresis del muro, ante la aplicación de un ciclo de carga lateral.

2.13.1 MATERIALES

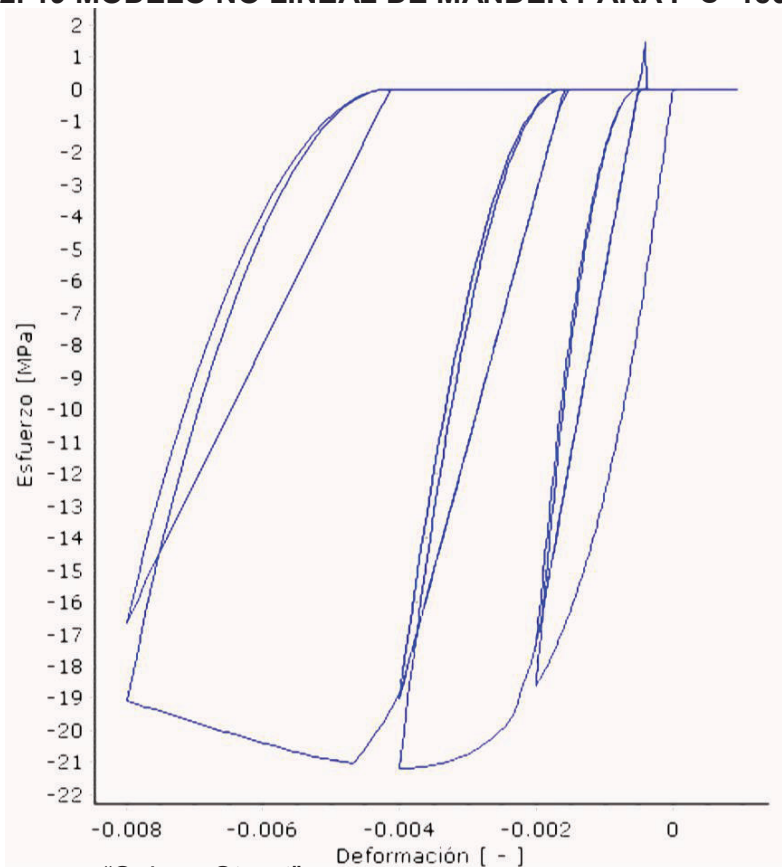
Hormigón.-

Para el hormigón se tomara el modelo no lineal de Mander, que para un $f'c=180\text{Kg/cm}^2$ se tiene la figura 2.19

Acero.-

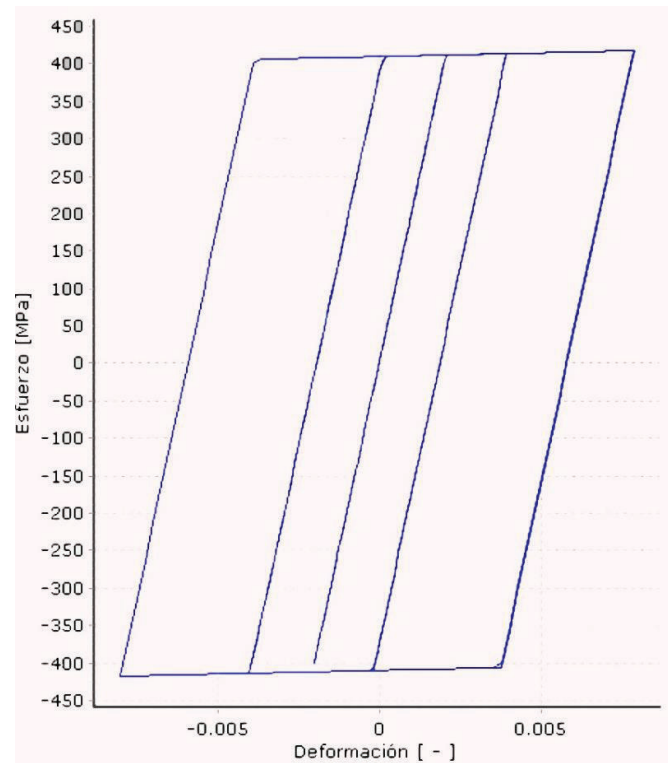
Se emplea el Modelo bi-lineal para acero, que para un $f_y=4200\text{Kg/cm}^2$ se tiene la figura 2.20

FIGURA 2. 19 MODELO NO LINEAL DE MANDER PARA $F'c=180\text{KG/CM}^2$



FUENTE: programa “SeismoStruct”

FIGURA 2.20 MODELO BI-LINEAL PARA ACERO CON $FY=4200\text{KG/CM}^2$

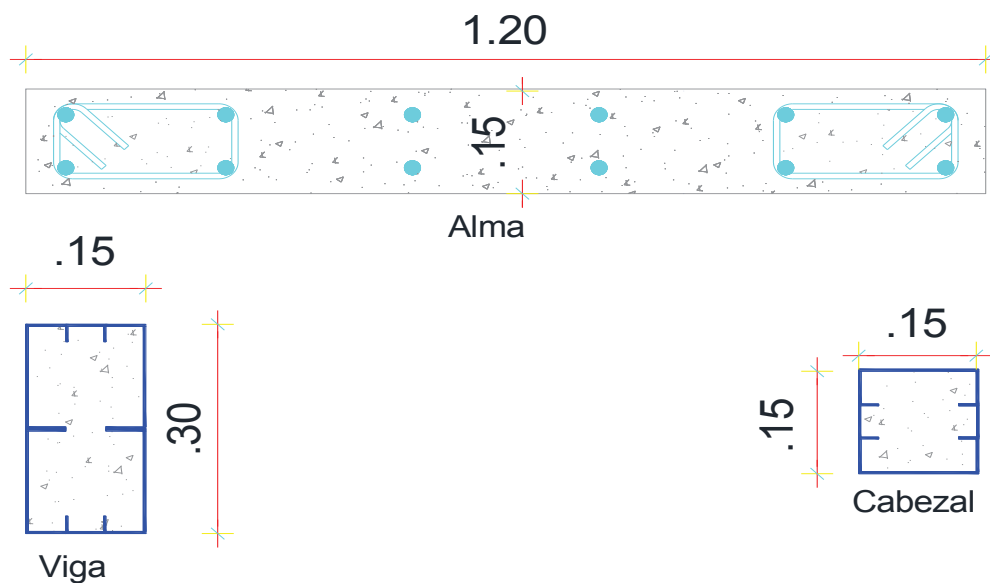


FUENTE: programa "SeismoStruct"

2.13.2 SECCIONES

Se generan las secciones indicadas en la figura 2.21

FIGURA 2.21 SECCIONES DE LOS ELEMENTOS

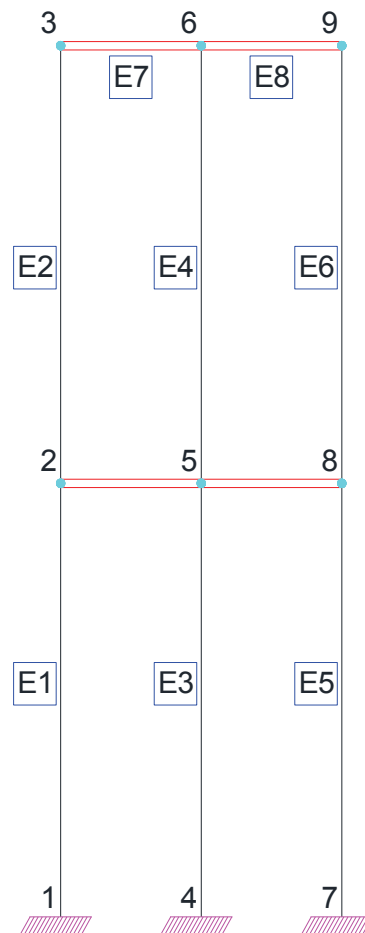


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

2.13.3 CLASES DE ELEMENTOS

Se emplea elementos inelásticos de pórtico basado en fuerzas – infrmFB, que permite modelar miembros de pórticos espaciales con no linealidades geométricas y de los materiales. En la figura 2.22 se esquematiza los elementos y nudos.

FIGURA 2.22 ESQUEMA DE NODOS Y ELEMENTOS

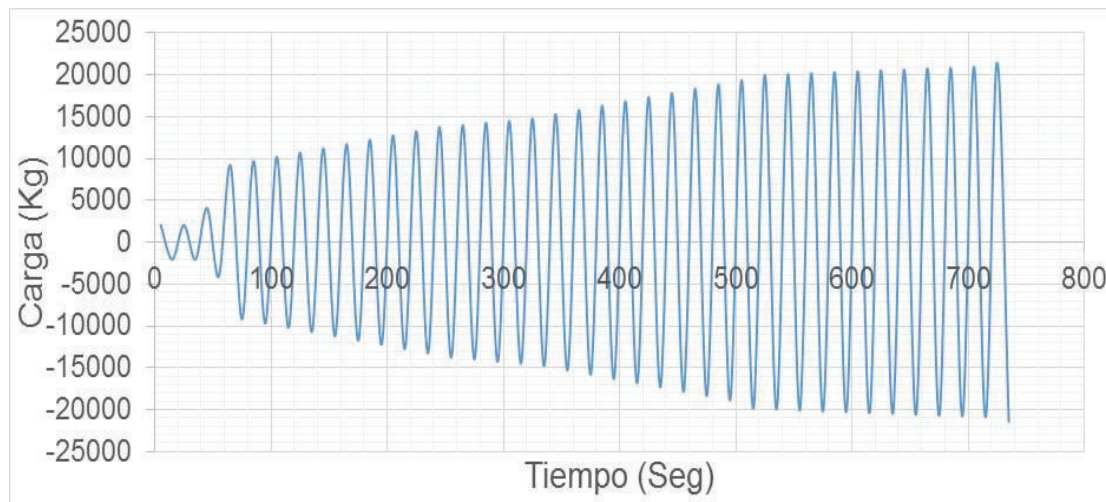


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Los elementos E1, E2, E5 y E6 corresponde a los cabezales, los elementos E3 y E4 son el alma de hormigón y los elementos E7 y E8 son la viga.

2.13.4 CURVA DE LA HISTORIA DE LA CARGA EN EL TIEMPOS

Para la predicción se toma la curva de historia de la carga en el tiempo indicada en la figura 2.23 después del ensayo se tendrá la historia de la carga en el tiempo real.

FIGURA 2.23 HISTORIA DE LA CARGA EN EL TIEMPO-TEÓRICA

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

2.13.5 CURVAS DE HISTÉRESIS

Se generan dos curvas de histéresis, mostradas en la figura 2.24, donde la primera (nominal) corresponde a las siguientes especificaciones:

Acero de refuerzo:

$$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

Acero estructural:

$$f_y = 2531 \text{ Kg/cm}^2$$

Hormigón:

$$f'_c = 180 \text{ Kg/cm}^2$$

Y para la segunda curva (probable) se toman los siguientes valores:

Acero de refuerzo:

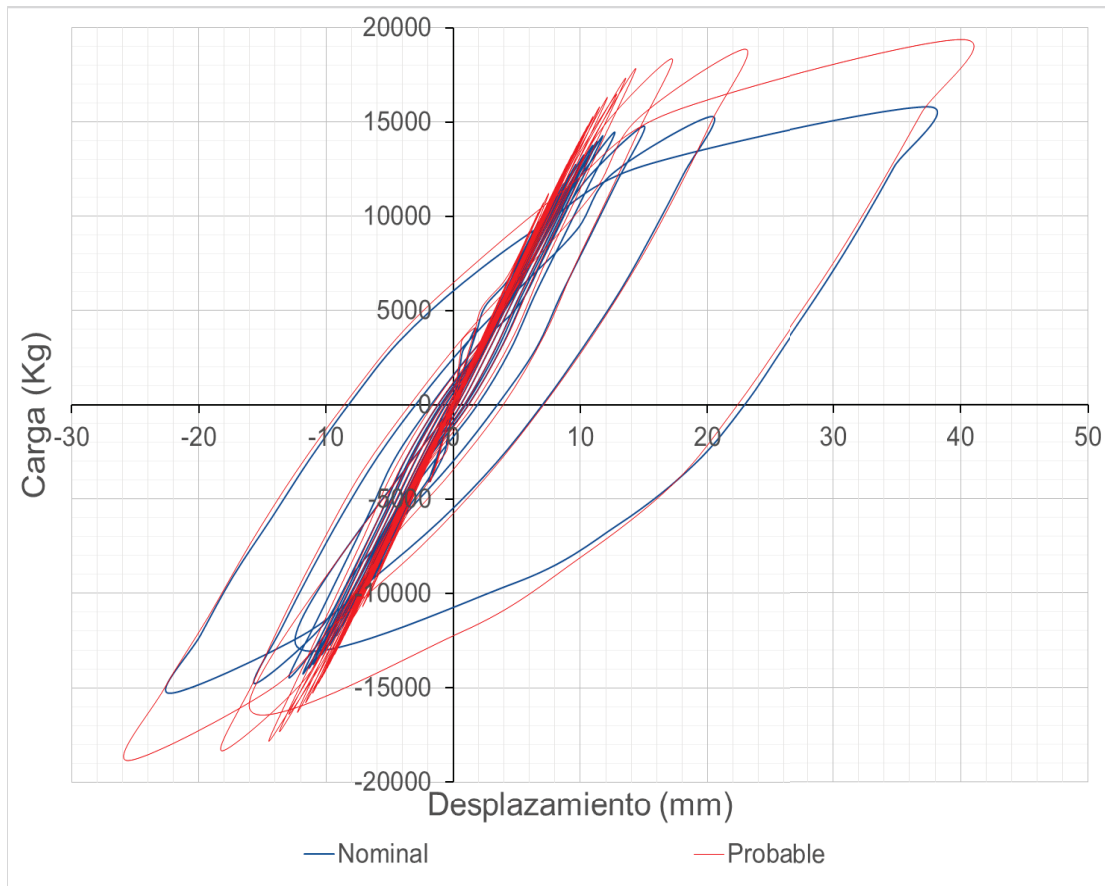
$$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2 * 1.25 = 5250 \text{ Kg/cm}^2$$

Acero estructural:

$$f_y = 2531 \text{ Kg/cm}^2 * 1.25 = 3164 \text{ Kg/cm}^2$$

Hormigón:

$$f'_c = 180 \text{ Kg/cm}^2 + 20 \text{ Kg/cm}^2 = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

FIGURA 2.24 CURVAS DE HISTÉRESIS NOMINAL Y PROBABLE

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

CAPÍTULO 3

SOLDADURA Y ENSAYOS PREVIOS

En el presente capítulo se realiza un estudio de la soldabilidad de las varillas de refuerzo con los que se seleccionara un procedimiento adecuado para soldar los diferentes elementos en el muro. Además se realizara ensayos que permiten conocer el comportamiento de los aceros empleados.

3.1 NORMATIVA

Para la soldadura del acero de refuerzo se seguirá básicamente las recomendaciones de la ANSI/AWS D1.4 – 11, (código de soldadura estructural – acero de refuerzo), sin embargo, también serán necesarias las siguientes normas:

ANSI/AWS D1.1 – 2010, (código de soldadura estructural – acero estructural)

ASTM A615, Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement

ASTM A706, Specification for Low Alloy Steel Deformed Bars for Concrete Reinforcement

NTE INEN 102:2011 Varillas con resaltes de acero al carbono laminadas en caliente para hormigón armado.

NTE INEN 2167:2011 Varillas con resaltes de acero de baja aleación, soldables, laminadas en caliente y/o termotratadas para hormigón armado.

ACI 318-11 Requisitos de reglamento para concreto estructural.

ANSI/AWS A5.1, Especificación para electrodos de acero al carbono

ANSI/AWS A5.5, Especificación para electrodos de acero de baja aleación

3.2 MATERIAL BASE (ACERO DE REFUERZO)

En la industria ecuatoriana se fabrica acero de refuerzo según las normas NTE INEN 102(ecuatoriana), ASTM A615 (americana) y la norma NTE INEN 2167 (ecuatoriana), ASTM A706 (americana).

En la presente investigación se utilizará varillas fabricadas bajo la norma NTE INEN 2167 (ecuatoriana)

3.2.1 VARILLA NTE INEN 2167

Las especificaciones mecánicas se indican en la tabla 3.1

TABLA 3. 1 ESPECIFICACIONES DE LA VARILLA NTE INEN 2167

ENSAYO	UNIDAD	GRADO DE ACERO A42
Límite de fluencia, mínima	daN/mm ² (kgf/mm ²)	41,2(42)
Límite de fluencia, máximo	daN/mm ² (kgf/mm ²)	53.9(55)
Resistencia a la tracción, mínima	daN/mm ² (kgf/mm ²)	54.9(56)
Alargamiento (%) mínimo con probeta Lo = 200 mm		
Diámetro nominal (mm)	%	
8 - 20	14	
22 - 36	12	

FUENTE: NTE INEN 2167

La composición química se indica en la tabla 3.2

TABLA 3. 2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA VARILLA NTE INEN 2167

ELEMENTO	análisis de cuchara máx	Análisis de comprobación máx
Carbono	0,30%	0,33%
Manganeso	1,50%	1,56%
Fósforo	0,035%	0,043%
Azufre	0,045%	0,053%
Silicio	0,50%	0,55%

FUENTE: NTE INEN 2167

3.2.2 ACERO DE REFUERZO SEGÚN ACI-318

Según la ACI-318, para resistir fuerzas axiales y de flexión producidas por un sismo en pórticos, muros estructurales y vigas de acople, deben ser fabricadas bajo la norma ASTM A706M, sin embargo se puede utilizar el acero de refuerzo ASTM A615 siempre y cuando cumpla con:

La resistencia real a la fluencia no sea mayor que $f_y + 125 \text{MPa}$

La resistencia entre la resistencia real a la tracción y la resistencia real a la fluencia sea mayor a 1.25

3.2.3 ANÁLISIS POR ESPECTROMETRÍA DE CHISPA.

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realiza empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUNKER modelo Q4TASMAN indicado en la figura 3.1 y los resultados se exponen en la tabla 3.3.

TABLA 3. 3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS VARILLAS

	DIAMETRO DE VARILLA		
	#8	#18	#25
Metales	(%)	(%)	(%)
Carbono (C)	0.31	0.26	0.28
Silicio (Si)	0.19	0.21	0.27
Manganeso (Mn)	1.52	1.28	1.26
Fósforo (P)	0.16	0.09	0.06
Azufre (S)	0.14	0.14	0.1
Cromo (Cr)	0.12	0.14	0.09
Molibdeno (Mo)		0.02	0.02
Níquel (Ni)	0.08	0.05	0.05
Cobre (Cu)	0.26	0.16	0.15
Aluminio (Al)	0.02		
Plomo (Pb)		0.02	0.02
Vanadio (V)	0.05	0.03	0.03
Hierro (Fe)	96.8	97.55	97.61

CE%	0.59	0.49	0.51
-----	------	------	------

FUENTE: Laboratorio de Metalurgia Extractiva (EPN)

FIGURA 3. 1 ESPECTRÓMETRO DE CHISPA



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

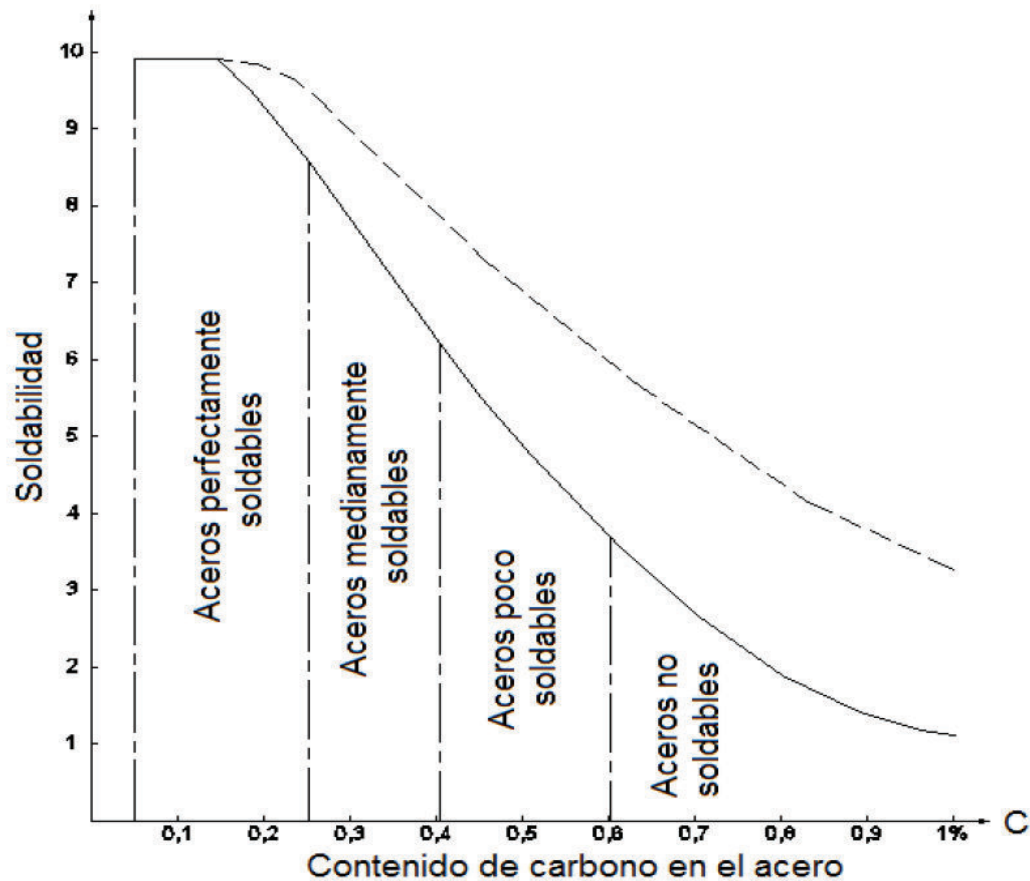
El cálculo del carbono equivalente se realiza según la AWS D1.4 que para el acero ASTM-706 se determina con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ C.E.} = \% \text{ C} + \% \text{ Mn}/6 + \% \text{ Cu}/40 + \% \text{ Ni}/20 + \% \text{ Cr}/10 - \% \text{ Mo}/50 - \% \text{ V}/10 \quad (3.1)$$

3.2.4 SOLDABILIDAD DEL MATERIAL BASE

Con las restricciones en la composición química (tabla 3.2) y la fórmula de carbono equivalente (tabla 3.3) se suministra un control de la composición química para aplicaciones en soldadura (La norma AWS D1.4 proporciona prácticas recomendables de soldadura, incluyendo las temperaturas de precalentamiento y de entrepasos basadas en el carbono equivalente (C.E.).).

FIGURA 3. 2 SOLDABILIDAD SEGÚN EL CONTENIDO DE CARBONO



FUENTE: Seferian (Referencia 9)

3.3 PROCESO DE SOLDADURA

La AWS D1.4 indica que se debe soldar con:

- Soldadura de arco con electrodo revestido (shielded metal arc welding - SMAW)
- Soldadura de arco de metal y gas (gas metal arc welding - GMAW)
- Soldadura por arco con núcleo fundente flux cored arc welding (FCAW).
Otros procesos pueden ser aplicables con aprobación del ingeniero responsable.

El proceso SMAW es el más utilizado en el Ecuador sobre todo para trabajos en campo por lo que se lo emplea para la presente investigación.

3.4 PRECALENTAMIENTO

En la tabla 3.4 se indica la temperatura mínima de precalentamiento para las varillas según su diámetro y carbono equivalente.

TABLA 3. 4 PRECALENTAMIENTO MÍNIMO DE LAS VARILLAS

Rango de carbono equivalente (C.E). %	Diámetro de la varilla (mm)	Temperatura mínima °C
Más de 0.45 hasta 0.55 inclusive	Hasta 19	Ninguna
	22 a 36	10
Más de 0.55 hasta 0.65 inclusive	Hasta 19	40
	22 a 36	90
Más de 0.75	Hasta 19	150
	22 a 57	260

FUENTE: AWS D1.4

Nota:

Quando el acero reforzado será soldado con un acero al carbono, los requerimientos de precalentamiento del acero estructural deben ser considerados (ver AWS D1.1)

No se debe soldar cuando la temperatura ambiente sea menor a -18°C

Después de soldar las varillas deben seguir un enfriamiento natural hasta la temperatura ambiente. Se prohíben los enfriamientos acelerados.

Cuando no se cuenta con el análisis químico, el carbono equivalente debe ser asumido superior a 0.75%

Cuando el metal base está por debajo de 0°C , el metal base debe ser precalentado mínimo a 20°C y manteniéndola durante la soldadura.

3.6 MATERIAL DE APORTE (ELECTRODO)

Para la varilla ASTM 615, según la AWS D1.4 se recomienda los electrodos indicados en la tabla 3.5

TABLA 3. 5 ELECTRODOS RECOMENDADOS (AWS D1.4)

Especificación del acero	Mínima fluencia		Mínima tensión		Especificación del electrodo	Mínima fluencia		Mínima tensión	
	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa		Ksi	Mpa	Ksi	Mpa
ASTM A615 Grado 60	60	-	90	-	SMAW AWS A5.5				
ASTM A615M Grado 420	-	420	-	600	E9018-X	77	530	90	620
ASTM A706M Grado 420	-	420	-	550	E8018-X	67	460	80	550

FUENTE: AWS D1.4

Se utiliza el electrodo E9018, además, se realiza pruebas con el electrodo E7018 por ser de uso común en el país.

3.4.1 ELECTRODO E9018

El electrodo E9018 es de marca INDURA cuyas características indicadas por el fabricante son:

Composición Química Típica del Metal Depositado

C 0,05%; Mn 0,88%; Si 0,42%; P 0,012%; S 0,010%; Cr 0,10%; Ni 1,42%; Mo 0,24%

Propiedades mecánicas del metal depositado recién soldado

Esfuerzo a la fluencia en 0.2% = 570Mpa

Esfuerzo máximo de tracción = 670Mpa

Intensidad de corriente recomendada para ($\varnothing=3.2\text{mm}$) = 90-140^a

3.4.2 ELECTRODO E7018

Composición química (típica) del material depositado:

C 0.06%; Mn 1.05%; Si 0.49%; P 0.015%; S 0.010%

Características mecánicas

Esfuerzo a la fluencia = 445Mpa

Esfuerzo máximo de tracción = 535Mpa

Intensidad de corriente para ($\varnothing=3.2\text{mm}$) = 120-150A

3.7 ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)

Se elabora los WPS que se indican en las siguientes tablas:

TABLA 3. 6 WPS-D14-101

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					E. P. N.												
Compañía: EPN-FICA		WPS N° EPN-D14-101		FICA													
Elaborado: Ing. Carlos P. Quishpe O.		PQR N°		Maestría													
Revisión: 8 de agosto de 2014		Norma de referencia: AWS D.1.4		Estructuras													
SMAW(Soldadura de arco con electrodo revestido) D1.4					TESIS												
DISEÑO DE LA JUNTA				TÉCNICA DE SOLDADURA													
Tipo de junta: Penetración completa				Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiatomático <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>													
Tipo de bisel: A tope directo				SMAW <input checked="" type="checkbox"/> GMAW <input type="checkbox"/> FCAW <input type="checkbox"/>													
Preparar la junta: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				No. de pases uno <input type="checkbox"/> varios <input checked="" type="checkbox"/>													
Material de respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>				Limpieza: Pase de raíz: Amoladora													
Backgouging:				Otros pases: Grata													
Apertura de raíz (R) De 2 a 3mm				TRATAMIENTO TÉRMICO													
Cara de raíz, talón (f) De 2 a 3mm				Precalentamiento: N / A													
Ángulo de ranura (a) 45° a 60°				Entre pases: N / A													
METAL BASE - ELEMENTO DE UNIÓN				LONGITUD DE TRASLAPE (L1)													
Especificación: ASTM A615				Junta indirecta a tope: placa: <input type="checkbox"/> ángulo: <input type="checkbox"/>													
Diámetro: hasta 25mm				varilla: <input type="checkbox"/>													
Material del elemento de unión:				Junta a traslape directo: _____													
Dimensiones del elemento de unión:				Junta a traslape indirecto: _____													
METAL DE APORTE				NOTA:													
Especificación AWS	Clasificación AWS	Diámetro	Máquina de corriente constante														
AWS A 5.1	E7018	3.2mm															
MEDIO DE PROTECCIÓN																	
FUNDENTE: Tipo:		Clase:															
GAS: Composición:		Flujo (L/min):															
POSICIÓN																	
Ranura: 1G		Filete:		en "T":													
Progreso vertical: Ascendente <input type="checkbox"/>		Descendente <input type="checkbox"/>															
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Dimensión</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ø</td> <td>hasta 25mm</td> </tr> <tr> <td>R</td> <td>De 2 a 3mm</td> </tr> <tr> <td>f</td> <td>De 2 a 3mm</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>45° a 60°</td> </tr> <tr> <td>Rc</td> <td>De 1 a 3mm</td> </tr> </tbody> </table>		Variable	Dimensión	Ø	hasta 25mm	R	De 2 a 3mm	f	De 2 a 3mm	a	45° a 60°	Rc	De 1 a 3mm
Variable	Dimensión																
Ø	hasta 25mm																
R	De 2 a 3mm																
f	De 2 a 3mm																
a	45° a 60°																
Rc	De 1 a 3mm																
No. de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Velocidad de alimentación del electrodo (mm/min)										
	Clase	Diámetro mm	Tipo y polaridad	Amperaje (Amp)													
1-n	E7018	3.2	DC+	130 a 140	20-25	---	---										

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 7 WPS-D14-102

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)				E. P. N.			
Compañía: EPN-FICA		WPS N° EPN-D14-102		FICA			
Elaborado: Ing. Carlos P. Quishpe O.		PQR N°		Maestría			
Revisión: 8 de agosto de 2014		Norma de referencia: AWS D.1.4		Estructuras			
SMAW(Soldadura de arco con electrodo revestido) D1.4				TESIS			
DISEÑO DE LA JUNTA			TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: Penetración completa			Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>				
Tipo de bisel: A tope directo			SMAW <input checked="" type="checkbox"/> GMAW <input type="checkbox"/> FCAW <input type="checkbox"/>				
Preparar la junta: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			No. de pases uno <input type="checkbox"/> varios <input checked="" type="checkbox"/>				
Material de respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>			Limpieza: Pase de raíz: Amoladora				
Backgouging:			Otros pases: Grata				
Apertura de raíz (R) De 2 a 3mm			TRATAMIENTO TÉRMICO				
Cara de raíz, talón (f) De 2 a 3mm			Precalentamiento: N / A				
Ángulo de ranura (a) 45° a 60°			Entre pases: N / A				
			Poscalentamiento: N / A				
METAL BASE - ELEMENTO DE UNIÓN			LONGITUD DE TRASLAPE (L1)				
Especificación: ASTM A615			Junta indirecta a tope: placa: <input type="checkbox"/> ángulo: <input type="checkbox"/>				
Diámetro: hasta 25mm			varilla: <input type="checkbox"/>				
Material del elemento de unión:			Junta a traslape directo: _____				
Dimensiones del elemento de unión:			Junta a traslape indirecto: _____				
METAL DE APORTE			NOTA:				
Especificación AWS	Clasificación AWS	Diámetro	Máquina de corriente constante				
AWS A 5.5	E9018	3.2mm					
MEDIO DE PROTECCIÓN							
FUNDETE: Tipo:	Clase:						
GAS: Composición:	Flujo (L/min):						
POSICIÓN							
Ranura: 1G	Filete:	en "T":					
Progreso vertical: Ascendente <input type="checkbox"/>	Descendente <input type="checkbox"/>						
			Variable	Dimensión			
			Ø	hasta 25mm			
R	De 2 a 3mm						
f	De 2 a 3mm						
a	45° a 60°						
Rc	De 1 a 3mm						
No. de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Velocidad de alimentación del electrodo (mm/min)
1-n	Clase	Diámetro mm	Tipo y polaridad	Amperaje (Amp)			
	E9018	3.2	DC+	110 a 140	20-25	---	---

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 8 WPS-D14-103

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)				E. P. N.				
Compañía: EPN-FICA		WPS N° EPN-D14-103		FICA				
Elaborado: Ing. Carlos P. Quishpe O.		PQR N°		Maestría				
Revisión: 8 de agosto de 2014		Norma de referencia: AWS D.1.4		Estructuras				
SMAW(Soldadura de arco con electrodo revestido) D1.4				TESIS				
DISEÑO DE LA JUNTA			TÉCNICA DE SOLDADURA					
Tipo de junta: Penetración completa			Manual	<input checked="" type="checkbox"/>	Semiatomático	<input type="checkbox"/>	Automático	<input type="checkbox"/>
Tipo de bisel: A tope directo			SMAW	<input checked="" type="checkbox"/>	GMAW	<input type="checkbox"/>	FCAW	<input type="checkbox"/>
Preparar la junta: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			No. de pases		uno	<input type="checkbox"/>	varios	<input checked="" type="checkbox"/>
Material de respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>			Limpieza: Pase de raíz:		Amoladora			
Backgouging:			Otros pases:		Grata			
Apertura de raíz (R) De 2 a 3mm			TRATAMIENTO TÉRMICO					
Cara de raíz, talón (f) De 2 a 3mm			Precalentamiento: N / A					
Ángulo de ranura (a) 45° a 60°			Entre pases: N / A					
			Poscalentamiento: N / A					
METAL BASE - ELEMENTO DE UNIÓN			LONGITUD DE TRASLAPE (L1)					
Especificación: ASTM A615			Junta indirecta a tope: placa: <input type="checkbox"/> ángulo: <input type="checkbox"/>					
Diámetro: hasta 18mm			varilla: <input type="checkbox"/>					
Material del elemento de unión:			Junta a traslape directo: _____					
Dimensiones del elemento de unión:			Junta a traslape indirecto: _____					
METAL DE APORTE			NOTA:					
Especificación AWS	Clasificación AWS	Diámetro	Máquina de corriente constante					
AWS A 5.1	E7018	3.2mm						
MEDIO DE PROTECCIÓN								
FUNDENTE:	Tipo:	Clase:						
GAS:	Composición:	Flujo (L/min):						
POSICIÓN								
Ranura: 1G	Filete:	en "T":						
Progreso vertical:	Ascendente	<input type="checkbox"/>	Descendente	<input type="checkbox"/>				
			Variable	Dimensión				
			∅	hasta 18mm				
			R	De 2 a 3mm				
			f	De 2 a 3mm				
			a	45° a 60°				
			Rc	De 1 a 3mm				
			Rr	De 1 a 3mm				
No. de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Velocidad de alimentación del electrodo (mm/min)	
	Clase	Diámetro mm	Tipo y polaridad	Amperaje (Amp)				
1-n	E7018	3.2	DC+	130 a 140	20-25	---	---	

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 9 WPS-D14-104

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					E. P. N.		
Compañía: EPN-FICA		WPS N° EPN-D14-104		FICA			
Elaborado: Ing. Carlos P. Quishpe O.		PQR N°		Maestría			
Revisión: 8 de agosto de 2014		Norma de referencia: AWS D.1.4		Estructuras			
SMAW(Soldadura de arco con electrodo revestido) D1.4					TESIS		
DISEÑO DE LA JUNTA			TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: Penetración completa			Manual: <input checked="" type="checkbox"/>	Semiatomático: <input type="checkbox"/>	Automático: <input type="checkbox"/>		
Tipo de bisel: A tope directo			SMAW: <input checked="" type="checkbox"/>	GMAW: <input type="checkbox"/>	FCAW: <input type="checkbox"/>		
Preparar la junta: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			No. de pases: uno <input type="checkbox"/> varios <input checked="" type="checkbox"/>				
Material de respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>			Limpieza: Pase de raíz: Amoladora				
Backgouging:			Otros pases: Grata				
Apertura de raíz (R) De 2 a 3mm			TRATAMIENTO TÉRMICO				
Cara de raíz, talón (f) De 2 a 3mm			Precalentamiento: N / A				
Ángulo de ranura (a) 45° a 60°			Entre pases: N / A				
			Poscalentamiento: N / A				
METAL BASE - ELEMENTO DE UNIÓN			LONGITUD DE TRASLAPE (L1)				
Especificación: ASTM A615			Junta indirecta a tope: placa: <input type="checkbox"/> ángulo: <input type="checkbox"/>				
Diámetro: hasta 18mm			varilla: <input type="checkbox"/>				
Material del elemento de unión:			Junta a traslape directo: _____				
Dimensiones del elemento de unión:			Junta a traslape indirecto: _____				
METAL DE APORTE			NOTA:				
Especificación AWS	Clasificación AWS	Diámetro	Máquina de corriente constante				
AWS A 5.5	E9018	3.2mm					
MEDIO DE PROTECCIÓN							
FUNDENTE: Tipo: _____		Clase: _____					
GAS: Composición: _____		Flujo (L/min): _____					
POSICIÓN							
Ranura: 1G		Filete: _____		en "T": _____			
Progreso vertical: Ascendente <input type="checkbox"/>		Descendente <input type="checkbox"/>					
			Variable	Dimensión			
			∅	hasta 18mm			
R	De 2 a 3mm						
f	De 2 a 3mm						
a	45° a 60°						
Rc	De 1 a 3mm						
Rr	De 1 a 3mm						
No. de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Velocidad de alimentación del electrodo (mm/min)
	Clase	Diámetro mm	Tipo y polaridad	Amperaje (Amp)			
1-n	E9018	3.2	DC+	110 a 140	20-25	---	---

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 10 WPS-D14-105

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					E. P. N.		
Compañía: EPN-FICA		WPS N° EPN-D14-105		FICA			
Elaborado: Ing. Carlos P. Quishpe O.		PQR N°		Maestría			
Revisión: 8 de agosto de 2014		Norma de referencia: AWS D.1.4		Estructuras			
SMAW(Soldadura de arco con electrodo revestido) D1.4					TESIS		
DISEÑO DE LA JUNTA			TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: Penetración parcial			Manual	<input checked="" type="checkbox"/>	Semiatomático	<input type="checkbox"/>	
Tipo de bisel: A traslape directo (varilla-varilla)			SMAW	<input checked="" type="checkbox"/>	GMAW	<input type="checkbox"/>	
Preparar la junta: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>			No. de pases	uno	varios	<input checked="" type="checkbox"/>	
Material de respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			Limpieza: Pase de raíz:	Grata			
Backgouging:			Otros pases: Grata				
Apertura de raíz (R)			TRATAMIENTO TÉRMICO				
Cara de raíz, talón (f)			Precalentamiento: N / A				
Ángulo de ranura (a)			Entre pases: N / A				
			Poscalentamiento: N / A				
METAL BASE - ELEMENTO DE UNIÓN			LONGITUD DE TRASLAPE (L1)				
Especificación: ASTM A615			Junta indirecta a tope: placa: <input type="checkbox"/> ángulo: <input type="checkbox"/>				
Diámetro: 8mm			varilla: <input type="checkbox"/>				
Material del elemento de unión:			Junta a traslape directo: 40mm				
Dimensiones del elemento de unión:			Junta a traslape indirecto:				
METAL DE APORTE			NOTA:				
Especificación AWS	Clasificación AWS	Diámetro	Máquina de corriente constante				
AWS A 5.1	E7018	3.2mm					
MEDIO DE PROTECCIÓN							
FUNDENTE: Tipo: _____ Clase: _____							
GAS: Composición: _____ Flujo (L/min): _____							
POSICIÓN							
Ranura: 1G Filete: _____ en "T": _____							
Progreso vertical: Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>							
			Variable		Dimensión		
			Ø		8mm		
		S		4mm			
		E		2.4mm			
		L1		40mm			
No. de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (voltios)	Velocidad de avance (mm/min)	Velocidad de alimentación del electrodo (mm/min)
	Clase	Diámetro mm	Tipo y polaridad	Amperaje (Amp)			
1-n	E7018	3.2	DC+	130 a 140	20-25	---	---

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 11 WPS-D14-106





ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)					E. P. N.		
Compañía: EPN-FICA		WPS N° EPN-D14-106		FICA			
Elaborado: Ing. Carlos P. Quishpe O.		PQR N°		Maestría			
Revisión: 8 de agosto de 2014		Norma de referencia: AWS D.1.4		Estructuras			
SMAW(Soldadura de arco con electrodo revestido) D1.4					TESIS		
DISEÑO DE LA JUNTA			TÉCNICA DE SOLDADURA				
Tipo de junta: Penetración parcial			Manual <input checked="" type="checkbox"/>	Semiatomático <input type="checkbox"/>	Automático <input type="checkbox"/>		
Tipo de bisel: A traslape directo (varilla-varilla)			SMAW <input checked="" type="checkbox"/>	GMAW <input type="checkbox"/>	FCAW <input type="checkbox"/>		
Preparar la junta: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>			No. de pases: uno <input type="checkbox"/> varios <input checked="" type="checkbox"/>				
Material de respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			Limpieza: Pase de raíz: Grata				
Backgouging:			Otros pases: Grata				
Apertura de raíz (R)			TRATAMIENTO TÉRMICO				
Cara de raíz, talón (f)			Precalentamiento: N / A				
Ángulo de ranura (a)			Entre pases: N / A				
			Poscalentamiento: N / A				
METAL BASE - ELEMENTO DE UNIÓN			LONGITUD DE TRASLAPE (L1)				
Especificación: ASTM A615			Junta indirecta a tope: placa: <input type="checkbox"/> ángulo: <input type="checkbox"/>				
Diámetro: 8mm			varilla: <input type="checkbox"/>				
Material del elemento de unión:			Junta a traslape directo: 40mm				
Dimensiones del elemento de unión:			Junta a traslape indirecto:				
METAL DE APORTE			NOTA:				
Especificación AWS	Clasificación AWS	Diámetro	Máquina de corriente constante				
AWS A 5.5	E9018	3.2mm					
MEDIO DE PROTECCIÓN							
FUNDENTE: Tipo:		Clase:					
GAS: Composición:		Flujo (L/min):					
POSICIÓN							
Ranura: 1G		Filete:		en "T":			
Progreso vertical: Ascendente <input type="checkbox"/>		Descendente <input type="checkbox"/>					
					Variable	Dimensión	
					∅	8mm	
					S	4mm	
					E	2.4mm	
					L1	40mm	
No. de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo	Velocidad de avance	Velocidad de alimentación del electrodo
	Clase	Diámetro mm	Tipo y polaridad	Amperaje (Amp)	(voltios)	(mm/min)	(mm/min)
1-n	E9018	3.2	DC+	110 a 140	20-25	---	---

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

3.7 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Se prepara cuatro probetas por cada WPS citado en el apartado anterior de las cuales dos serán ensayadas a tracción y dos para la macrografía en la tabla 3.12 se muestra un ejemplo de la probeta preparada según cada WPS.

TABLA 3. 12 PROBETAS SEGÚN WPS

Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)	Ejemplo de probeta (cantidad: 4 probetas por cada WPS)
WPS-D14-101	
WPS-D14-102	
WPS-D14-103	
WPS-D14-104	
WPS-D14-105	
WPS-D14-106	

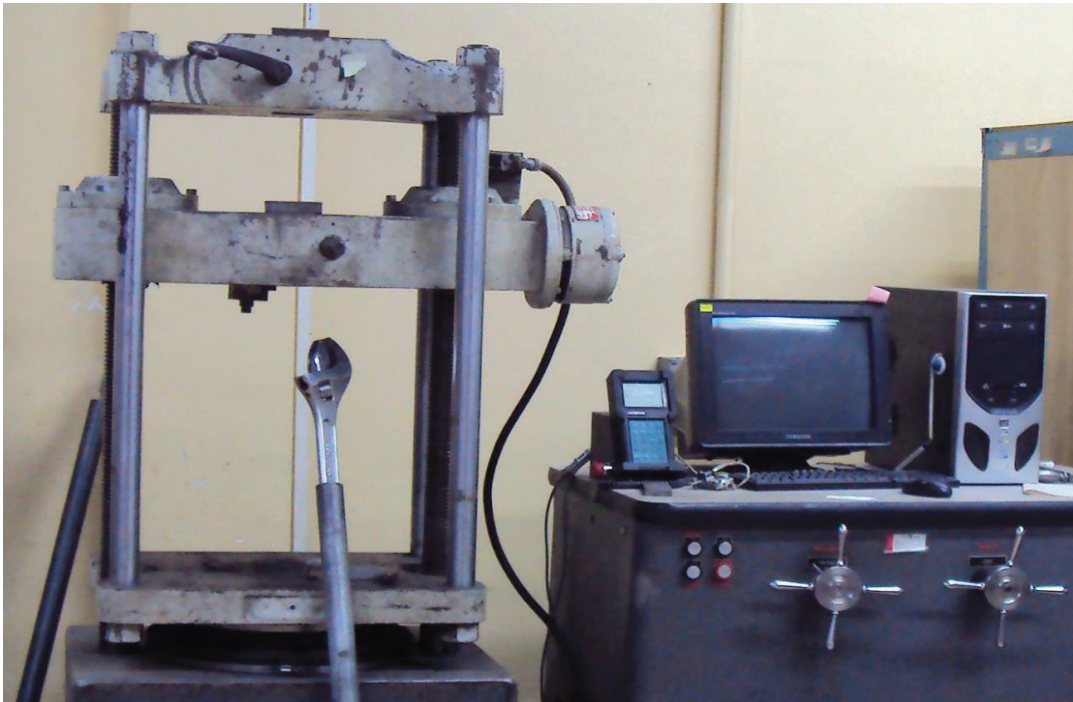
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

3.8 ENSAYO DE TRACCIÓN

3.8.1 ENSAYO DE TRACCIÓN DE PROBETAS SOLDADAS

Para el ensayo de tracción se utiliza la maquina universal de ensayos que se indica en la figura 3.3.

En la tabla 3.13 se encuentra identificadas las probetas según los WPS del literal 3.7.

FIGURA 3. 3 MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 13 IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

No.	Código	WPS	Electrodo
1	MB_25_01		
2	MB_25_02		
3	MB_18_01		
4	MB_18_02		
5	MB_08_01		
6	MB_08_02		
7	25_7018_01	WPS-D14-101	E7018
8	25_7018_02	WPS-D14-101	E7018
9	25_9018_01	WPS-D14-102	E9018
10	25_9018_02	WPS-D14-102	E9018
11	18_7018_01	WPS-D14-103	E7018
12	18_7018_02	WPS-D14-103	E7018
13	18_9018_01	WPS-D14-104	E9018
14	18_9018_02	WPS-D14-104	E9018
15	08_7018_01	WPS-D14-105	E7018
16	08_7018_02	WPS-D14-105	E7018
17	08_9018_01	WPS-D14-106	E9018
18	08_9018_02	WPS-D14-106	E9018

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 4 IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la tabla 3.14 se indican los resultados del ensayo a tracción y en las figuras 3.5 a 3.7 se encuentran las gráficas esfuerzo deformación para cada caso.

El deformimetro de la máquina universal de ensayos esta averiado por lo que LOS DATOS DE ELONGACIÓN DE LAS FIGURAS 3.5 A 3.7 NO SON CONFIABLES. La elongación (%) indicada en la tabla 3.14 se calcula midiendo con el calibrador la longitud inicial y final así se tiene:

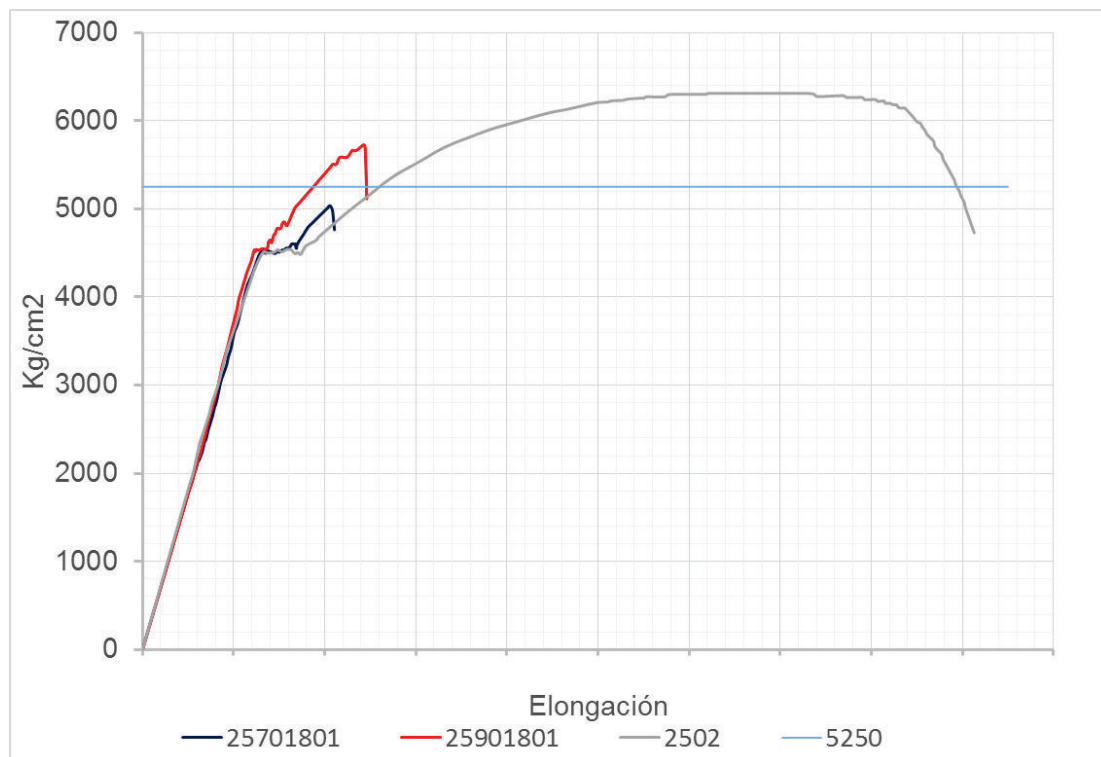
$$\text{Elongación (\%)} = \frac{\text{Longitud final} - \text{Longitud inicial}}{\text{Longitud inicial}} \times 100\% \quad (3.2)$$





TABLA 3. 14 ENSAYO DE TRACCIÓN

No	CÓDIGO	DIÁMETRO ESPECIFICADO (mm)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (Kg/cm2)	Elongación (%)
1	MB_25_01	25	6300	20.60
2	MB_25_02	25	6360	19.60
3	MB_18_01	18	6121	
4	MB_18_02	18	6086	
5	MB_08_01	8	6670	17.67
6	MB_08_02	8	6706	16.87
7	25_7018_01	25	5060	3.45
8	25_7018_02	25	4990	3.58
9	25_9018_01	25	5760	6.23
10	25_9018_02	25	5340	3.70
11	18_7018_01	18	6090	9.73
12	18_7018_02	18	6030	7.38
13	18_9018_01	18	5610	5.31
14	18_9018_02	18	5770	6.09
15	08_7018_0	8	6640	18.31
16	08_7018_02	8	6625	16.61
17	08_9018_01	8	6593	
18	08_9018_02	8	6658	

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 5 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA LA VARILLA Ø=25MM



LAYER	No	CÓDIGO	WPS
 25701801	7	25_7018_01	WPS-D14-101
 25901801	9	25_9018_01	WPS-D14-102
 2502	2	MB_25_02	
 5250	Esfuerzo= 4200*1.25=5250Kg/cm2		

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

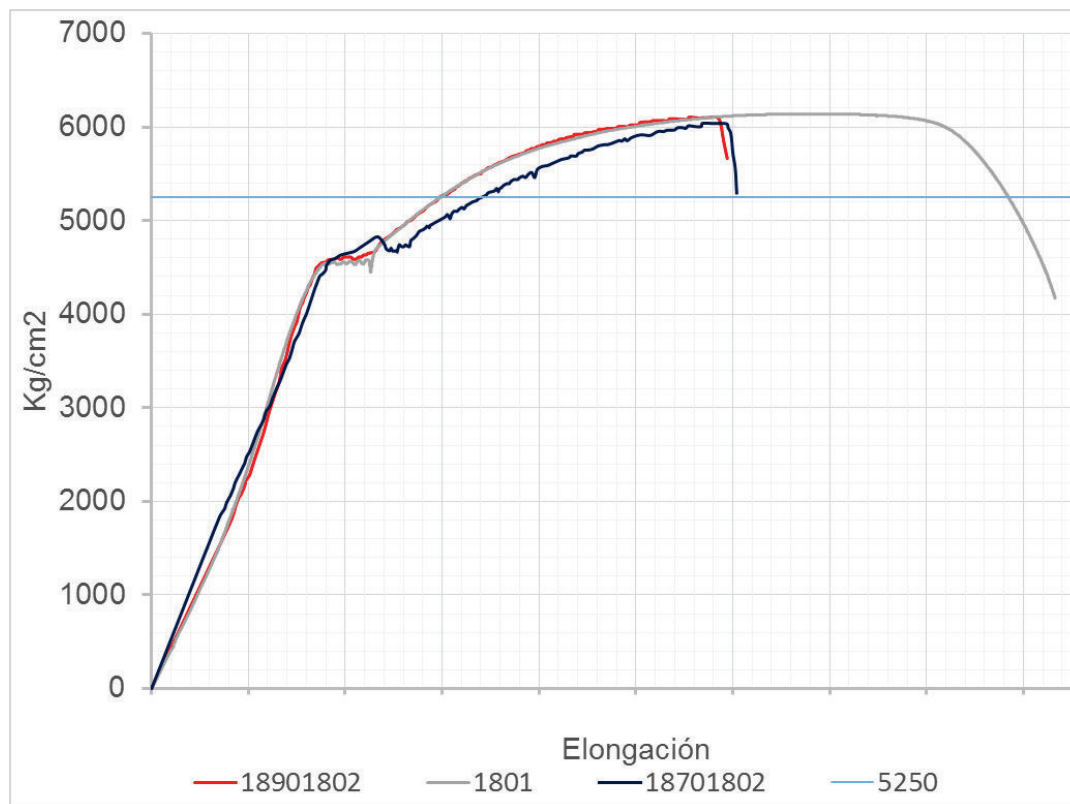
En la figura 3.5 se puede observar:

La probeta 7. No cumple con lo especificado en la norma AWS D1.4 pues no ha superado el esfuerzo de 5250Kg/cm2 que corresponde al 1.25 de fy especificado

La probeta 9. Cumple con lo especificado en la norma AWS D1.4 pues ha superado el esfuerzo de 5250Kg/cm2 que corresponde al 1.25 de fy especificado

Al comparar las probetas 7 y 9 con la probeta 2, que corresponde al material base, se observa una considerable disminución de la ductilidad.

FIGURA 3. 6 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA LA VARILLA Ø=18MM



LAYER	No	CÓDIGO	WPS
18701802	12	18_7018_02	WPS-D14-103
18901802	14	18_9018_02	WPS-D14-104
1801	3	MB_18_01	
5250	Esfuerzo= 4200*1.25=5250Kg/cm2		

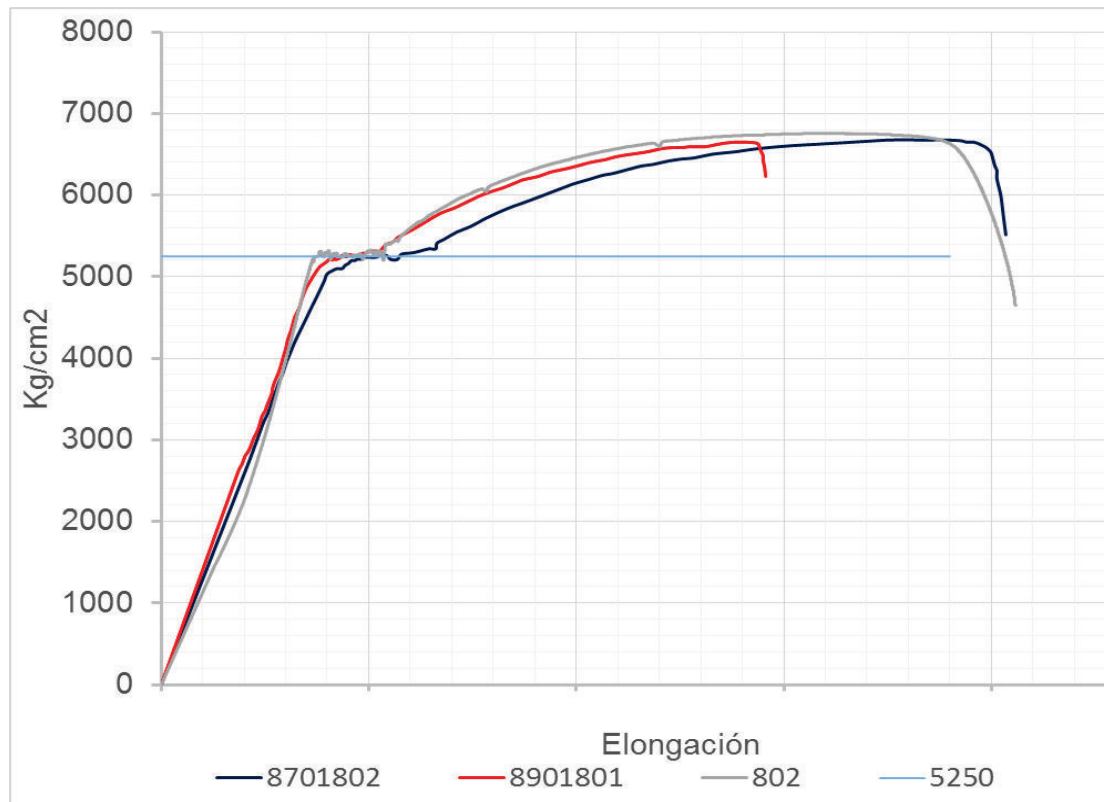
ELABORADO POR: Carlos Quishpe





En la figura 3.6 se puede observar:

La probeta 12 y 14 cumplen con lo especificado en la norma AWS D1.4 pues ha superado el esfuerzo de 5250Kg/cm2 que corresponde al 1.25 de f_y especificado.

Al comparar las probetas 12 y 14 con la probeta 2, que corresponde al material base, se observa una considerable disminución de la ductilidad pero no tanto como en el caso de las probetas 7 y 9 de la figura 3.5.

FIGURA 3. 7 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA LA VARILLA Ø=8MM



LAYER	No	CÓDIGO	WPS
 8701802	16	08_7018_02	WPS-D14-105
 8901801	17	08_9018_01	WPS-D14-106
 802	6	MB_08_02	
 5250	Esfuerzo= 4200*1.25=5250Kg/cm2		

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la figura 3.6 se puede observar:

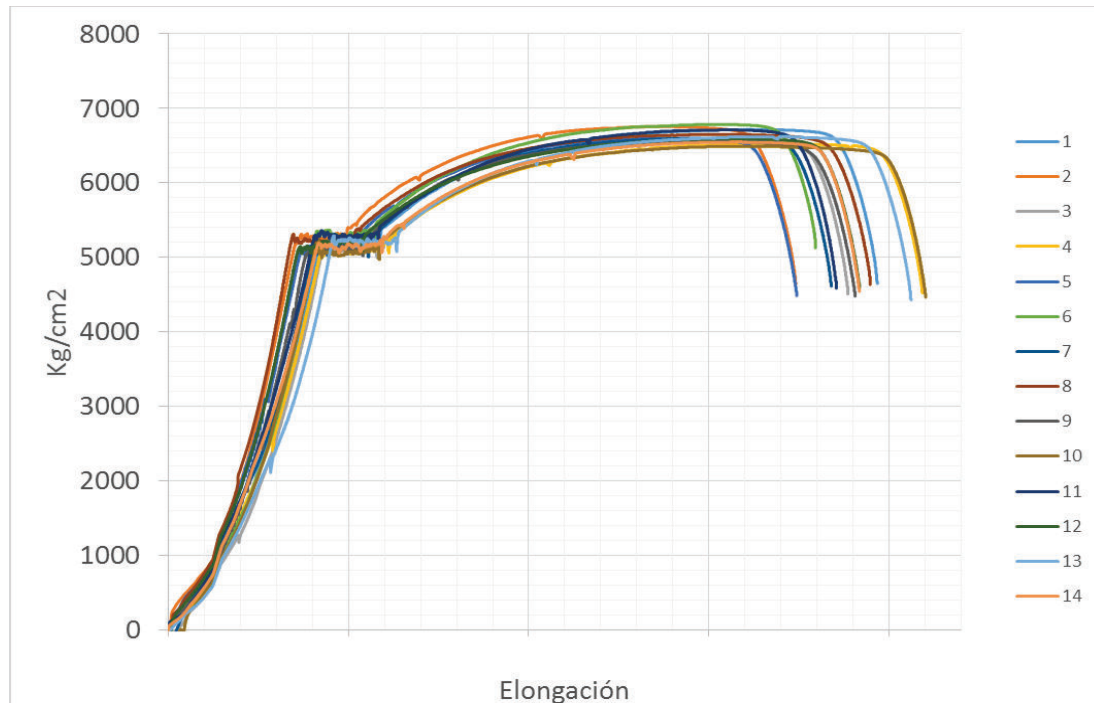
La probeta 16 y 17 cumplen con lo especificado en la norma AWS D1.4 pues ha superado el esfuerzo de 5250Kg/cm2 que corresponde al 1.25 de f_y especificado.

La probeta 16 presenta una curva similar a la del material base, tomando en cuenta que es el único procedimiento en el que fallo el material base en lugar de la soldadura o zona afectada por el calor,

3.8.2 ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

En la construcción de los dos muros se utiliza varilla de acero de refuerzo $\varnothing=8\text{mm}$, por lo se procede a ensayar todas las varillas adquiridas. En la figura 3.8 están las curvas esfuerzo deformación de cada varilla.

FIGURA 3. 8 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE LAS VARILLAS $\varnothing=8\text{MM}$



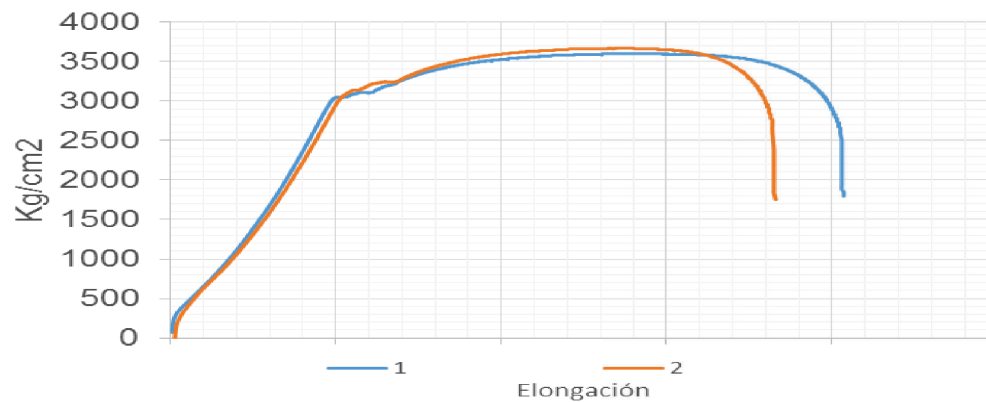
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En base a los ensayos de tracción se toma un valor promedio para f_y de 5121 Kg/cm^2 .

3.8.3 ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO A-36

En la construcción de los cabezales de cada muro se emplea perfiles de acero A-36 de 2mm de espesor, por lo se procede a ensayar estos perfiles. En la figura 3.9 están las curvas esfuerzo deformación de cada perfil.

En base a los ensayos de tracción se toma un valor promedio para f_y de 3115 Kg/cm^2 .

TABLA 3. 15 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA EL PERFIL A-36

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

3.9 TIPO DE FALLAS

En las probetas del material base se producen fallas dúctiles, mientras que en las probetas soldadas se dan fallas dúctiles y frágiles. En las figuras de la 3.9 a 3.15 se indican el tipo de falla para cada probeta.

FIGURA 3. 9 FALLA DEL MATERIAL BASE

No	1, 2	Código	25_01, 25_02	WPS	N/A	Ø	25
<p>Las probetas 1 y 2 presentan una falla dúctil típica del material base</p>							

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 10 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO 7 Y 8

No	7,8	Código	25_7018_01, 25_7018_02	WPS	WPS-D14-101	Ø	25
----	-----	--------	------------------------	-----	-------------	---	----



En las probetas 7 y 8 se observa una falla frágil por falta de penetración

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 11 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO. 9 Y 10

No	9, 10	Código	25_9018_01 / 02	WPS	WPS-D14-102	Ø	25
----	-------	--------	-----------------	-----	-------------	---	----



En las probetas 9 y 10 se observa una falla frágil en el cordón de soldadura

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 12 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO. 11 Y 12

No	11, 12	Código	18_7018_01 / 02	WPS	WPS-D14-103	Ø	18
 <p>En las probetas 11 y 12 En el cordón hay falla frágil algo dúctil</p>							

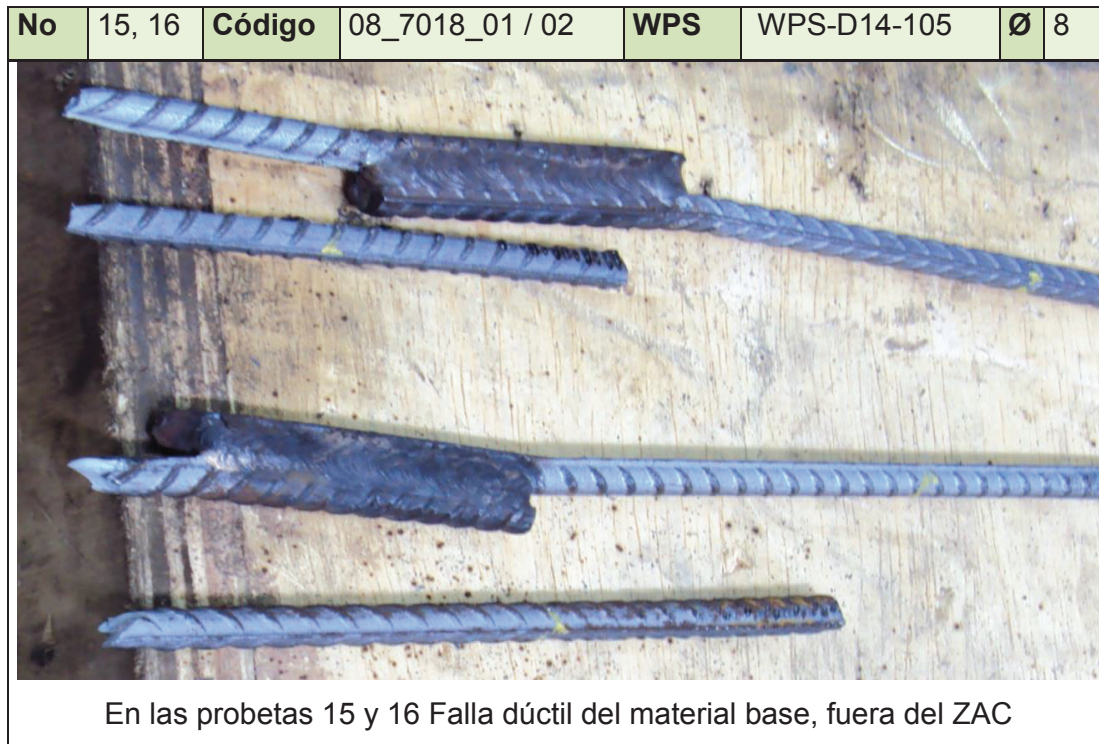
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 13 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO. 13 Y 14

No	13, 14	Código	18_9018_01 / 02	WPS	WPS-D14-104	Ø	18
 <p>En las probetas 13 y 14 En el cordón hay falla frágil con algo ductilidad</p>							

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 14 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO. 15 Y 16



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 15 FALLA DE LA PROBETA SOLDADA NO. 17 Y 18



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En todas las probetas analizadas solo las probetas 15 y 16 fallaron en el material base. A estas probetas les corresponde el WPS-D14-105 que se empleará para soldar las varillas del refuerzo transversal en los muros.

3.10 METALOGRAFÍA

En el análisis metalográfico se realiza la micrografía y macrografía a las probetas que se indican en la tabla 3.16






TABLA 3.16 IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS (METALOGRAFÍA)

No.	Cód.	WPS	FOTOGRAFÍA
0	25_7018_03	WPS-D14-101	
1	08_7018_03	WPS-D14-	
2	08_7018_04	WPS-D14-	
3	25_7018_04	WPS-D14-101	

TABLA 3.16 CONTINUACIÓN

4	18_7018_04	WPS-D14-103	
5	18_7018_03	WPS-D14-103	
6	08_9018_03	WPS-D14-106	
7	08_9018_04	WPS-D14-106	
8	18_9018_03	WPS-D14-104	

TABLA 3.16 CONTINUACIÓN

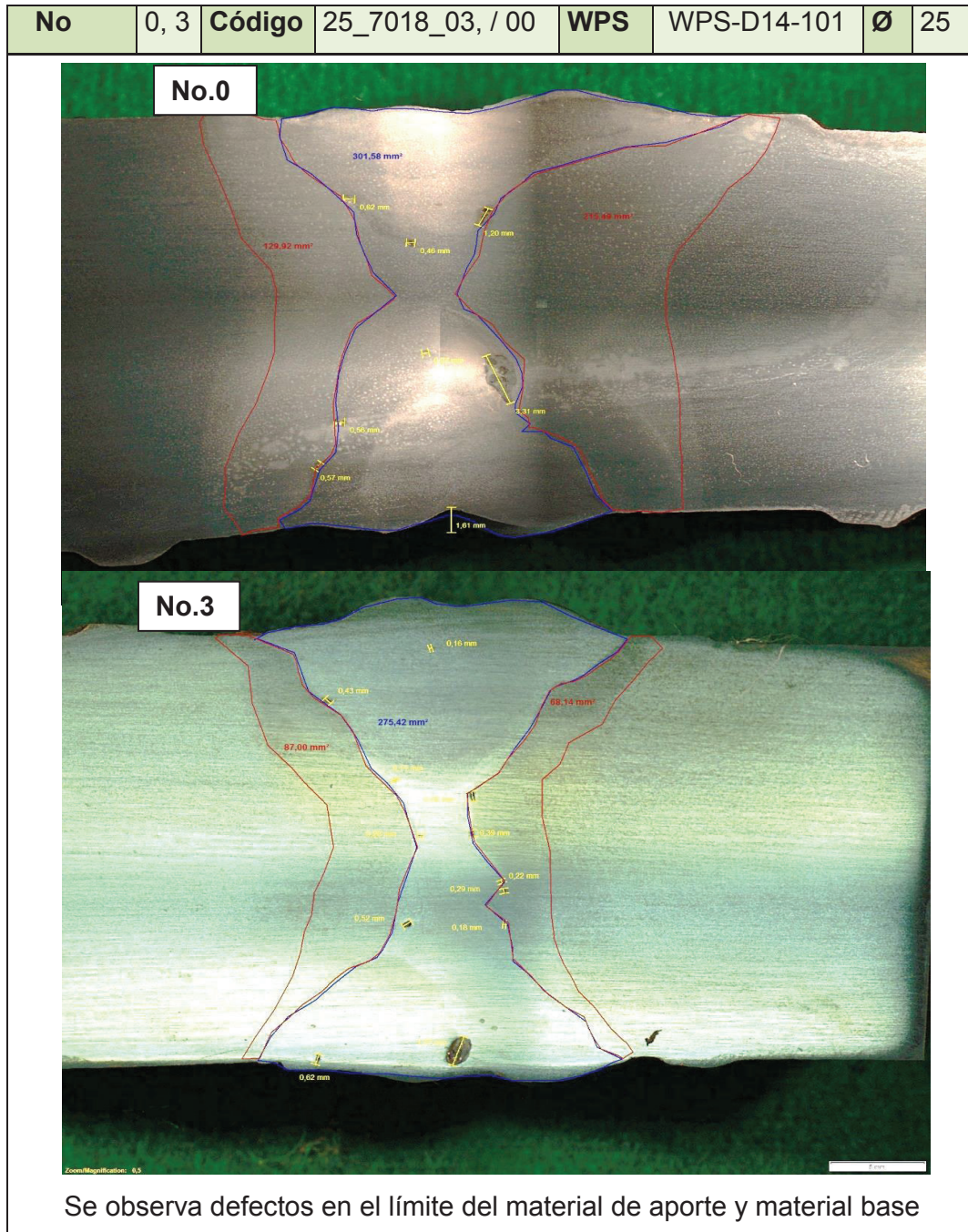
9	18_9018_04	WPS-D14-104	
11	18_7018_T	WPS-D14-103-T	
12	18_9018_T	WPS-D14-104-T	
13	18_9018_T	WPS-D14-102-T	
14	18_7018_T	WPS-D14-101-T	

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

3.10.1 MACROGRAFÍA

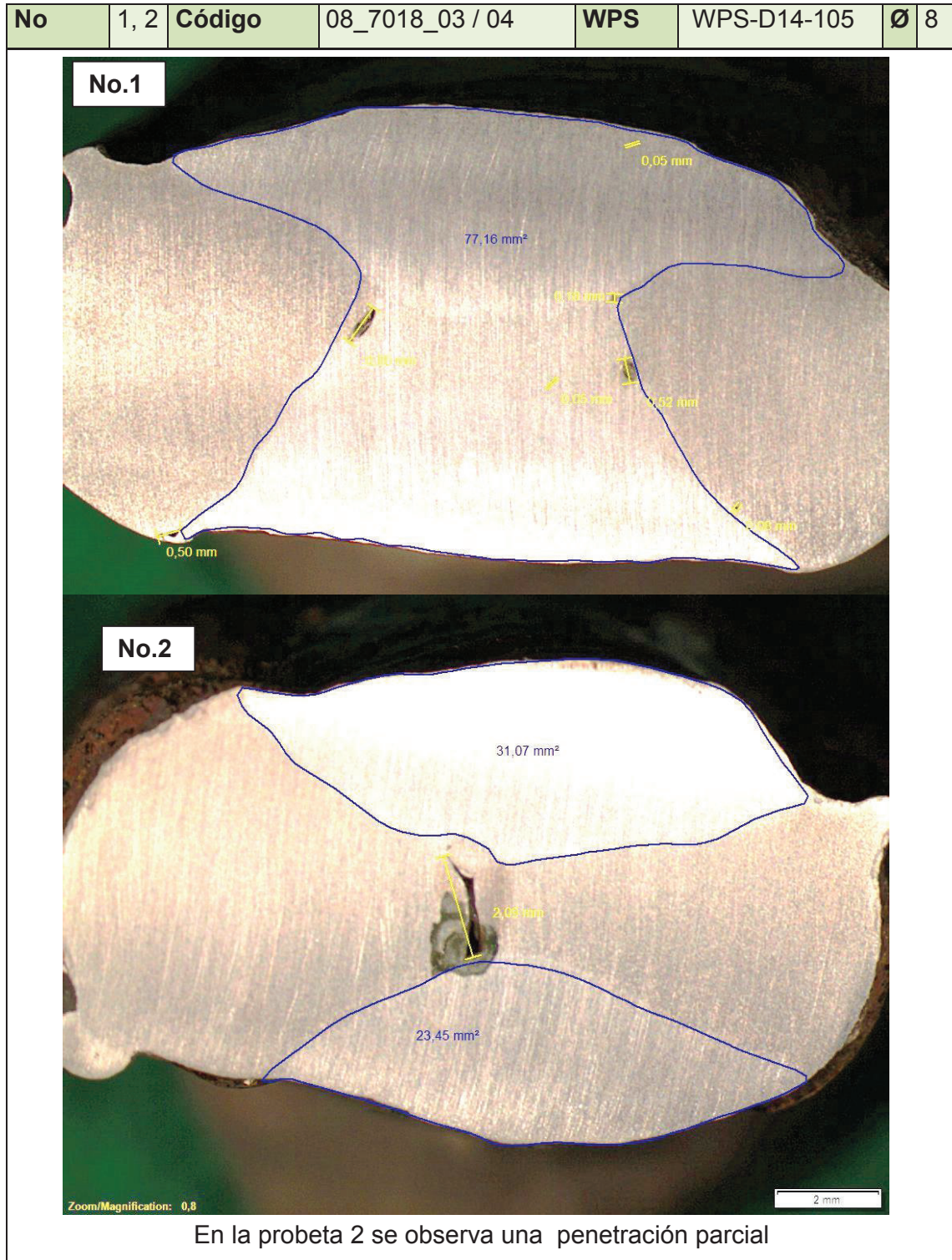
En las figuras de 3.16 a 3.23 se indican los resultados de las macrografías realizadas a las probetas soldadas

FIGURA 3. 16 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 0 Y 3



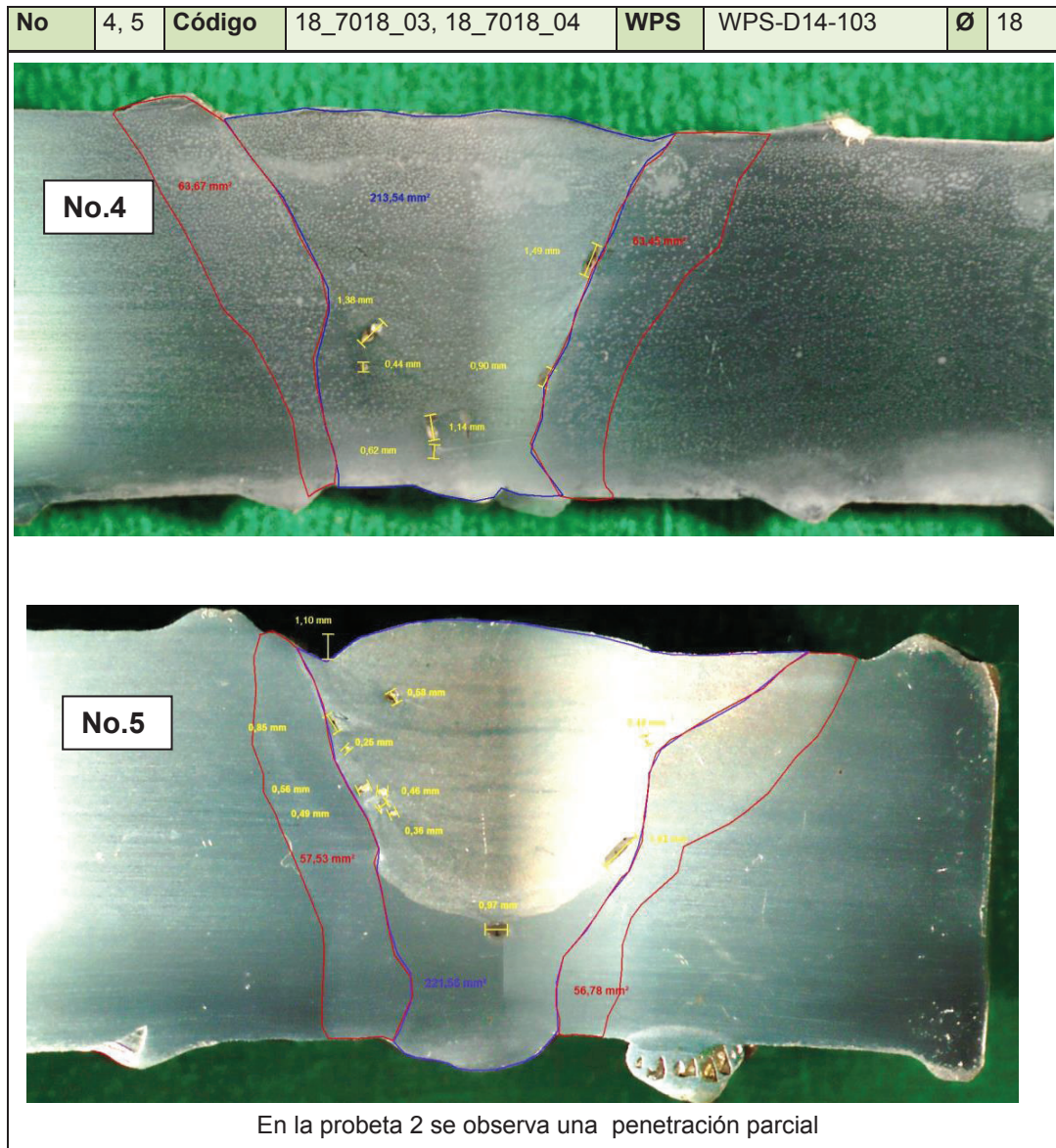
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 17 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 1 Y 2



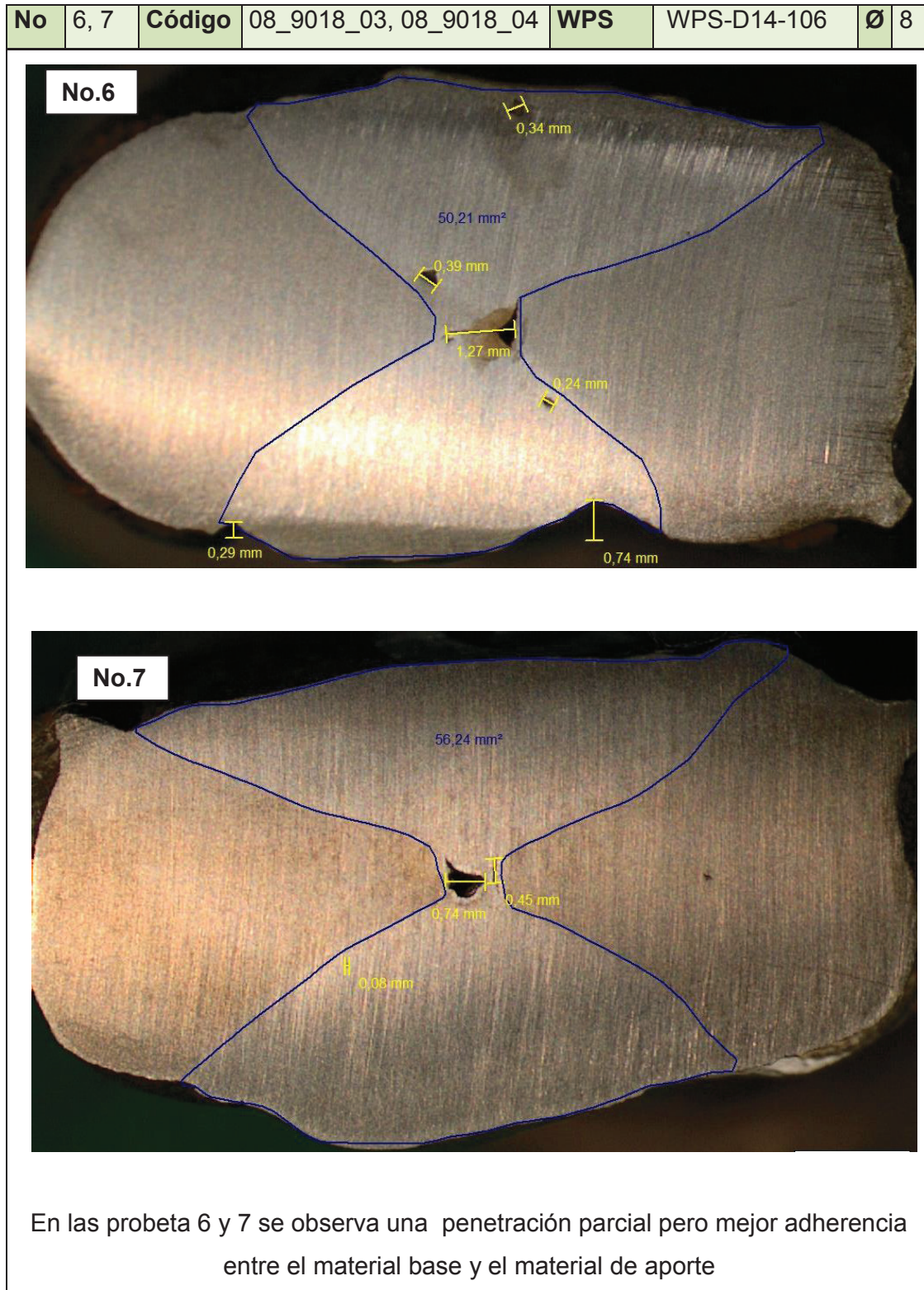
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 18 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 4 Y 5



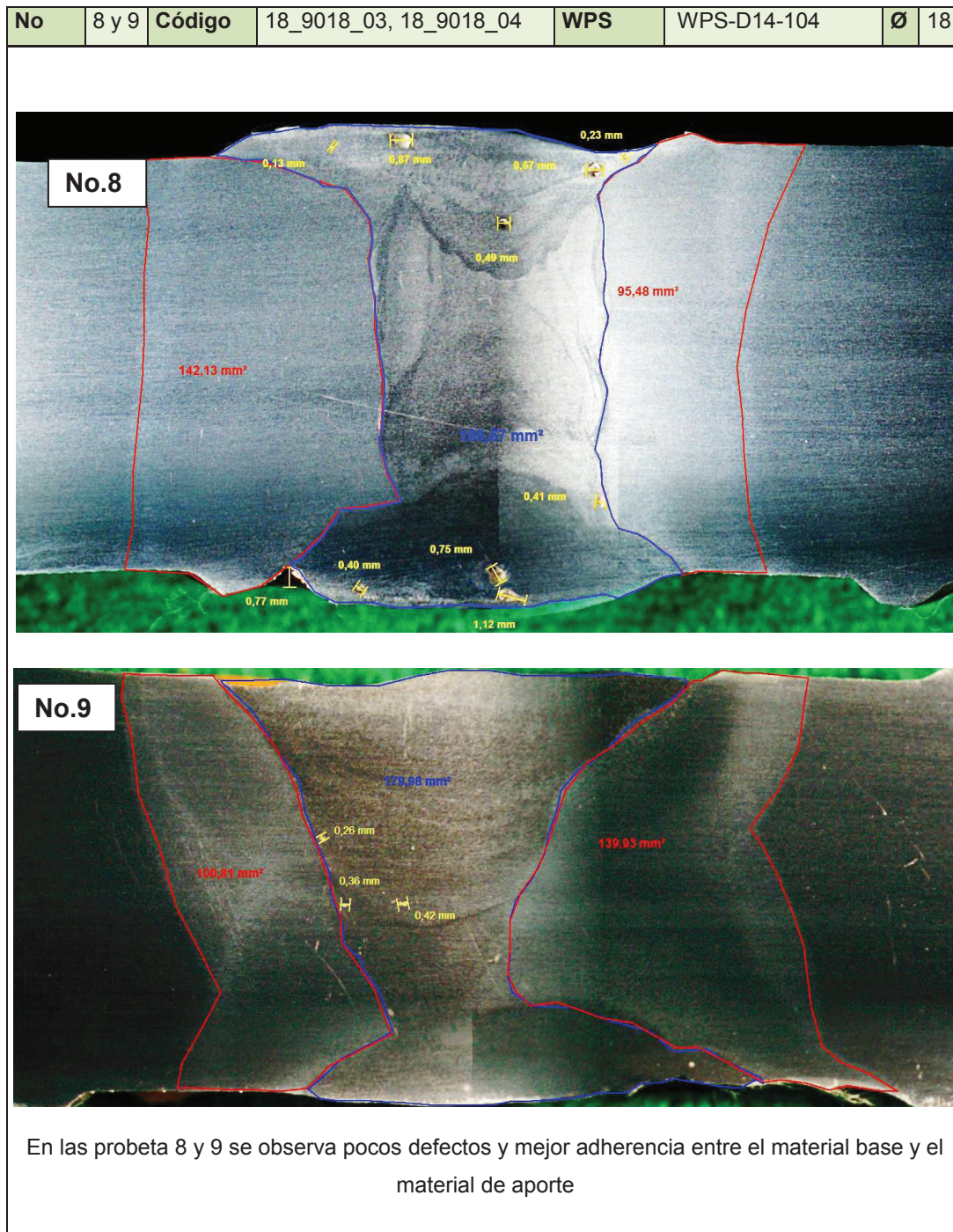
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 19 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 6 Y 7



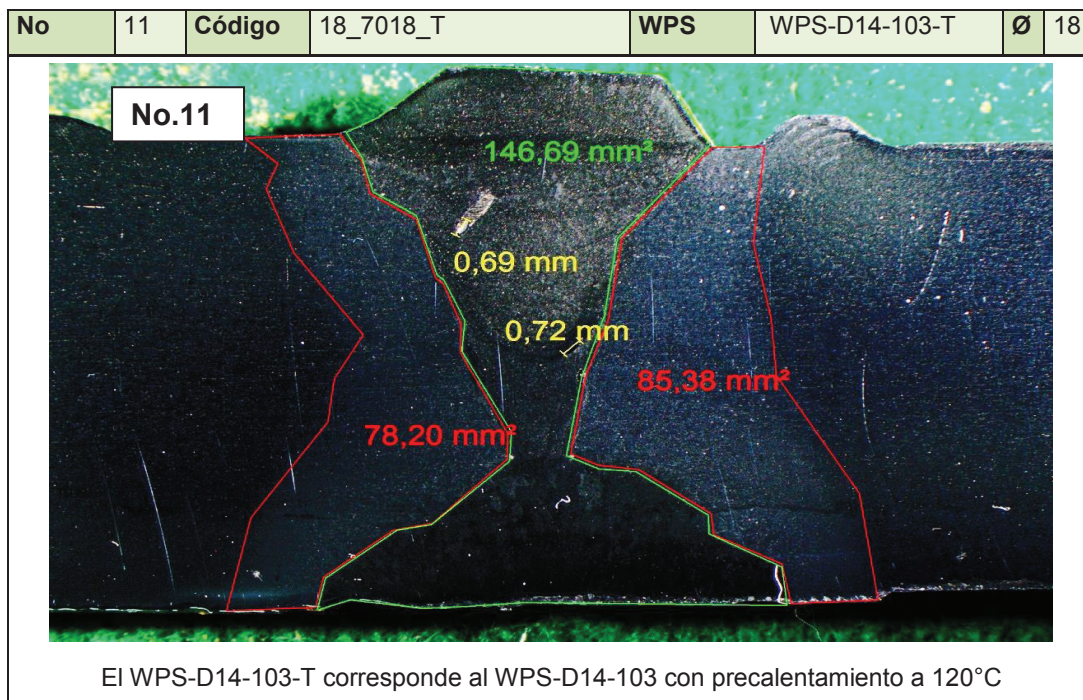
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 20 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 8 Y 9



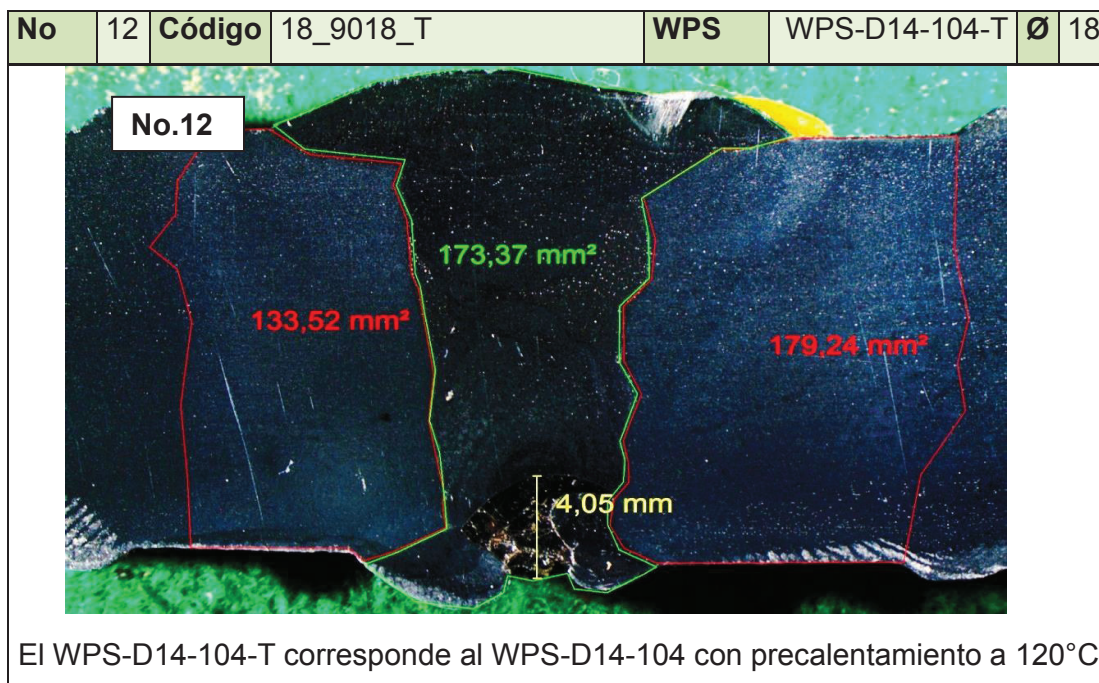
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 21 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 11



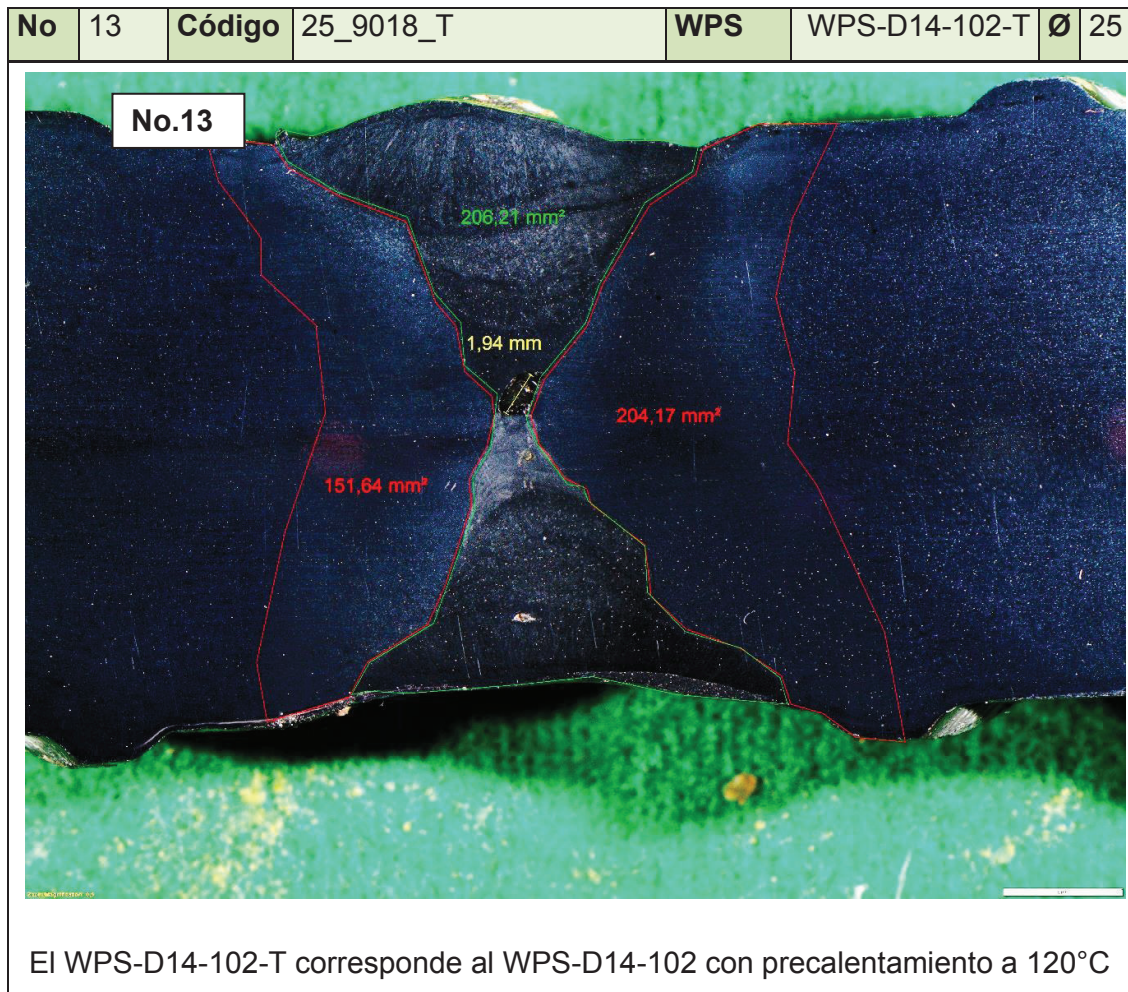
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 22 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 12



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 3. 23 MACROGRAFÍA DE LA PROBETA 13



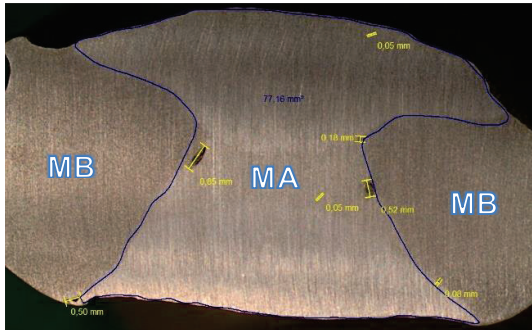



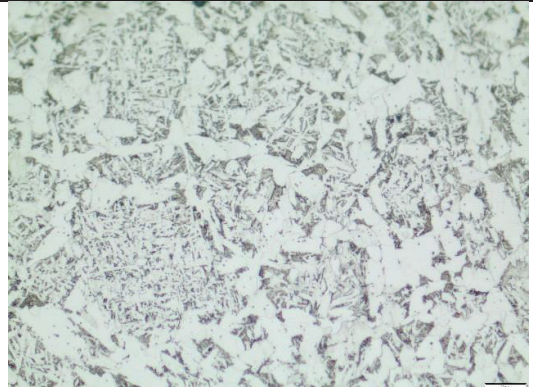
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Las probetas 11, 12 y 13 se han precalentado a 120°C lo que ha ayudado a la calidad de soldadura al comparar la 11 con 4 o 5 y la 12 con 8 y 9.

3.10.2 MICROGRAFÍA

La micrografía se la realiza con un aumento de 100x y de 500x y los resultados se los expresa en las figuras de 3.24 a 3.30

TABLA 3. 17 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 1

	<p>No. 1 Código: 08_7018_03 WPS: WPS-D14-105 SIMBOLOGÍA: MA= Material de aporte (Electrodo) MB= Material base (Acero A615)</p>
	
<p>1 100x MB</p>	<p>1 500X MB</p>
	
<p>1 100X MB+MA</p>	<p>1 500X MA</p>

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 18 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 3

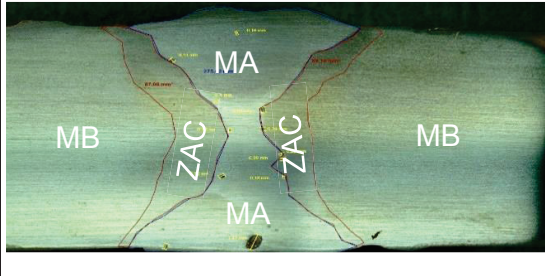
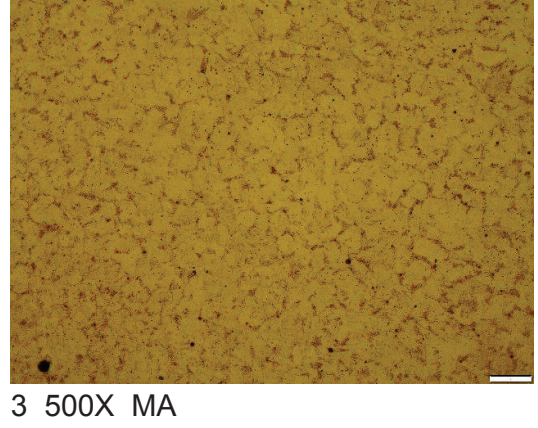
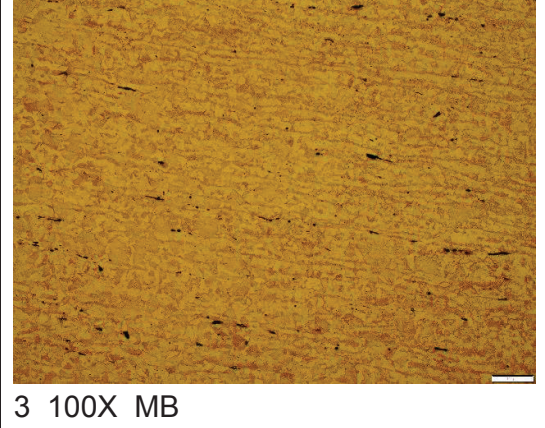
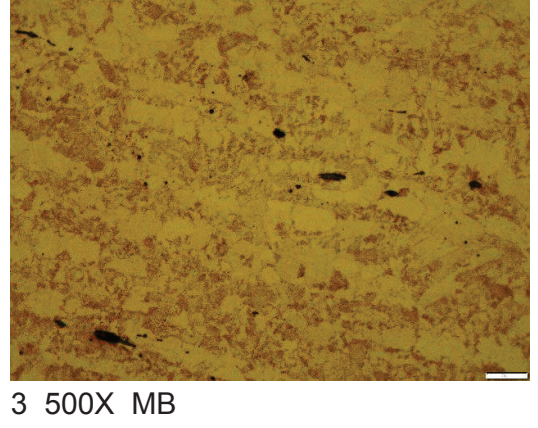
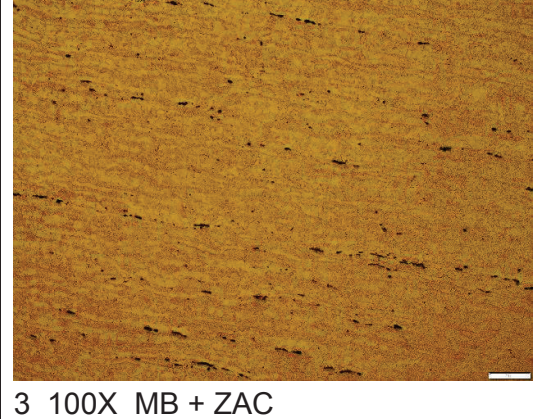
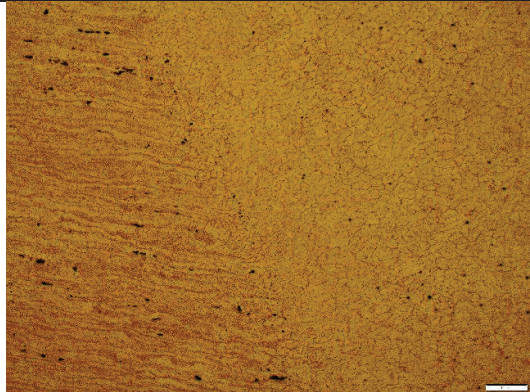
	<p>No. 3 Código: 25_7018_03 WPS: WPS-D14-101 SIMBOLOGÍA: MA= Material de aporte (Electrodo) MB= Material base (Acero A615) ZAC= Zona afectada por el calor</p>
	 <p>3 500X MA</p>
 <p>3 100X MB</p>	 <p>3 500X MB</p>
 <p>3 100X MB + ZAC</p>	

TABLA 3.18 CONTINUACIÓN

	
3 100X MA + ZAC	

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 19 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 4

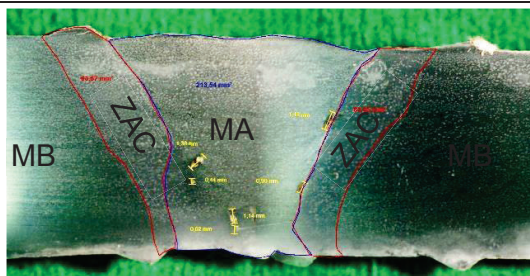

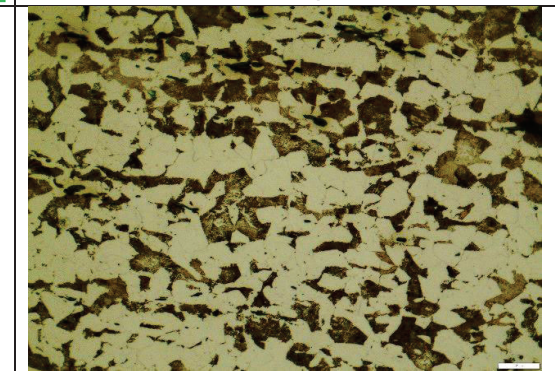

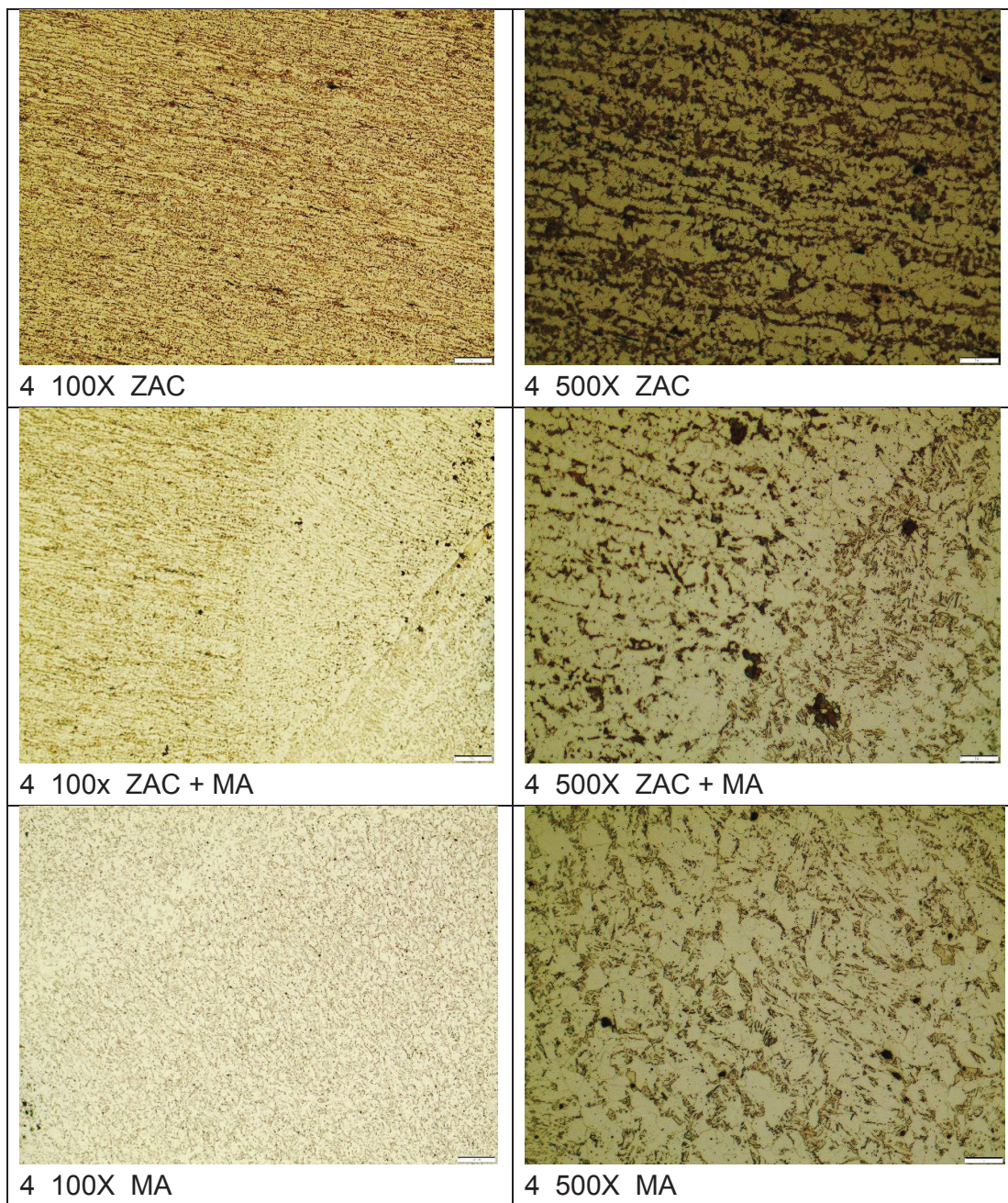
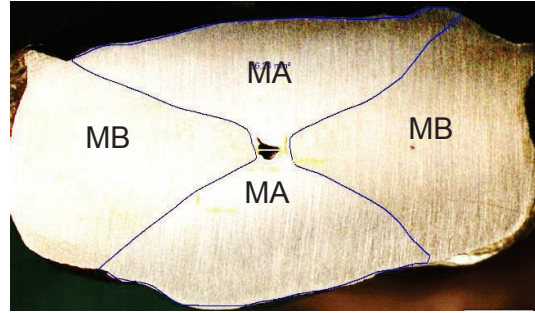
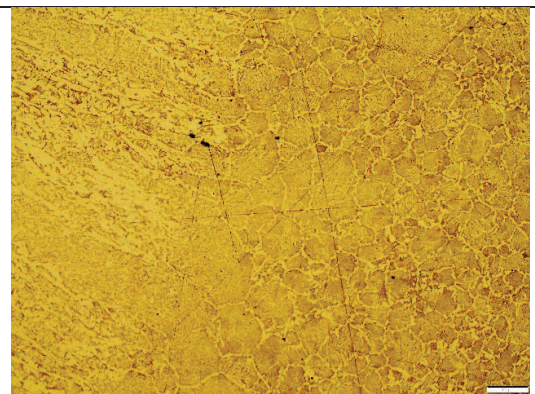
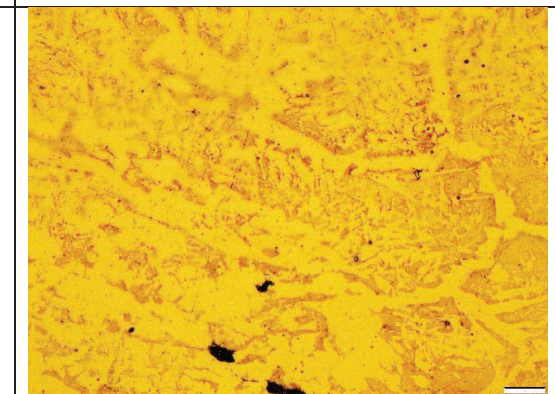
	<p>No. 4 Código: 18_7018_03 WPS: WPS-D14-103 SIMBOLOGÍA: MA= Material de aporte (Electrodo) MB= Material base (Acero A615) ZAC= Zona afectada por el calor</p>
	
4 100X MB	4 500X MB
	
4 100X MB+ZAC	

TABLA 3.19 CONTINUACIÓN



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 20 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 7

	<p>No. 7 Código: 08_9018_04 WPS: WPS-D14-106 SIMBOLOGÍA: MA= Material de aporte (Electrodo) MB= Material base (Acero A615)</p>
 <p>7 100X MA + ZAC</p>	 <p>7 500X ZAC + MA</p>

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 21 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 9

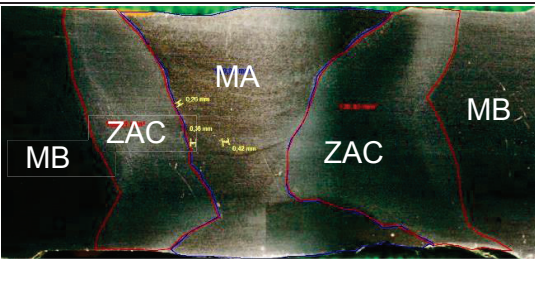

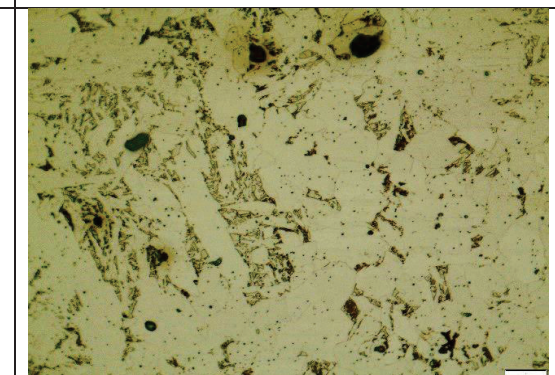


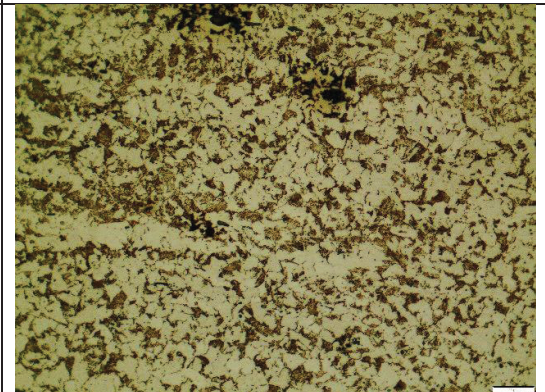

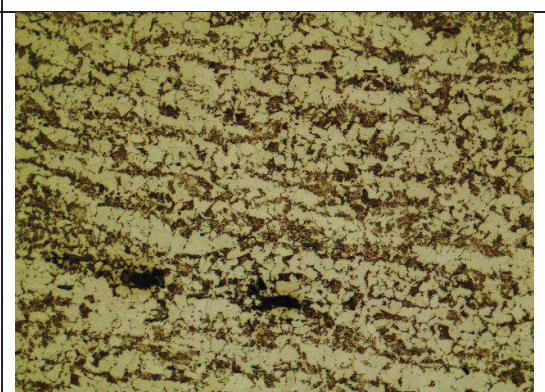
	<p>No. 9 Código: 18_9018_04 WPS: WPS-D14-104 SIMBOLOGÍA: MA= Material de aporte (Electrodo) MB= Material base (Acero A706) ZAC= Zona afectada por el calor</p>
 <p>9 100X MA</p>	 <p>9 500X MA</p>

TABLA 3.21 CONTINUACIÓN.

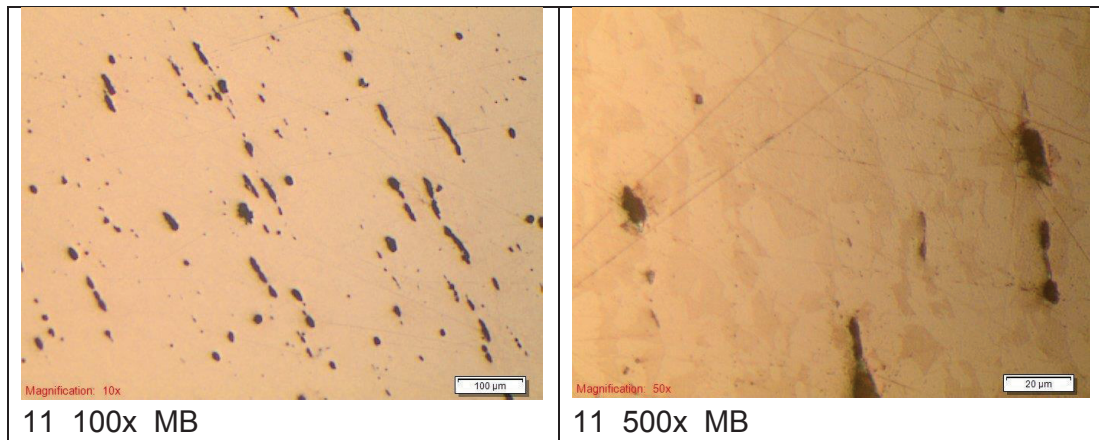
	
9 100X MA + ZAC	
	
9 100X MB + ZAC	9 500X MB + ZAC
	
9 100X MB	9 500X MB

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 22 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 11

	<p>No. 11 Código: 18_7018_T WPS: WPS-D14-103-T SIMBOLOGÍA: MA= Material de aporte (Electrodo) MB= Material base (Acero A615) ZAC= Zona afectada por el calor</p>
<p>11 100X MA</p>	<p>11 500X MA</p>
<p>11 100x MA + ZAC</p>	<p>11 500x MA + ZAC</p>
<p>11 100x MB +ZAC</p>	<p>11 500x MB +ZAC</p>

TABLA 3.22 CONTINUACIÓN



ELABORADO POR: Carlos Quishpe0997652639

TABLA 3. 23 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 12

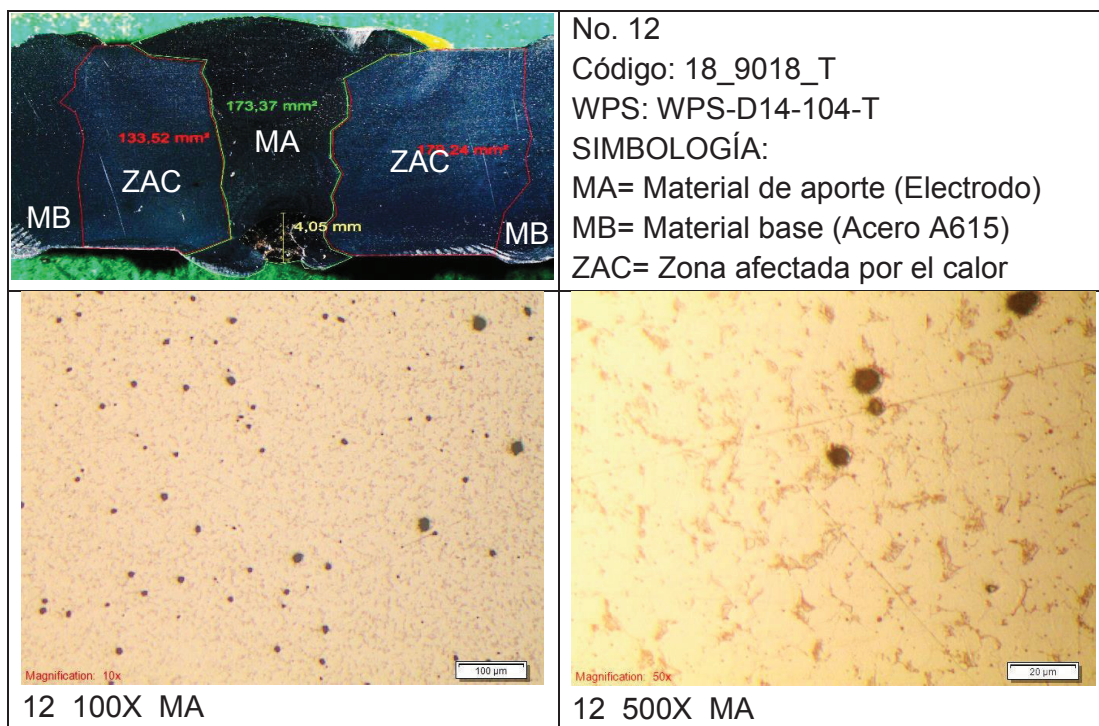
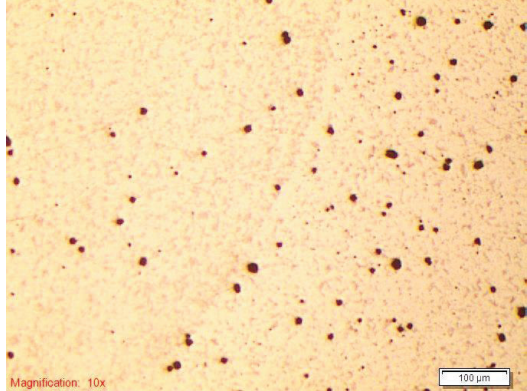
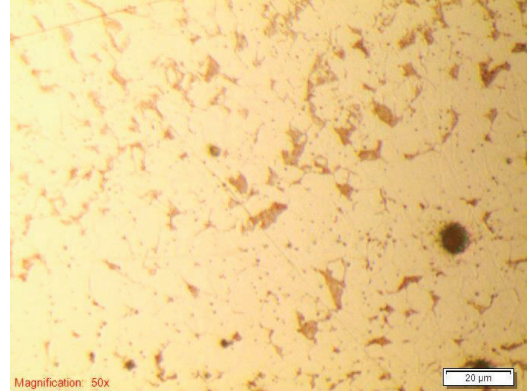
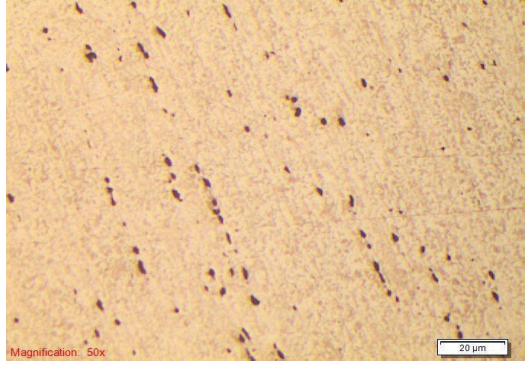
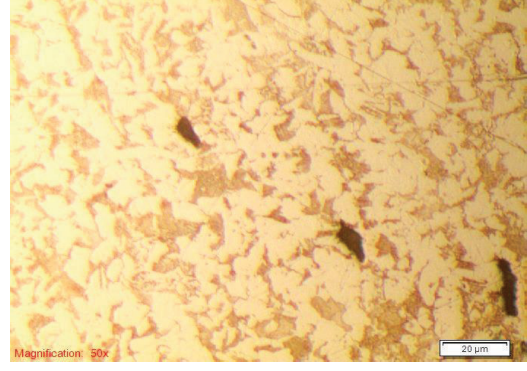
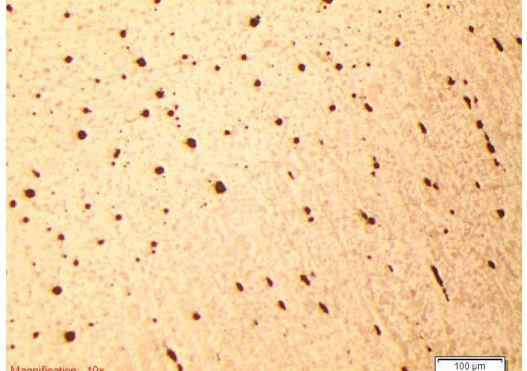
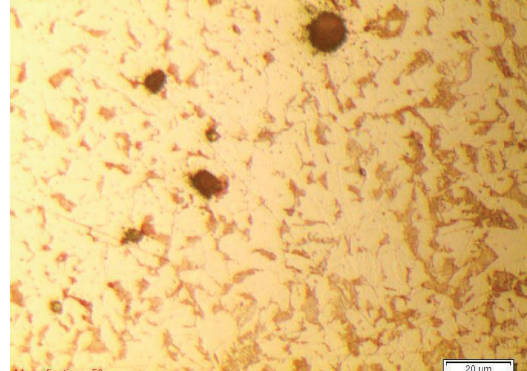


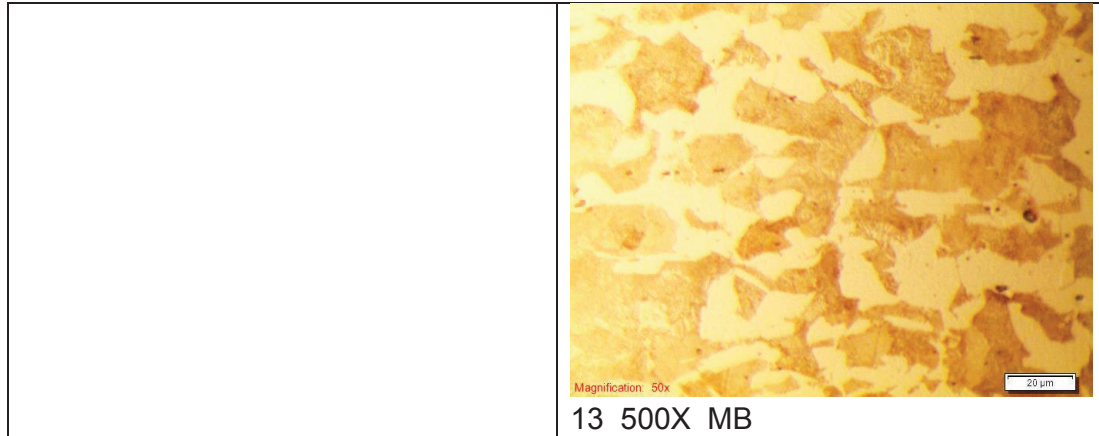
TABLA 3.23 CONTINUACIÓN

 <p>Magnification: 10x 100 μm</p> <p>12 100X MA + ZAC</p>	 <p>Magnification: 50x 20 μm</p> <p>12 500X MA + ZAC</p>
 <p>Magnification: 50x 20 μm</p> <p>12 100X MB</p>	 <p>Magnification: 50x 20 μm</p> <p>12 500X MB</p>
 <p>Magnification: 10x 100 μm</p> <p>12 100X MB + ZAC</p>	 <p>Magnification: 50x 20 μm</p> <p>12 500X MB + ZAC</p>

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

TABLA 3. 24 MICROGRAFÍA DE LA PROBETA 13

	<p>No. 13 Código: 25_9018_T WPS: WPS-D14-102-T SIMBOLOGÍA: MA= Material de aporte (Electrodo) MB= Material base (Acero A615) ZAC= Zona afectada por el calor</p>
<p>Magnification: 10x</p>	<p>Magnification: 50x</p>
<p>Magnification: 10x</p>	<p>Magnification: 50x</p>
<p>Magnification: 10x</p>	<p>Magnification: 50x</p>

TABLA 3.24 CONTINUACIÓN

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

3.11 COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Se ensaya tres cilindros del hormigón utilizados en la fundición de los muros los resultados se muestran en la tabla 3.18

TABLA 3. 25 COMPRESIÓN DE CILINDROS

	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3
Diámetro (cm)	15.10	15.10	15.20
Altura (cm)	30.00	29.80	30.00
Peso (g)	11054.00	11025.20	11490.20
Carga (Kg)	39035.00	39765.00	39211.00
Esfuerzo (Kg/cm ²)	220.89	224.99	221.89
Esfuerzo promedio (Kg/cm ²)	222.59		

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

CAPÍTULO 4

4. CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE LOS MUROS

Con los resultados de los ensayos realizados en el capítulo 3 se realiza la predicción y en base a los planos del capítulo 2 se construye los muros para ser ensayados.

4.1 PREDICCIÓN

Los datos de los ensayos se resumen a continuación:

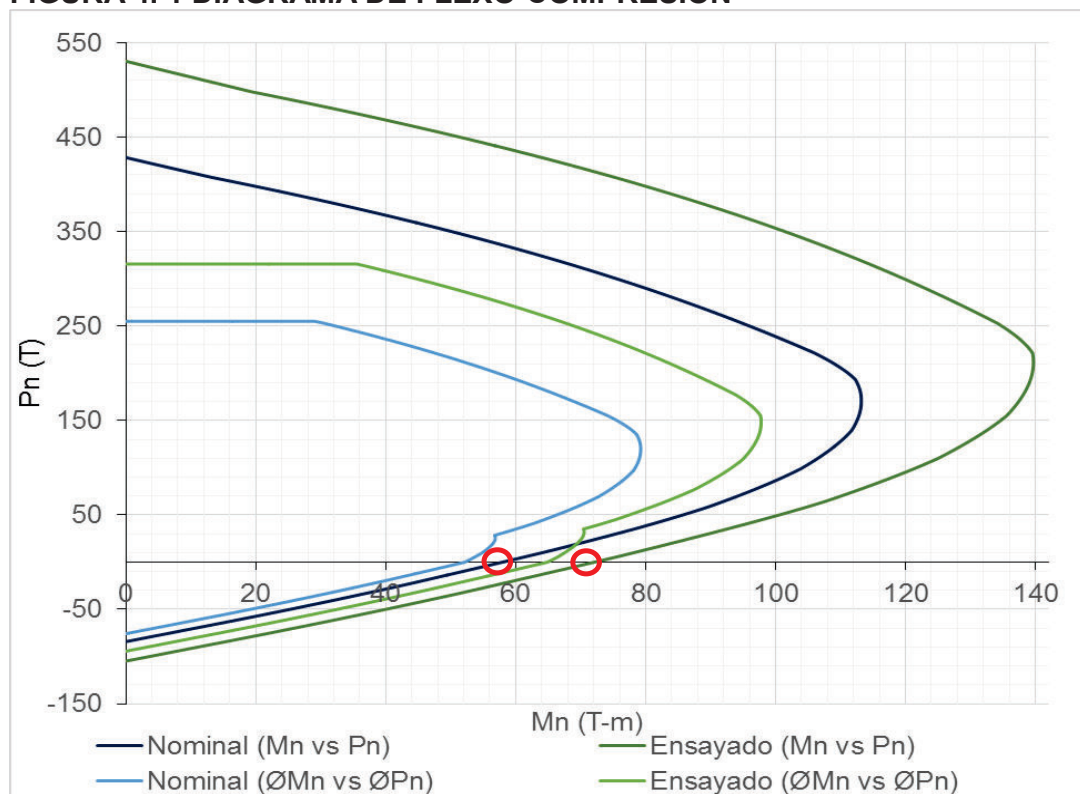
f_y de acero de refuerzo (A706) = 5185.4 Kg/cm²

f_y de acero estructural (A36) = 3156.8 Kg/cm²

f'_c del hormigón = 222.59 Kg/cm²

Con estos datos se vuelve a generar el diagrama de flexo-compresión (figura 4.1)

FIGURA 4. 1 DIAGRAMA DE FLEJO-COMPRESIÓN



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la tabla 4.1 se indica el momento que corresponde cuando la carga axial es nula y con este valor al dividirlo para la altura del muro (4.2m) se obtiene la carga lateral máxima posible en el rango lineal.

TABLA 4. 1 MOMENTO PARA LA CARGA AXIAL NULA

	Materiales nominal		Materiales ensayados	
	Mn (T-m)	Pn (T)	Mn (T-m)	Pn (T)
To	0.00	-84.11	0.00	-104.70
	57.94	0.00	72.09	0.00
Po	0.00	428.36	0	530.40

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

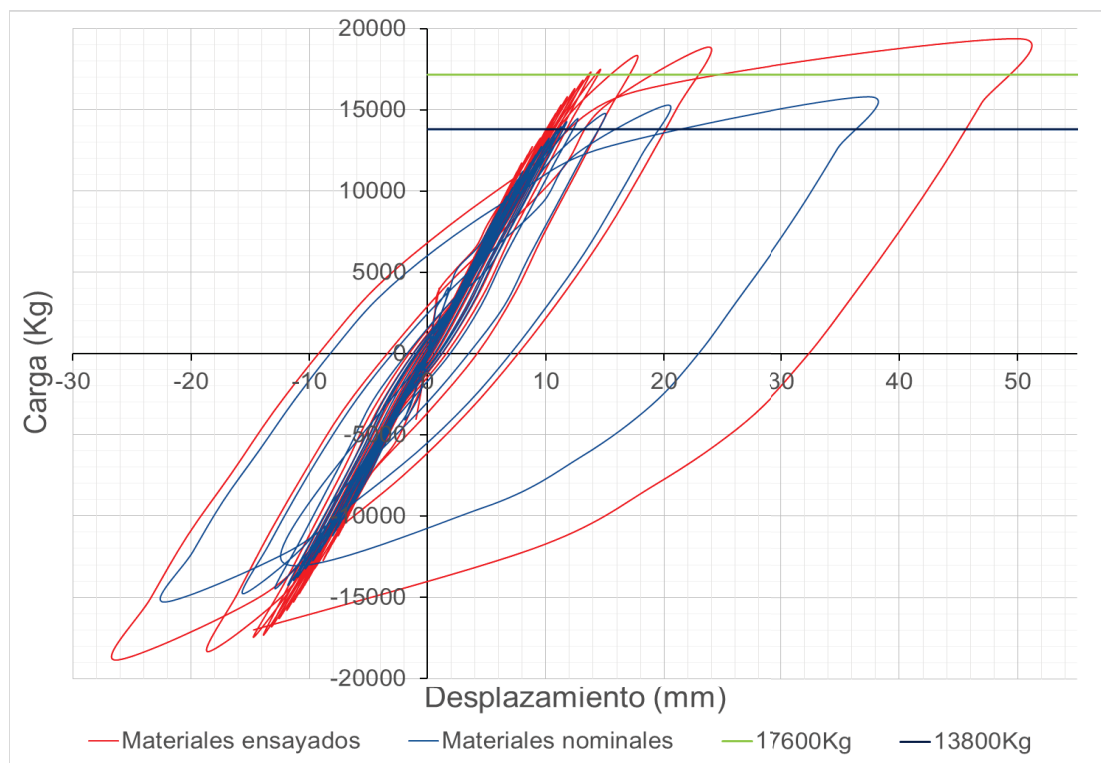
TABLA 4. 2 CARGA LATERAL ESPERADA

	Materiales nominal	Materiales ensayados
Mn (T-m)	57.94	72.09
F.lateral (T)	13.80	17.16

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Los valores ensayados se ingresan en el programa “SeismoStruct” de igual manera a lo indicado en el capítulo 2 y se obtiene la figura 4.2.

FIGURA 4. 2 CURVAS DE HISTÉRESIS CON MATERIALES ENSAYADOS



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.2 CONSTRUCCIÓN DE MUROS

Los muros son construidos en base a los planos, esquemas y especificaciones del capítulo 2. A continuación se muestra con figuras la secuencia de la construcción resaltando las diferencias constructivas existentes:

4.2.1 LUGAR DEL ENSAYO

El ensayo se lo realiza en el Centro de Investigación de la vivienda (CIV) en el sitio indicado en la figura 4.2, ahí se puede observar agujeros en la losa que sirven para anclar la cimentación que se construye, además, el muro también tiene agujeros en los que se anclan los actuador que generan la carga lateral.

FIGURA 4. 3 LUGAR DE ENSAYO



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.2.1 LOSA DE CIMENTACIÓN

En el lugar de ensayo se construye una losa de cimentación de 2.8m x 2.8m y de 0.6m de altura, que sirve para cinco muros de los cuales dos pertenecen a la presente Investigación en la figura 4.4 está el armado de la losa de cimentación.

FIGURA 4. 4 LOSA DE CIMENTACIÓN



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la figura 4.4 se observa que los aceros longitudinales y los pernos que sujetan la placa base son fundidos conjuntamente con la losa.

4.2.2 PLACAS DE ANCLAJE

Para una mejor visión de las placas de anclaje se puede revisar el apartado 2.10.4 del capítulo 2, en la figura como están construidas.

Se puede observar una placa agujerada en donde atraviesan varillas, estas varillas están sustituidas por varillas soldadas a las placas sin agujeros. De cualquier modo, cada placa tiene similar cantidad en área transversal de acero.

FIGURA 4. 5 PLACAS Y ANCLAJES

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.2.3 ELEMENTOS DE BORDE

Los cabezales y viga son armados y soldados continuamente para luego ser montados sobre las placas de anclaje, los dos muros tienen similar elementos de borde.

En la figura 4.6 se indica los elementos de borde colocados sobre las placas.

FIGURA 4. 6 ELEMENTOS DE BORDE

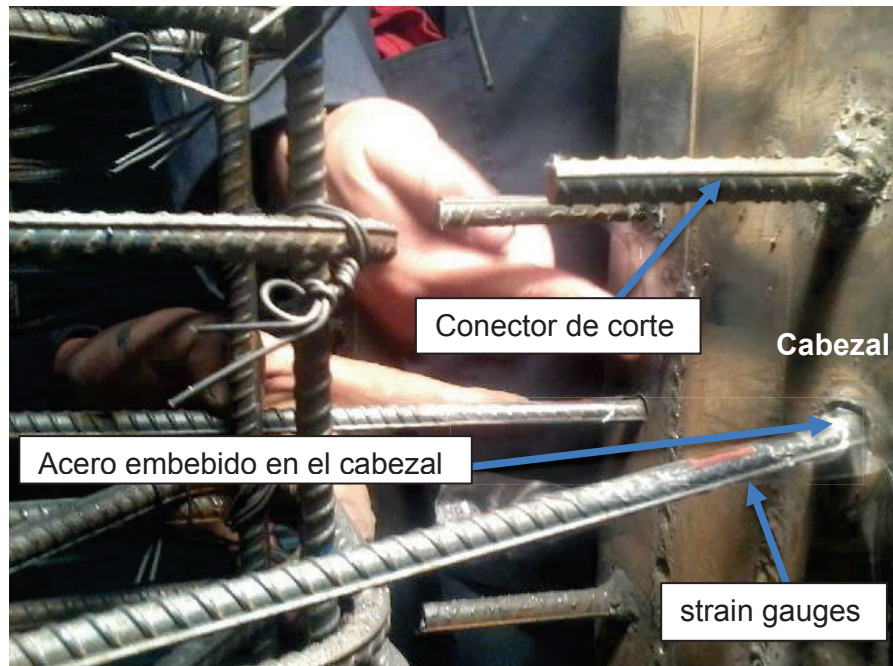
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.2.4 REFUERZO, CONECTORES Y STRAIN GAUGES

Se arma el acero longitud y transversal según los planos además se suelda los conectores de corte tomando en cuenta que el muro 2 tiene el doble de conectores que el muro 1. Los strain gauges son colocados estratégicamente como se indica en los planos y en el literal 2.10.6

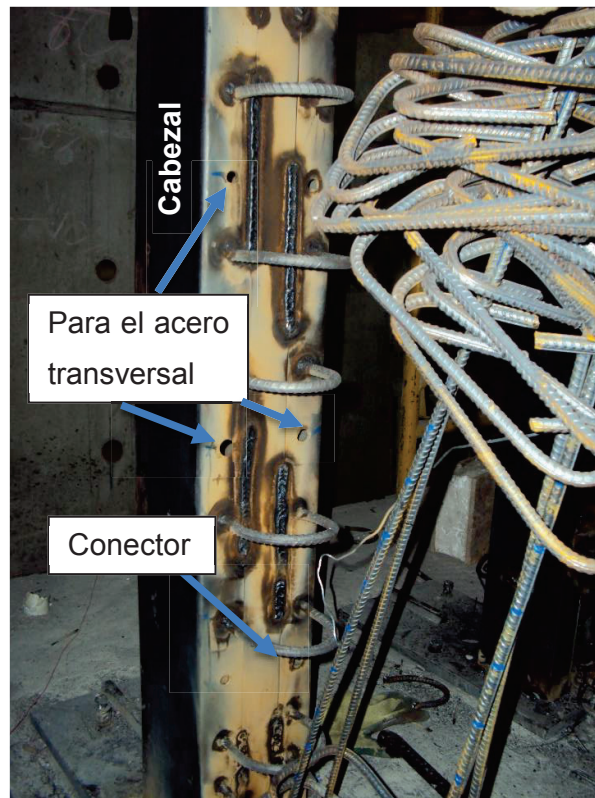
En la figura 4.7 y 4.8 se indican parte del refuerzo longitudinal, transversal, conectores del muro 1. Se ve al acero transversal embebido en el cabezal.

FIGURA 4. 7 MURO1_REFUERZO, CONECTORES Y STRAIN GAUGES



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 8 MURO1_REFUERZO, CONECTORES

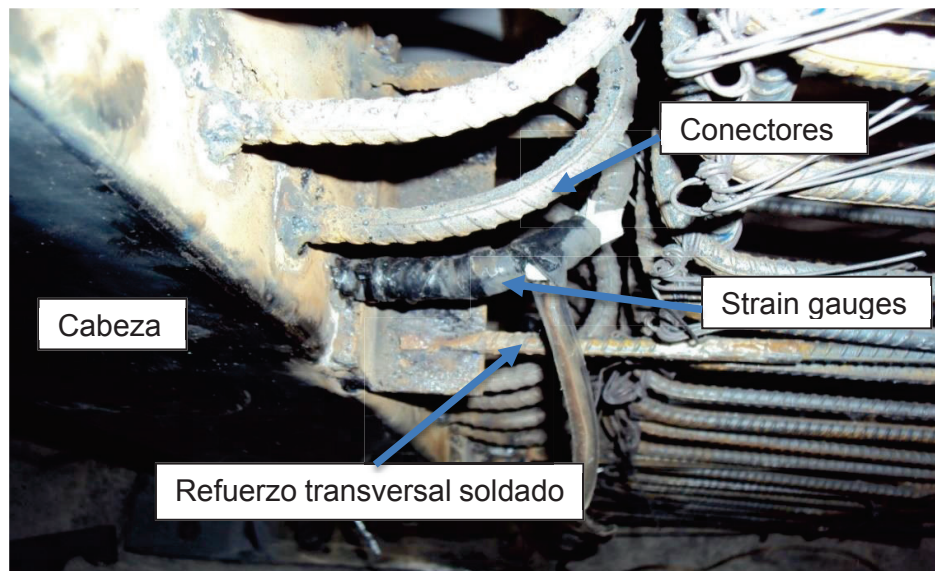


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la figura 4.9 y 4.10 están los refuerzos, conectores y strain gauges de muro 2.

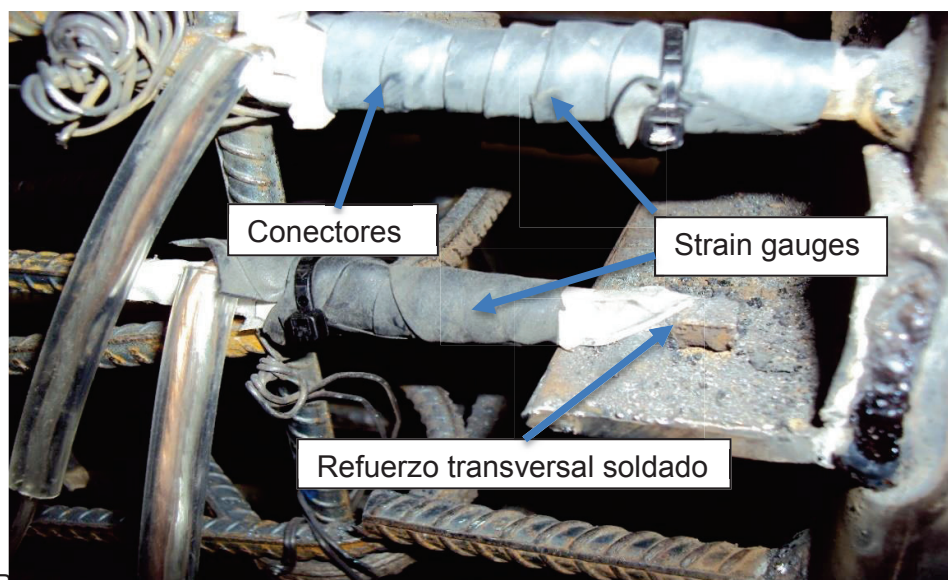
En el muro 2 el refuerzo transversal esta soldado al cabezal y doble cantidad de conectores de corte.

FIGURA 4. 9 MURO 2_ CONECTORES EN ARCO Y REFUERZO SOLDADO



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 10 MURO 2_ CONECTORES Y REFUERZO SOLDADO



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.2.5 HORMIGONADO Y TERMINADO

FIGURA 4. 11 MUROS DESENCOFRADOS Y TERMINADOS



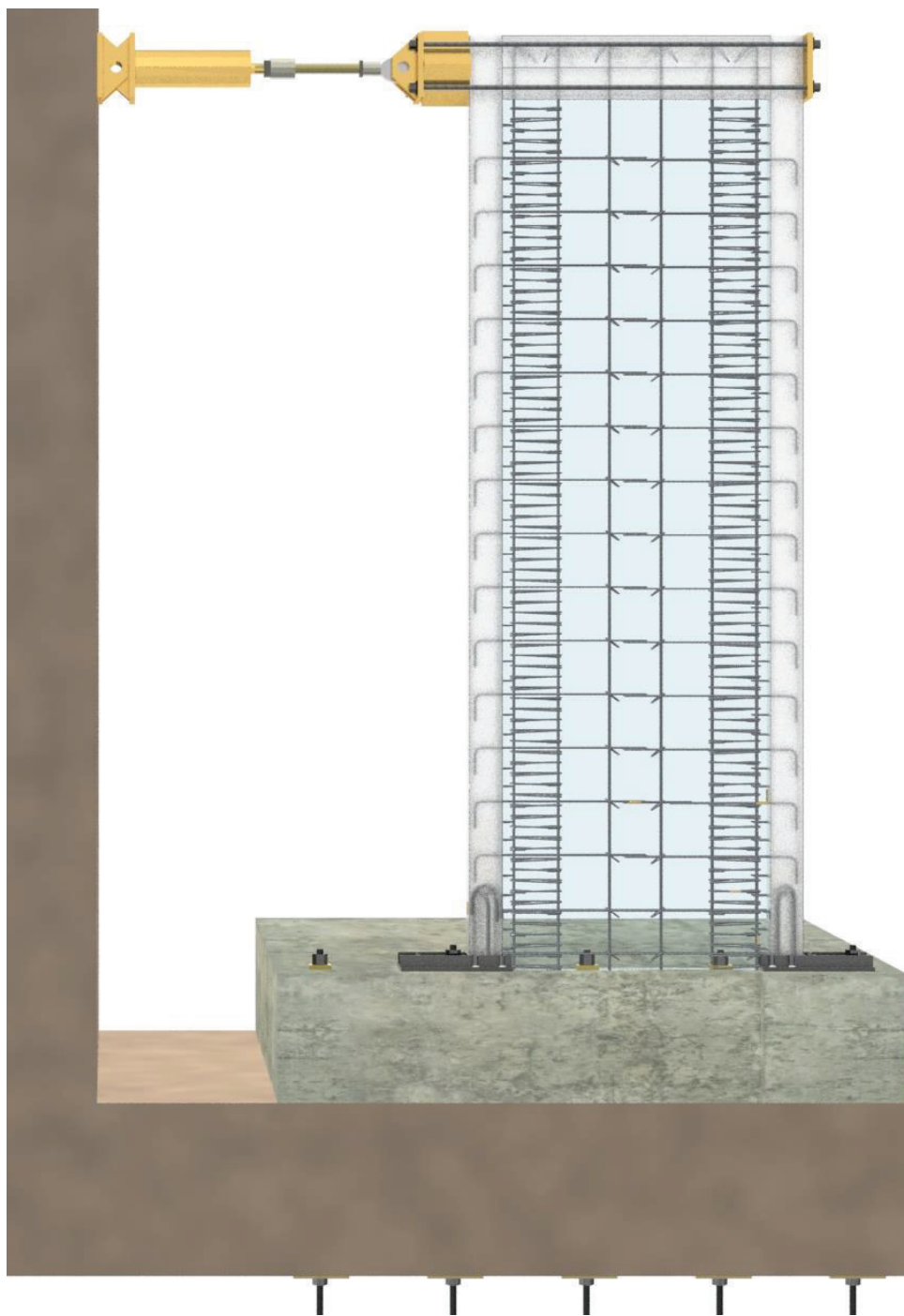
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Los muros de la izquierda son una vez desencofrados y los de la derecha están pintados y con una cuadrícula de 30cmx30cm cada cuadro que ayuda al mapeo de las fisuras.

4.3 ENSAYO DEL MURO 1

En la figura 4.11 se observa el muro 1 terminado y listo para el ensayo, mientras que en la figura 4.12 se esquematiza la estructura del muro:

FIGURA 4. 12 ESQUEMA GENERAL DEL MURO 1

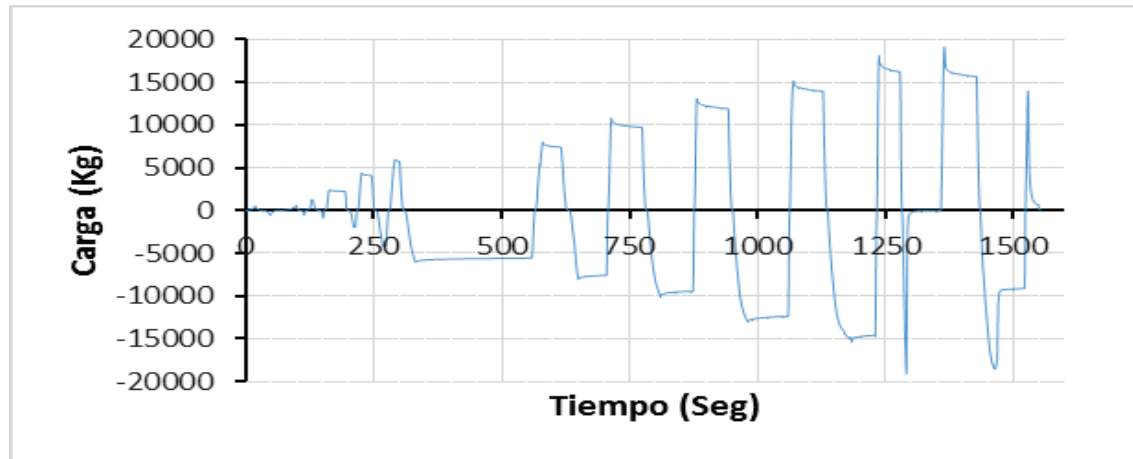


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.1 HISTORIA DEL CICLO DE CARGA PARA EL MURO 1

En el muro 1 se aplica el ciclo de carga indicado en la figura 4.13

FIGURA 4. 13 HISTORIAL DEL CICLO DE CARGA_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.2 MAPEO DE LAS FISURAS DEL MURO 1

En el muro 1 se presentan las fisuras indicadas en la figura 4.15. En el anexo B, se encuentra el mapeo a una mejor escala en el que puede observarse los detalles.

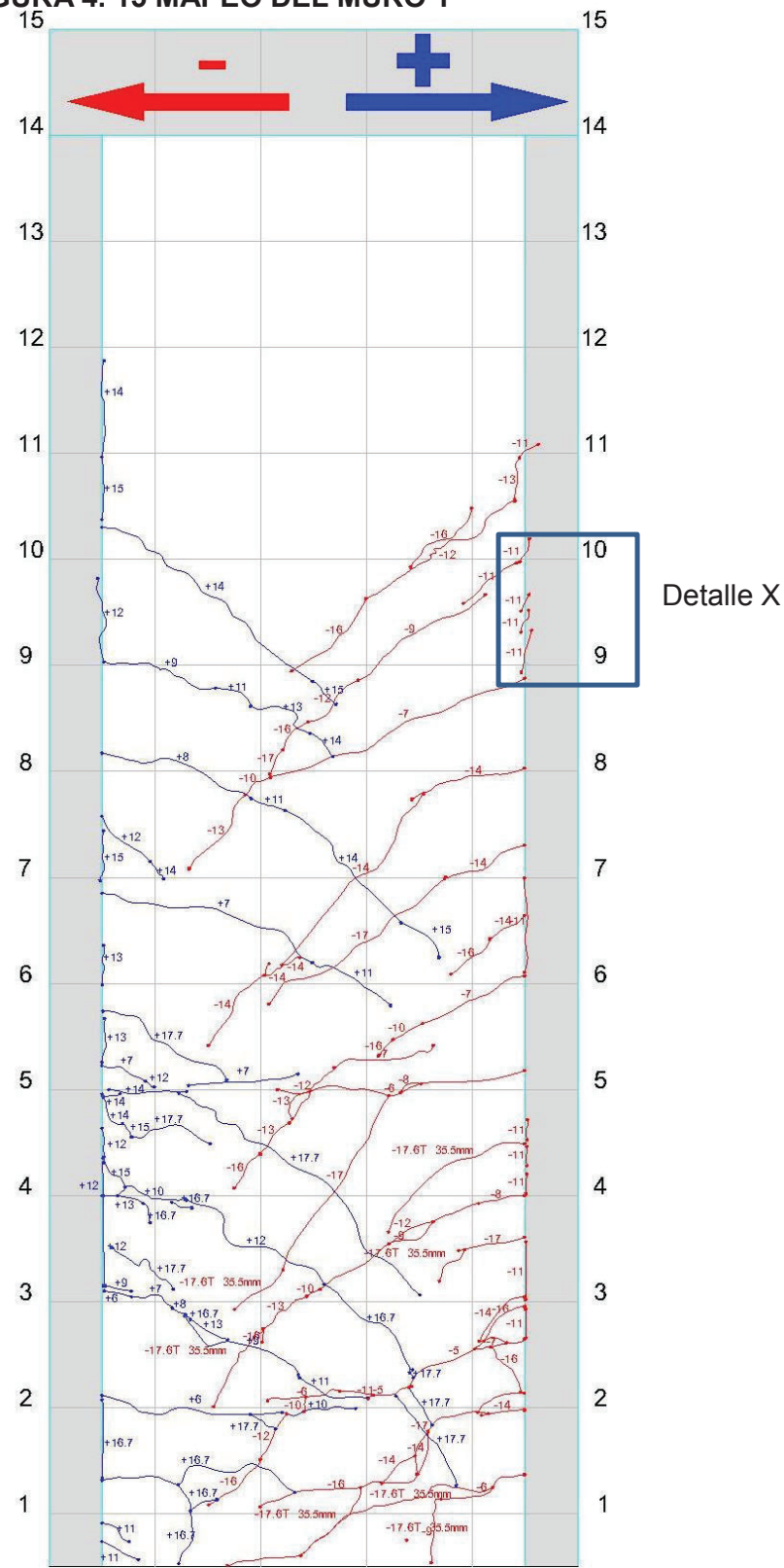
En el mapeo se observa unas fisuras que aparentan ingresar a la columna, esa apreciación es incorrecta pues la columna nunca se fisura. Se debe a que en el mapeo se ha representado lo que se ve en el ensayo y esas fisuras aparentes se debe a que se colocó yeso y este fue el que se fisuro, como indica la figura 3.14

FIGURA 4. 14 DETALLE X_FISURA APARENTE.



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 15 MAPEO DEL MURO 1

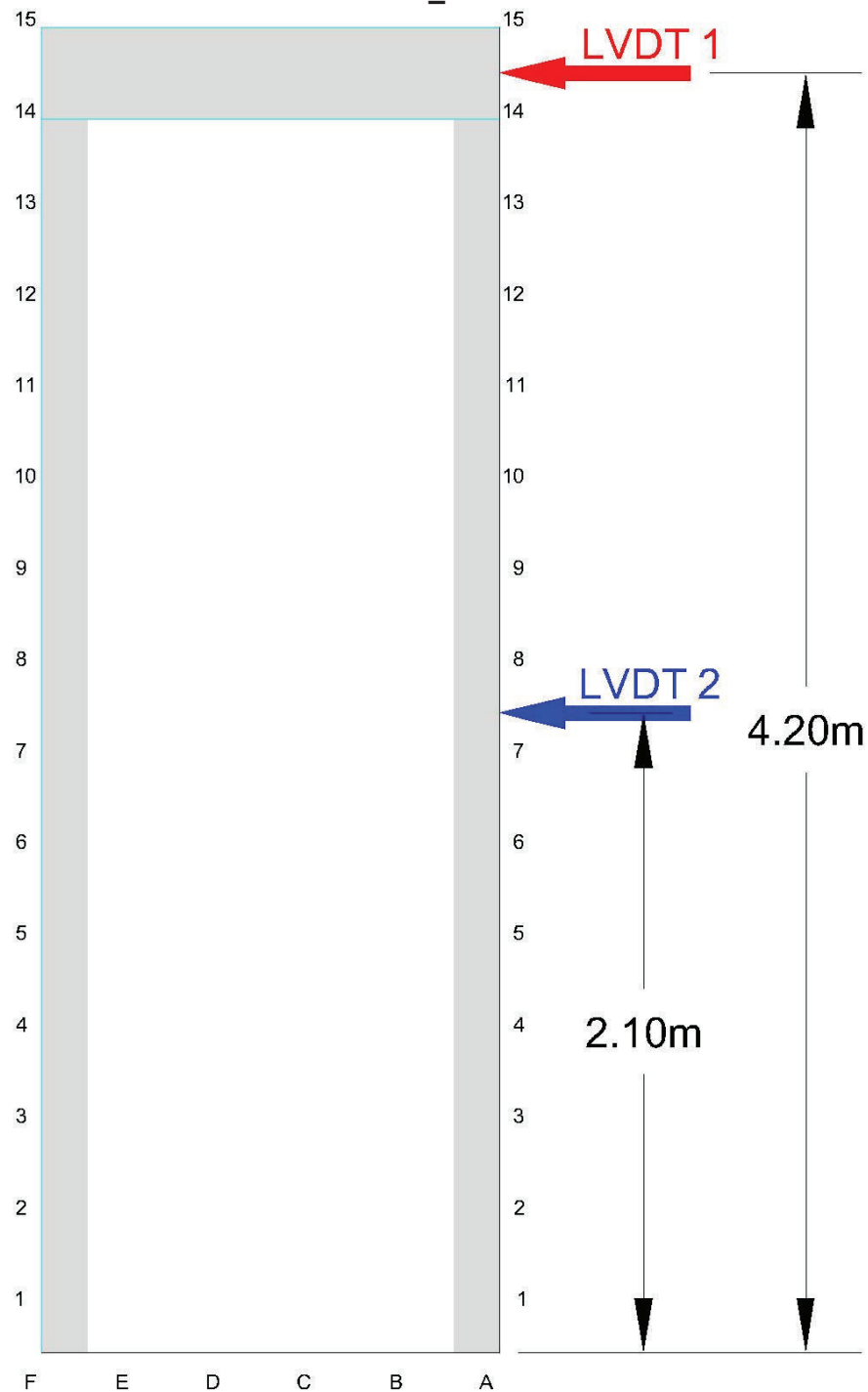


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.3 DATOS DE LOS LVDT_MURO 1

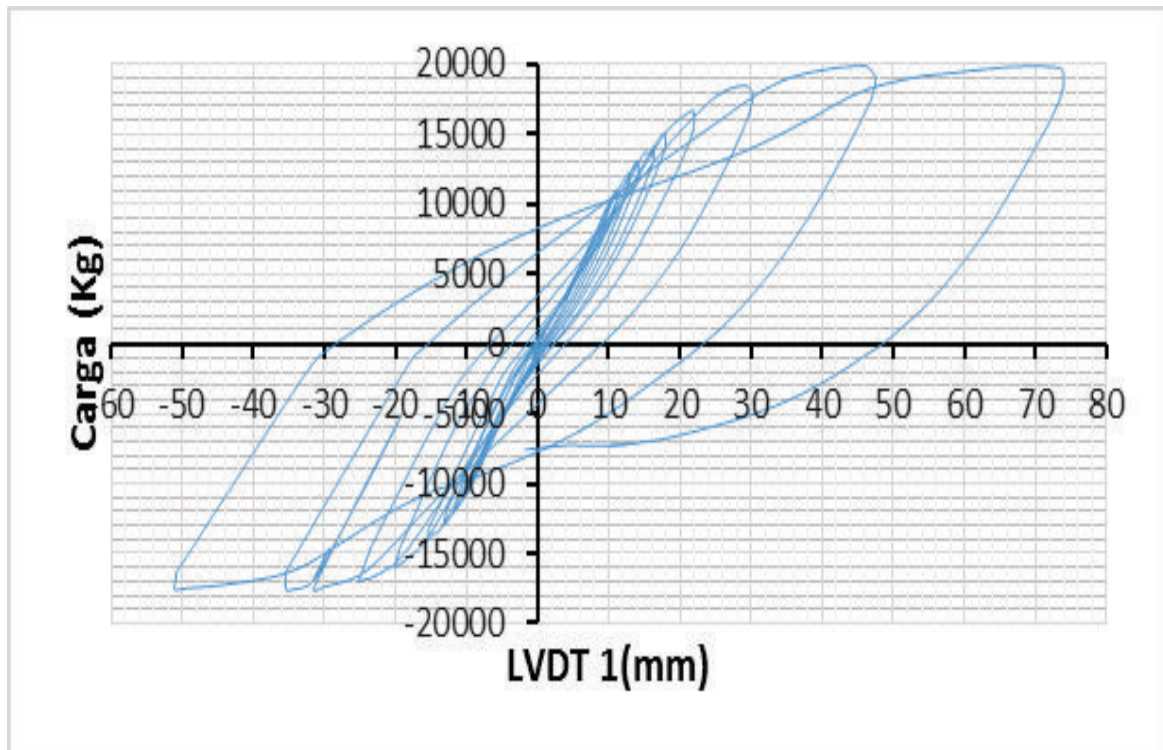
Los LVDT se colocan en los puntos LVDT1 y LVDT2 como se indica en la figura 4.16 y las curvas obtenidas se indican en las figuras 4.17 y 4.18.

FIGURA 4. 16 UBICACIÓN DE LOS LVDT_MURO 1



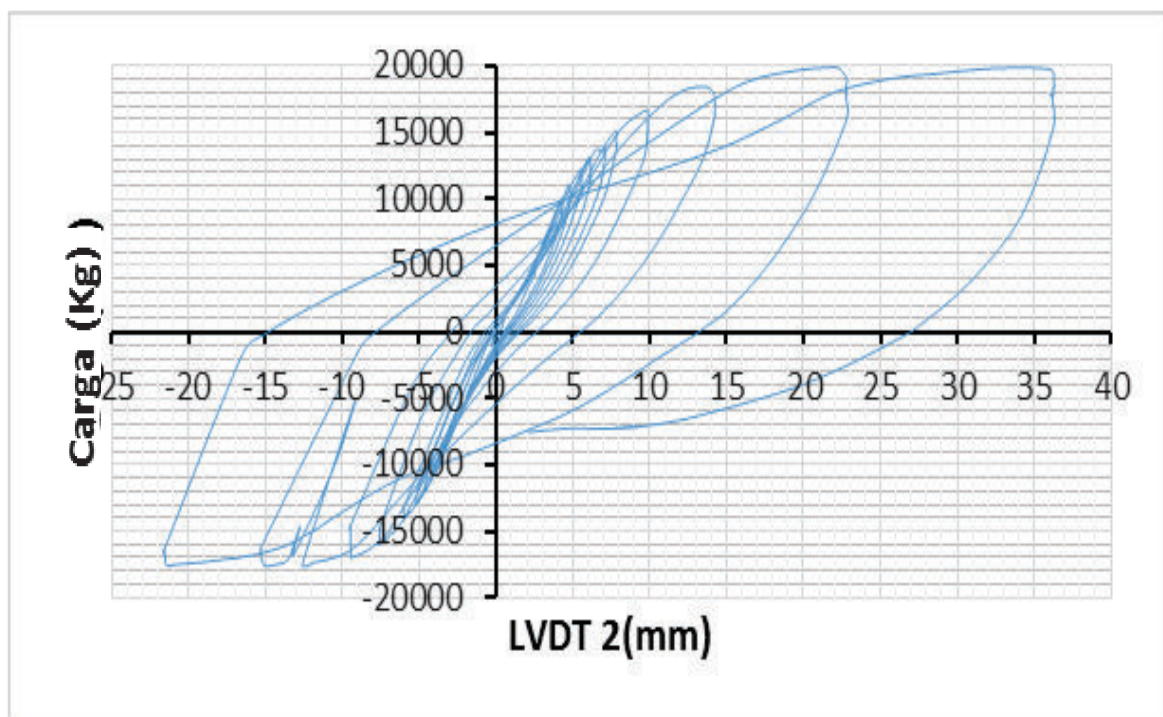
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 17 DESPLAZAMIENTO MEDIDO POR EL LVDT 1_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 18 DESPLAZAMIENTO MEDIDO POR EL LVDT 2_MURO 1

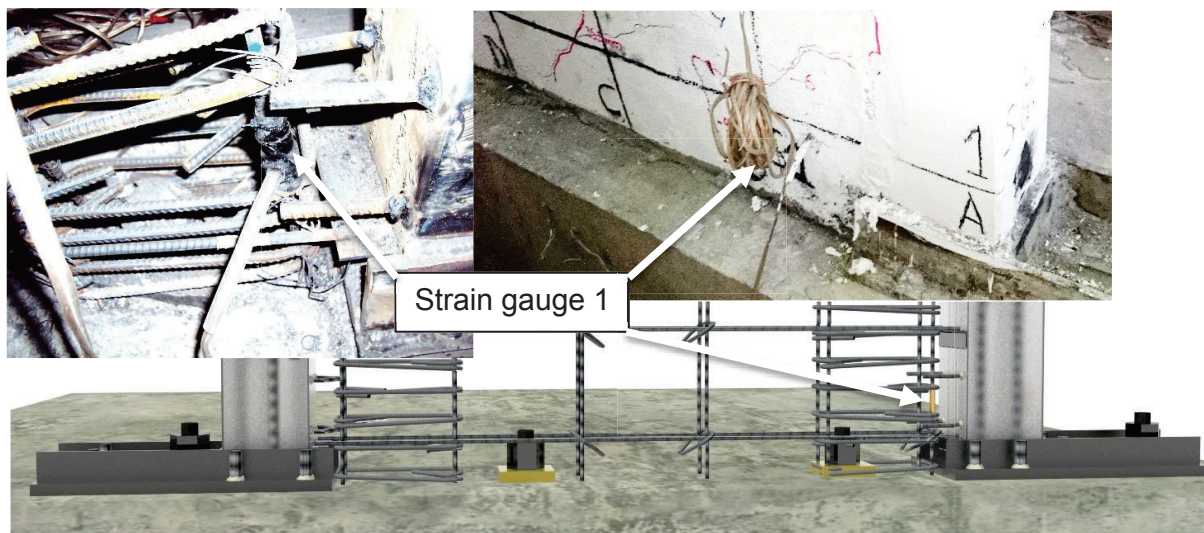


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.4 DATOS DEL STRAIN GAUGE 1_MURO 1

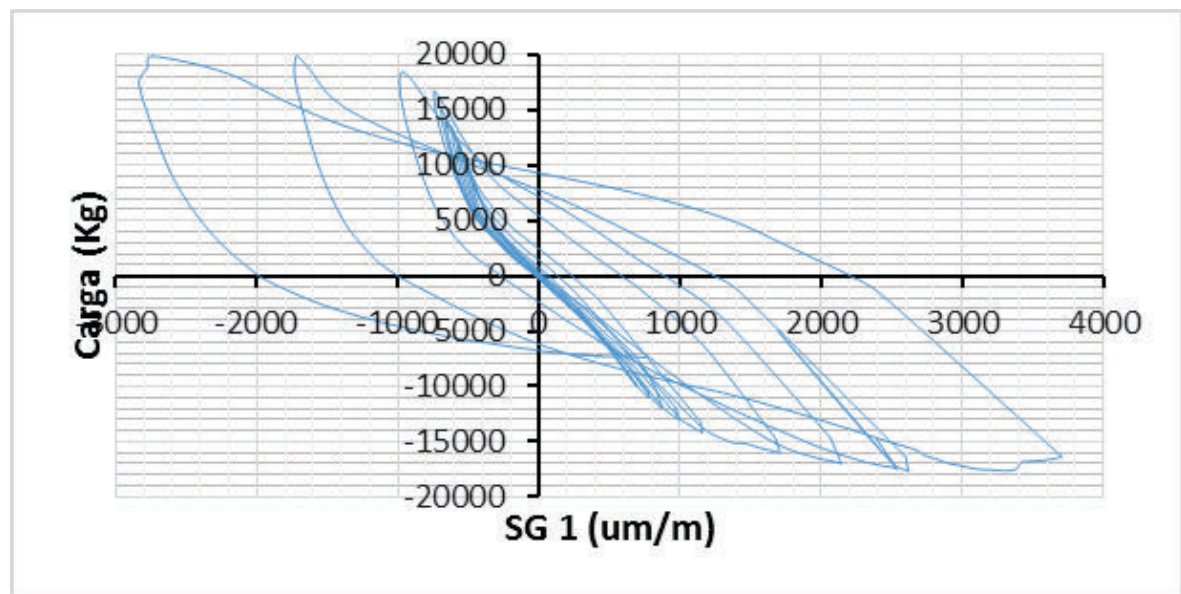
El strain gauge 1 se indica en la figura 4.19 y la curva obtenida se indica en la figura 4.20.

FIGURA 4. 19 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 1_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 20 DATOS DEL STRAIN GAUGE 1_MURO 1

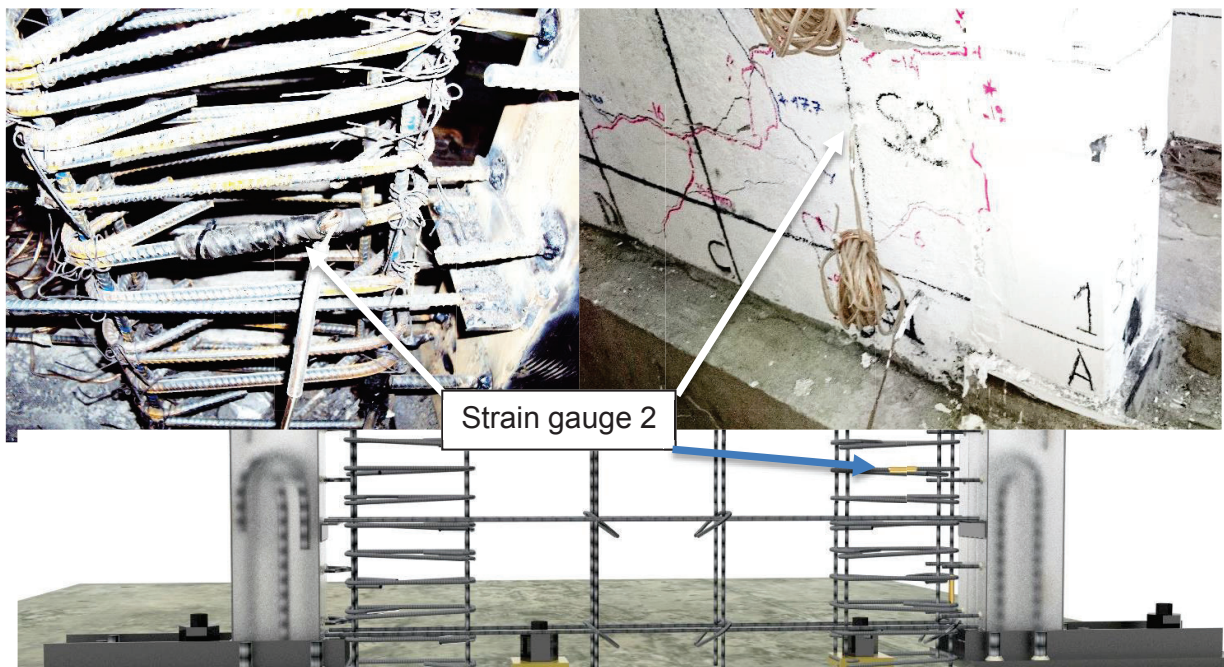


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.5 DATOS DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 1

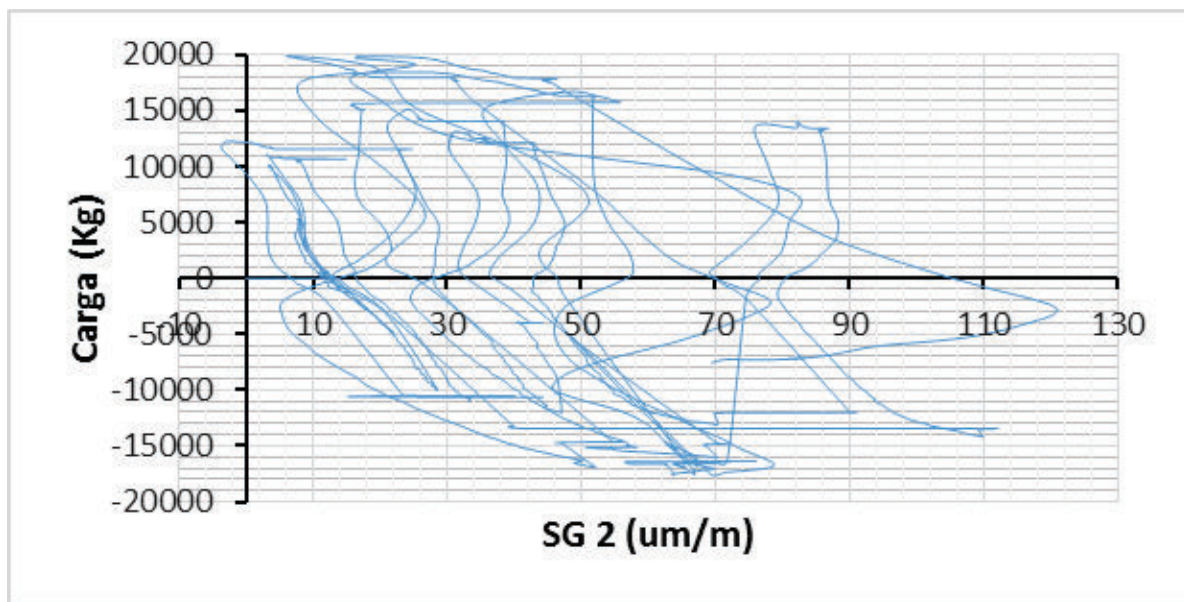
El strain gauge 1 se indica en la figura 4.21 y la curva obtenida se indica en la figura 4.22.

FIGURA 4. 21 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 22 DATOS DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 1

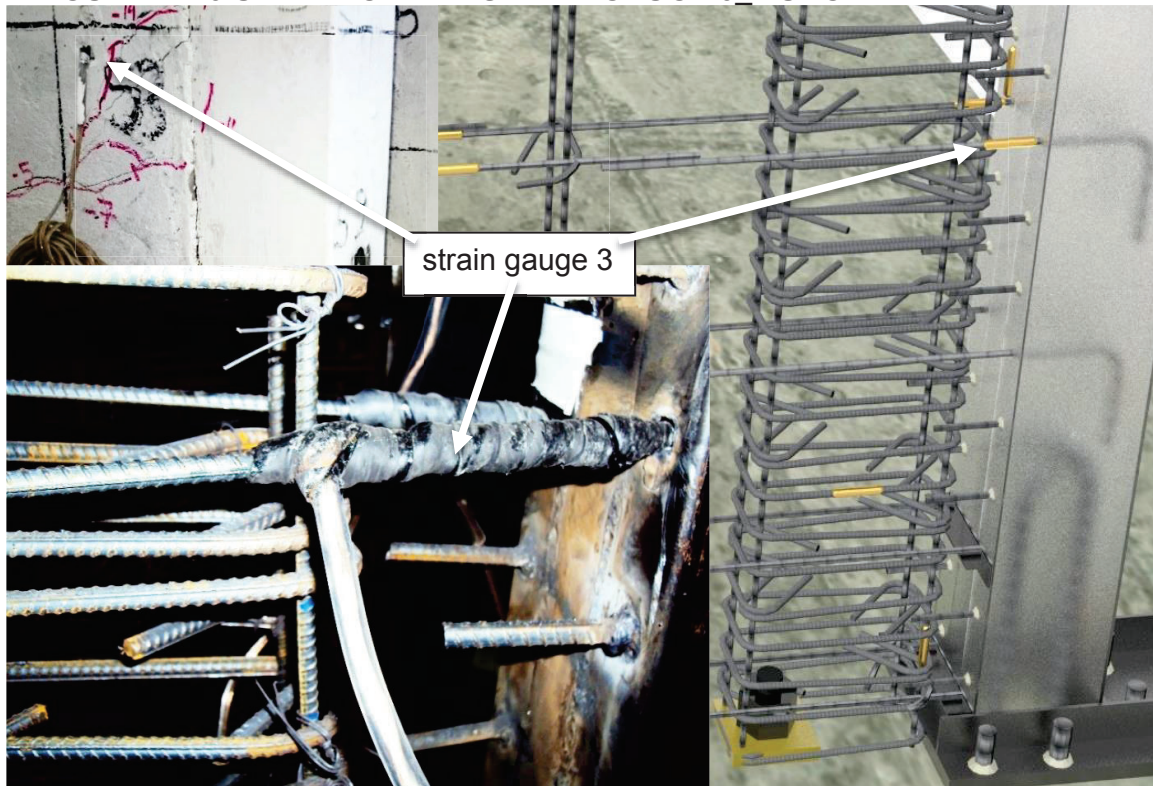


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.6 DATOS DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 1

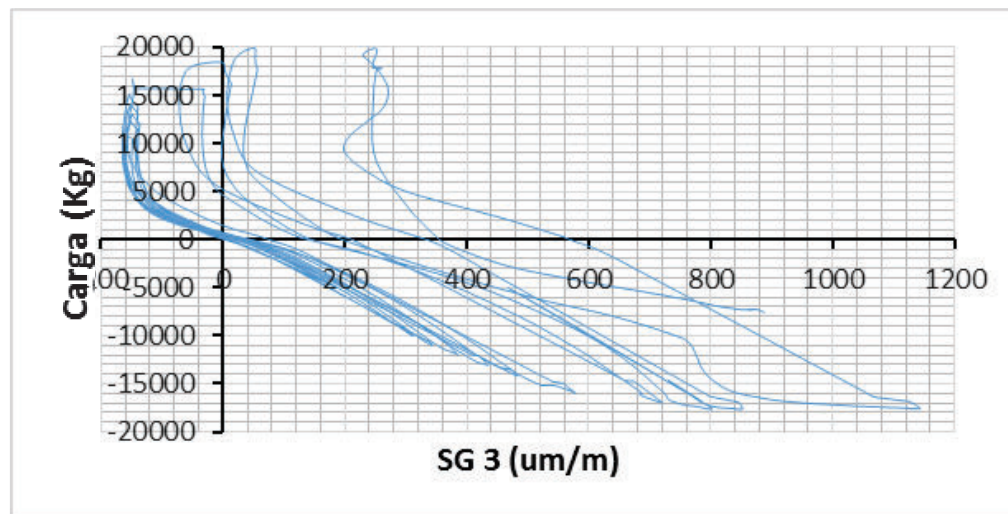
El strain gauge 3 se indica en la figura 4.23 y la curva obtenida en la figura 4.24.

FIGURA 4. 23 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 24 DATOS DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 1

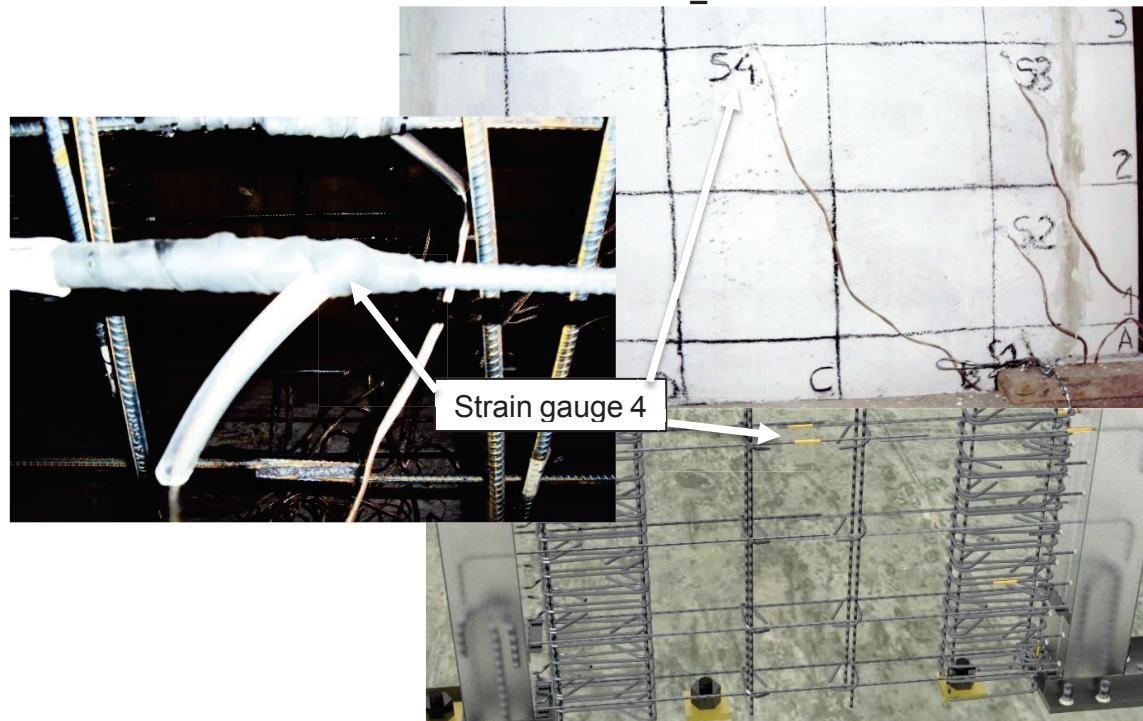


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.7 DATOS DEL STRAIN GAUGE 4_MURO 1

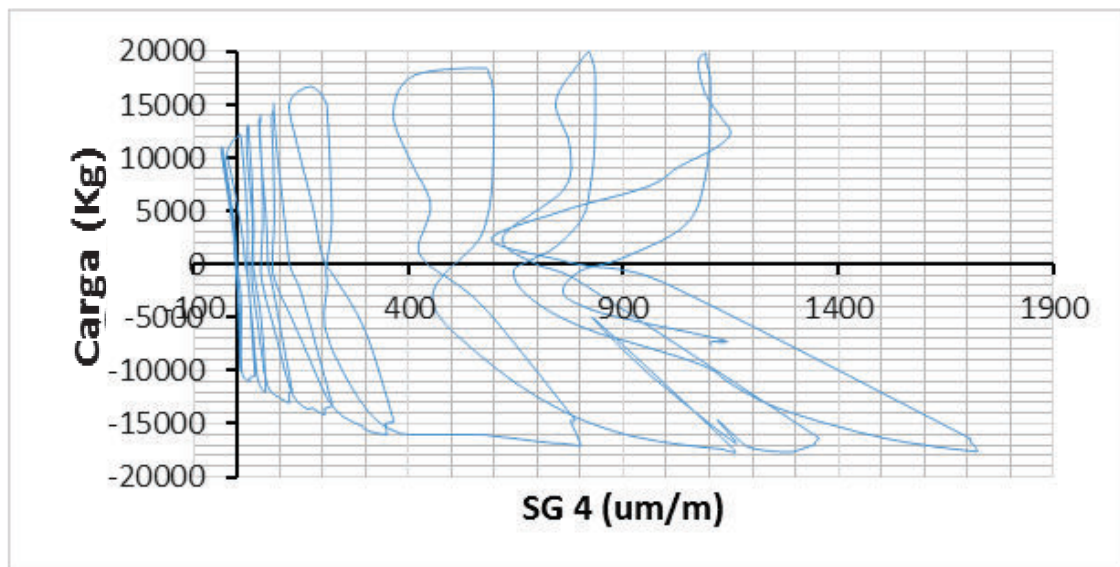
El strain gauge 4 se indica en la figura 4.25 y la curva obtenida en la figura 4.26.

FIGURA 4. 25 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 26 DATOS DEL STRAIN GAUGE 4_MURO 1

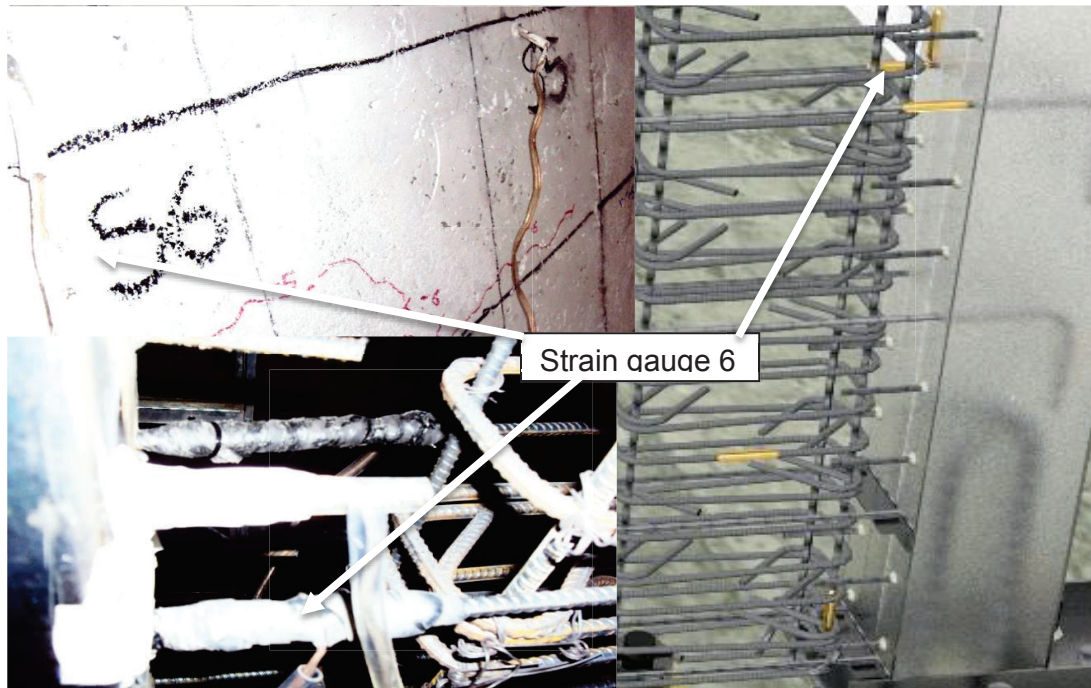


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.8 DATOS DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 1

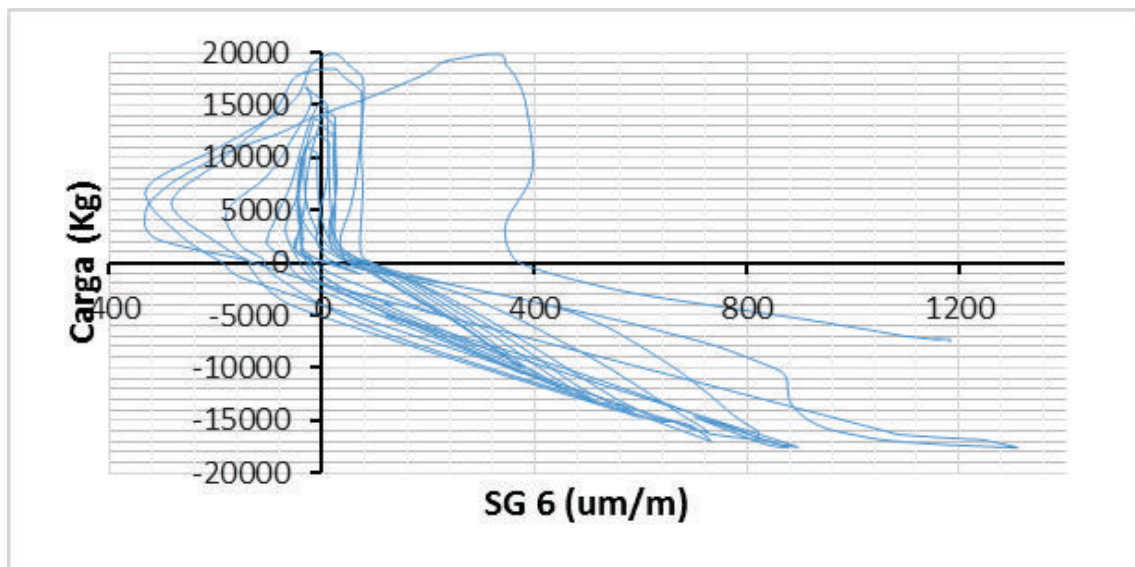
El strain gauge se indica en la figura 4.27 y la curva obtenida en la figura 4.28.

FIGURA 4. 27 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 28 DATOS DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 1

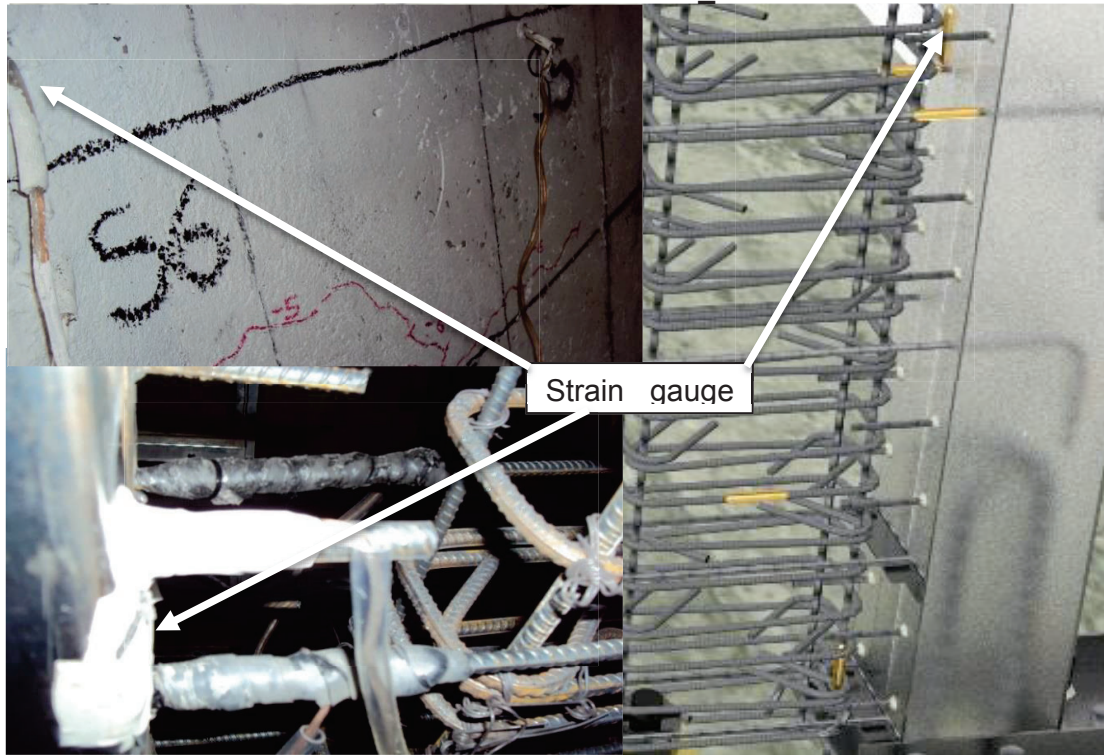


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.9 DATOS DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 1

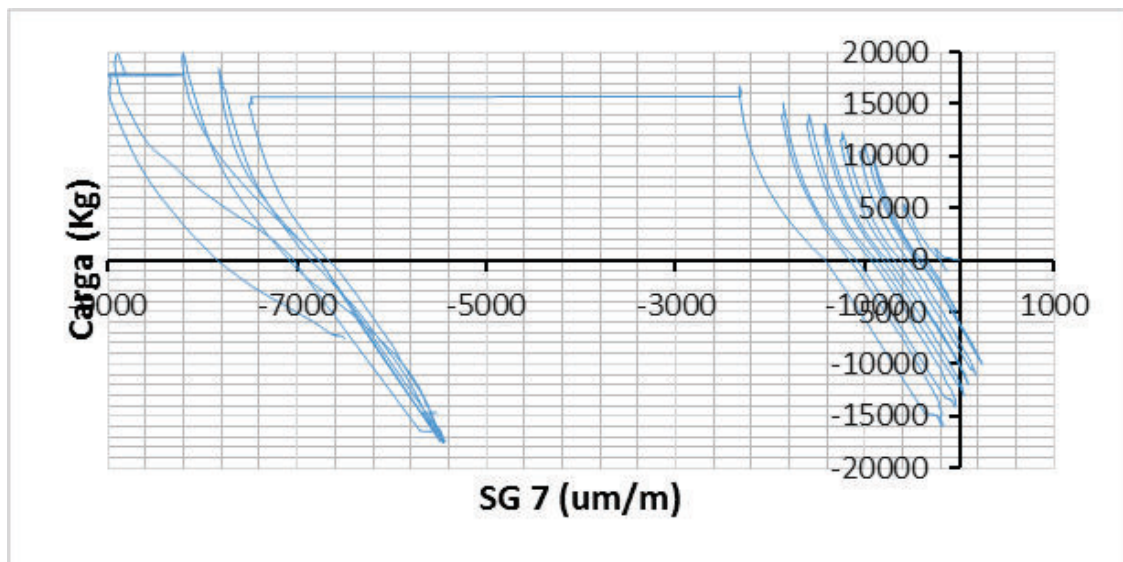
El strain gauge se indica en la figura 4.29 y la curva obtenida en la figura 4.30.

FIGURA 4. 29 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 30 DATOS DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 1

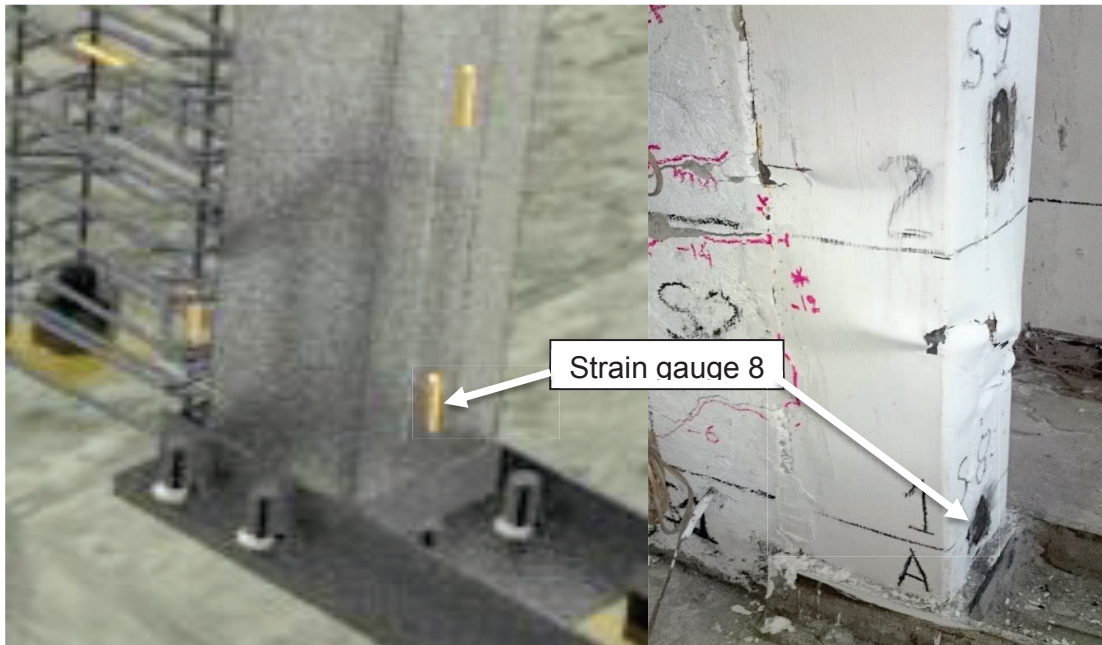


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.10 DATOS DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 1

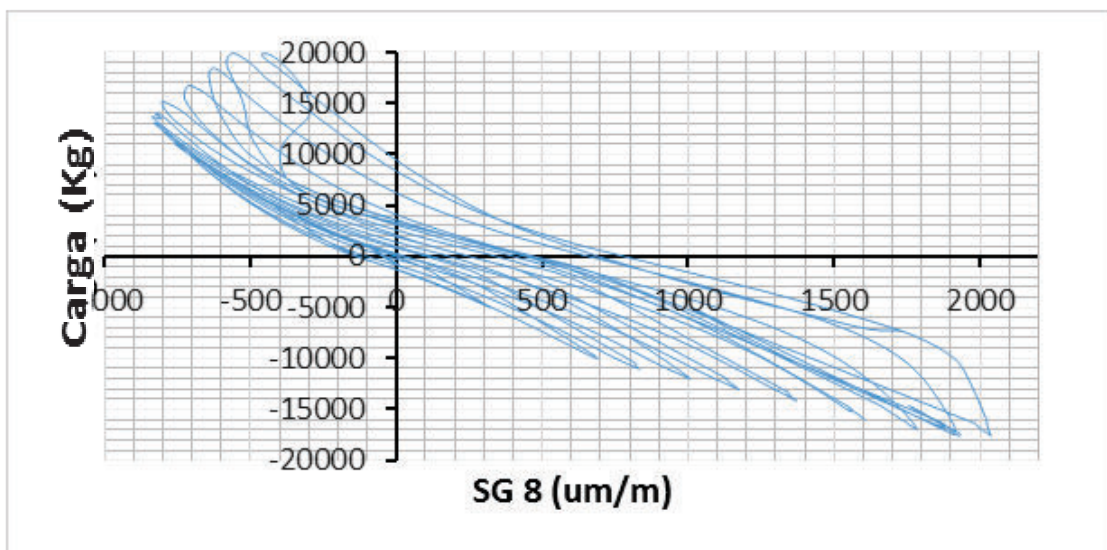
El strain gauge se indica en la figura 4.31 y la curva obtenida en la figura 4.32.

FIGURA 4. 31 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 32 DATOS DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 1

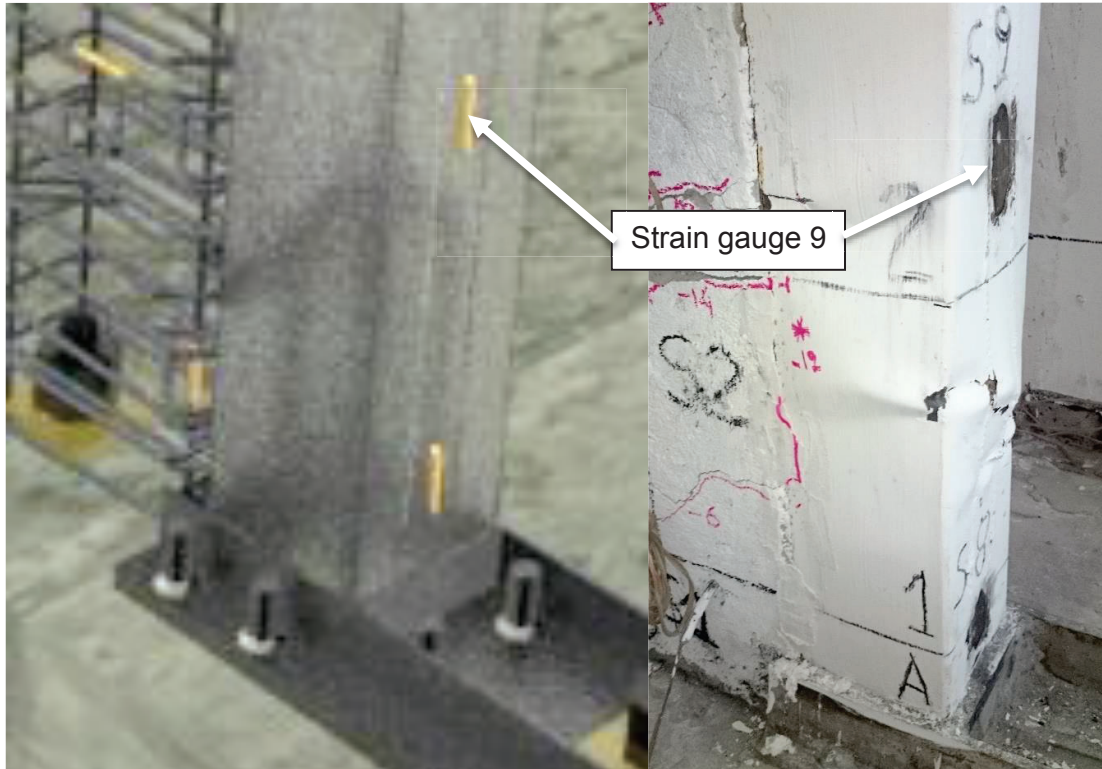


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.11 DATOS DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 1

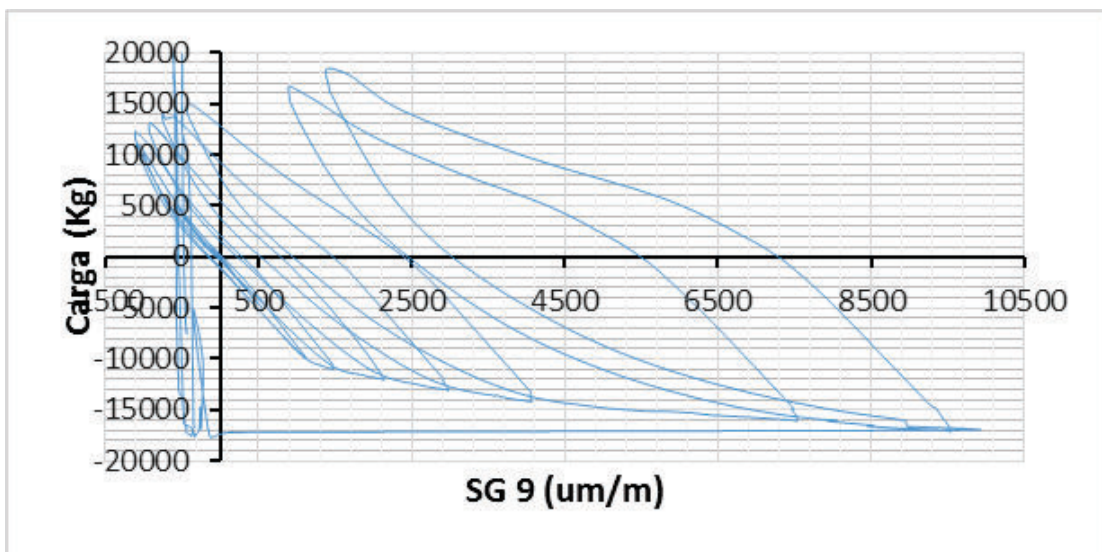
El strain gauge 9 se indica en la figura 4.33 y la curva obtenida en la figura 4.34.

FIGURA 4. 33 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 34 DATOS DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 1

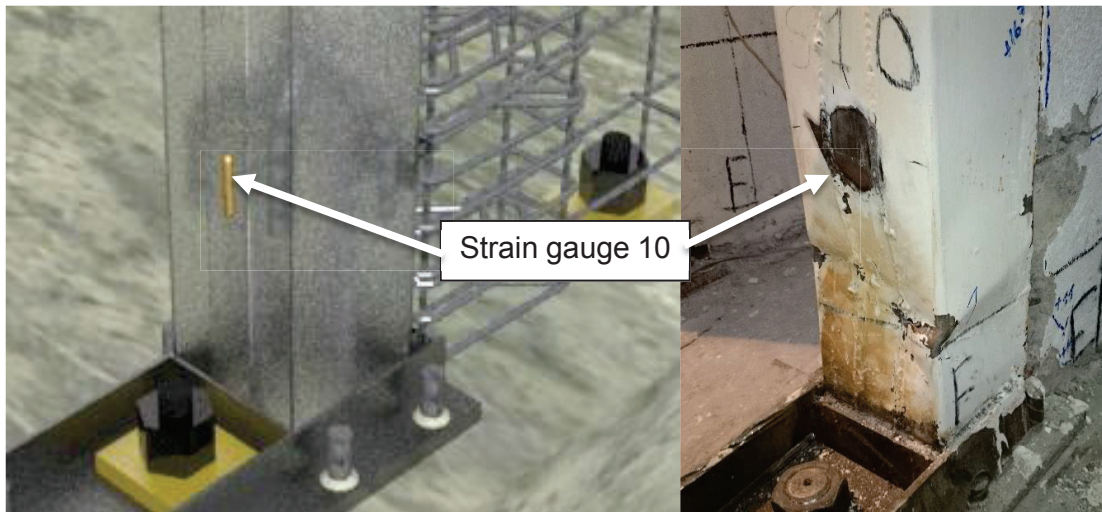


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.12 DATOS DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 1

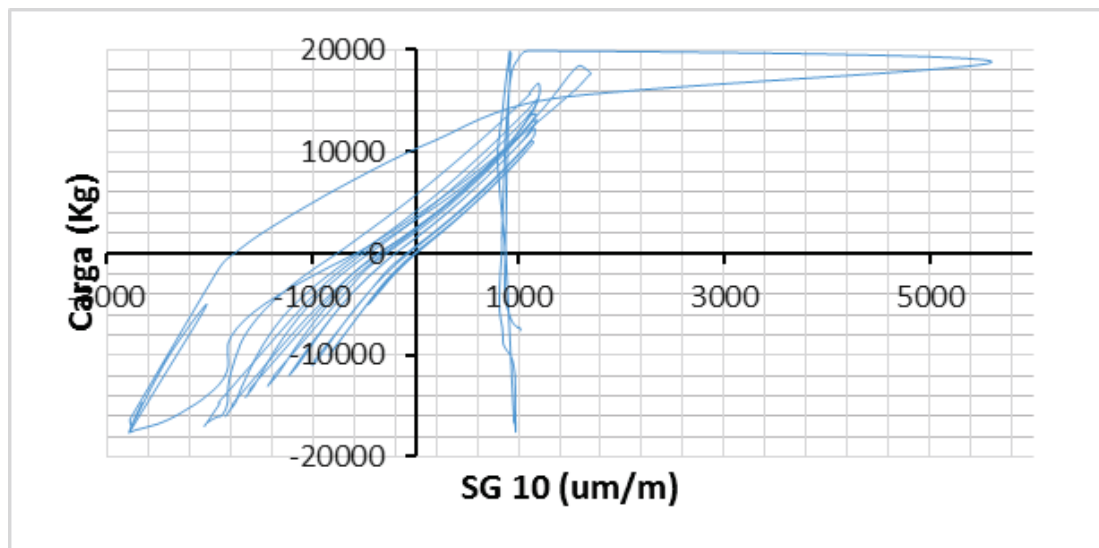
El strain gauge 10 se indica en la figura 4.35 y la curva obtenida en la figura 4.36.

FIGURA 4. 35 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 36 DATOS DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 1

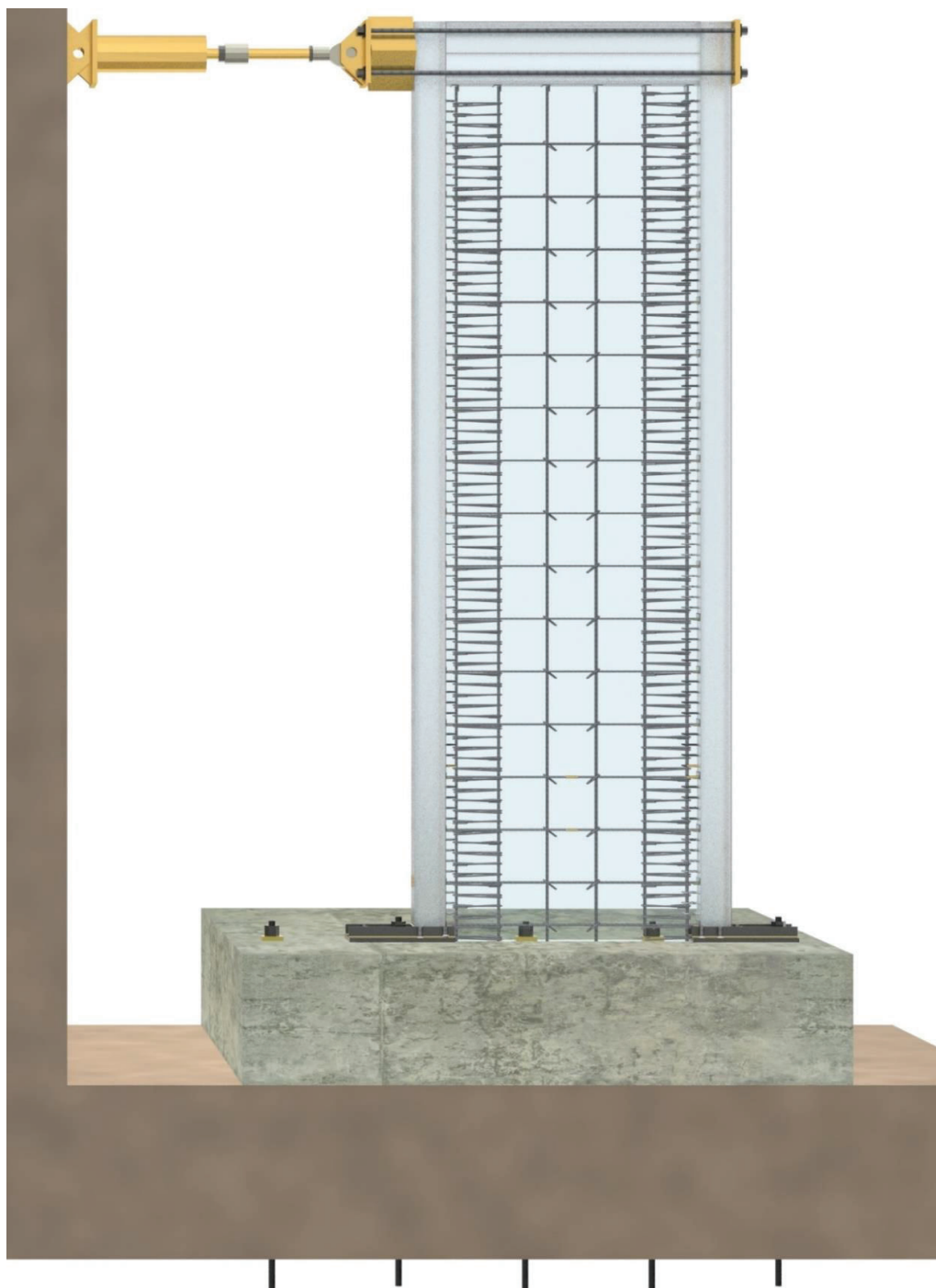


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.4 ENSAYO DEL MURO 2

En la figura 4.11 se observa el muro 2 terminado y listo para el ensayo, mientras que en la figura 4.37 se esquematiza la estructura del muro 2.

FIGURA 4. 37 ESQUEMA GENERAL DEL MURO 2

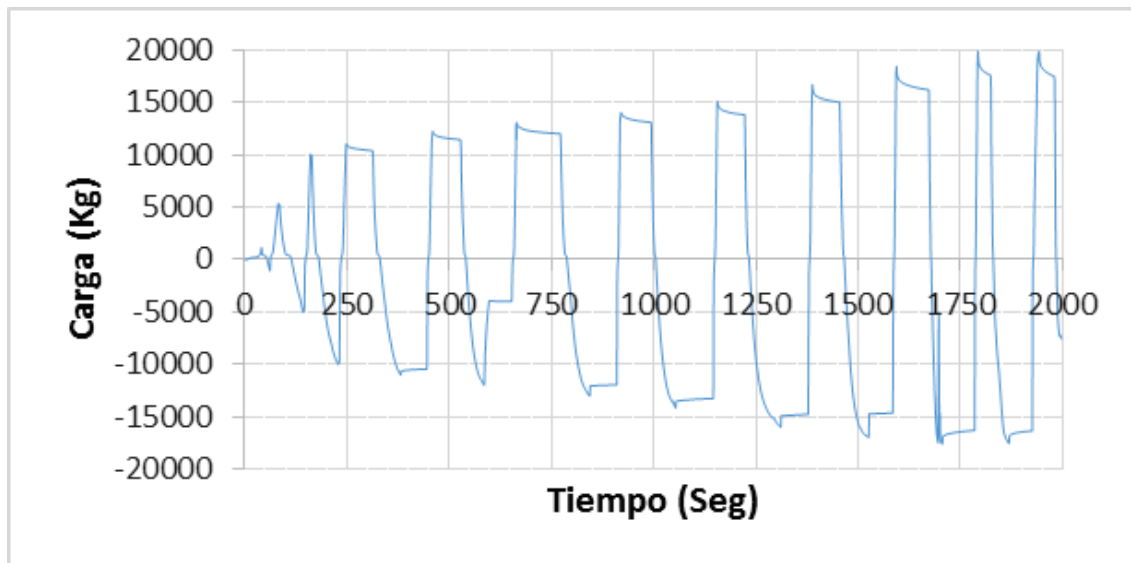


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.4.1 HISTORIA DEL CICLO DE CARGA PARA EL MURO 2

En el muro 2 se aplica el ciclo de carga indicado en la figura 4.38, aplicado por el actuador que se muestra en la figura 4.37

FIGURA 4. 38 HISTORIAL DEL CICLO DE CARGA_MURO 2



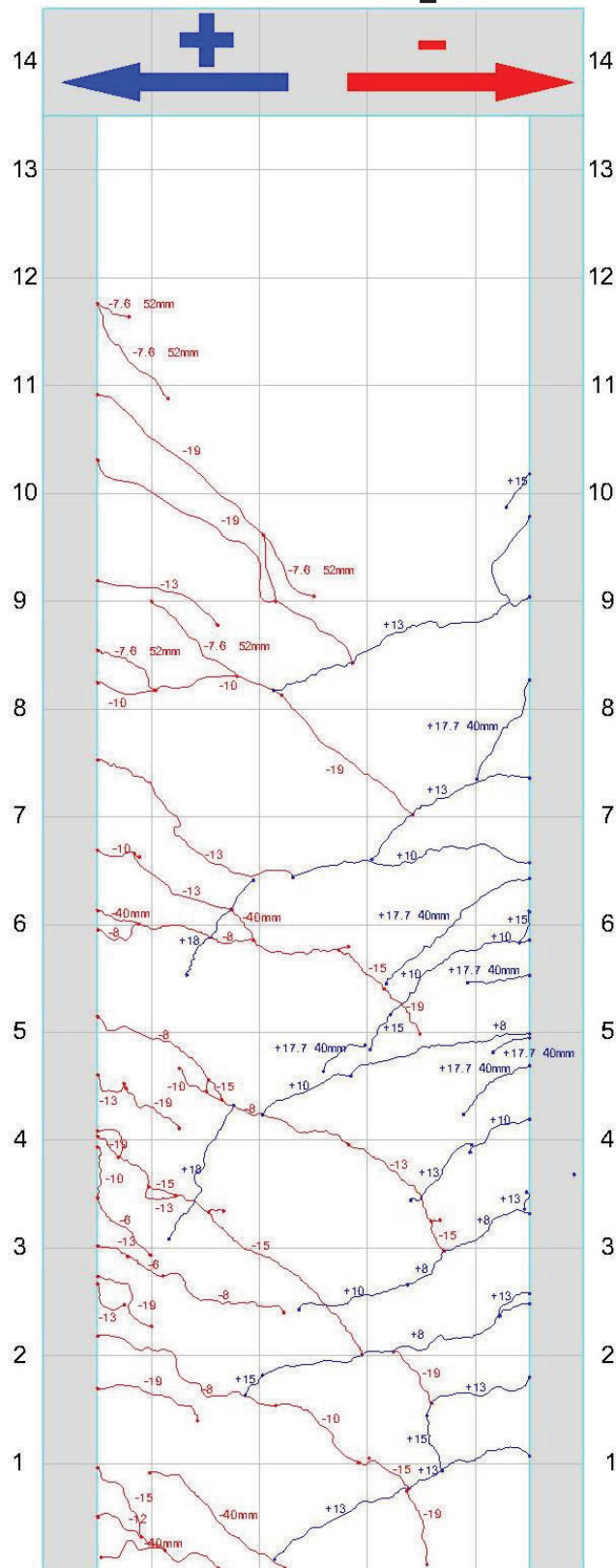
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Para el ensayo se utiliza LVDT para medir desplazamientos y strain gauges, a continuación se muestran los datos que registra el equipo empleado.

4.3.2 MAPEO DE LAS FISURAS DEL MURO 2

En el muro 1 se presentan las fisuras indicadas en la figura 4.39. En el anexo B, se encuentra el mapeo a una mejor escala en el que puede observarse los detalles.

FIGURA 4. 39 MAPEO DE FISURAS_MURO 2

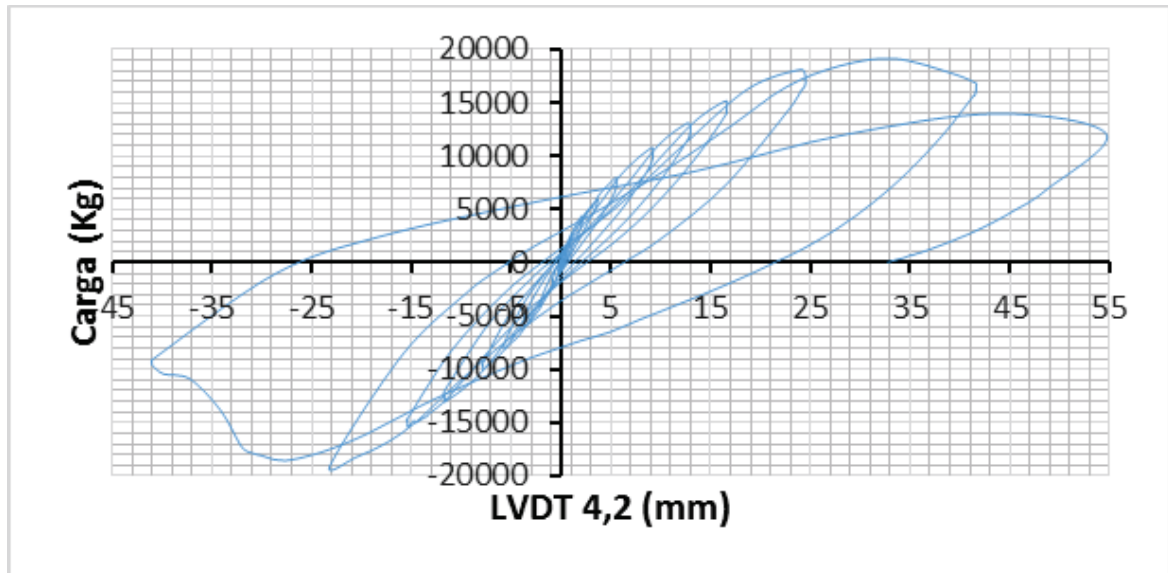


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.3 DATOS DE LOS LVDT_MURO 2

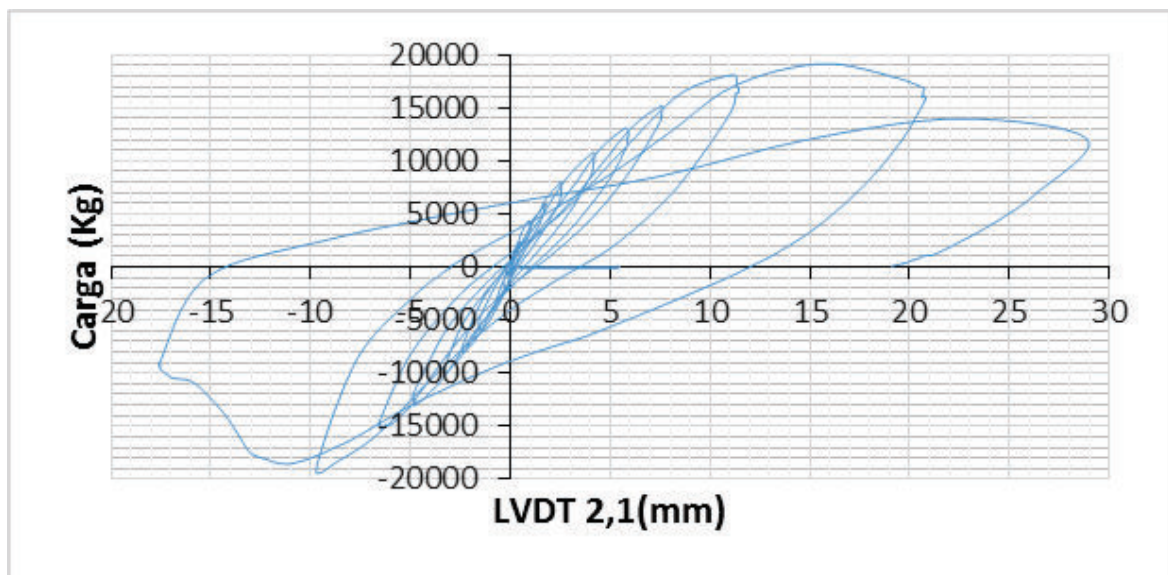
Los LVDT se colocan en los puntos LVDT1 y LVDT2 de la misma forma que en el muro 1 como se indica en la figura 4.16 y las curvas obtenidas se indican en las figuras 4.40 y 4.41.

FIGURA 4. 40 DESPLAZAMIENTO MEDIDO POR EL LVDT 1_MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 41 DESPLAZAMIENTO MEDIDO POR EL LVDT 2_MURO 2

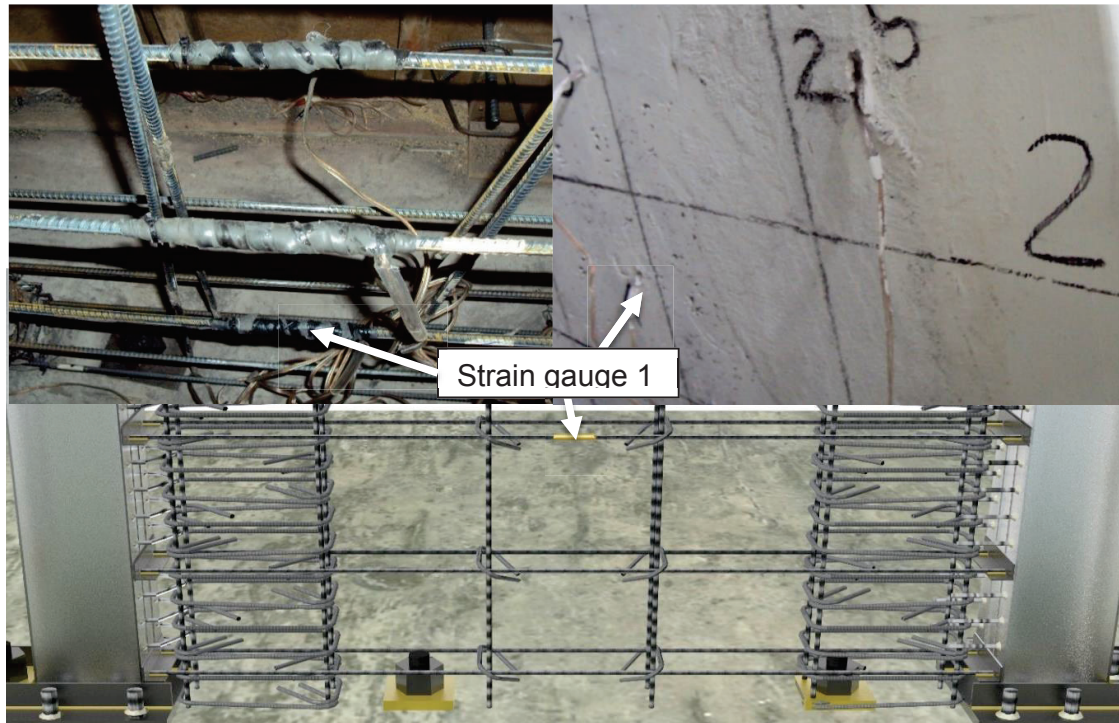


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.4 DATOS DEL STRAIN GAUGE 1_MURO 2

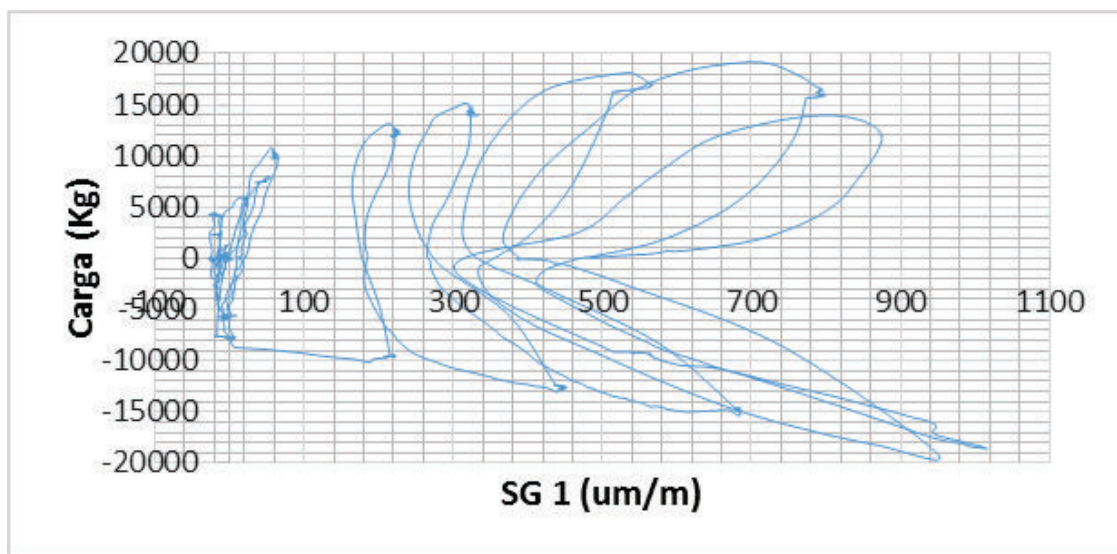
El strain gauge 1 se indica en la figura 4.42 y la curva obtenida en la figura 4.43.

FIGURA 4. 42 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 1_MURO2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 43 DATOS DEL STRAIN GAUGE 1_MURO 2

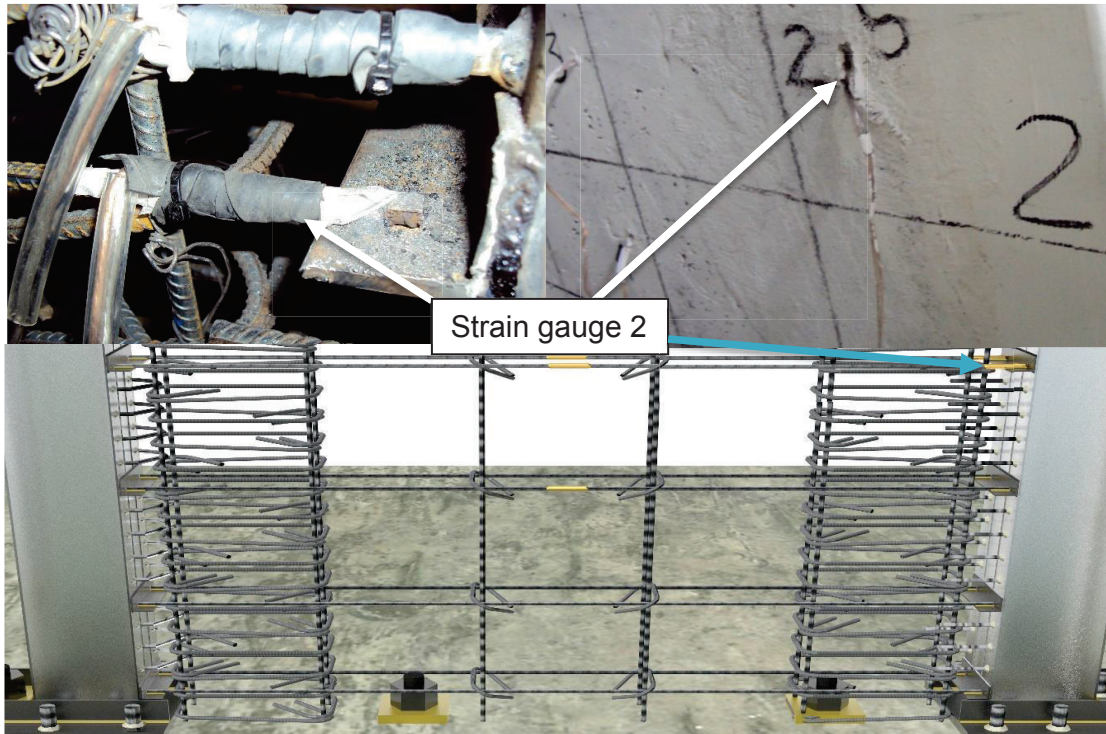


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.5 DATOS DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 2

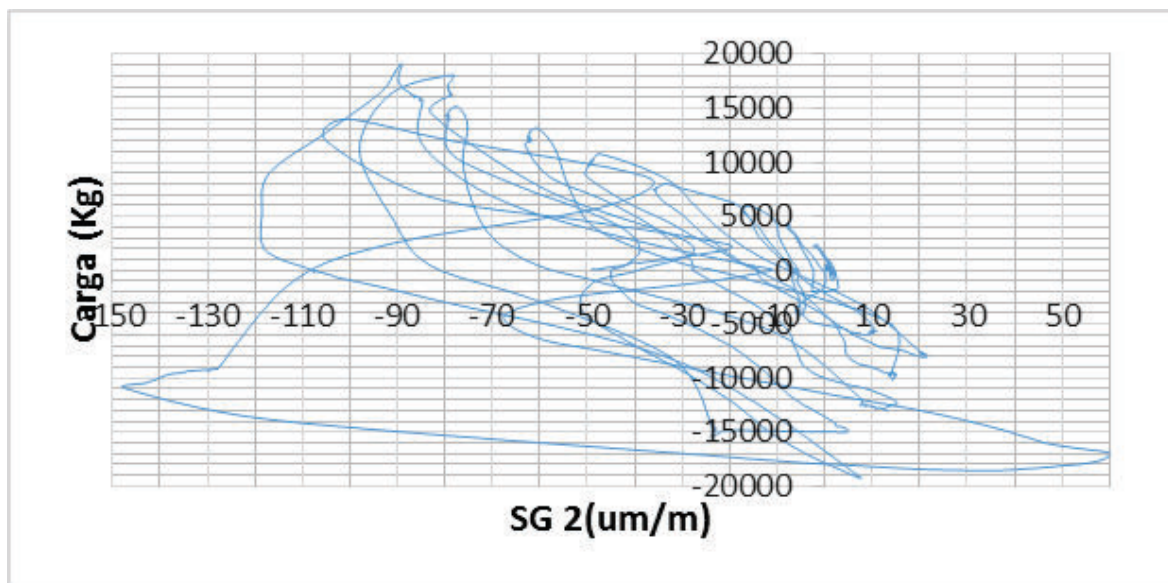
El strain gauge 2 se indica en la figura 4.44 y la curva obtenida en la figura 4.45.

FIGURA 4. 44 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 45 DATOS DEL STRAIN GAUGE 2_MURO 2

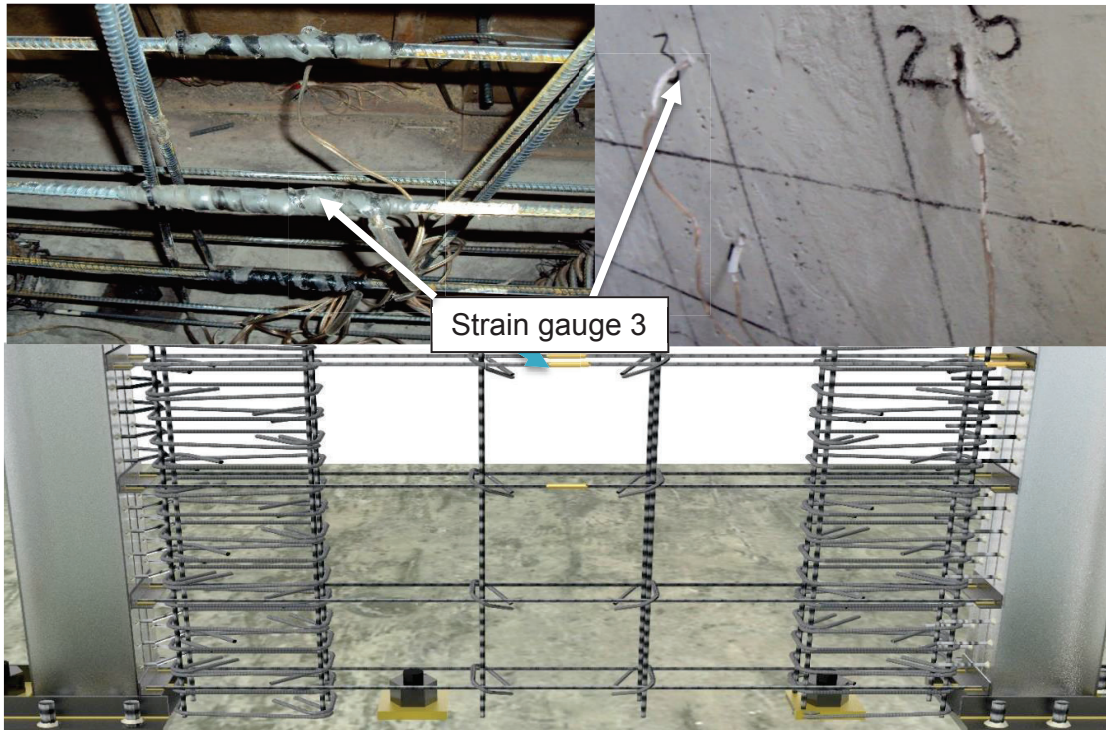


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.6 DATOS DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 2

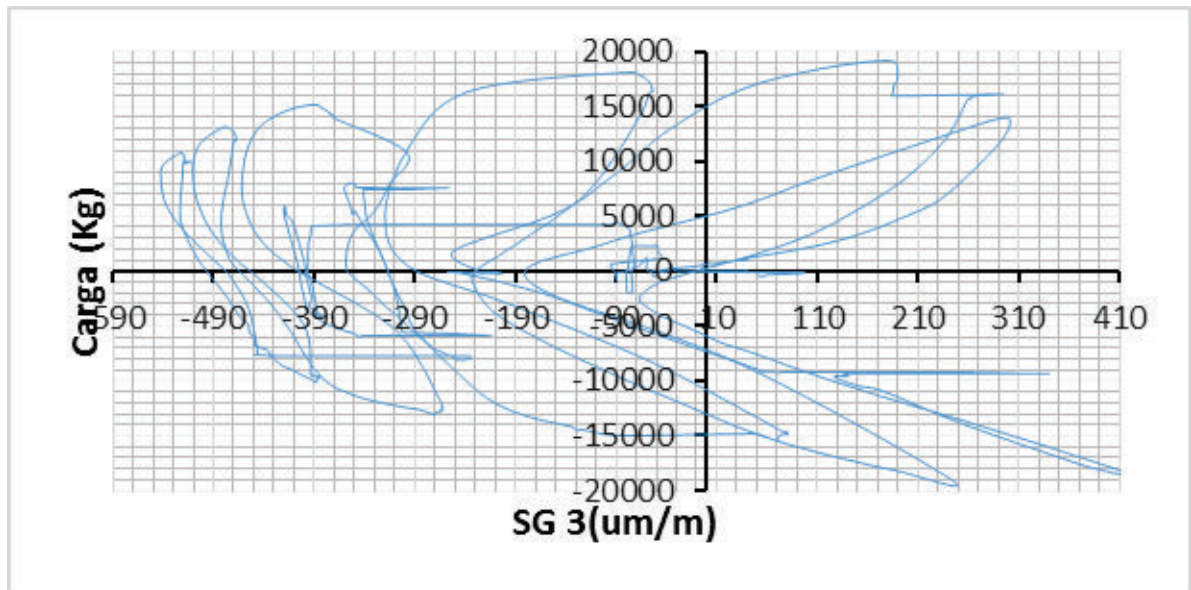
El strain gauge 3 se indica en la figura 4.46 y la curva obtenida en la figura 4.47.

FIGURA 4. 46 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 47 DATOS DEL STRAIN GAUGE 3_MURO 2

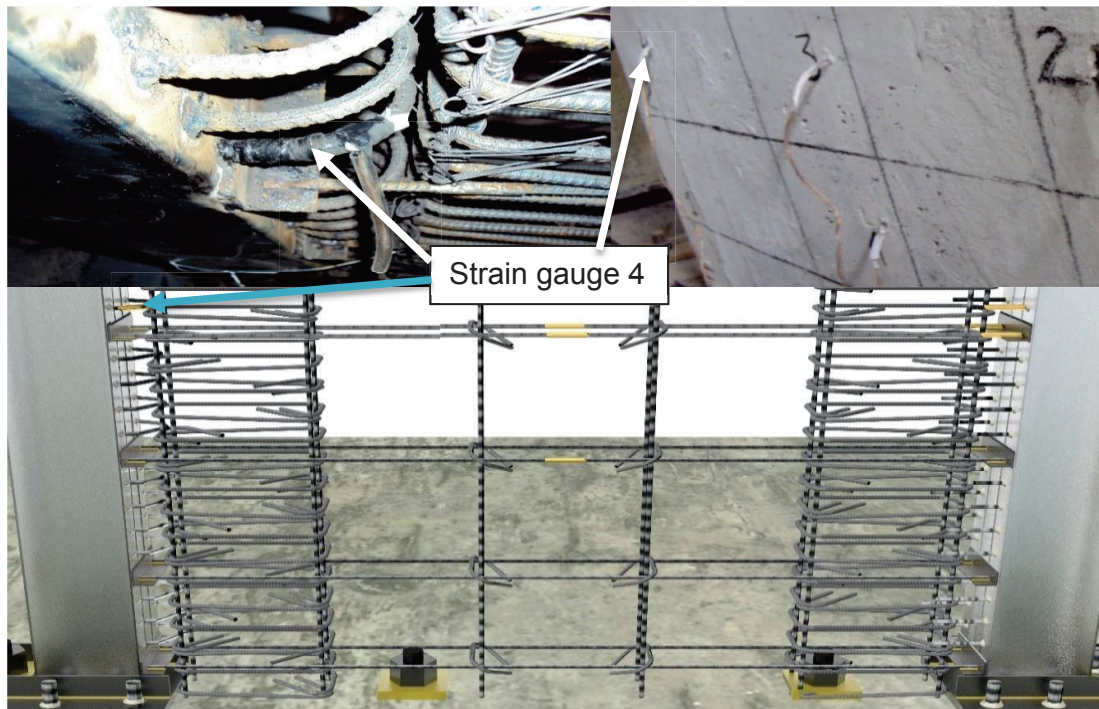


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.7 DATOS DEL STRAIN GAUGE 4_MURO 2

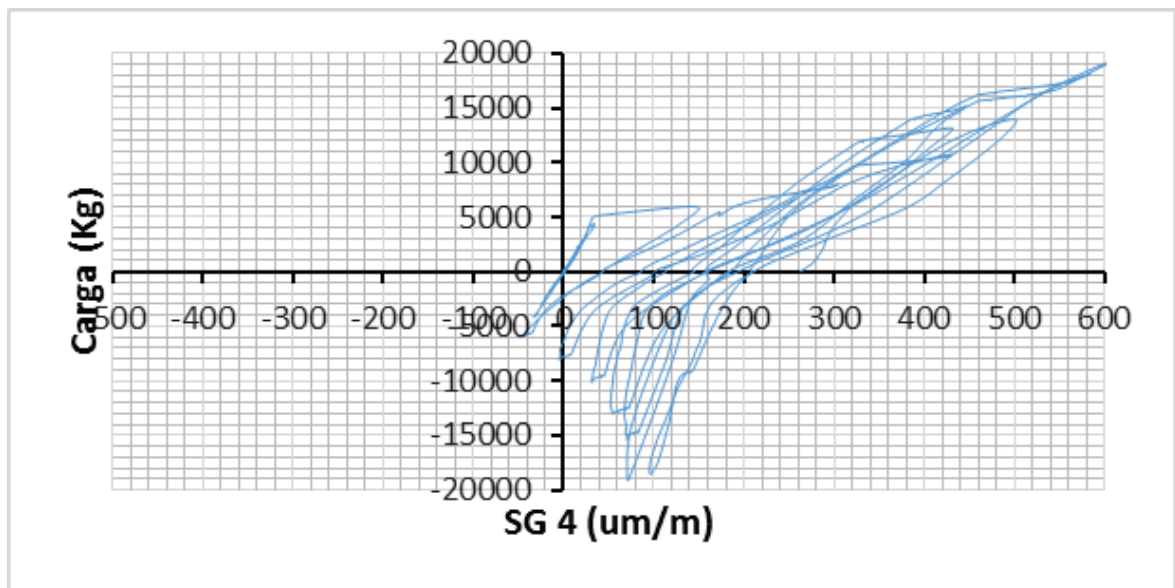
El strain gauge 4 se indica en la figura 4.48 y la curva obtenida en la figura 4.49.

FIGURA 4. 48 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 4_MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 49 DATOS DEL STRAIN GAUGE 4_MURO 2

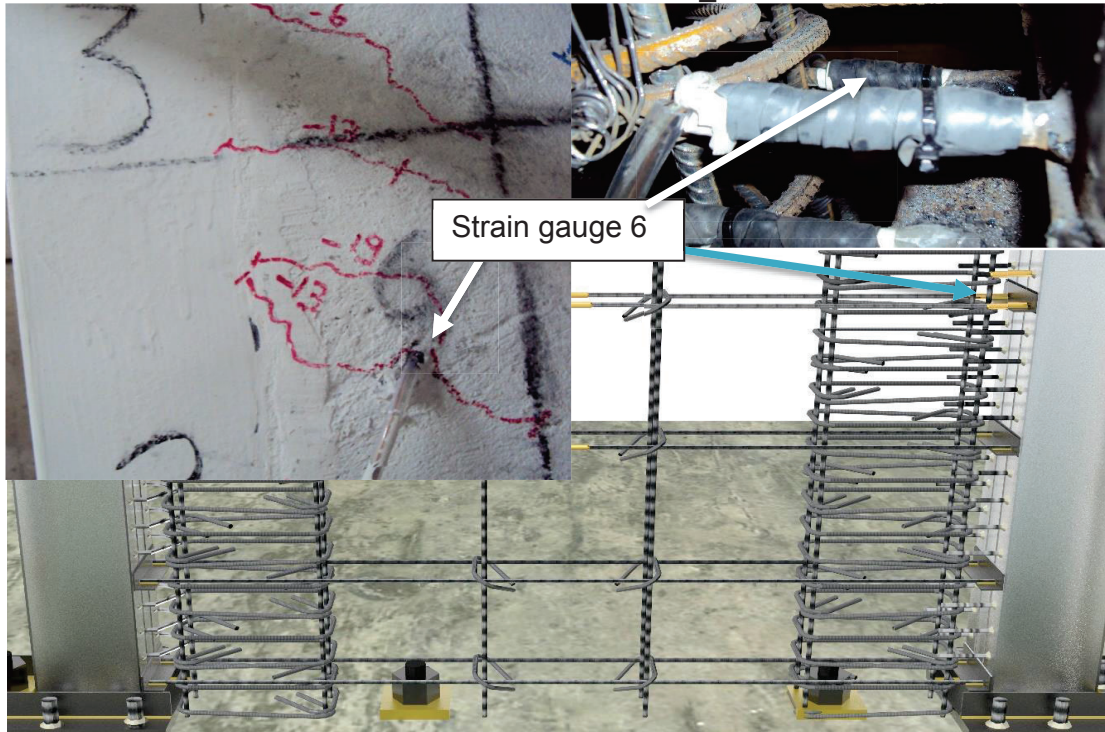


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.8 DATOS DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 2

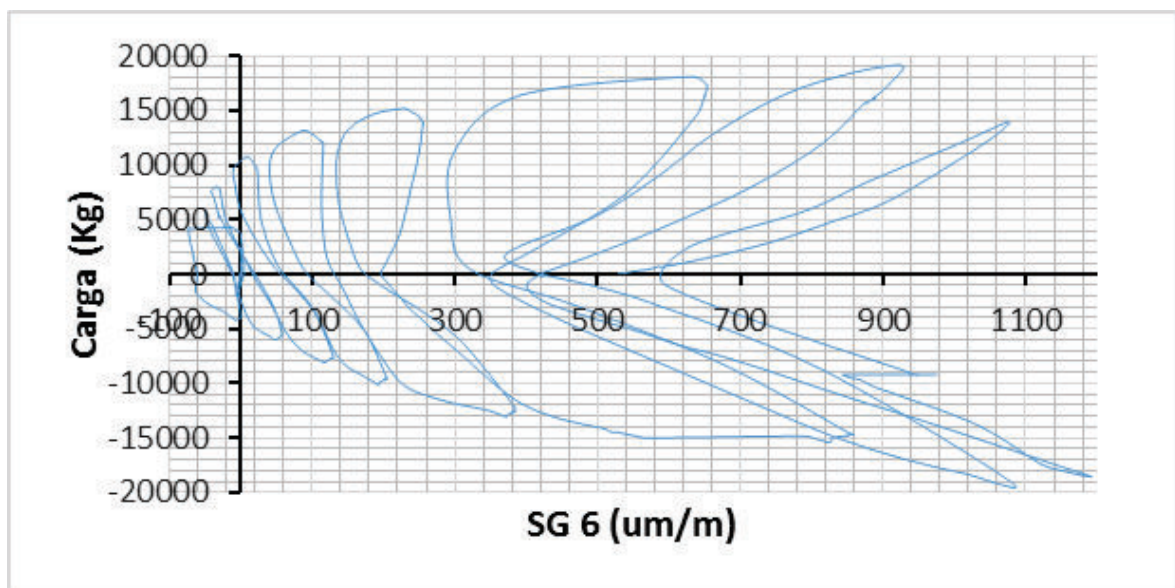
El strain gauge se indica en la figura 4.50 y la curva obtenida en la figura 4.51.

FIGURA 4. 50 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 51 DATOS DEL STRAIN GAUGE 6_MURO 2

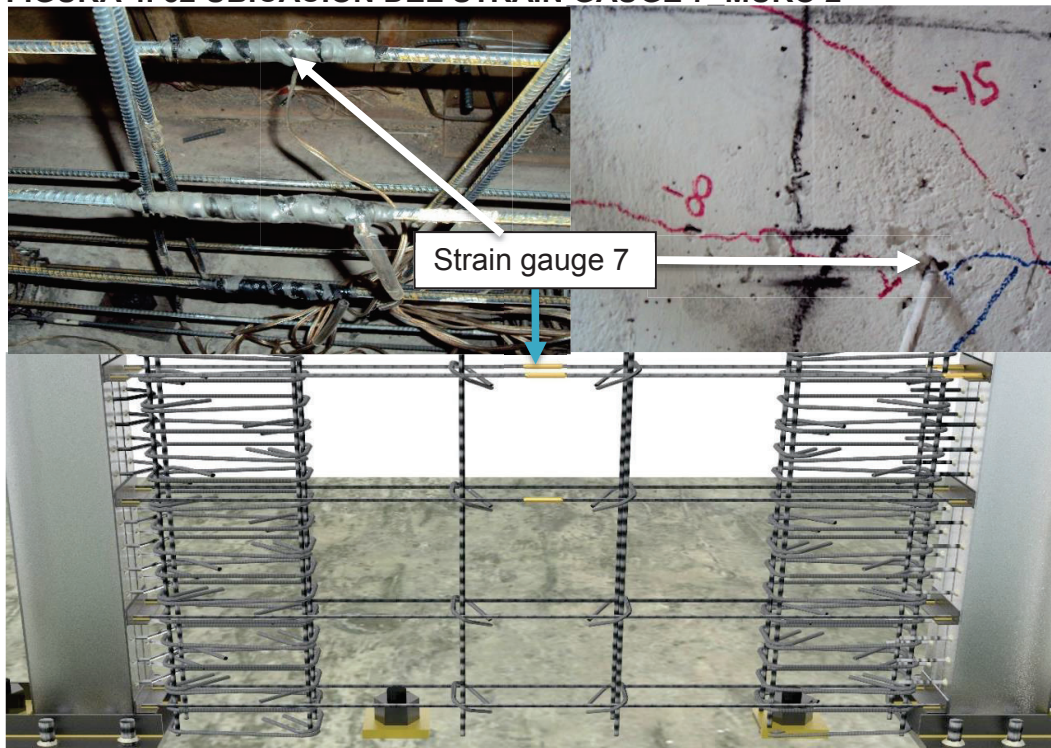


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.9 DATOS DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 2

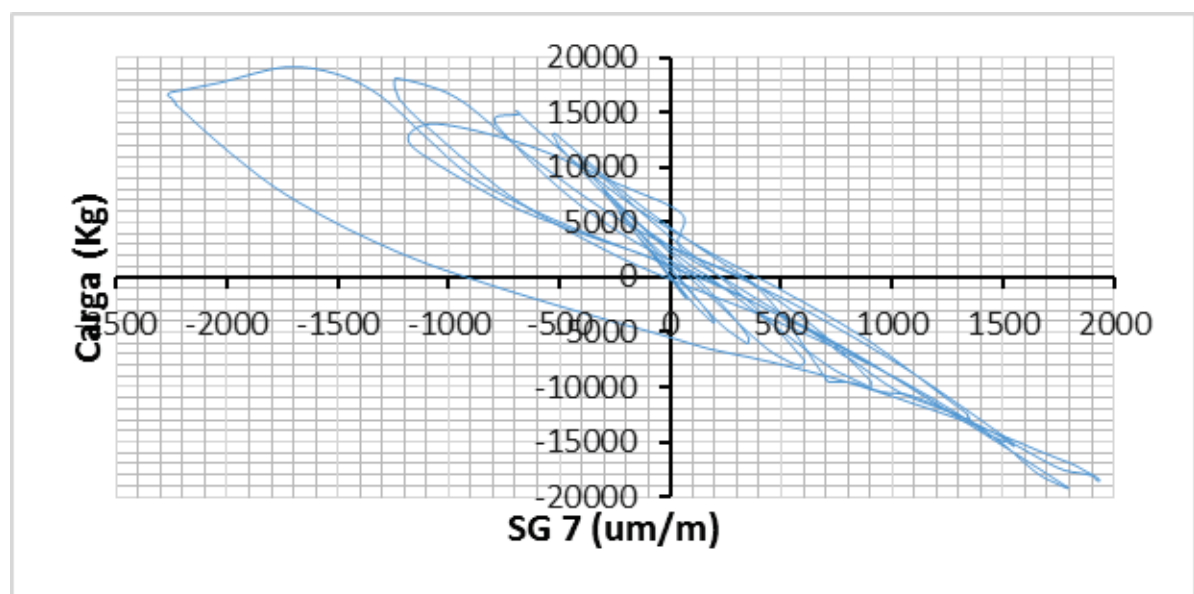
El strain gauge se indica en la figura 4.52 y la curva obtenida en la figura 4.53.

FIGURA 4. 52 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 7 MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 53 DATOS DEL STRAIN GAUGE 7_MURO 2

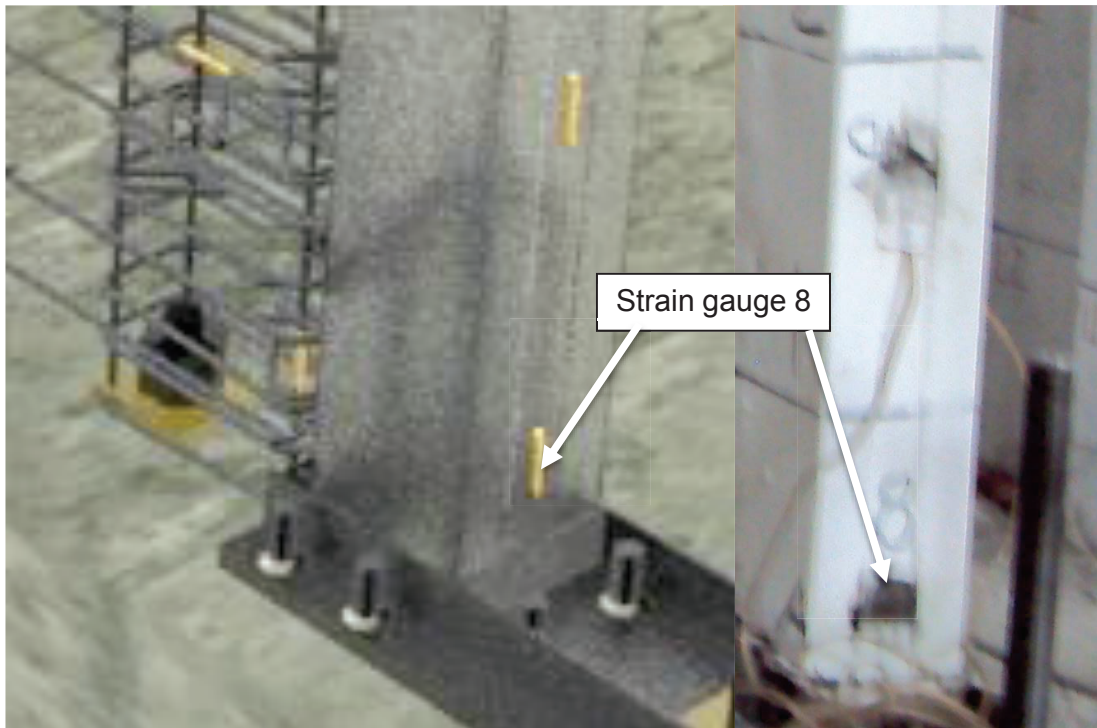


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.10 DATOS DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 2

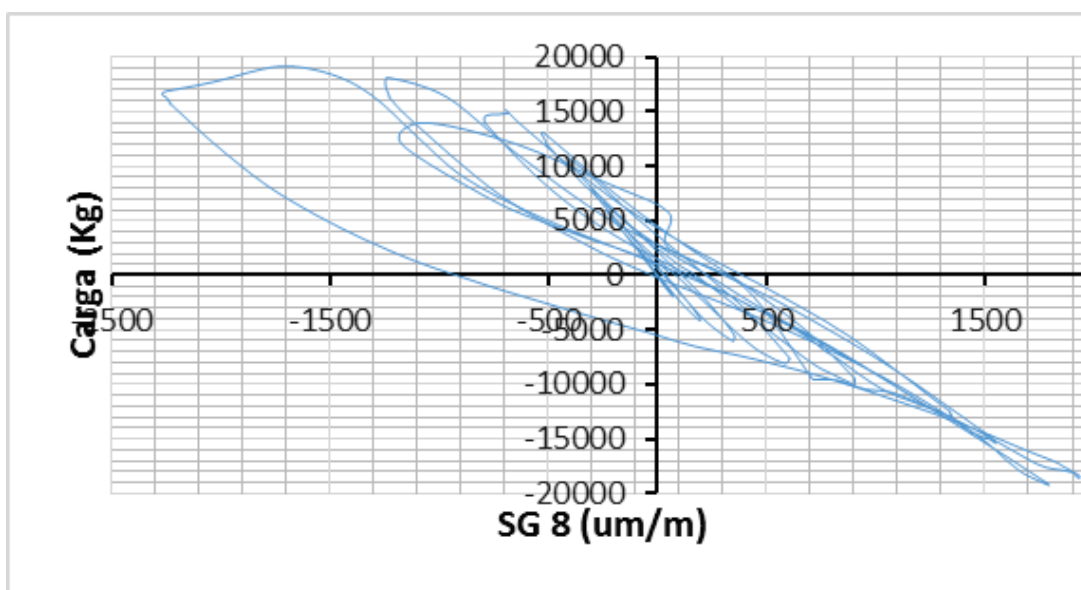
El strain gauge se indica en la figura 4.54 y la curva obtenida en la figura 4.55.

FIGURA 4. 54 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 55 DATOS DEL STRAIN GAUGE 8_MURO 1

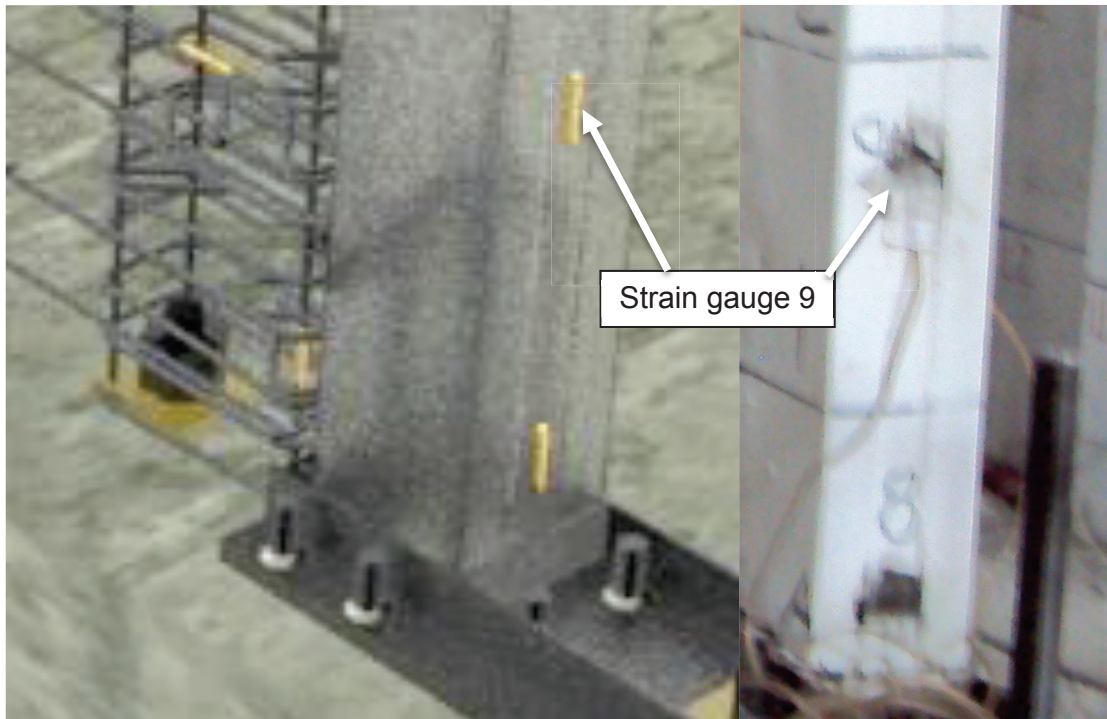


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.11 DATOS DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 2

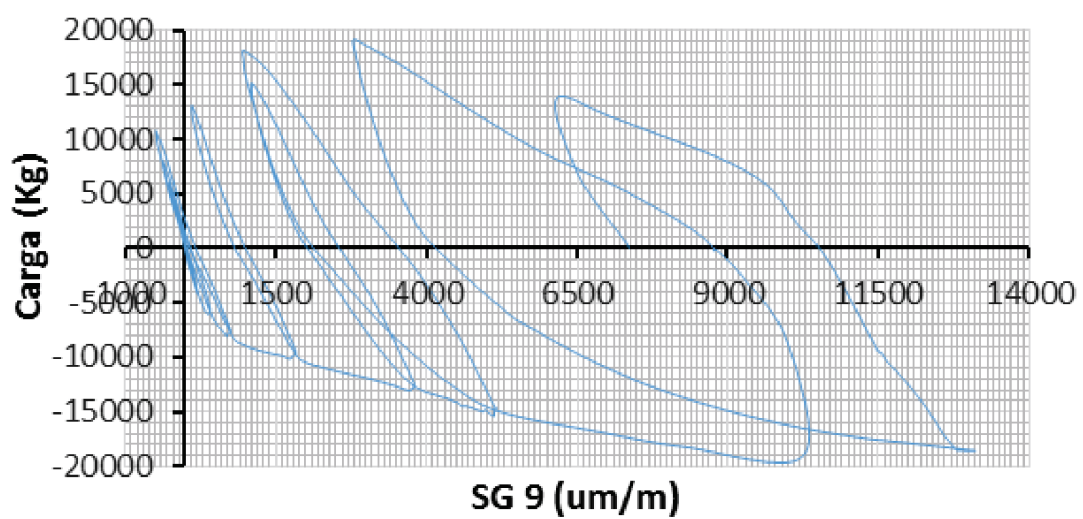
El strain gauge 9 se indica en la figura 4.56 y la curva obtenida en la figura 4.57.

FIGURA 4. 56 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 57 DATOS DEL STRAIN GAUGE 9_MURO 2

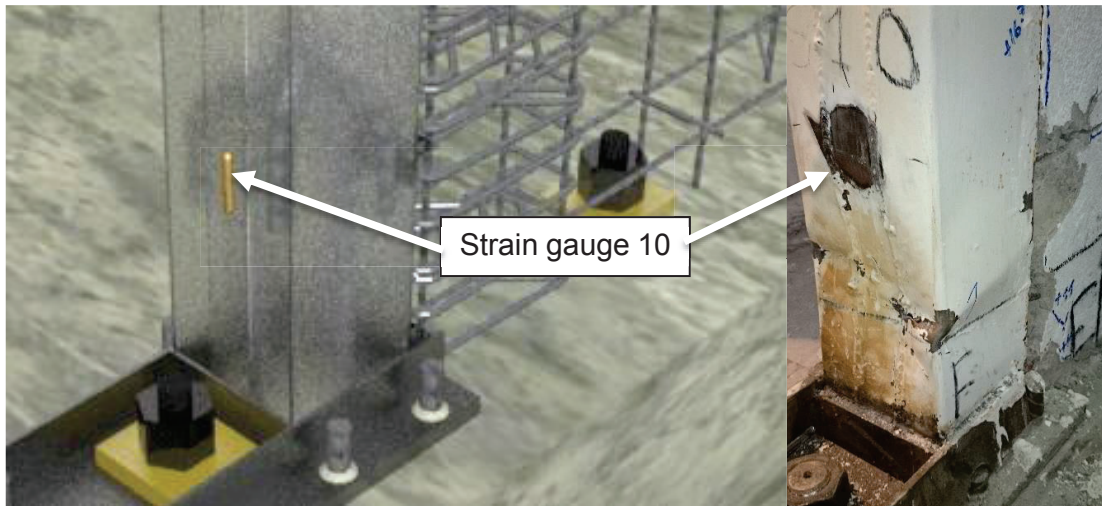


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

4.3.12 DATOS DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 2

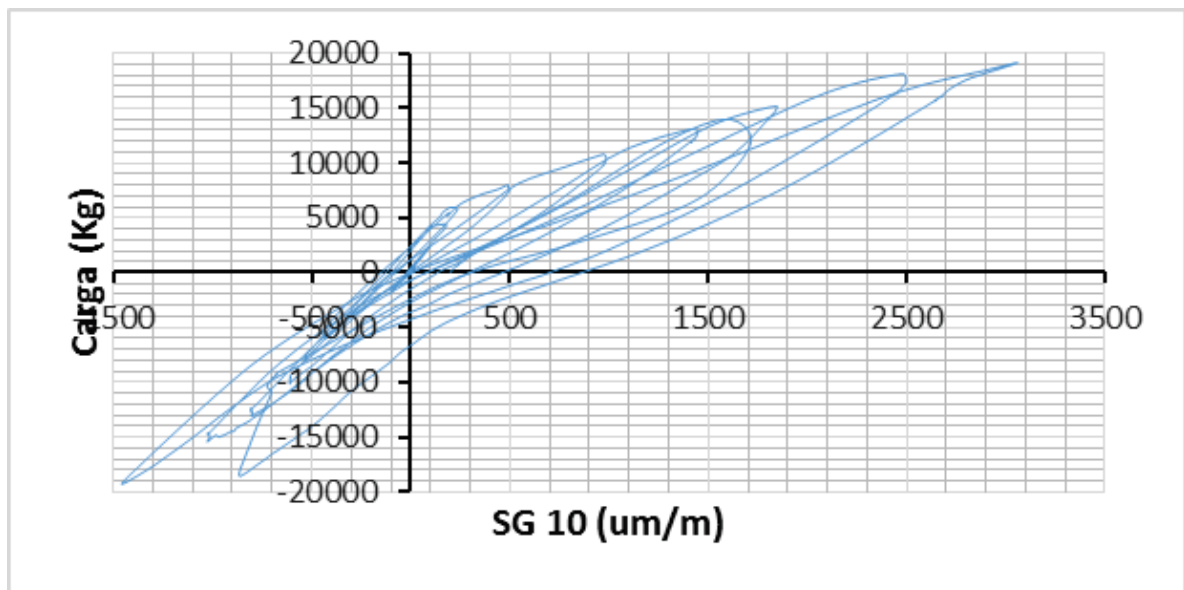
El strain gauge 10 se indica en la figura 4.58 y la curva obtenida en la figura 4.59.

FIGURA 4. 58 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 4. 59 DATOS DEL STRAIN GAUGE 10_MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

CAPÍTULO 5

5. MODELACIÓN Y ANALISIS

Con los datos experimentales de cada muro ensayado e indicado en el capítulo 3 se completa el modelo matemático y se lo compara con los resultados experimentales. Además se realiza un análisis de las particularidades de los ensayos.

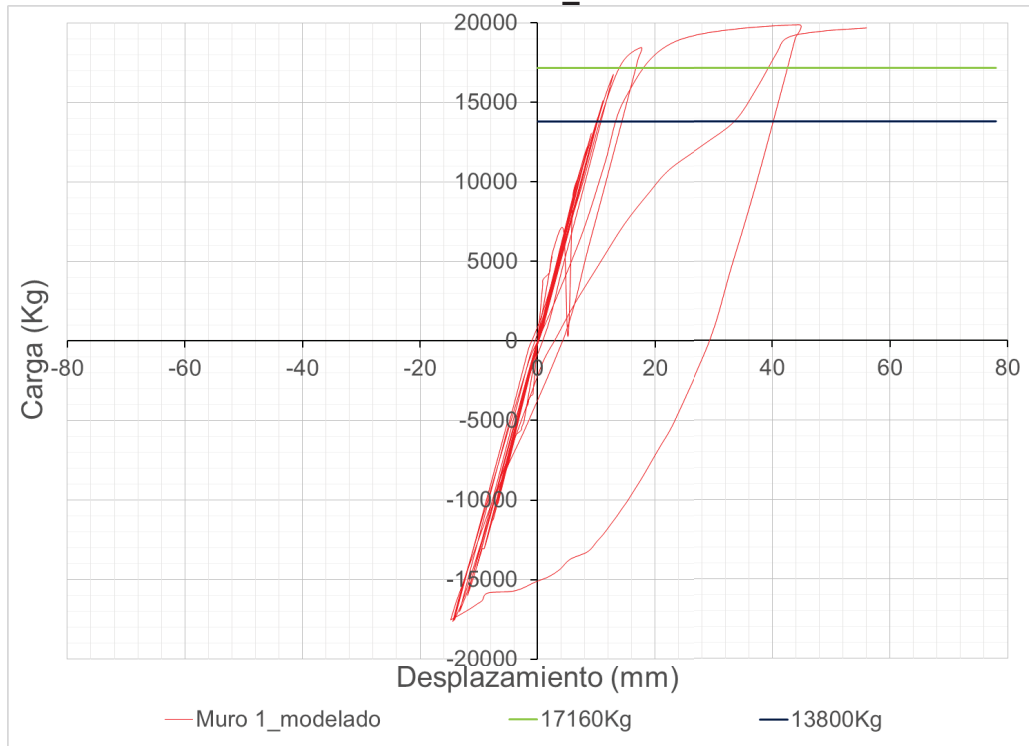
5.1 MODELACIÓN MATEMÁTICA

La modelación matemática se realiza en el punto donde se colocó el LVDT 1.

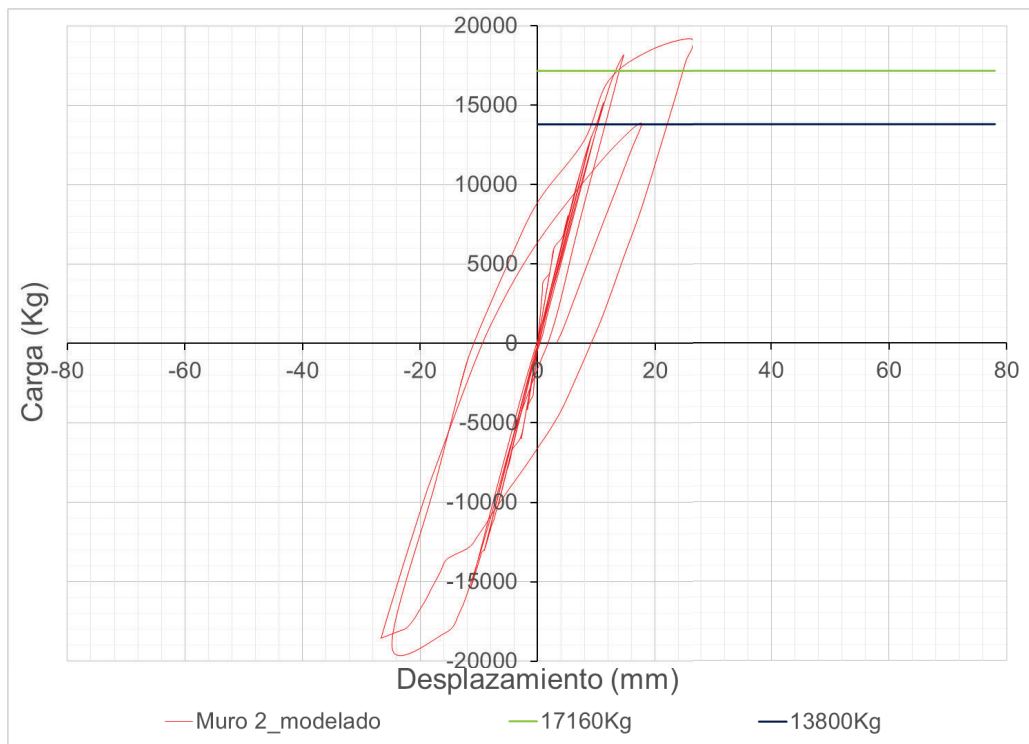
El modelo matemático con el que se empieza en el capítulo 2 y al cual se le añade las propiedades de los materiales ensayados en el capítulo 3, ahora se finaliza al emplear el ciclo de carga real para cada muro ensayado en el capítulo 4.

El muro 1 tiene un ciclo de carga indicado en la figura 4.13 al ingresar estos valores al programa "SeismoStruct" de igual manera a lo indicado en el capítulo 2 y 4 se obtiene la figura 5.1. En el muro 2 se tiene un ciclo de carga indicado en la figura 4.38 con el que se genera la figura 5.2

Con el diagrama de flexo-compresión de la figura 4.1 se calcula la fuerza lateral que se indica en la tabla 4.2. Con las propiedades especificadas se calcula una fuerza lateral de 13800Kg que en las figuras 5.1 y 5.2 se indica con una línea azul, mientras que la carga calculada con los materiales ensayados es de 17160Kg que en las gráficas siguientes se indica con una línea verde.

FIGURA 5. 1 HISTÉRESIS DEL MURO 1_MODELACIÓN

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5. 2 HISTÉRESIS DEL MURO 2_MODELACIÓN

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

5.1 LÍMITE DE CAPACIDAD DE LOS MUROS

En el cálculo capítulo 2 se observa que los muros tienen mayor capacidad a corte que a flexión, por lo que se espera que se agoten en flexión. Los muros tienen un comportamiento similar, sin embargo, llegaron al límite de su capacidad de forma diferente.

5.1.1 AGOTAMIENTO DEL MURO 1

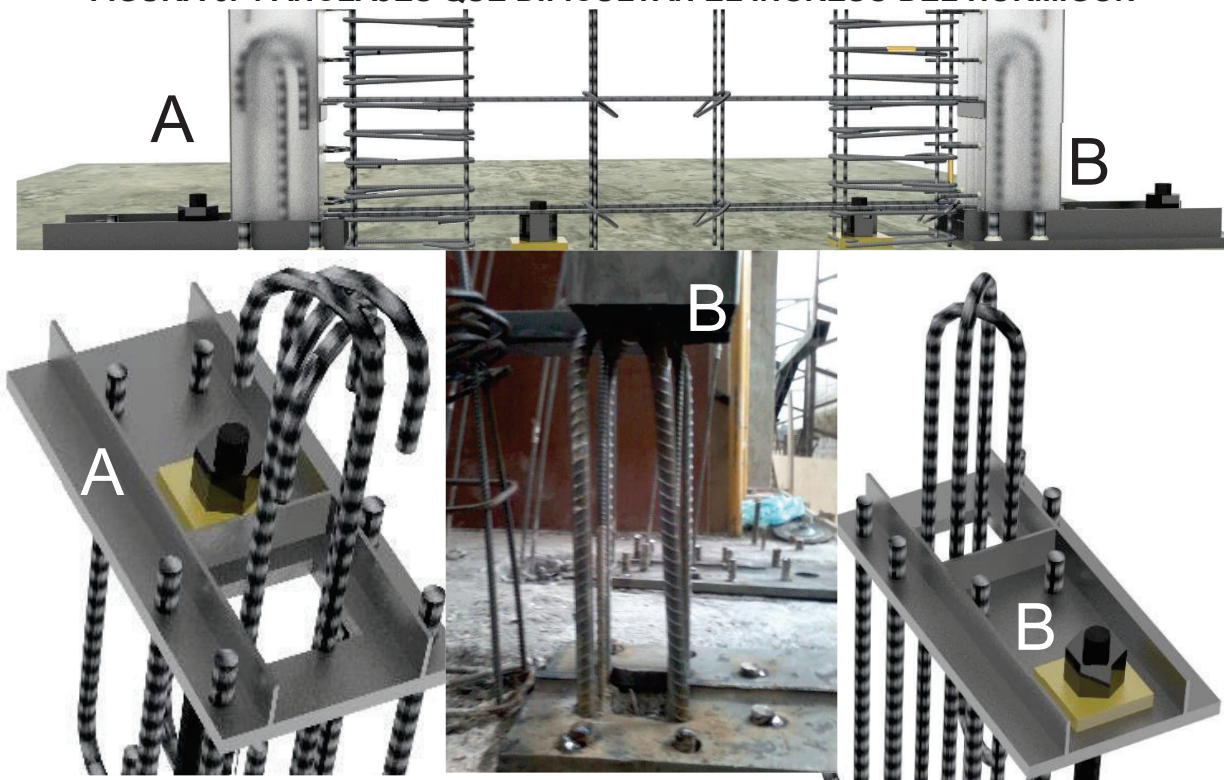
El agotamiento del muro 1 se da cuando el cabezal no puede resistir la carga axial (figura 5.3) debido a la falta de hormigón en la base consecuencia de los aceros de refuerzo colocados que reducen el área de la sección transversal (figura 5.4), además que el material se lo depositó a 4.35m de altura.

FIGURA 5. 3 AGOTAMIENTO DEL CABEZAL DEL MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5. 4 ANCLAJES QUE DIFICULTAN EL INGRESO DEL HORMIGÓN

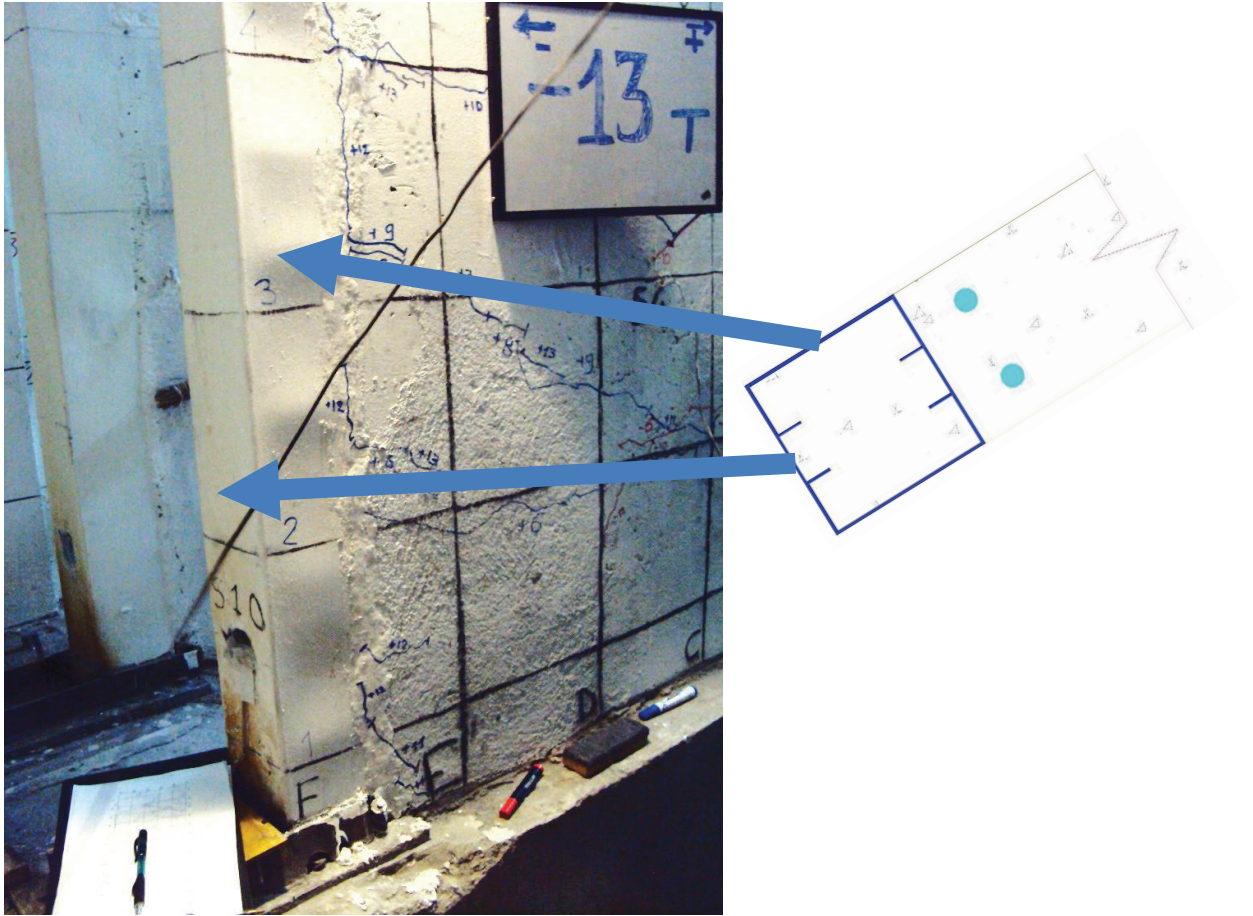


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Los refuerzos empleados para anclar las placas dificultan el ingreso del hormigón, se puede notar que el anclaje A tiene el doble de sección transversal que el anclaje B por lo que es más difícil el ingreso del hormigón por el anclaje A. Esta dificultad no se presenta en el muro 2, aunque la altura de segregado si influencia en la calidad de hormigón que llega a la base del cabezal.

En la figura 5.5 se observa el comportamiento de la sección del cabezal, el lado no rigidizado presenta una deformación en forma de olas, mientras que el rigidizado no lo presenta.

En la figura 5.6 se observa cómo se agota el muro, en la figura 5.7 se indica la falta de concreto en cada base de cabezal y en la figura 5.8 se esquematiza la fisura predominante

FIGURA 5. 5 DEFORMACIÓN DEL CABEZAL

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5. 6 AGOTAMIENTO DEL MURO 1

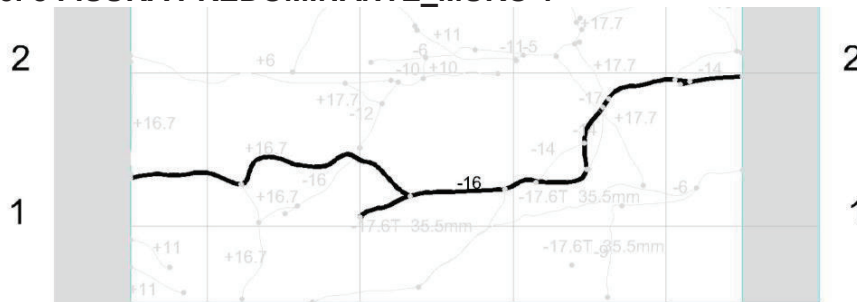
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5. 7 AGOTAMIENTO DEL MURO 1_ANCLAJES



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5. 8 FISURA PREDOMINANTE_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

5.1.2 AGOTAMIENTO DEL MURO 2

A diferencia del muro 1, en el muro 2 el hormigón si llegó a la base del cabezal lo que le permitió resistir la carga axial que le comprimía y el agotamiento se produce en la base del cabezal por una fuerza de tracción (figura 5.9 y 5.10) y la fisura predominante se indica en la figura 5.11.

FIGURA 5. 9 AGOTAMIENTO DEL MURO 2_ CABEZAL A

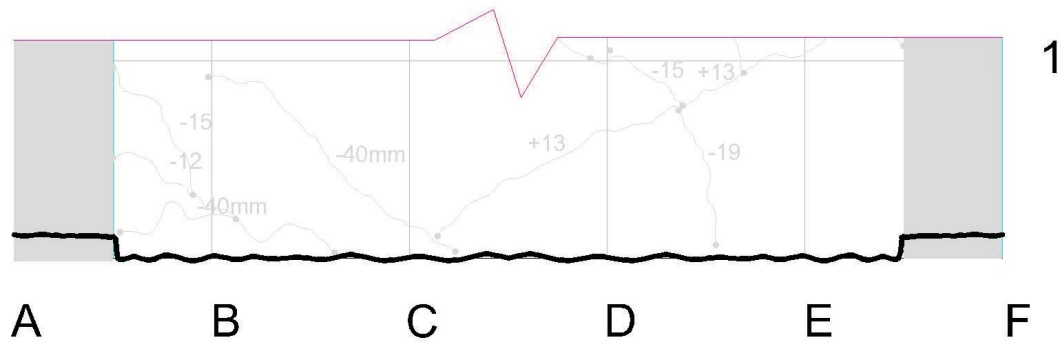


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5. 10 AGOTAMIENTO DEL MURO 2_ CABEZAL B



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

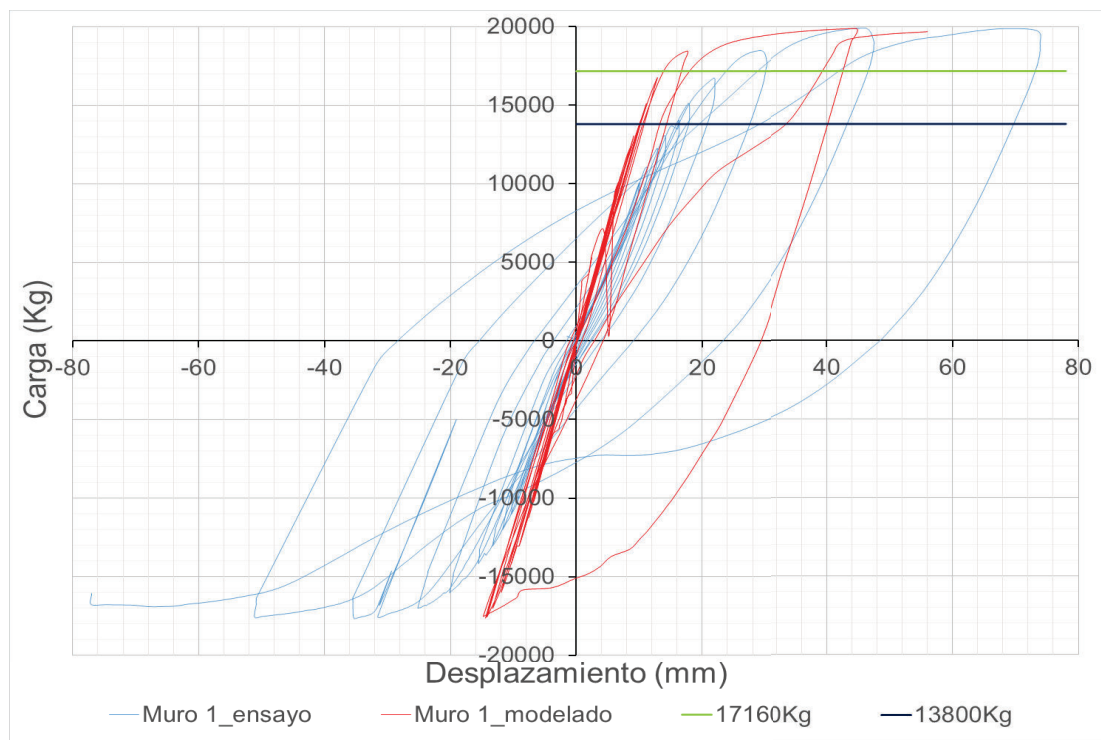
FIGURA 5. 11 FISURA PREDOMINANTE_MURO 2

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Al estar las columnas rellenas de hormigón que puede resistir la compresión no se producen las olas formadas en el muro 1 y que se indican en la figura 5.5

5.2 MODELACIÓN VS DATOS EXPERIMENTALES

En la figura 5.12 se compara los datos obtenidos de la experimentación con la modelación matemática para el muro 1 y en la figura 5.13 para el muro 2.

FIGURA 5. 12 MODELACIÓN VS EXPERIMENTACIÓN_MURO 1

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la figura 5.12 se puede observar:

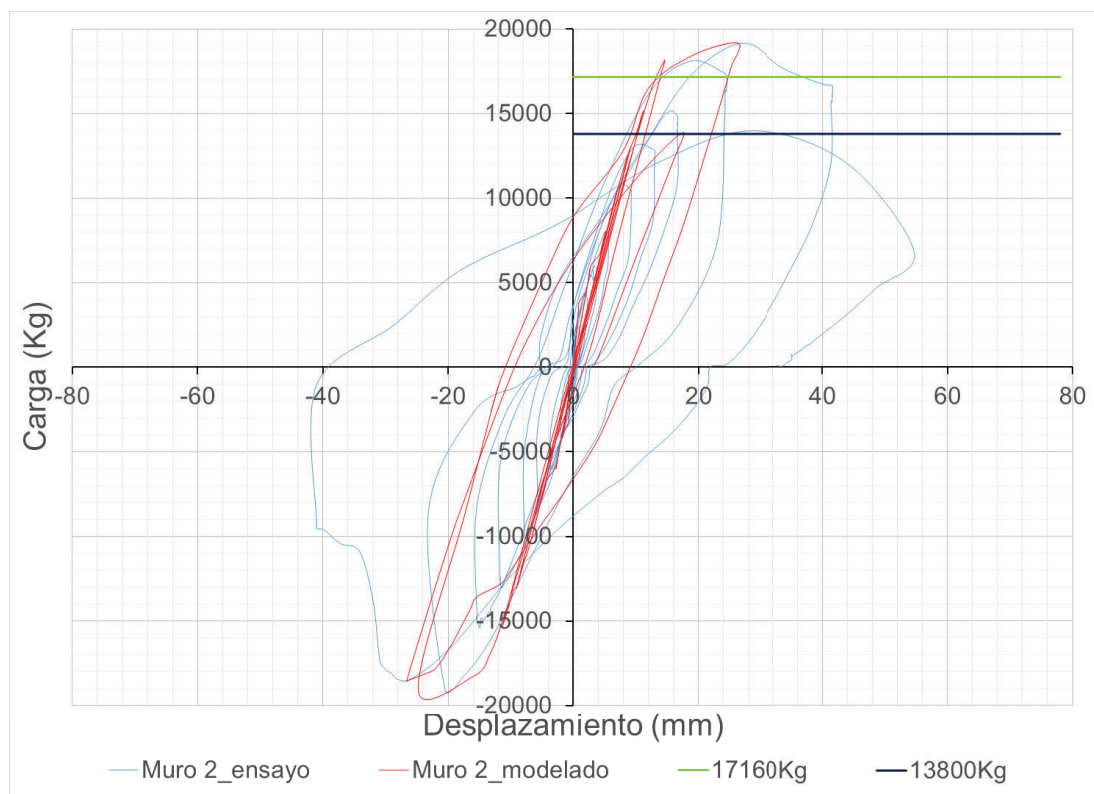
La recta azul de 13800Kg es el valor de la fuerza lateral calculada con el diagrama de flexo-compresión y los valores especificados de los materiales. Mientras que la recta verde de 17160Kg es calculada con los valores obtenidos en los ensayos de los materiales.

La curva Muro 1_ensayo (celeste) corresponde a la histéresis registrada durante el ensayo del muro 1.

La curva Muro 1_modelado (rojo) corresponde a la histéresis elaborada en el modelo matemático.

En la curva Muro 1_ensayo hay mayor deformación que en la curva Muro 1_modelado esto se debe a que en la modelación no se ha tomado en cuenta el giro que se ha producido en las bases de los cabezales debido a la falta de hormigón como se indicó en el apartado 5.1.

FIGURA 5. 13 MODELACIÓN VS EXPERIMENTACIÓN_MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la figura 5.13 se puede observar:

La recta azul de 13800Kg es el valor de la fuerza lateral calculada con el diagrama de flexo-compresión y los valores especificados de los materiales. Mientras que la recta verde de 17160Kg es calculada con los valores obtenidos en los ensayos de los materiales.

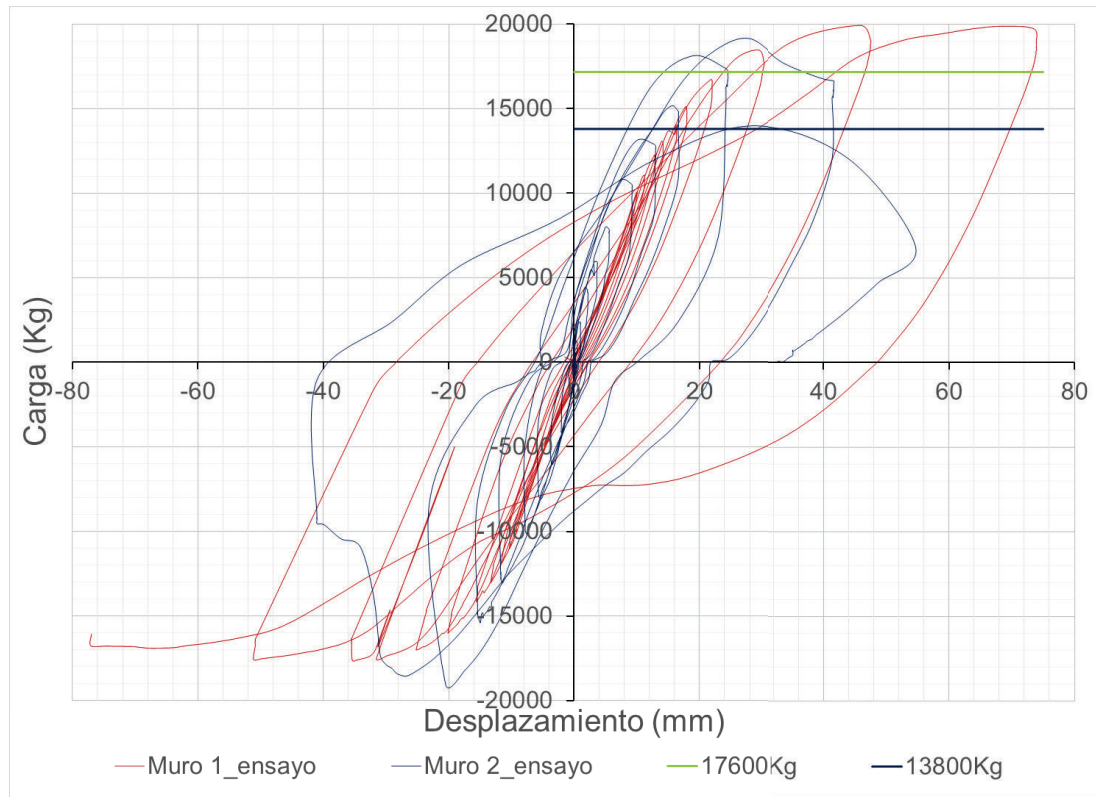
La curva Muro 2_ensayo (celeste) corresponde a la histéresis registrada durante el ensayo del muro 2.

La curva Muro 2_modelado (rojo) corresponde a la histéresis elaborada en el modelo matemático.

En la curva Muro 2_ensayo hay similar deformación que en la curva Muro 2_modelado exceptuando los dos últimos ciclos de carga esto debido a que las bases de los cabezales estaban llenas de hormigón lo que difiere del muro 1 como se indica en el apartado 5.1.

5.3 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL MURO 1 Y 2

En la figura 5.14 se indica el comportamiento registrado por el LVDT 1, con el color rojo se identifica al muro 1 y el color azul para el muro 2. Además en la figura 5.15 se indican el resultado de la modelación para ambos muros.

FIGURA 5. 14 MURO 1 VS MURO 2

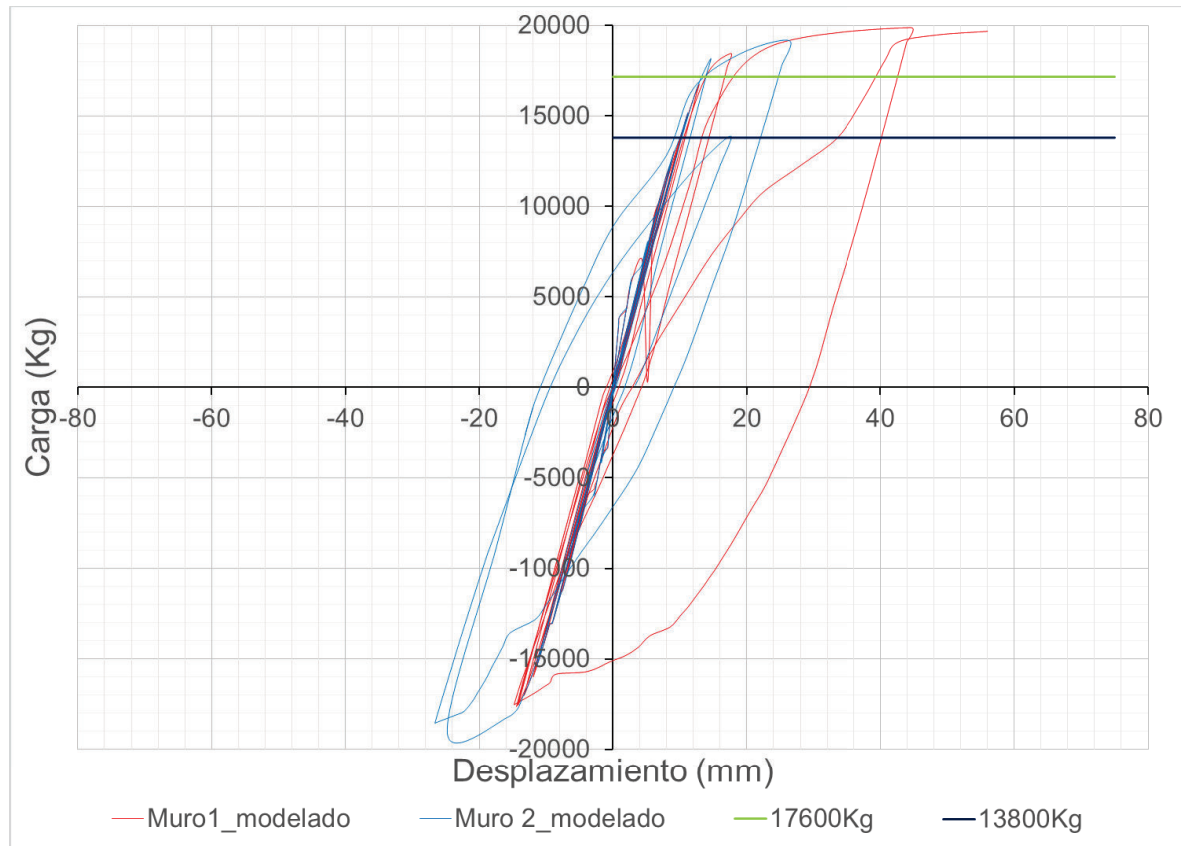
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la figura 5.14 se puede observar:

Los dos muros tienen resistencias similares, sin embargo, el muro 1 se deforma más que el segundo debido principalmente a la falta de hormigón en la base de los cabezales en el muro 1, como se indica en los literales anteriores.

Los valores extremos de carga son similares en los dos casos como se indica en la tabla 5.1

En ambos ensayos los muros resisten las cargas calculadas con el diagrama de flexo-compresión, 13800Kg para los valores especificados de materiales y 17600Kg con los datos de los materiales ensayados.

FIGURA 5. 15 MURO 1 VS MURO 2

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la figura 5.15 se observa:

En la modelación los dos muros se comportan de forma similar en la parte lineal, en el rango no lineal difiere el comportamiento registrando mayor deformación en el muro 1.

En la modelación los dos muros tienen igual inclinación en el rango lineal lo que difiere de lo ensayado pues en la experimentación el muro 1 está más inclinado. Esto se debe a que al modelar el muro 1 no se ha considerado la deformación producida por la falta de hormigón en la base del muro 1

Los valores máximos y mínimos de las modelaciones se presentan en la tabla 5.1

TABLA 5. 1 VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS

	Muro 1 ensayo	Muro 2 ensayo	Muro 1 modelado	Muro 2 modelado
Carga máxima (Kg)	19918	19133	19878	19164
Carga mínima (Kg)	-17624	-19066	-17635	19062
Deformación máxima (mm)	74	55	56	26
Deformación mínima (mm)	-77	-41	-15	-27

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la tabla 5.1 se observa:

En el muro 1 hay una gran variación entre la carga positiva y negativa, en la carga negativa se produce la falla en la base del cabezal (por una carga de compresión). Correspondiente al anclaje "A" que tiene mayor cantidad de acero de refuerzo que el anclaje B y dificulto mayormente el ingreso del hormigón.

En el muro 2 la carga positiva y negativa son similares debido a que las dos bases de los cabezales están fundidas de igual forma.

El muro 1 tiene desplazamientos mayores que el muro 2 por razones de falta de hormigón en la base del muro 1, por otro lado, en el muro 1_modelado tiene mayor desplazamiento que en el muro 2_modelado debido a la diferencia en la carga aplicada.

A pesar de que el muro 1 fallo por compresión en el cabezal, registra una mayor carga que el muro 2 que si fallo en la base del cabezal por una fuerza a tracción, esto se explica por los aceros de refuerzo que traspasan las placas de anclaje y a pesar de que no tienen una longitud de desarrollo que garantice la adherencia al hormigón si incremento la resistencia a la flexión del muro 1.

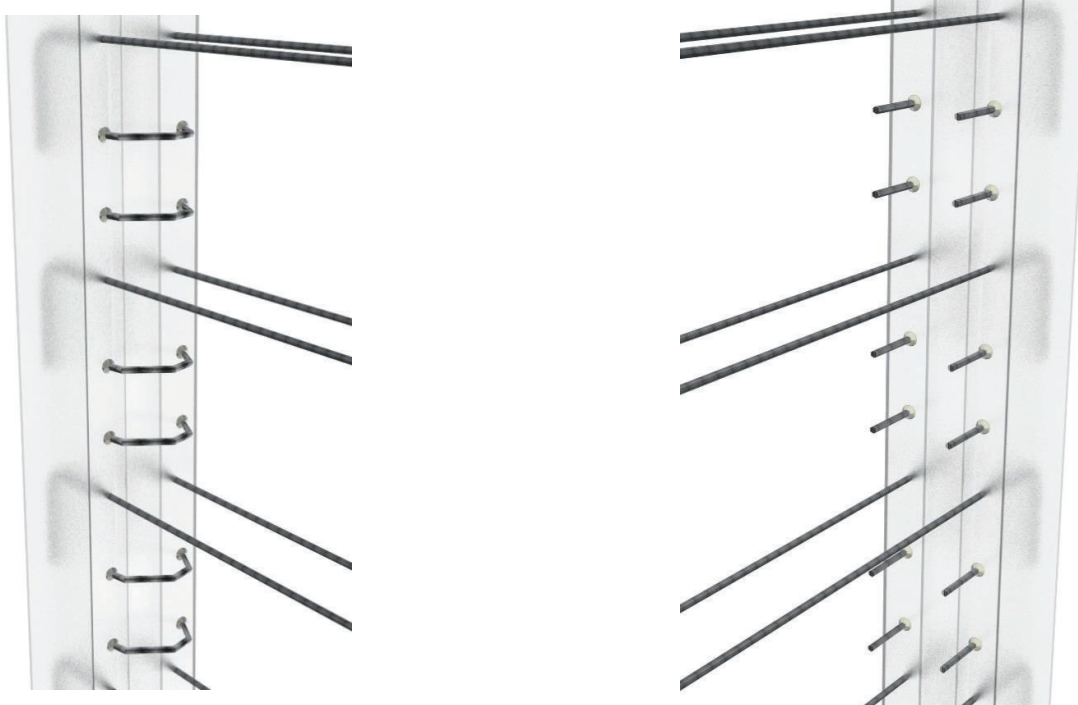
5.4 ESTUDIO DE LAS CONEXIONES

Se emplea conectores rectos y curvos para unir el hormigón al acero, sin embargo, cada muro está conectado de diferente forma.

5.4.1 CONEXIÓN DEL MURO 1

El muro 1 está conectado como se indica en la figura 2.16 y se detalló en el capítulo 2.

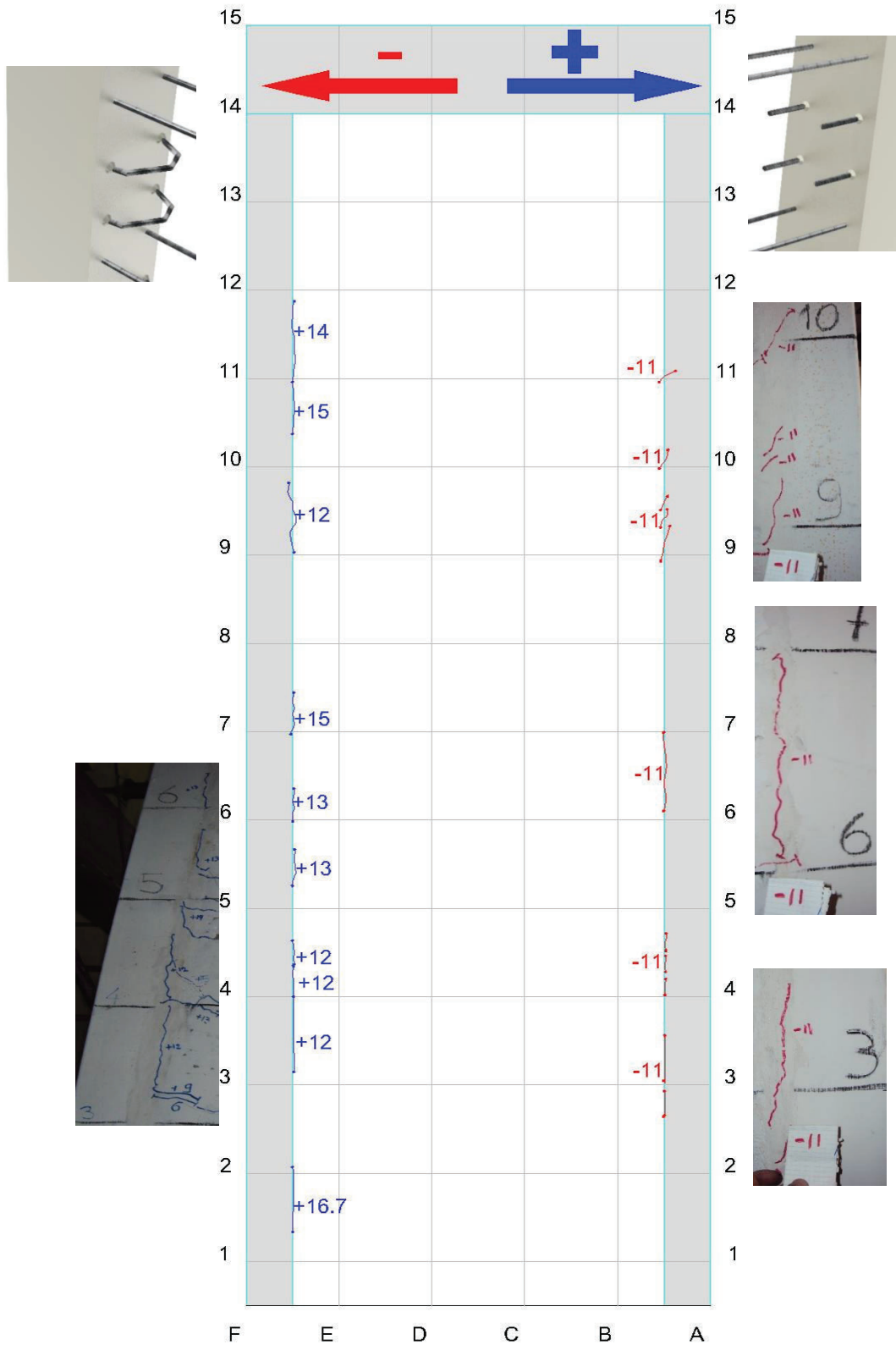
FIGURA 5.16 CONEXIÓN_MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Las fisuras entre los cabezales y el arma de hormigón están relacionadas con el comportamiento de los conectores. En la figura 5.17 se indica el mapeo de las fisuras correspondientes

FIGURA 5.17 MAPEO DE LAS FISURAS DEL MURO



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Nota: en el impreso de la presenta investigación no se puede observar los detalles de las fotos que si se las observa en la presentación digital.

En la figura 5.17 se observa:

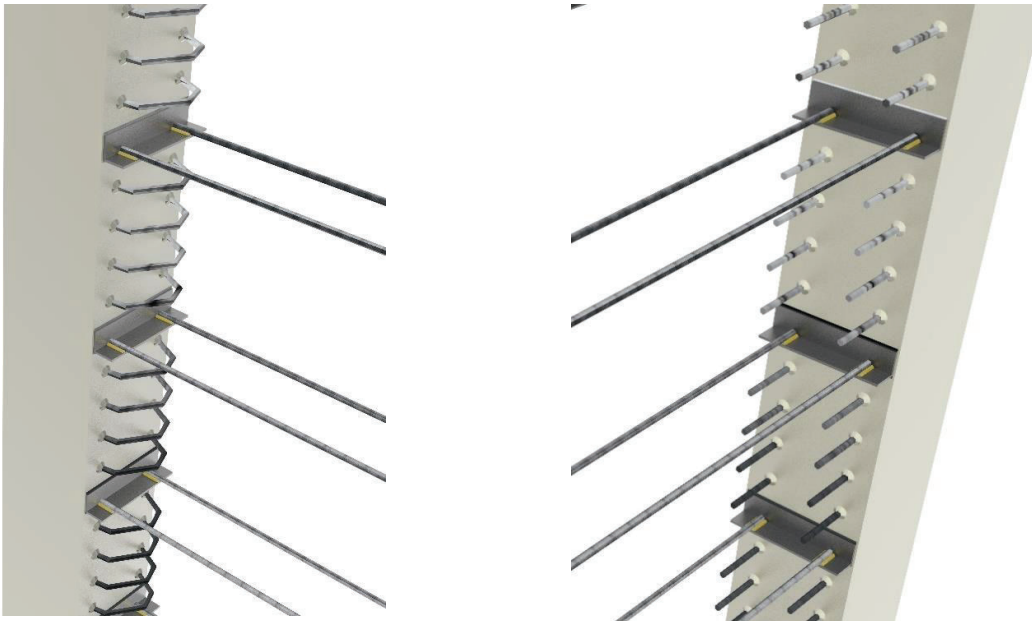
Las fisuras son muy finas.

En el lado de los conectores rectos aparecieron las primeras fisuras a la -11T, sin embargo, no ha ido aumentando. En cambio en el lado de los conectores curvos aparecen a las +12T, +13T, +14T, +15T y +16.7T. Finalmente no hay gran diferencia entre la cantidad ni el grosor de las fisuras en los dos lados, por lo que se concluye que la forma de los conectores no ayuda a disminuir las fisuras.

5.4.2 CONEXIÓN DEL MURO 2

El muro 1 está conectado como se indica en la figura 2.15 y se detalló en el capítulo 2.

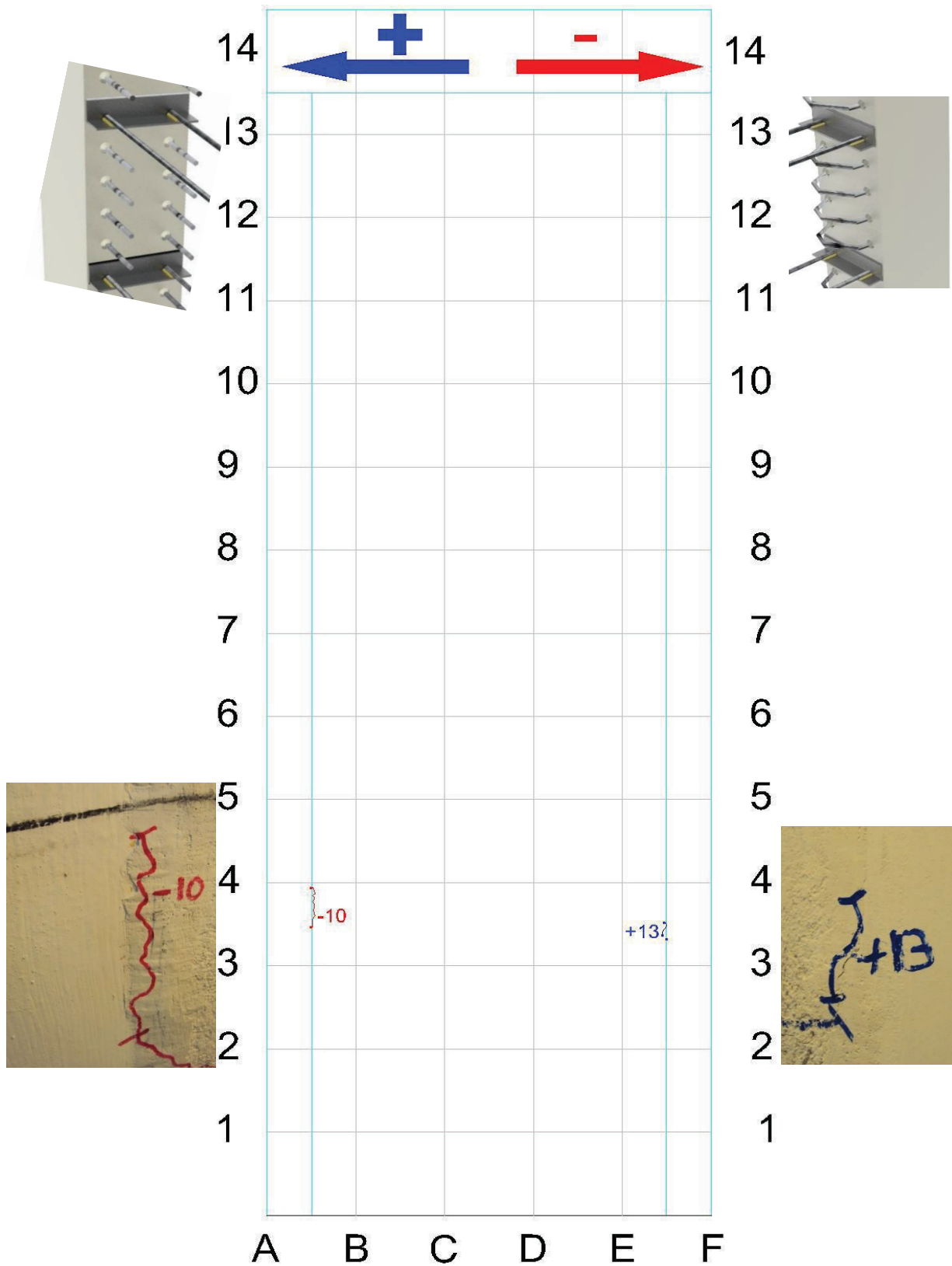
FIGURA 5.18 CONEXIÓN_MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Las fisuras entre los cabezales y el arma de hormigón están relacionadas con el comportamiento de los conectores. En la figura 5.19 se indica el mapeo de las fisuras correspondientes.

FIGURA 5.19 MAPEO DE LAS FISURAS DEL MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la figura 5.19 se observa:

Las fisuras son muy finas.





En el lado de los conectores rectos apareció la primera fisura a las -10T, sin embargo, no ha ido aumentando. En cambio en el lado de los conectores curvos aparecen a la +13T. Finalmente no hay gran diferencia entre la cantidad ni el grosor de las fisuras en los dos lados, por lo que se concluye que la forma de los conectores no ayuda a disminuir las fisuras.

En el muro 2 al tener el doble de conectores ha permitido casi eliminar las fisuras.

5.5 ANÁLISIS DE FISURAS

En este apartado se utilizara la simbología de colores indicada en la tabla 5.1 para las fisuras que aparecen según la carga

TABLA 5. 2 IDENTIFICACIÓN DE COLORES PARA LAS FISURAS

Carga	Muro 1	Muro 2
Positiva		
Negativa		

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

5.5.1 APARICIÓN DE LA PRIMERA FISURA

En la sección 2.8 del capítulo 2 se indica el cálculo del momento de agrietamiento y se indica que la primera fisura puede aparecer entre 3.47T y 6.94T. Con los datos obtenidos en el ensayo se tiene los valores de la tabla 5.3.

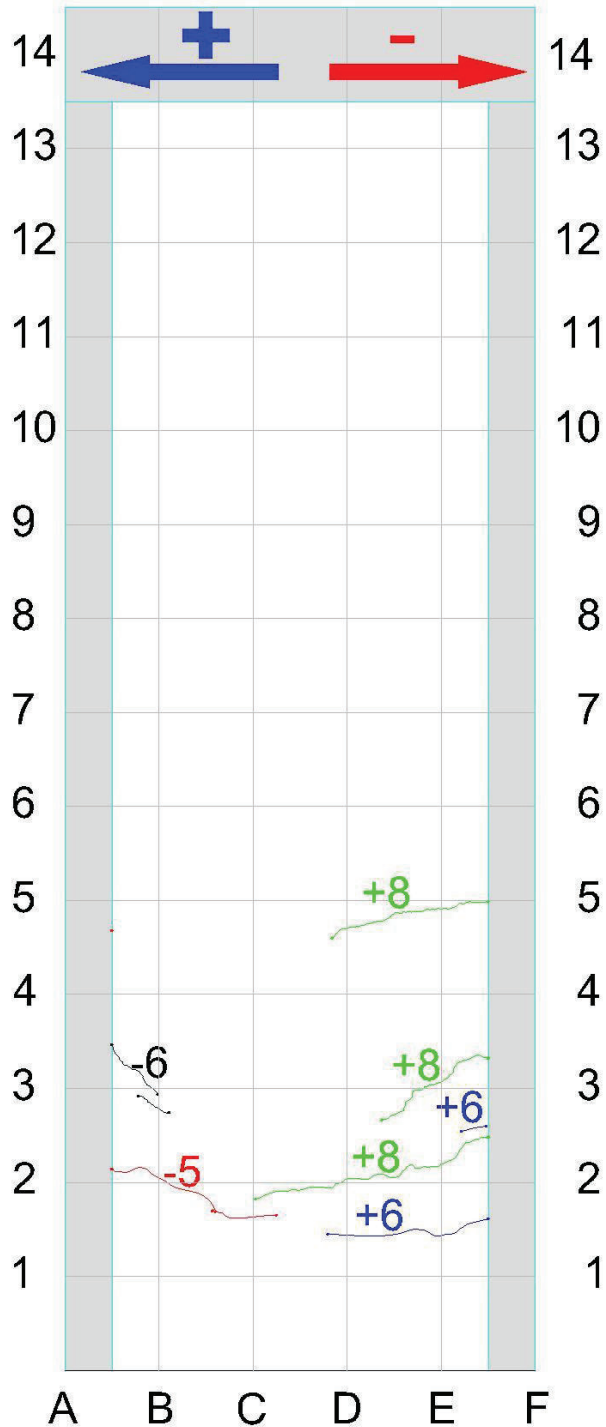
TABLA 5. 3 IDENTIFICACIÓN DE COLORES PARA LAS FISURAS

Muro	Carga (T)	Magr(T-m)	ft(Kg/cm2)	t
Muro 1	5	21.00	37.33	2.5
Muro 2	6	25.20	44.80	3.0
Muro 2	8	33.60	59.73	4.0

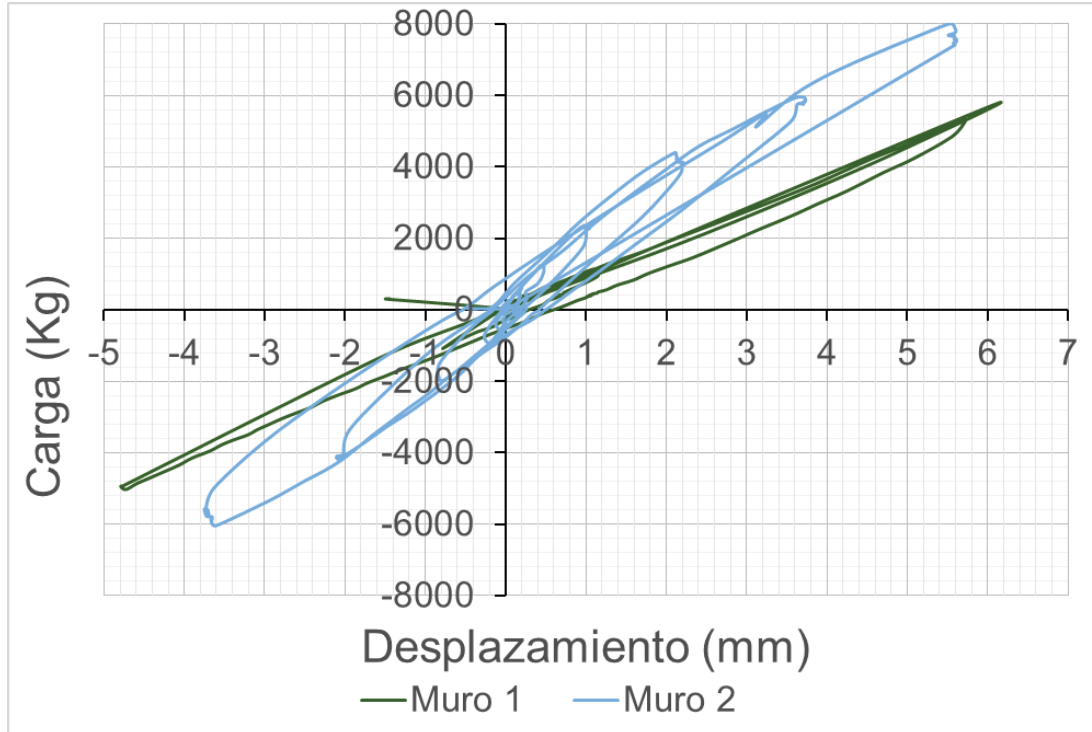
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En el muro 1 se presenta la primera fisura a $-5T$ y en $+8T$, mientras que en el muro 2 se presenta a $-6T$ y $+8T$ (figura 5.20). Además las fisuras en el muro 2 se ubican más arriba de las del muro 1 por tener una base llena de hormigón.

FIGURA 5.20 PRIMERAS FISURAS DE LOS MUROS 1 Y 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5.21 PRIMERAS FISURAS DE LOS MUROS 1 Y 2

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En la figura 5.21 se indica la formación de la histéresis al momento de aparecer las fisuras, y en la tabla 5.4 se indican las deformaciones correspondientes a la carga en el que ocurre la fisura.

TABLA 5. 4 DEFORMACIÓN SEGÚN LA CARGA

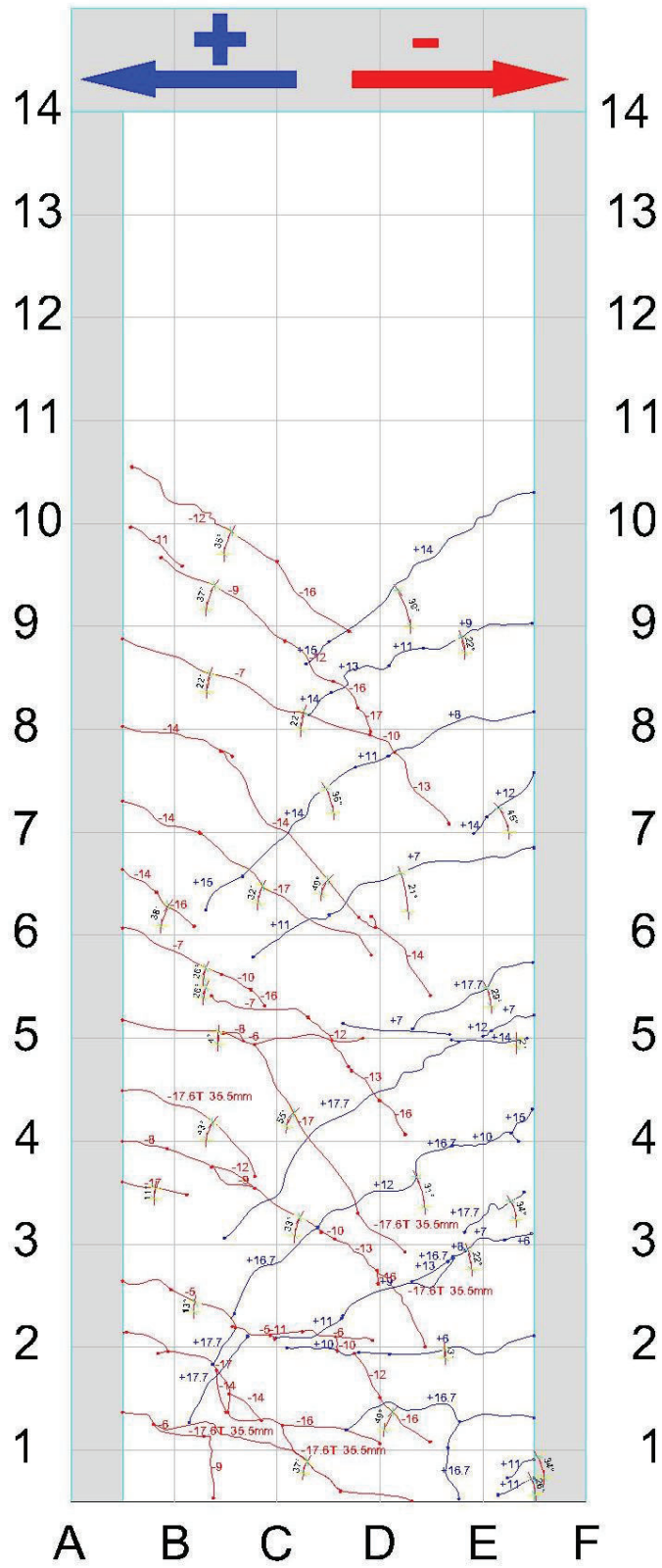
	Carga (Kg)	Deformación (mm)
Muro 1	-5000	-4.8
Muro 1	6000	6.2
Muro 2	-6000	-3.8
Muro 2	8000	5.6

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

5.5.2 INCLINACIÓN DE LAS FISURAS EN EL MURO 1 Y 2

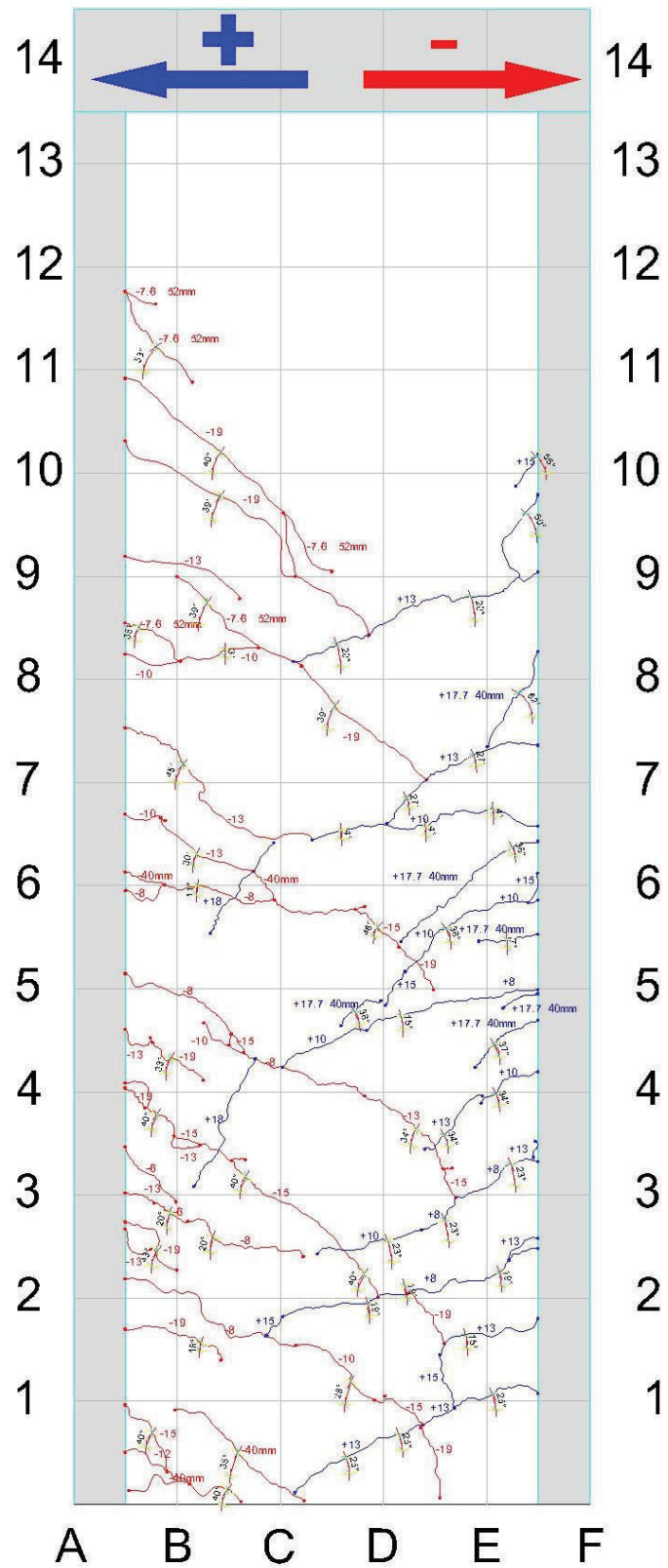
En la figura 5.22 se indica los ángulos de las fisuras en el muro 1 y para el muro 2 se tiene la figura 5.23. En el anexo se encuentran los planos de la inclinación de las fisuras a una mejor escala.

FIGURA 5.22 INCLINACIÓN DE LAS FISURAS EN EL MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5.23 INCLINACIÓN DE LAS FISURAS EN EL MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En el muro 1 se observa:

Hay inclinaciones hasta 55° .

Predominan los ángulos de 22° a 37°

Las fisuras pasan el eje neutro del muro

En el muro 2 se observa:

Hay inclinaciones hasta 53° .

Predominan los ángulos de 20° a 40°

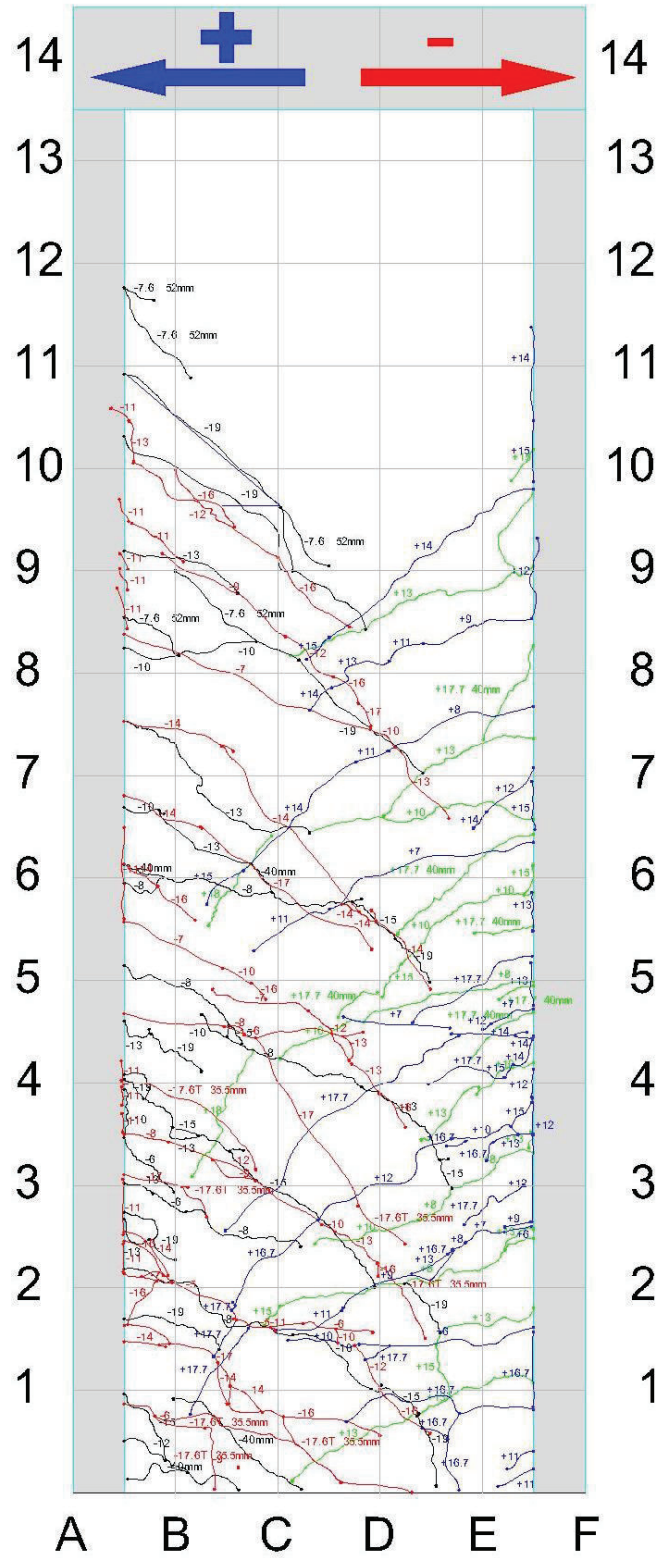
Las fisuras pasan el eje neutro del muro

5.5.3 FISURAS EN EL MURO 1 Y 2

En la figura 5.24 se indica las fisuras de los dos muros con la simbología de colores de la tabla 5.2. En el anexo se encuentra esta comparación a una mejor escala.

Las inclinaciones de las fisuras en los dos muros son similares y a similar altura llegan.

FIGURA 5.24 FISURAS DEL MURO 1 Y 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

5.6 DEFORMACIÓN DEL ACERO LONGITUDINAL

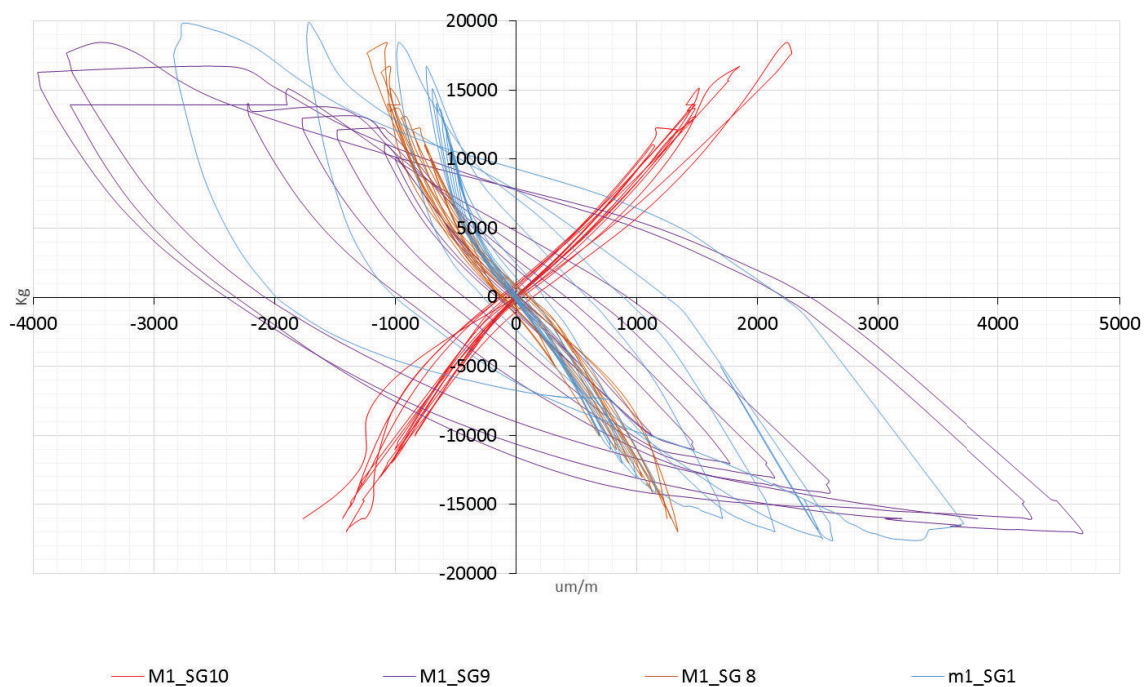
En el muro 1 se tiene 4 strain gauges en el acero longitudinal como se indica en la figura 5.25 y la comparación de las histéresis formadas se muestra la figura 5.26.

FIGURA 5.25 UBICACIÓN DE STRAIN GAUGES EN EL ACERO



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5.26 STRAIN GAUGES EN EL ACERO LONGITUDINAL DEL MURO 1

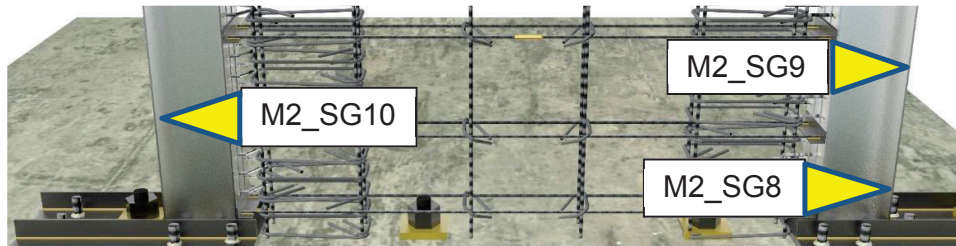


ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En el muro 1 se observa que la varilla (M1_SG1) y el acero estructural en M1_SG9 han fluído mientras que en los strain gauges M1_SG8 y M1_SG10 se está terminando la parte lineal.

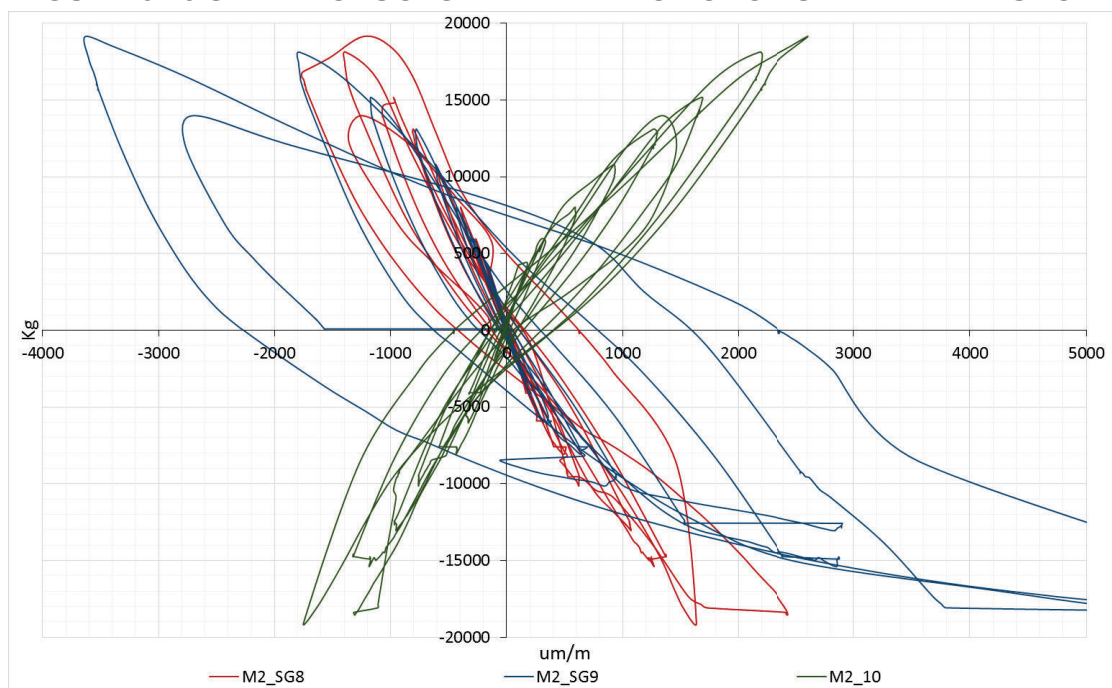
En el muro 2 se tiene 3 strain gauges en el acero longitudinal como se indica en la figura 5.27 y la comparación de las histéresis formadas se muestra la figura 5.28.

FIGURA 5.27 UBICACIÓN DE STRAIN GAUGES EN EL ACERO LONGITUDINAL DEL MURO 2



LABORADO POR: Carlos Quishpe

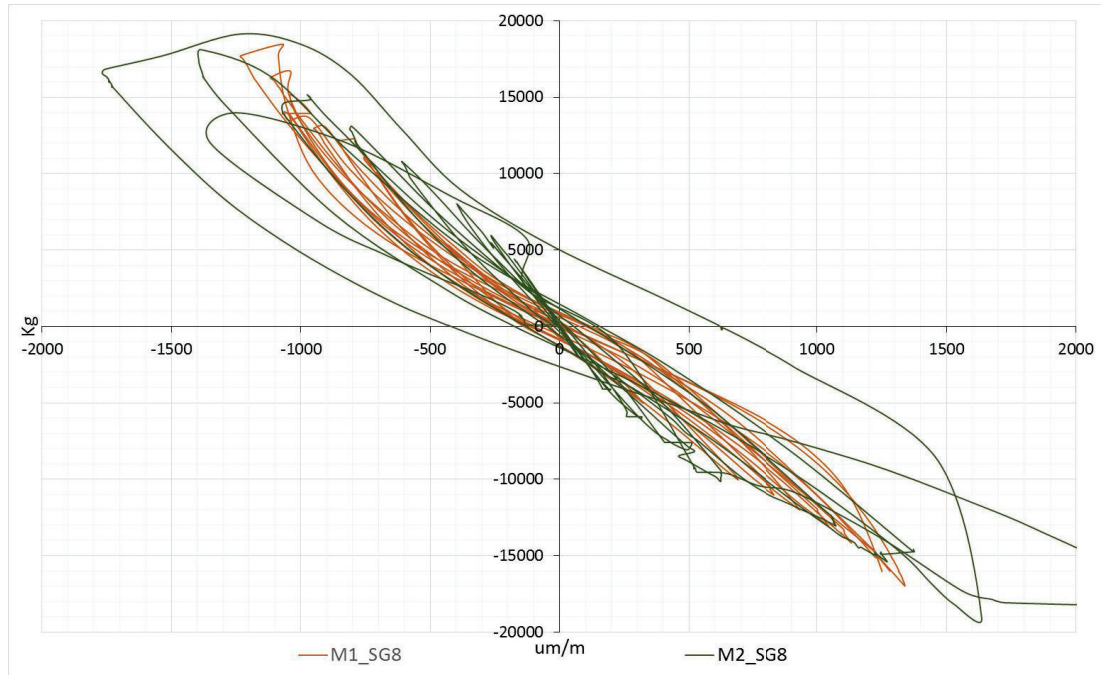
FIGURA 5.28 STRAIN GAUGES EN EL ACERO LONGITUDINAL DEL MURO 2



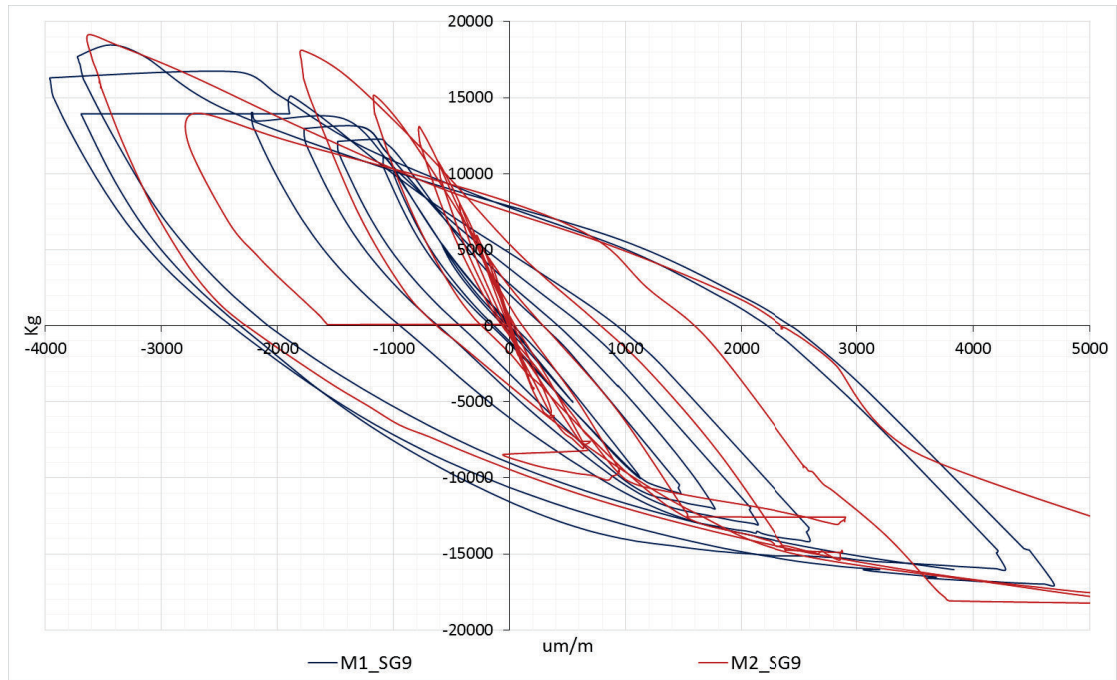
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

En el muro 2 el acero estructural en M2_SG9 ha sido el que más ha fluído mientras que en los strain gauges M1_SG8 y M1_SG10 también ha fluído.

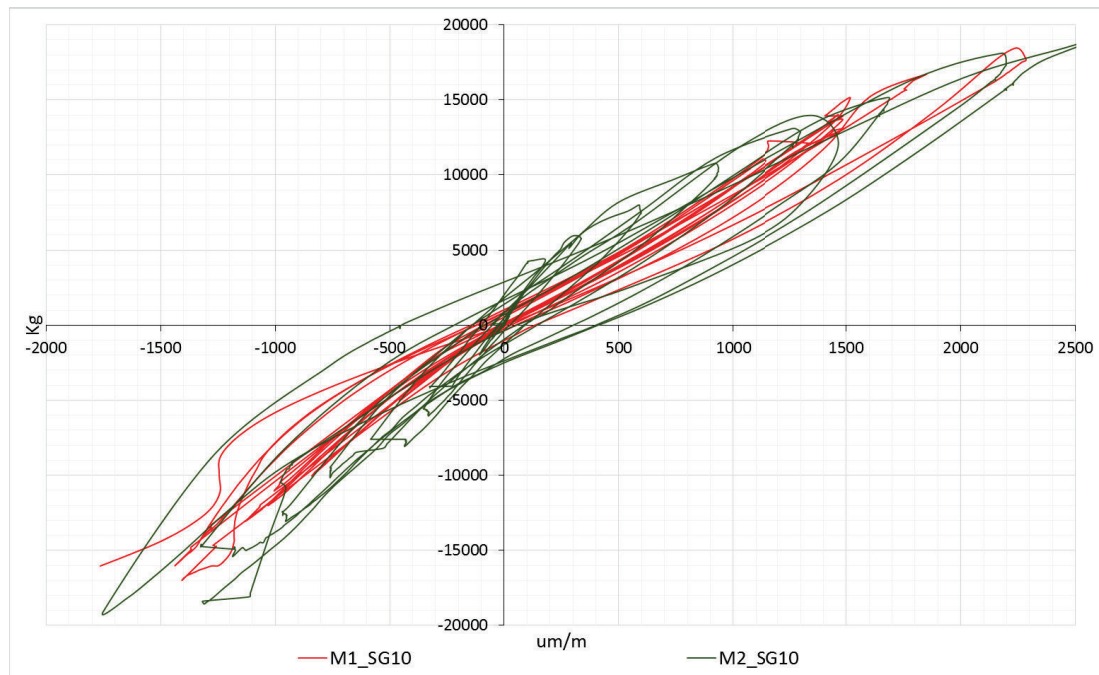
En la figura 2.29, 2.30 y 2.31 se comparan los strain gauges del muro 1 y 2 que tienen similar ubicación.

FIGURA 5.29 STRAIN GAUGES SG8 DEL MURO 1 Y 2

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5.30 STRAIN GAUGES SG9 DEL MURO 1 Y 2

ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5.31 STRAIN GAUGES SG10 DEL MURO 1 Y 2

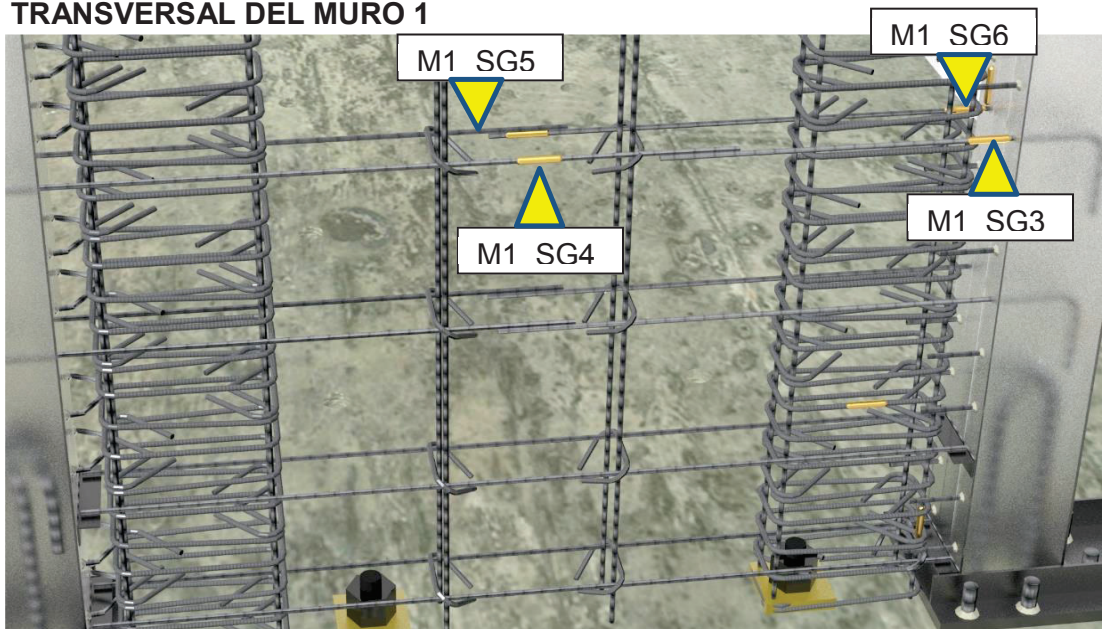
ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Los strain gauges en similar ubicación tienen parecido comportamiento como se indican en las tres figuras anteriores.

5.7 DEFORMACIÓN DEL ACERO TRANSVERSAL

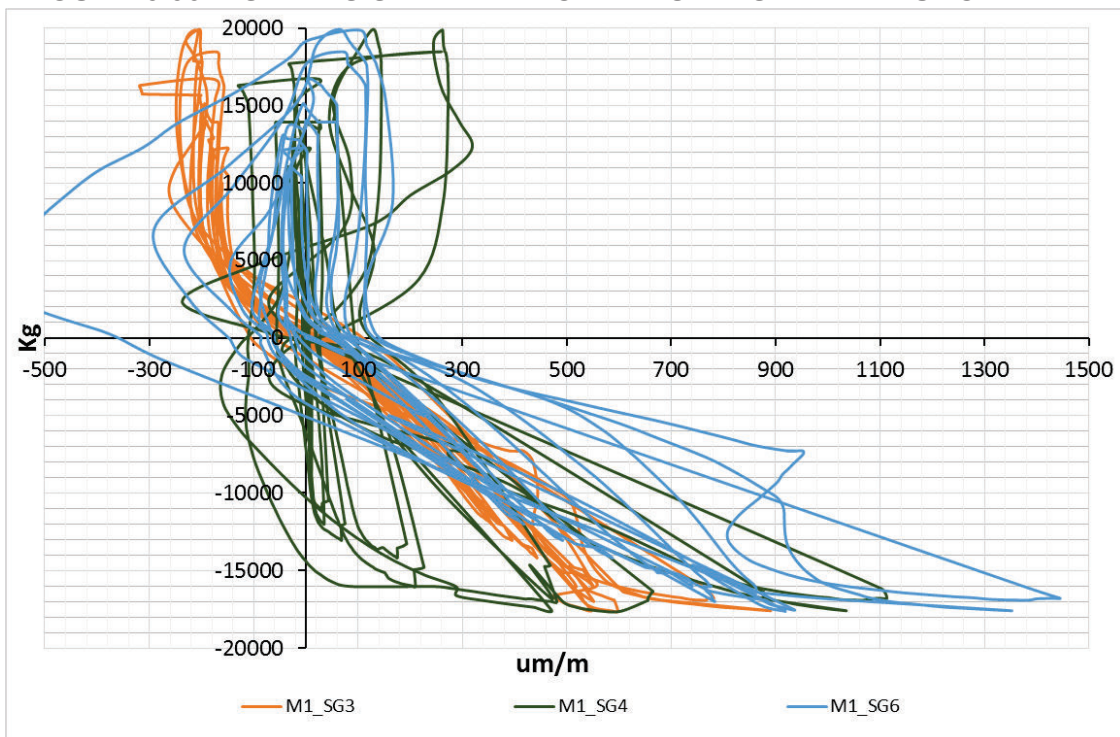
En el muro 1 se tiene 4 strain gauges en el acero transversal como se indica en la figura 5.32 y la comparación de las histéresis formadas se muestra la figura 5.33.

FIGURA 5.32 UBICACIÓN DE STRAIN GAUGES EN EL ACERO TRANSVERSAL DEL MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

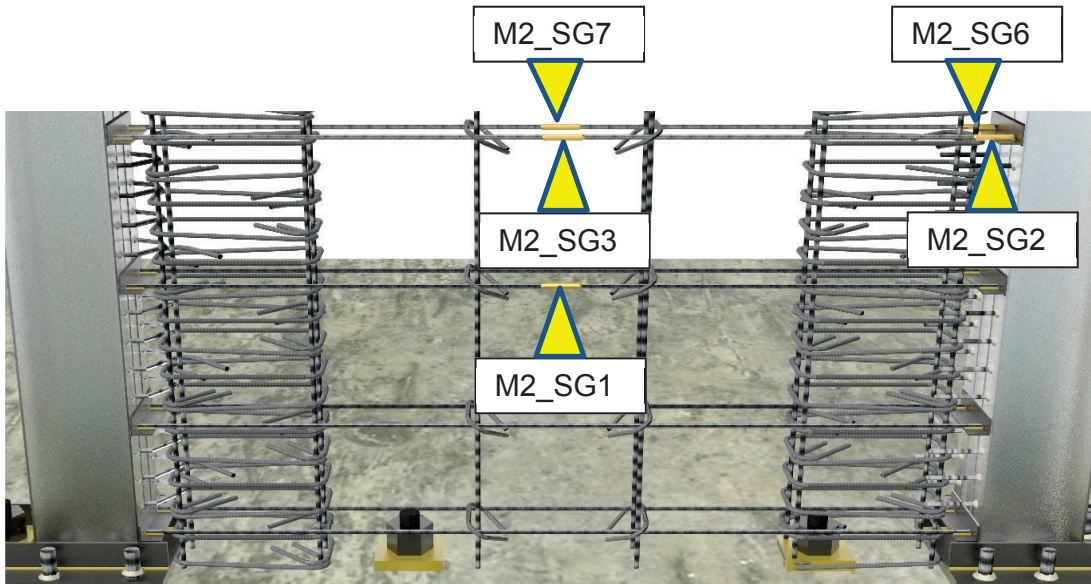
FIGURA 5.33 HISTÉRESIS DEL ACERO TRANSVERSAL DEL MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

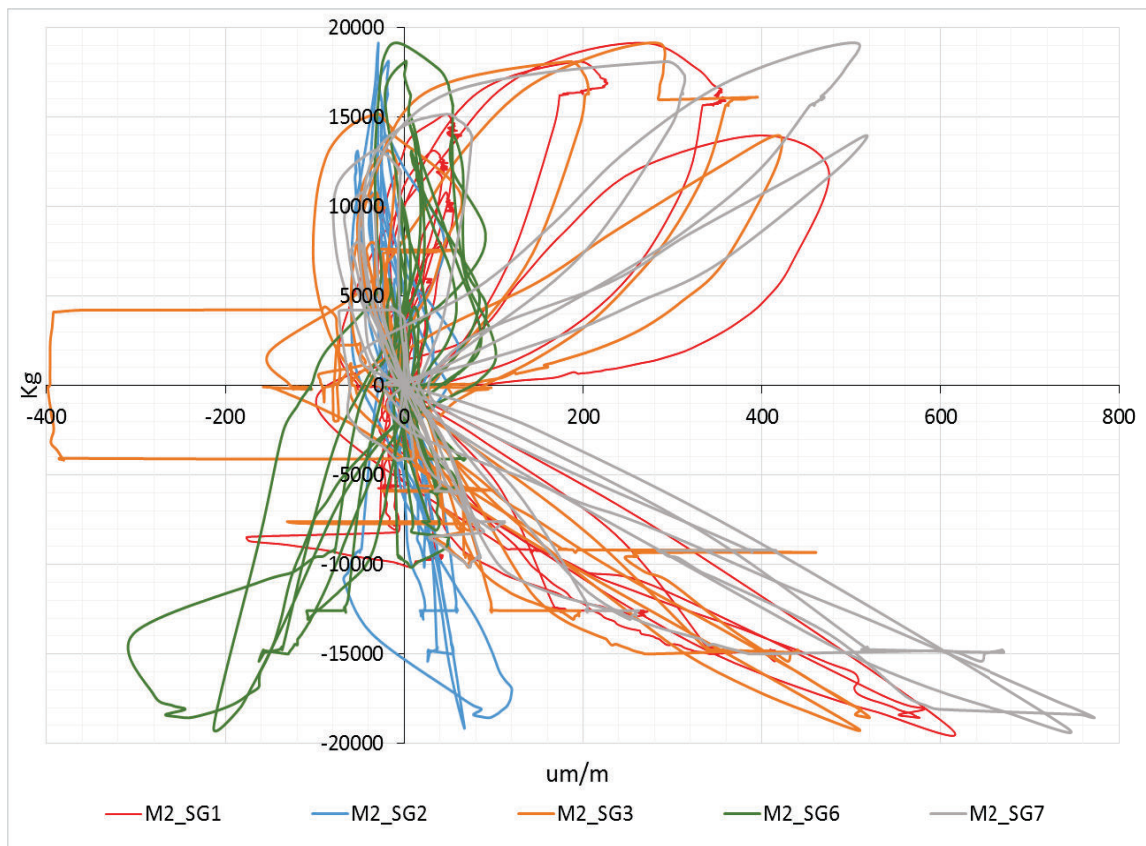
En el muro 2 se tiene 5 strain gauges en el acero transversal como se indica en la figura 5.34 y la comparación de las histéresis formadas se muestra la figura 5.35.

FIGURA 5.34 HISTÉRESIS DEL ACERO TRANSVERSAL DEL MURO 1



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

FIGURA 5.35 HISTÉRESIS DEL ACERO TRANSVERSAL DEL MURO 2



ELABORADO POR: Carlos Quishpe

Los strain gauges colocados en el refuerzo transversal indican que el acero no ha llegado al límite de fluencia.

Como los cabezales y el alma trabajaron conjuntamente entonces se tiene el caso 2 del apartado 2.5.2 que indica:

Caso 2, donde $L_w=1.50m$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_n = 16T + 24.75T$$

$$V_n = 40.75T$$

Es decir que por cortante el muro podía resistir una carga lateral de 40.75T, y en el ensayo la carga máxima es de 20T (aproximadamente), lo que indica que estaba trabajando a la mitad de su capacidad, debido a esto el acero transversal no está muy esforzado.

Los strain gauges 2 y 6 del muro 2 marcan menor deformación que los 3 y 6 del muro 1 y en similar ubicación, debido a que el acero en el muro 2 se encuentra afectado por la soldadura y rigidizados por un ángulo.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados, y limitándose a los especímenes ensayados es posible conectar el alma de hormigón a los cabezales de acero de una manera confiable con el fin de tener un muro de corte que obedezca a los cálculos correspondientes y así poder ser utilizados en las edificaciones con todos los beneficios que estos elementos brindan.

Los muros esbeltos son los más comunes en la construcción de grandes edificios, a los muros analizados no se le aplica carga vertical ni tampoco unas restricciones se simulen la acción de los entresijos, sin embargo, al estudiar sin estas consideraciones se está analizando un caso más crítico.

Se utilizó los aceros ASTM A 706 y el ASTM A 36, en ambos casos se tiene una buena aproximación cuando se multiplica el esfuerzo a la fluencia estándar por 1.25 para obtener el esfuerzo a la fluencia en el ensayo a tracción del acero.

Generalmente las hormigoneras brindan hormigón con una resistencia superior a la solicitada en este caso aumento aproximadamente 40Kg/cm².

Al utilizar el diagrama de flexo-compresión según los apuntes de las clases de "Elementos de hormigón armado" (Referencia 8) para diseño de muros se tiene valores de momento y carga confiables dentro del rango lineal.

En los muros esbeltos trabajan a flexión pero para lograr que el agotamiento corresponda a la flexión hay que extremar los cuidados en el diseño a corte.

A pesar que no se aplica carga axial en el muro, la carga lateral genera una compresión en los cabezales por lo que se debe considerar que el cabezal sea capaz de resistir la compresión; para este objetivo el hormigón dentro de la columna es vital.

Para la modelación matemática el programa “SeismoStruct” permite un análisis acorde a lo realizado en el laboratorio lo que no es posible en el programa SAP2000, puesto que en el segundo programa no se puede colocar un historial de carga en el extremo superior del muro ni tampoco brinda la curva de histéresis que son las curvas registradas por los equipos de laboratorio. En el caso de utilizar una mesa vibratoria con un acelerograma como datos inicial puede ser aplicable el programa SAP2000.

El modelo no lineal de Mander para el hormigón y el modelo bi-lineal para el acero son los más sencillos y dan una buena aproximación a la realidad, sin embargo, existen otros modelos que permiten mejores aproximaciones y para poderlos utilizar es necesario mayores datos de laboratorio.

El análisis espectral de chispa (análisis de la composición química) a la varilla ASTM A706 la coloca como un acero poco soldable.

En la soldadura del acero de refuerzo no se ha precalentado el material base ni tampoco se ha realizado un tratamiento térmico después de la soldadura y se han obtenido resultados acordes a la normativa correspondiente, sin embargo, un precalentamiento no perjudica a la junta soldada por lo contrario siempre le va a ayudar.

El hecho de que en el ensayo de tracción la probeta soldada falle en la soldadura o en la zona afectada por el calor esto no quiere decir que no cumpla con la AWS D1.4 pues la normativa básicamente indica que debe pasar el ensayo de tracción y de macrografía, en ninguna parte hace referencia a la zona de falla.

Al analizar las macrografías se puede notar que al precalentar disminuyen los defectos de soldadura.

La micrografía realizada a pesar de no ser requerida por la norma AWS D1.4 ayuda a entender lo que pasa con el material al ser soldado. En las microestructuras realizadas no se observa martensita o widmanstatten pero si se ve un cambio en el tamaño de grano que afecta a la ductilidad del acero.

Las varillas que nacen de la cimentación y se introduce en el cabezal cumple con dos funciones, la de anclar y aumentar la resistencia a la flexión, sin embargo, esta investigación no se ha enfocado en este tipo de anclaje. Además no se fundió adecuadamente la base por lo que no se puede observar con claridad los beneficios de anclar de este modo.

El muro 1 y 2 tienen similar resistencia, en el muro 1 se registra una carga máxima de 19918Kg y en el muro 2 es de 19133Kg, sin embargo, el muro 1 fallo al comprimir los cabezales debido a una falta de hormigón en la base, es decir, de estar adecuadamente fundido las bases en las columnas el muro 1 tendría mayor resistencia a la registrada y se aprovechara el tipo de anclaje.

Se ha modelado de similar manera el muro 1 y 2 la única diferencia es el ciclo de carga aplicado, sin embargo, la modelación más cerca a la realidad se da en el muro 2 debido a que en el muro 1 no se ha considerado el aumento de la resistencia debido al tipo de anclaje ni la falla de los cabezales por no tener bien fundidas las bases lo que ha permitido una mayor deformación en el muro 1.

El modelar con aceros aumentados 1.25 veces el F_y especificado es muy similar a modelar con los valores experimentales.

Al aumentar la cantidad de los conectores se disminuyen las fisuras que aparecen en la unión de los cabezales de acero y el alma de hormigón.

En los dos muros ensayados no se observa una mejora al utilizar conectores curvos pero si al aumentar la cantidad de conectores.

6.2 RECOMENDACIONES

Es recomendable utilizar muros mixtos acero-concreto en edificios de acero ya que a un bajo costo se logran grandes beneficios.

Los planos en 3 dimensiones ayudan en la construcción, pues dan una idea clara de cómo se debe colocar los aceros para evitar los dobleces en obra que no garantizan los radios de curvatura especificados.

Los ensayos de materiales se deben realizar en equipos que brinden datos confiables de esfuerzo y elongación de modo que se pueda utilizar modelos matemáticos más cercanos a la realidad.

Al ser la varilla ASTM A 706 poco soldable es necesario el cumplimiento estricto de las normas pertinentes.

Hay casos en que la norma AWS D1.4 no exige precalentamiento para la soldadura pero es recomendable hacerlo para mejorar la calidad de la soldadura y si se puede disminuir la velocidad de enfriamiento será mucho mejor. Además cuando no se sabe la composición química del acero se debe tener una temperatura mínima de precalentamiento de 150°C para varillas menores a 19mm y de 260°C para mayores a 22°C

Es necesario realizar las especificaciones del proceso de soldadura (WPS) y calificar al proceso y al soldador antes de iniciar con cualquier tipo de soldadura.

A pesar que la norma AWS D1.4 no hace referencia a sitio de la falla, es recomendable que la probeta soldada falle en el material base fuera de la junta soldada y de la zona afectada por el calor pues esto indica que se va a comportar de forma similar a la probeta sin soldar cuando es sometida a tracción.

El anclar con varillas que van de la cimentación y atraviesan los cabezales incrementa la resistencia a la flexión, sin embargo, es necesario realizar más investigaciones al respecto, además hay que considerar la relación adecuada entre el área de las varillas y el área de los cabezales que garanticen el ingreso del hormigón y es importante determinar la longitud adecuada de los anclajes.

Es necesario realizar investigaciones de las diferentes formas de anclajes como la citada anteriormente o los anclases soldados y/o empernados.

Cuando se utiliza anclajes con varillas que van desde la cimentación y traspasan las columnas es necesario asegurar un buen hormigón en las base para que haya un trabajo en conjunto entre la cimentación y las columnas.

Cuando se realiza ensayos a los aceros empleados, una buena aproximación es considerar al f_y ensayado como el f_y especificado aumentado 1.25 veces, por lo menos esta aseveración es adecuada al acero empleado en esta investigación.

Es recomendable utilizar mayor cantidad de conectores de corte, independiente mente de su forma.

6.3 BIBLIOGRAFÍA

1. A 36/A 36M, (2001), Standard Specification for Carbon Structural Steel, USA, American Society for Testing and Materials.
2. A 615/A 615M, (2001), Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement¹, USA, American Society for Testing and Materials.
3. A 706/A 706M, (2001), Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement, USA, American Society for Testing and Materials.
4. ACI-318, (2011), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, Farmington Hills, MI, USA, American Concrete Institute.
5. AWS D1.4/D1.4M, 2011, Structural Welding Code – Reinforcing Steel, Miami, USA, American Welding Society.
6. AWS D1.1/D1.1M, 2011, Structural Welding Code –Steel, Miami, USA, American Welding Society.
7. Mander, J. B., Priestley, M. J. N. and Park, R,(1988), “Theoretical stress-strain model for confined concrete”, Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. 8.
8. Placencia P, (2012), Apuntes de clase de “Estructuras de hormigón armado, Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional.
9. Seferian, (1981), Las Soldaduras, España, Urmo S.A. mde ediciones.
10. Sosa D, (2014), Comportamiento de la conexión pilote-losa en hormigón estructural. Tesis de Maestría, Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional.

ANEXO N° 1

PLANOS

(En CD)

Lámina 1. Estructural muro 1

Lámina 2. Estructural muro 2

Lámina 3. Losa de cimentación

Lámina 4. Mapeo de fisuras del muro 1 y 2

Lámina 5. Mapeo comparativo y primeras fisuras del muro 1 y 2

Lámina 6. Inclinação de las fisuras del muro 1 y 2