

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIO DE LA DEMOLICIÓN CONTROLADA DEL MURO COLADO  
CENTRAL DE UNA ESTACION DE METRO CONSTRUIDO MEDIANTE  
EL MÉTODO INVERTIDO**

**Trabajo Especial de Grado Presentado ante la  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br: Carlos Palacios  
Para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Caracas, 2010**

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIO DE LA DEMOLICIÓN CONTROLADA DEL MURO COLADO  
CENTRAL DE UNA ESTACION DE METRO CONSTRUIDO MEDIANTE  
EL MÉTODO INVERTIDO**

**Tutor Académico: Ing. Ronald Torres**

**Trabajo Especial de Grado Presentado ante la  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br: Carlos Palacios  
Para optar al título de  
Ingeniero Civil**

Caracas, 2010

Caracas, Julio de 2010

Profesor(a)  
(Nombre del Director(a) de la Escuela de Ingeniería Civil)  
DIRECTOR(a) – PRESIDENTE  
Y DEMÁS MIEMBROS  
CONSEJO DE ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Central de Venezuela  
Presentes.-

El, la(s), los) abajo firmante(s), estudiante(s) de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, por la presente solicito (solicitamos) del Consejo de Escuela de Ingeniería Civil la aprobación del tema del Trabajo Especial de Grado titulado **“ESTUDIO DE LA DEMOLICIÓN CONTROLADA DEL MURO COLADO CENTRAL DE UNA ESTACION DE METRO CONSTRUIDO MEDIANTE EL MÉTODO INVERTIDO”**, cuyas características se describen en el anteproyecto correspondiente que acompaña a la presente solicitud.

Tutor: Ing. Ronald Torres

\_\_\_\_\_  
(Firma)

(Nombres y apellidos)

Carlos Palacios

(CI)

**Carta de Aprobación (Aceptación) del Tutor****Caracas, Julio de 2010**

**Profesor(a)**  
**(Nombre del Director(a) de la Escuela de Ingeniería Civil)**  
**DIRECTOR(a) – PRESIDENTE**

**Y DEMÁS MIEMBROS**

**CONSEJO DE ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**Facultad de Ingeniería,**  
**Universidad Central de Venezuela**  
**Presentes.-**

Sirva la presente para informarles que acepto desempeñarme como tutor del Trabajo Especial de Grado denominado **“ESTUDIO DE LA DEMOLICIÓN CONTROLADA DEL MURO COLADO CENTRAL DE UNA ESTACION DE METRO CONSTRUIDO MEDIANTE EL MÉTODO INVERTIDO”**, que será desarrollado por el bachiller **“Carlos Palacios”**.

Sin otro particular a que hacer referencia, les saluda, Atentamente,

Firma  
**Ing. Ronald Torres**  
**Cl:**

## DEDICATORIA

*A Dios por darme la dicha de vivir, y que me iluminas el camino por donde debo seguir. Gracias Dios...*

*A Mis Padres, por ser mi fortaleza y por estar siempre conmigo en los momentos en que más lo necesite, toda esta alegría tan grande se la debo a ustedes. Los Quiero Mucho.*

*A Mis Hermanos y Familiares, por enseñarme a creer que lo que nos proponemos lo lograremos con tan sólo empeño, gracias por confiar en mí y apoyarme.*

*A Mis Amigos y todos los que siempre me apoyaron y me ayudaron en la realización y cumplimiento de este Trabajo de Grado.*

*Carlos Palacios...*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios, por darme la vida, por permitirme ver la luz todos los días, por iluminarme, darme resistencia y paciencia para enfrentar las adversidades que se cruzan en mi camino, dándome la fuerza espiritual para alcanzar mis metas y permitirme compartir los gratos momentos de mi vida junto a mis seres queridos.*

*Mi más sincero agradecimiento al Personal que labora la construcción del Metro de Caracas, específicamente de la Línea 3, del Valle-La Rinconada, por la ayuda y apoyo que me brindaron durante todo este tiempo; así como a mis compañeros de trabajo, por su gran apoyo, cariño, y confianza que siempre han depositado en mí.*

*A mi Tutor Ing. Ronald Torres, muchas gracias por su atención y por la importancia de sus conocimientos, así como de sus experiencias que me transmitieron para el desarrollo y culminación de mi Trabajo Especial de Grado.*

*A los Profesores de la Universidad Central de Venezuela y en especial los de la Escuela de Ingeniería Civil, por todos los conocimientos que me transmitieron desde inicié en esta Magna Universidad hasta que culminé mis estudios.*

*A mis compañeros (as) de clases, que me acompañaron durante mi carrera, que compartieron conmigo, angustias, alegrías y preocupaciones, para salir adelante en el cumplimiento de esta meta.*

*Y a todas aquellas personas que de una u otra forma han colaborado con la feliz culminación de esta etapa tan importante de mi vida, el cual deja en mi gran satisfacción y orgullo.*

*Mil gracias a todos...*

## ÍNDICE GENERAL

	<b>pp.</b>
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABLAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
 <b>CAPÍTULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
Planteamiento del Problema.....	3
Objetivos de la Investigación.....	
Objetivo General.....	
Objetivos Específicos.....	
Alcance.....	
Justificación.....	
 <b>II MARCO REFERENCIAL</b>	
Antecedentes de la Investigación.....	
Bases Teóricas.....	
Bases Legales.....	
 <b>III METODOLOGÍA</b>	
Tipo y Diseño de Investigación.....	56
Operacionalización de Variables.....	
Área de Investigación.....	
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	
Técnicas de Análisis de Datos.....	
 <b>IV ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
Descripción de la Estructura Sujeta a Demolición.....	
Fase I. Compilación de registros, antecedentes de estudios similares y datos referentes al proyecto de corte y extracción	
Fase II. Diseño del proceso de corte y extracción del muro de concreto	
Fase III. Desarrollo del Modelo Matemático	
Fase IV. Simulación del Modelo	
Fase V. Comparar los Resultados	
 <b>V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
Conclusiones.....	

pp.

Recomendaciones.....

REFERENCIAS.....

ANEXOS.....

Anexo A. Plano Método Constructivo Demolición Muro Colado Central.....

Anexo A1. Geometría Planta – Techo.....

Geometría de Planta Muro Colado y Muro Guía.....

Geometría Sección B-B.....

Anexo B. Guía de Diseño de Estructura de Acero por Estado Límite.....

Anexo C. Especificaciones de Maquinarias.....

Anexo D. Equipos de Extracción.....

Anexo E. Glosario de Términos Básicos.....

**LISTA DE CUADROS**

<b>CUADRO</b>		<b>pp.</b>
1.	Normas COVENIN utilizadas.....	55
2.	Operacionalización de las Variables.....	58
3.	Rangos de las Propiedades del lodo Pentonítico.....	90
4.	Pesos unitarios probables de materiales de construcción.....	122
5.	Peso propio de los elementos estructurales.....	122
6.	Pesos unitarios probables de materiales de relleno.....	123
7.	Peso Propio de los materiales de relleno.....	123
8.	Pesos unitarios probables materiales almacenables.....	125
9.	Propiedades Materiales.....	152
10.	Distribución del Personal por Ejecución del Corte.....	172
11.	Maquinarias y Equipos para la Ejecución del Corte.....	172
12.	Distribución del Personal para la Secuencia de Extracción.....	172
13.	Maquinarias y Equipos para la Secuencia de Extracción.....	173

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>pp.</b>
1. Ubicación de la demolición controlada del muro colado central del Metro de Caracas.....	12
2. Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado para Edificios.....	20
3. Estructuras de Muros de Hormigón en Masa.....	20
4. Estructuras de Muros Ménsula.....	21
5. Estructuras de Muros de Sótano y Contención.....	21
6. Estructuras de Muros Ménsula.....	22
7. Análisis de la Cubierta de un Edificio por medio del MEF.....	33
8. Elementos de un Malla.....	35
9. La curva esfuerzo – deformación.....	45
10. Deformación Unitaria.....	46
11. Combinación de Resistencia con Ductilidad.....	49
12. Plano del Metro de Caracas y detalle de la Estación Jardines..	69
13. Vista de la Estación Jardines, Metro de Caracas.....	72
14. Detalle Estructural del Muro Colado. Vista A: Receso en los Barrotes (columnas). Vista B: Recesos en los muros Colados..	75
15. Muros colados sin recesos a nivel de techo de estación.....	76
16. Fase 1-a: Excavación y construcción del muro colado, Estación Jardines.....	80
17. Fase 1-b: Excavación y construcción del túnel izquierdo, Estación Jardines.....	81
18. Fase 1-c: Excavación y construcción del túnel izquierdo, Estación Jardines.....	81
19. Fase 2a: Excavación y construcción del túnel derecho, Estación Jardines.....	82
20. Fase 2b: Excavación y construcción de los muros colados centrales para la estabilización del túnel izquierdo Estación Jardines.....	82
21. Fase 3: Excavación y construcción de los muros colados centrales para la estabilización del túnel izquierdo Estación Jardines.....	83
22. Fase 4: Excavación hasta la cota inferior de mezzanina. Estación Jardines.....	83
23. Fase 4a: Excavación sectorizada. Estación Jardines.....	84
24. Fase 5: Excavación de la vía derecha. Estación Jardines.....	84
25. Fase 6: Excavación de la vía izquierda. Estación Jardines.....	85
26. Fase 7: Losa de fondo vía izquierda. Estación Jardines.....	85

	<b>pp.</b>
27. Fase 8: Anden Central, Escaleras y vía izquierda. Estación Jardines.....	86
28. Fase 9: Estación concluída. Estación Jardines.....	86
29. Muro Colado Central de Concreto Armado. Estación Jardines.	88
30. Detalle del Armado de un Muro Guía.....	89
31. Proceso de Ejecución del Muro Colado de la Línea 3. Vista A: Excavación de Muro Guía. Vista B: Armado de Muros Guías...	89
32. Almeja para la excavación de muros colados.....	91
33. Excavación de muros colados.....	91
34. Colocación de la armadura de un muro colado.....	92
35. Proceso de Ejecución del Muro Colado de la Línea 3. Vista A: Tuberías para el vaciado. Vista B: Vaciado del muro colado....	92
36. Lodo bentonítico y bomba sumergible.....	93
37. Izquierda: receso de la losa de mezzanina y receso externo....	95
38. Sección de la trinchera tipo túnel en construcción.....	96
39. Vista del muro colado central de la estación.....	96
40. Especificaciones del motor de la máquina Caterpillar 320, DL, según fabricante.....	98
41. Especificaciones pesos para trabajo de la máquina Caterpillar 320, DL, según fabricante.....	98
42. Especificaciones del mecanismo de rotación y de mando de la máquina Caterpillar 320, DL, según fabricante.....	98
43. Dimensiones de la máquina Caterpillar 320, DL.....	99
44. Especificaciones de la pluma y del brazo de la máquina Caterpillar 320, DL, según fabricante.....	100
45. Vista de Planta Muro Colado Central.....	101
46. Altura de demolición.....	102
47. Altura de demolición.....	103
48. Plano de contacto entre la superficie y el bloque cortado.....	106
49. Plano de contacto entre la superficie y el bloque cortado.....	107
50. Core dril, modelo D-200.....	110
51. Vista de las aplicaciones del Codril, modelo D-200, proveídas por el fabricante.....	110
52. Máquina cortadora con hilo diamantado, modelo Ds-ws-15.....	111
53. Especificaciones técnicas detalladas de la máquina cortadora con hilo diamantado, modelo Ds-ws-15.....	112
54. Equipo de corte con hilo diamantado modelo DS-WS-15.....	113
55. Aplicaciones Básicas.....	113
56. Corte Horizontal.....	114
57. Tabla Mínimas Cargas Distribuidas Variables sobre Entrepisos Kg/m <sup>2</sup> .....	124
58. Secuencia de Modelado. Inicio el Programa SAP 2000.....	135
59. Secuencia de Modelado. Selección de opción.....	136
60. Secuencia de Modelado. Selección de opción.....	137

	pp.
61. Secuencia de Modelado. Selección de opción.....	138
62. Secuencia de Modelado. Selección de opción.....	138
63. Secuencia de Modelado. Plano de planta ubicar las distancias en una tabla según el eje.....	140
64. Secuencia de Modelado. Conformación de los elementos estructurales del modelo.....	141
65. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y Acceso a la Opción de Dibujo.....	142
66. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	143
67. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	143
68. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	144
69. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	144
70. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	145
71. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	145
72. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	146
73. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	146
74. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	147
75. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	147
76. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.....	148
77. Secuencia de Modelado. Terminación de áreas representadas en Shell y Visualización de elementos de área.....	148
78. Elementos Unifilares o Frames.....	150
79. Secuencia de Modelado.Fijación de Condiciones de Contorno.	151
80. Secuencia de Modelado. Restricción de movimientos.....	151
81. Secuencia de Modelado. Definición de las propiedades de los materiales.....	152
82. Secuencia de Modelado. Definición de materiales.....	153
83. Secuencia de Modelado. Definición de la sección de área de cada elemento estructural.....	154
84. Secuencia de Modelado. Verificación de datos.....	154
85. Secuencia de Modelado. Asignación de las propiedades físicas de los elementos.....	155

	<b>pp.</b>
86. Secuencia de Modelado. Definición de la sección unifilar de los elementos estructurales.....	155
87. Secuencia de Modelado. Definición de la sección de área de cada elemento estructural.....	156
88. Secuencia de Modelado. Asignación de las propiedades físicas de los elementos unifilares o frame.....	157
89. Secuencia de Modelado. Definición de las cargas que actúan sobre los elementos estructurales.....	158
90. Secuencia de Modelado. Creación de los casos de combinaciones de cargas para el modelo.....	159
91. Secuencia de Modelado. Colocación de las cargas combinadas.....	160
92. Secuencia de Extracción Teórica del Muro Colado Central.....	160
93. Secuencia de Extracción. Vista de Planta de la Losa Mezzanina y Vista de Perfil del Muro Colado Central.....	178
94. Inicio de la Secuencia de Extracción.....	178
95. Secuencia de Extracción. Vista de Planta de la Losa Mezzanina y Vista de Perfil del Muro Colado Central con los Bloque extraídos de los recesos.....	179
96. Secuencia de Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible.....	179
97. Secuencia de Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible.....	180
98. Secuencia de Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible.....	181
99. Secuencia de Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible.....	182
100. Secuencia de Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible.....	183
101. Secuencia de Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible.....	184
102. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	185
103. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	185
104. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	186
105. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	187
106. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	188
107. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	189

	<b>pp.</b>
108. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	190
109. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	191
110. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	192
111. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	193
112. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	194
113. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	195
114. Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo.....	196
115. Secuencia de Extracción. Extracción de los Puntales Colocados.....	198
116. Inicio de Secuencia de Extracción de Bloques afectados por su propio peso.....	198
117. Inicio de Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	199
118. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	199
119. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	200
120. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	201
121. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	202
122. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	203
123. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	204
124. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	205
125. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	206
126. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	207
127. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	208
128. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	209
129. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	210
130. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	211
131. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	212
132. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	213
133. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	214
134. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	215
135. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	216
136. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	217
137. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	218
138. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	219
139. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	220
140. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	221
141. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	222

	<b>pp.</b>
142. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	223
143. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	224
144. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	225
145. Secuencia Real de Extracción del Muro Colado.....	226

**LISTA DE TABLAS**

<b>TABLA</b>		<b>pp.</b>
1.	Puntal HEA.....	161
2.	Puntal HEB.....	162
3.	Iteración del Área de Perfil.....	163
4.	Cronograma de Actividades.....	173

**Palacios, Carlos**

## **ESTUDIO DE LA DEMOLICIÓN CONTROLADA DEL MURO COLADO CENTRAL DE UNA ESTACION DE METRO CONSTRUIDO MEDIANTE EL MÉTODO INVERTIDO**

**Tutor Académico: Ing. Ronald Torres  
Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Ingeniería Civil. 2010**

### **RESUMEN**

El propósito del presente trabajo de grado fue realizar un estudio la demolición controlada del muro colado central de una estación de Metro de Caracas, construido mediante el método invertido y su comportamiento posterior a la ejecución del derribo. La metodología utilizada para el estudio se ubicó dentro diseño de campo con la técnica observacional, entendido como una relativa y circunscrita área de estudio, con apoyo en un tipo de investigación descriptivo y sustentado en una revisión bibliográfica, cubriendo estos con los requerimientos necesarios para el desarrollo del estudio. Para la recolección de la información se consideró un muestreo no probabilístico intencional representado por la Línea 3 (El Valle-La Rinconada) del Metro de Caracas, donde se encuentran las personas que están involucradas con la problemática y están en capacidad de ofrecer la información requerida para la consecución de los objetivos, de esta manera se consideró un área de investigación constituida por la Estación Jardines del Metro donde se demolió el muro de concreto, en la Línea 3 objeto de estudio. En cuanto a las técnicas de recolección de datos y de análisis serán: la Observación Directa, Registro Fotográfico, técnica de Estación total, de los cuales se obtendrán los resultados para ser tabulados y graficados, para su posterior análisis e interpretación de las variables que afectan el lavado de los casilleros de esta manera poder proponer las mejora del proceso según prioridades de manera tal de hacer eficientes las operaciones ejecutadas en la demolición controlada del muro colado central y poder garantizar la calidad de dicho proceso en estudio. Por último se recomienda Colocar un encofrado de menor resistencia al concreto al momento de vaciar la sección de la losa mezzanina en contacto con el muro colado central.

**Palabras Clave:** Demolición Controlada, Método Invertido, Muro Colado, Estación de Metro de Caracas.

## INTRODUCCIÓN

A través de los años básicamente se ha entendido como demolición aquella actividad que elimina una edificación o instalación existente. El motivo de dicha necesidad es muy diverso, nuevas edificaciones, recuperaciones del entorno, nuevas instalaciones, etc. La diversidad de los edificios y emplazamientos es evidente, así como los posibles condicionantes que estos presentan.

Debido a esto la demolición es una actividad que debe estar constantemente adaptándose al entorno, a los condicionantes sociales, las nuevas reglamentaciones y por supuesto no puede perder de vista el mercado. Esta exposición de motivos viene a demostrar que no se trata de una actividad simple, trivial ni vacía de análisis técnicos, puesto que cada nueva demolición aporta aspectos diferenciados de las anteriores que obliga a los responsables a estar constantemente al día y reciclándose en las nuevas técnicas.

Comenzando por las demoliciones dentro de cascos urbanos, decir que estas tienen una mayor carga de connotaciones sociales, respecto al resto de demoliciones. Esto es debido a que la actividad, en un alto porcentaje de casos, se lleva a término rodeada de inmuebles habitados y comunidades vecinas que han de convivir con las obras. Debido a esto, este tipo de obras se acometen con extremada delicadeza y atención. Y por ello se suelen realizar por medios manuales, ayudados de equipos auxiliares y maquinaria de reducidas dimensiones y peso.

Para el desarrollo de esta investigación, se presentan cuatro (4) capítulos que a continuación se muestran:

Capítulo I: se presenta el Problema, hace referencia a la contextualización del planteamiento, los objetivos (General y Específicos) y la justificación de la investigación.

Capítulo II: se presenta el Marco Referencial, donde se exponen la reseña histórica del problema, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y legales relacionadas al estudio, el sistema de variables y la definición de términos básicos.

Capítulo III: se indica la Metodología la cual se establecen los lineamientos metodológicos del trabajo, sección que dió a conocer la modalidad y el tipo de investigación, procedimientos, la operacionalización de las variables, población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, la validez, del instrumento, las técnicas para el análisis de datos, y los procedimientos metodológicos de cómo se desarrolló el estudio.

El Capítulo IV, donde se realizan los análisis de los resultados, para proceder al análisis e interpretación de la información, donde se presentan cada una de las respuestas emitidas por la muestra en estudios obtenidas de la aplicación del instrumento y que permitieron el logro de cada objetivo específico diseñado para esta investigación. Así mismo, se presenta el desarrollo de las fases u objetivos para dar continuidad con la presentación del estudio de la demolición controlada del muro colado central de una estación de Metro de Caracas, por último, se presentan las Conclusiones de la investigación y las Recomendaciones finales que planteó el investigador y finalmente se muestran las Referencias Bibliográficas consultadas y los Anexos que sustentaron la investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **Planteamiento del Problema**

Todas las estructuras de edificios y de obras civiles recorren el mismo ciclo de concepción o diseño, trabajos preliminares, edificación (incluyendo la cubierta de un edificio), acabados y prestación de servicios y puesta en marcha final antes de su entrada en servicio. A lo largo de los años, los edificios y estructuras que un día fueron nuevos necesitan mantenimiento, inclusive nueva pintura y limpieza; es probable que sean rehabilitados, reformados o reparados para corregir los daños ocasionados por el tiempo o por un accidente; y, finalmente, tendrán que ser demolidos para dar lugar a una instalación más moderna o porque su uso se ha hecho ya innecesario.

Esto sucede con las casas; sucede igualmente con estructuras grandes y complejas como centrales eléctricas y puentes. Cada fase en la vida de la estructura de un edificio o una obra civil presenta riesgos generales (como el riesgo de caídas) o peculiares de ese tipo de proyectos (como el riesgo de derrumbamiento de las excavaciones durante la preparación de los cimientos en un edificio o en una obra civil).

Para cada tipo de proyecto (y desde luego; para cada fase del proyecto), es posible predecir cuáles van a ser los principales riesgos para la seguridad de los operarios de la construcción. El riesgo de caídas es común a todos los proyectos de construcción, incluso los que se realizan a nivel del terreno. Esto viene avalado por la estadística de accidentes que muestra que la mitad de los accidentes mortales entre los operarios de la construcción que

esto implica.

Dentro de este orden de ideas, cabe señalar que la demolición es quizás la operación más peligrosa de la construcción, ya que reúne todos los riesgos del trabajo en altura y de la caída de materiales, pero además se lleva a cabo en una estructura que ha sido debilitada bien a causa de la propia demolición, bien a resultas de tormentas, daños producidos por inundaciones, incendios, explosiones o del uso y deterioro natural.

En este sentido, los riesgos que se producen durante la demolición son caídas, golpes o el soterramiento por el material derribado o por el derrumbamiento espontáneo de la estructura, el ruido y el polvo. Uno de los problemas prácticos para asegurar la salud y la seguridad durante la demolición es que se pueda ejecutar muy rápidamente; con los equipos actuales se puede realizar una demolición importante en un par de días.

Cabe señalar que, existen tres métodos principales para demoler una estructura: Derribarla de un modo sistemático; Tirarla abajo o Volarla mediante el uso de explosivos. El método a elegir viene condicionado por el estado de la estructura, sus alrededores, los motivos de la demolición y su costo. Generalmente el uso de explosivos no será posible si hay edificios próximos. La demolición necesita ser planificada con tanto cuidado como cualquier otra fase de la construcción.

Por lo que, la estructura a demoler debe ser examinada a fondo estudiando los planos disponibles, de modo que el contratista de la demolición pueda disponer de la mayor información posible sobre su naturaleza, su método de construcción y sus materiales. Comúnmente en los edificios y otras estructuras que se van a demoler se puede encontrar amianto, lo cual exige recurrir a contratistas especializados en su

manipulación.

Es de vital importancia, que exista una planificación del proceso de demolición que garantice que la estructura no se sobrecargará o se cargará desigualmente con escombros y que se dejen huecos adecuados para la caída de escombros y su retirada segura. Si la estructura resulta debilitada al cortar partes de la misma (especialmente si se trata de hormigón armado u otros tipos de estructura sometidos a esfuerzos importantes) o por el derribo de partes de un edificio tales como forjados o muros interiores, ello no debe debilitar la estructura de modo que se pueda producir un derrumbamiento inesperado. La caída de los materiales de escombros y chatarra deberá planificarse de modo que se puedan retirar o guardar con seguridad y adecuadamente; a veces el coste de un trabajo de demolición depende de la recuperación de la chatarra o de los componentes de valor. Por lo que una demolición sistemática, se considera como el método más seguro de proceder es derribar el edificio o construcción, en un orden opuesto a aquel en que fue construido. La retirada de escombros se debe hacer de manera regular de modo que los accesos y zonas de trabajo no resulten obstruidos.

Dentro de este orden de ideas, en Venezuela y específicamente en el Metro de Caracas en la actualidad está conformado por cuatro líneas, que atienden una demanda diaria de aproximadamente un millón setecientas mil personas. El incremento poblacional y por ende de pasajeros, ha traído como consecuencia la saturación de la Línea 1, una de las de mayor movilización en el mundo. En consecuencia, la demanda de transporte que imponen las altas densidades de población y empleo en el casco central de Caracas dan una elevada utilización del Metro, sobre todo en el tramo Capitolio - Plaza Venezuela.

Durante los próximos años el Metro de Caracas desarrollará varios

planes de expansión con el propósito de dotar a la Gran Caracas de un sistema de transporte público eficiente y seguro. Tal es el caso del tramo El Valle- La Rinconada de la Línea 3, el cual sirve no sólo para integrar a los habitantes de los Valles del Tuy con el Metro de Caracas, sino que además dota a las comunidades del Valle y Coche de un sistema de transporte eficiente. Este nuevo ramal tendrá una extensión de 5,9 Kilómetros desde la actual estación El Valle hasta los terrenos de El Hipódromo, donde se conecta con la estación Caracas del ferrocarril. De acuerdo a las estimaciones, la Línea 3 movilizará para la fecha de la inauguración de la segunda etapa, aproximadamente 240 mil pasajeros diarios. (Metro de Caracas, 2009).

Las líneas del Metro de Caracas en su mayoría están construidas a nivel subterráneo, en algunos sectores se han ejecutado a nivel y elevado, dependiendo de las características del suelo, que en general es de origen sedimentario y aluvial con mezclas de grava, arena, limo y arcillas. Entre los métodos constructivos están a) la línea a nivel, el más sencillo, porque sólo exige un movimiento de tierra que permita lograr una base adecuada para tender la vía férrea sobre balastos y construir las estaciones.

Este método se adoptó en las obras de los dos Patios y Talleres (Propatria y Las Adjuntas), la estación Agua Salud y un tramo de la Línea 2, entre Las Adjuntas y Antímano. b) El tramo elevado, en el cual se colocan vigas prefabricadas sobre monocolumnas o pares de columnas que sostienen las estructuras de la vía y de las estaciones, utilizado en las estaciones Caño Amarillo, Zoológico y Caricuao, así como en el tramo de vía que une a estas dos últimas. c) Tramos subterráneos, son más complejos, usándose básicamente dos tipos: túnel y trinchera cubierta. d) Túneles, según la naturaleza del suelo existen básicamente dos sistemas de construcción de túneles: uno que consiste en perforar el suelo blando y otro

en excavar la roca.

En los suelos blandos, se utilizan túneles circulares gemelos de una sola vía cada uno, o en herradura, de doble vía, donde se emplean máquinas excavadoras llamadas escudos (topas). Para la roca se usan los de herradura de doble vía, mediante el tradicional método minero. e) Trinchera, la trinchera cubierta ó método invertido, exige la excavación previa con soporte por medio de tablestacas o muros colados. Este soporte mantiene la trinchera abierta durante la construcción y evita los desplazamientos de tierra que pueden causar daños a las estructuras cercanas.

Posteriormente, se construyen secciones en forma de cajón de doble celda de concreto armado, sostenidas por soportes de hierro y revestimiento de madera. Cuando el procedimiento constructivo cambia de trinchera a túnel se hace necesaria una zona de transición en la cual el cajón de doble celda se convierte en dos cajones independientes de una celda, luego se rellena la trinchera para restaurar la superficie del suelo que normalmente es la vía pavimentada, este es el método empleado también para la construcción de las estaciones subterráneas, ya que ofrece la posibilidad de operar el metro en conjunto con la ejecución de las obras dentro de la estación.

Para dar continuidad a la construcción del Metro de Caracas, específicamente de la Línea 3, el Valle-La Rinconada, considerando que se utilizó el método invertido como sistema constructivo, será necesario para el cumplimiento de una de las etapas más importantes dentro de la realización del proyecto, la demolición del elemento estructural que realiza múltiples funciones a lo largo del proceso constructivo de la estación: el muro central. Este muro es un elemento de concreto armado que en un principio se diseñó como barrera de contención durante el proceso de excavación, dando apoyo a la losa del nivel mezzanina y dividiendo en dos secciones iguales la

longitud total de la estación durante el proceso constructivo de la estación.

Por ende, una vez finalizada la excavación, debe ser construida la losa del nivel andén, de tal forma que exista una conexión directa entre las dos vías de la estación, esto conlleva la demolición parcial del elemento (muro central). Considerando la circulación del tren en la vía alterna, plantea por tanto la opción de una demolición controlada de dicha estructura para ocasionar el menor efecto posible en los elementos circundantes.

Ahora bien, para este proyecto se plantea realizar la demolición controlada del muro de concreto mediante el método de corte con hilo diamantado, el cual consiste en hacer una serie de cortes en el elemento a demoler mediante el trazado de una cuadrícula definida por el volumen y peso de los bloques a extraer. De lo anteriormente expuesto deviene el hecho de que para realizar algún proceso en la realidad, el ingeniero demanda de herramientas que le permitan calcular y simular el mismo de manera virtual y para ello utiliza técnicas numéricas para conducir dichos experimentos en una computadora digital. Dichos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real con el propósito de evaluar varias estrategias con las cuales puede operar el sistema.

Entre algunas de las técnicas numéricas más importantes destacan los métodos de diferencias finitas, elementos de contorno y elementos finitos. En particular este último es el más eficaz y, en consecuencia, el más utilizado. Dicho modelo no es más que un sistema de ecuaciones cuyas incógnitas representan magnitudes de interés tecnológico que permiten describir el comportamiento del objeto bajo análisis. Consecuentemente, para llevar a cabo la predicción en sí misma, el ingeniero debe resolver cuantitativamente

las mencionadas ecuaciones para dedicarse, a continuación, a la interpretación técnica y al análisis de los resultados.

De lo expuesto anteriormente se tiene que es necesario realizar los cálculos de dicho proceso de demolición controlada del muro en cuestión, ya que no es posible en la realidad prever y determinar las consecuencias de dicha acción de ingeniería, para ello se utilizaría , el método de los elementos finitos y lo cual permite obtener resultados más profundos, específicos y cercanos al comportamiento real y de esta forma lograr un diseño óptimo para el comportamiento de la demolición controlada del muro central de la Línea 3 del Metro de Caracas entre las estaciones mercado, Coche y Jardines. Posteriormente a los cálculos se procederá en la realidad al derribo y extracción de muro, lo cual permitirá posteriormente comparar los cálculos realizados y su comportamiento en la realidad.

Para guiar el estudio se plantearon las siguientes interrogantes para de la investigación:

¿Cuáles son los elementos técnicos estructurales del muro colado central sujeto a demolición?

¿Cuál será la metodología adecuada para el corte del muro colado central en virtud del mantenimiento de la estabilidad del elemento objeto de demolición?

¿Con un modelo matemático se podrá desarrollar la estructura para la representación de las solicitaciones que se demandan?

¿Con la simulación de un programa de cálculo estructural, del proceso de demolición controlada se podrá obtener una secuencia lógica de

extracción del muro demolido?

¿Con la comparación de los resultados obtenidos en el campo con el modelo elaborado se logrará la exactitud del proceso de demolición controlada del muro colado central de la estación?.

## **Objetivos de la Investigación**

### **Objetivo General**

Estudiar la demolición controlada del muro colado central de una estación de Metro de Caracas, construido mediante el método invertido y su comportamiento posterior a la ejecución del derribo.

### **Objetivos Específicos**

- Describir los elementos técnicos estructurales del muro colado central sujeto a demolición.
- Diseñar la metodología adecuada para el corte del muro colado central en virtud del mantenimiento de la estabilidad del elemento objeto de demolición.
- Desarrollar un modelo matemático de la estructura para la representación de las solicitaciones que se demandan.
- Simular utilizando un programa de cálculo estructural, el proceso de demolición controlada para la obtención de una secuencia lógica de extracción del muro demolido.

- Comparar los resultados obtenidos en el campo con el modelo elaborado para el proceso de demolición controlada del muro colado central de la estación.

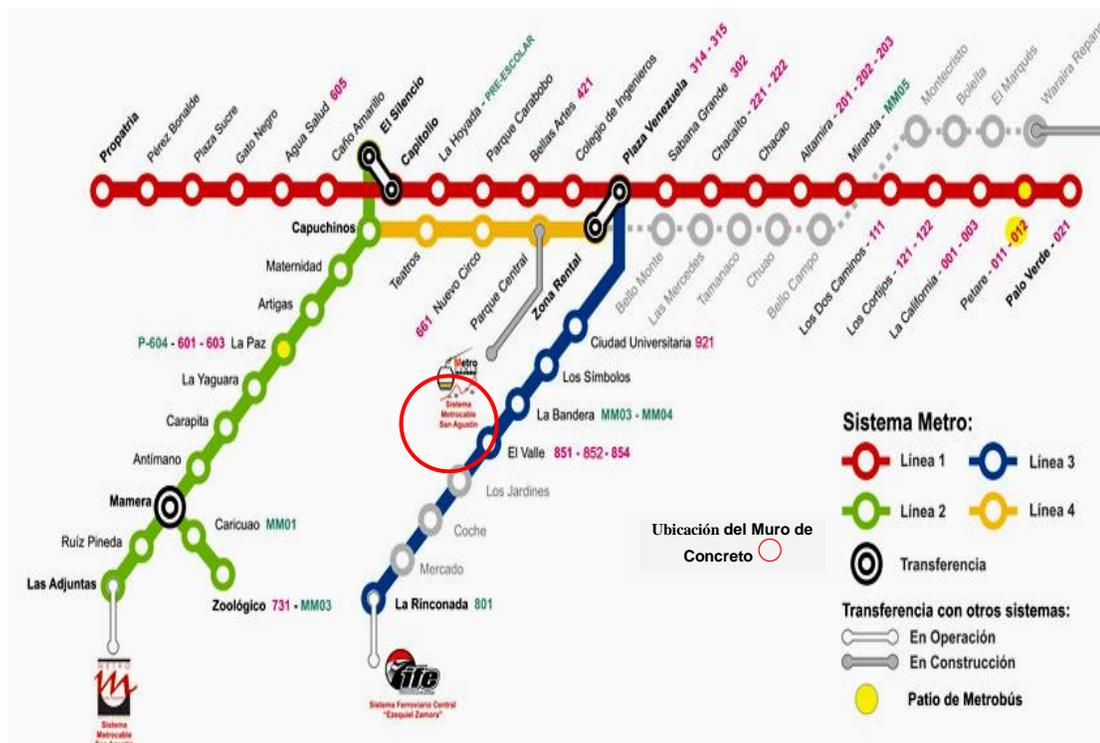
### **Alcance**

El alcance del estudio estuvo representado en diferentes ámbitos, debido a que la investigación se encuentra restringida, en cuanto al ámbito temático a estudiar el proceso de la demolición controlada del muro colado central de una estación de Metro de Caracas, construido mediante el método invertido y su comportamiento posterior a la ejecución del derribo.

Por lo cual y en primer lugar se realizaron los cálculos para el derribo, posteriormente se procede al mismo y finalmente se compararon ambos para determinar las coincidencias o desviaciones ocurridas en el proceso.

El ámbito *temporal* del estudio es el lapso de ejecución del muro y su posterior derribo, comprendido entre los años 2008 y 2009. El estudio propuesto con respecto al *entorno geográfico*, estuvo emplazado en la línea 3 del Metro de Caracas, entre las Estaciones Coche y Jardines. Tal como se observa en el plano siguiente. (Ver Figura 1)

Con respecto al ámbito *metodológico*, a través del estudio se obtuvo la secuencia lógica para la demolición controlada del muro de concreto armado, para posteriormente comparar los cálculos realizados con su comportamiento en la realidad, lo cual confiere a una investigación de campo de nivel descriptivo.



**Figura 1. Ubicación de la demolición controlada del muro colado central del Metro de Caracas.**

**Fuente. Metro de Caracas, datos procesados por el investigador (2009).**

## Justificación

El estudio se justifica desde el punto de vista teórico ya que está centrado en presentar las razones teóricas que justifican la utilización de la simulación para preestablecer el comportamiento de acciones como el derribo controlado, de un muro construido con el método invertido. Ofrece también elementos documentales actualizados referentes al uso del corte con hilo diamantado en estructuras de concreto armado.

El aspecto práctico que justifica el estudio estuvo implícito en la aplicabilidad de los cálculos realizados para proceder al derribo del muro de concreto y luego dicha información fue utilizada en la realidad y posteriormente constatada para resolver las problemáticas que se detecten

en el proceso, por lo cual posee una alta utilidad práctica.

El diseño con una metodología de simulación y luego su comparación con el comportamiento en la realidad, representa una herramienta, que si es utilizada eficazmente, es útil para el adiestramiento de personal, facilita la preparación de los proyectos, promueve el flujo de trabajo, aumenta la eficiencia y satisfacción del cliente permitiendo ofrecer precios competitivos, calidad total, y aumento en la ejecución de trabajo.

Por último, para el investigador el estudio se justificó, ya que permitió aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera, además que como esfuerzo adicional se establecen ciertas recomendaciones basadas en las detecciones de las debilidades de cada subsistema que involucra al proceso, a fin de que se puedan generar la demolición controlada del muro colado central de la estación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

El Marco Referencial, consiste en sustentar teóricamente el estudio, a través de un análisis y exposición de las teorías, los enfoques teóricos en general que se consideren válidos para el adecuado contenido del estudio. En este sentido Hernández, Fernández y Batista (2003), consideran que el Marco Referencial “Es aquel que cumple diversas funciones ya que ayuda a prevenir errores que han de realizar el estudio; conduce al establecimiento de hipótesis o afirmaciones que más tarde habrá de someterse a prueba en la realidad.” (p. 22).

En este sentido, se puede decir que el Marco Referencial es el compendio teórico que facilita la organización de los elementos contenidos en el problema, ampliando su descripción de la misma forma que ofrece en algunos casos, la posible solución, ello implica analizar y exponer aquellas teorías o enfoques teóricos, indagaciones o antecedentes que permiten la comprensión a la investigación. Este marco referencial estuvo constituido por todos aquéllos aspectos conceptuales contenidos en investigaciones anteriores, modelos, teorías, y aspectos legales que sirvieron de soporte al estudio realizado.

#### **Antecedentes de la Investigación**

Los antecedentes de la investigación, son de gran importancia ya que facilitaron el trabajo de la investigación y contribuyeron a fortalecer sus conocimientos, además conformaron los instrumentos que apoyaron y le

dieron validez al estudio que se lleva a cabo. En tal sentido, Arias (2006) define los antecedentes de la investigación "como los estudios previos: Trabajos y Tesis de grado, artículos e informes científicos; entre otros, relacionados con el problema planteado..." (p. 106). Uno de los aspectos más importantes a ser considerados y estudiados en toda organización por lo que, es necesario realizar un estudio al tema de investigación, utilizando como base, investigaciones anteriores realizadas por otros autores que están relacionados con el tema planteado y que brinda aporte teórico, requerido a la presente investigación.

A continuación, se citan algunos estudios previos, relacionados con el problema planteado, investigaciones desarrolladas con anterioridad y que guardan semejanza con la metodología, desarrollo y objetivo del estudio.

Al respecto de los elementos finitos y la simulación en el campo de la ingeniería y estructuras, es importante revisar el estudio de Perri y otros. (1981), donde exponen que el método de elementos finitos ha sido usado en gran variedad de campos, en problemas tridimensionales, problemas que involucran materiales y geometrías no lineales, problemas de dependencia del tiempo, de heterogeneidad y anisotropía. Es importante considerarlo, ya que en este estudio se realizaron cálculos utilizando este método debido a que el concepto de elementos finitos supera dificultades mediante la suposición que en el medio continuo real, la estructura esté dividida en elementos ideales interconectados solamente en un número finito de puntos nodales sobre los cuales se supone actúa una fuerza ficticia, representativa del refuerzo realmente cuántos actuantes en forma distribuida sobre los contornos de los elementos.

Continúan afirmando los investigadores que si una tal idealización puede demostrarse, ser aceptable, resulta claro como el problema por puede

reducirse al de una estructura convencional y luego pueda resolverse con la metodología ya expuesta.

Entre estos están el elaborado por Lepe y Martínez. (2007) concerniente referido al reciclaje de los residuos de demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas, donde se expone que la industria de la construcción demanda grandes volúmenes de recursos y es la mayor productora de residuos sólidos; sin embargo, estos no se aprovechan adecuadamente. Su objetivo fue demostrar que es posible reinsertar estos residuos al ciclo de vida de la construcción de viviendas y contribuir al conocimiento de estos materiales, con sus características particulares para fomentar su uso.

Inicialmente se expone la fabricación y caracterización de agregados, elementos constructivos y concretos simples reciclados; y después, la utilización de estos elementos en la construcción. Concluye el autor afirmando que la reinserción de los residuos al ciclo productivo de la construcción es una alternativa con la calidad necesaria. Se considera que el estudio provee información en lo referente al transporte y reciclado de materiales productos de la demolición que podrían ser utilizados como en el estudio que se propone realizar.

Otro estudio relacionado con el anterior fue realizado por Álvarez (1986), referido al uso de la simulación numérica donde se transforman las ecuaciones a una forma integral y se discretizan éstas últimas. El autor afirma que presenta la ventaja de ser más flexible en cuanto a la forma de los contornos que pueden ser representados, ya que la grilla puede ser irregular. La desventaja, que puede ser importante en algunos casos, es que el método, por la forma en que está planteado, más precisamente, por la función de peso que utiliza), no conserva los flujos que se intercambian entre

los elementos, lo que se traduce en la no conservación de la masa total del sistema.

En lo referente al cálculo utilizando en los métodos finitos es importante revisar otro estudio de Perri. (1997), referido al método numérico para el diseño técnico de muros colados anclados utilizando elementos finitos. En dicho trabajo el investigador presenta una ilustración resumida de los métodos clásicos de diseño de estas estructuras y esencialmente basados sobre la suposición de un comportamiento rígido plástico para el terreno. Y describe explícitamente un método de solución de la línea elástica por diferencias finitas, indicándose como tal procedimiento puede en cierto sentido, considerarse inmediato precursor del método de cálculo por elementos finitos propuesto en su trabajo. El método finito es presentado como una extensión del método matricial de los desplazamientos, de empleo común en el moderno análisis estructural donde se muestran los aspectos relativos al modelo de elementos finitos, al procedimiento básico de solución, al comportamiento no lineal del terreno, a la interacción terreno-muro-anclajes, y a la simulación de las fases constructivas. Posteriormente, el investigador sugiere sus posibles ampliaciones inmediatas y se recomienda su utilización para la conducción de un exhaustivo análisis paramétrico y de sensibilidad para los muros colados anclados y/o apuntalados.

En una investigación referente a la simulación y optimización en ingeniería civil, Chávez. (2006), expone que actualmente existen diversos modelos matemáticos que permiten simular fenómenos físicos. Estos modelos sirven para el diseño, simulación, toma de decisiones; por lo que es una necesidad sumar dichas herramientas a la gestión de manera correcta, es decir conocer las hipótesis en que se basan los métodos de cálculo, las fórmulas que se utilizan, los parámetros que se requieren para los cálculos internos, todo esto para evitar errores de convergencia y asimismo permitir el

análisis de los resultados. El proceso de resolución del problema a través de un modelo requiere de tres etapas relacionadas: La primera etapa es la fase de modelación, allí se plantea el problema en el modelo considerando los fenómenos físicos relevantes, la geometría y las condiciones de borde. La segunda etapa es la solución del problema en el modelo y la tercera etapa es la interpretación de los resultados obtenidos.

En lo tocante a la construcción con el método invertido, otro estudio de Perri, lo refiere como aquél procedimiento constructivo según el cual los muros perimetrales y demás elementos estructurales portantes principales (columnas) de la estación, se ejecutan todos desde la superficie en la primera etapa de la construcción. Luego, la segunda etapa constructiva prevé la construcción del techo de la estación y sucesivamente se procede, desde el subterráneo, a excavar y construir todas las demás estructuras internas, esencialmente las losas de mezanina y de andén y/o losa de fondo, junto con todos los otros elementos estructurales accesorios, como escaleras, pasillos de comunicación, entre otros.

Concluye el autor en su investigación que en todos los casos deberá evaluarse muy cuidadosamente la eventual conveniencia de recurrir a tal procedimiento constructivo en alternativa al método clásico (cielo abierto), ya que este (método invertido) solo es efectivo bajo situaciones muy puntuales, como es el caso de la construcción de las estaciones del metro sin afectar el funcionamiento del sistema.

### **Bases Teóricas**

Las Bases Teóricas permitieron tener una referencia del problema, fundamentados en una serie de conceptos que enmarcaron para la realización del estudio de la demolición controlada del muro colado central de una

estación de Metro de Caracas, construido mediante el método invertido y su comportamiento posterior a la ejecución del derribo. En este orden de ideas, Tamayo y Tamayo (2001), define las bases teóricas como:

La descripción del problema que integra la teoría con investigación y sus relaciones mutuas; es la teoría del problema y tiene como fin de ayudar a precisar y organizar los elementos contenidos en la descripción del problema, de tal forma que pueden ser manejados y convertidos en acciones conectadas. (p.112).

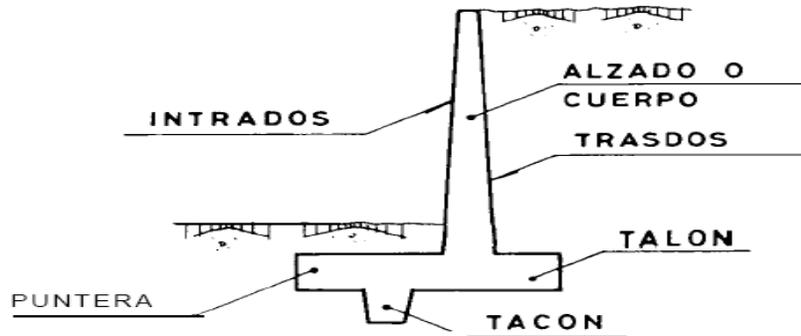
Cabe destacar, que para hacer más fácil la ejecución de los objetivos de este trabajo se debieron definir tópicos; estos términos están estrechamente relacionados al significado de la investigación. Estas bases comprendieron un conjunto de conceptos, teorías y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno del problema planteado.

### **Tipologías de los Muros**

Según Walton. (2000), denomina al muro de contención como “Un tipo de estructura de contención rígida, destinada a contener algún material, generalmente tierras.” (p. 75). Es de se resaltar, que los muros de contención se utilizan para detener masas de tierra u otros materiales sueltos cuando las condiciones no permiten que estas masas asuman sus pendientes naturales. Estas condiciones se presentan cuando el ancho de una excavación, corte o terraplén está restringido por condiciones de propiedad, utilización de la estructura o economía.

Por ejemplo, en la construcción de vías férreas o de carreteras, el ancho de servidumbre de la vía es fijo y el corte o terraplén debe estar contenido dentro de este ancho. De manera similar, los muros de los sótanos de edificios deben ubicarse dentro de los límites de la propiedad y contener el suelo alrededor del sótano. Los muros tienen diferentes funciones, así

como denominaciones. Tomando el caso más común de muro, se exponen las designaciones siguientes en la Figura 2.



**Figura 2. Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado para Edificios**

Fuente: Walton, D. (2000).

Muros de Gravedad

Son muros de hormigón en masa (Ver Figura 3) en los que la resistencia se consigue por su propio peso. Normalmente carecen de cimiento diferenciado, aunque pueden tenerlo.



**Figura 3. Estructuras de Muros de Hormigón en Masa**

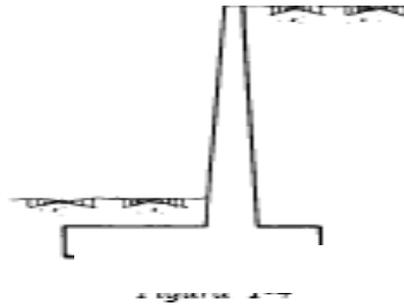
Fuente: Walton, D. (2000).

Su ventaja fundamental es que no van armados, con lo cual no aparece en la obra el tajo de ferralla. Pueden ser interesantes para alturas moderadas y aun eso, sólo si su longitud no es muy grande, pues en caso contrario, y en

definitiva siempre que el volumen de muro sea importante, la economía que representan los muros de hormigón armado justifica la aparición del tajo de ferralla.

### **Muros ménsula**

Son los de empleo más corriente y aunque su campo de aplicación depende, lógicamente, de los costes relativos de excavación, hormigón, acero, encofrados y relleno, puede en primera aproximación pensarse que constituyen la solución económica hasta alturas de 10 ó 12 m. (Ver Figura 4)

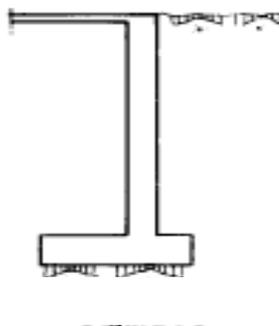


**Figura 4. Estructuras de Muros Ménsula**

**Fuente: Walton, D. (2000).**

### **Muros de sótano y contención**

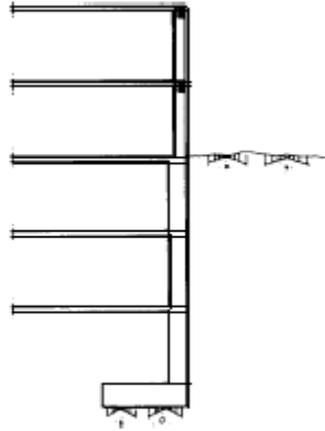
El tipo más elemental se indica en la Figura 5 y recibe como única carga vertical, aparte su peso propio, la reacción de apoyo del forjado de techo.



**Figura 5. Estructuras de Muros de Sótano y Contención**

**Fuente: Walton, D. (2000).**

Dentro de la tipología general, el caso más frecuente es que sobre el muro apoyen pilares que transmiten cargas de las plantas superiores y que existan además varios sótanos, tal como se indica en la Figura 6.



**Figura 6. Estructuras de Muros Ménsula**  
Fuente: Walton, D. (2000).

Dependiendo de que el terreno contenido sea o no de propiedad ajena y de la relación entre empujes y cargas verticales, el cimiento va o no centrado respecto al muro. Calavera. (1985), señala que la ejecución de este tipo de muros puede ser con encofrados o mediante el procedimiento de muros pantalla.

### **Simulación de Estructuras y el Uso de Herramientas de Informática**

Durante el proceso de elaboración de cualquier proyecto arquitectónico, una vez que se definen todas las directrices formales y constructivas, se han de concretar y definir, con una adecuada precisión, los diferentes elementos que la componen (sistemas constructivos, condiciones de borde, cargas). En este sentido, muchas de las decisiones se toman a partir de razonamientos lógicos o intuitivamente, pero existen otras que pueden emprenderse por medio de procedimientos de cálculo numérico apoyándose de las ventajas

que ofrece la informática y que permiten resultados más exactos del problema abordado

Los programas de cálculo de Estructuras tienen como función realizar estos procesos de análisis numérico de forma ágil y rápida; y proporcionar datos que faciliten el conocimiento del comportamiento estructural más aproximado de la estructura, y así facilitar la definición de algunos de los elementos del proyecto, especialmente los que componen el soporte de esta.

En general puede considerarse que estos programas actúan con dos estrategias diferentes:

1. Pre-dimensionamiento de los elementos estructurales en función de las características definidas por el usuario.

2. Estimar el comportamiento de los elementos estructurales proyectados sometidos a determinadas condiciones previstas.

Cuando se utilizan programas de cálculo se han de diferenciar claramente los resultados que proporciona el ordenador y el comportamiento que tendrá en la realidad el modelo analizado. Para poder estar totalmente seguros de que los resultados que proporciona el ordenador coinciden con el verdadero comportamiento de la estructura, es necesario tener una idea clara de lo que significa calcular estructuras por medio de un computador.

### **Los Modelos Matemáticos**

Cuando los programas de cálculo proporcionan los resultados, no quiere decir que en la realidad la estructura se va a comportar tal y como lo determinan estos.

Lo que se obtiene son unos resultados numéricos producto de unos determinados algoritmos de cálculo (Modelo Matemático) sobre unos datos previamente proporcionados por el usuario del programa que, supone, describen numéricamente la situación del problema a resolver.

Existen diversos modelos matemáticos para el cálculo de estructuras que responden a determinados parámetros y condiciones.

1. **Tipologías de problemas:** Los modelos matemáticos están pensados para problemas concretos por tanto cada uno de ellos tiene un ámbito de aplicación definida. Es por consiguiente importante conocer el ámbito de aplicación para poder garantizar la veracidad de los resultados.

2. **Grado de complejidad del método de cálculo:** Frecuentemente es posible escoger entre diversos modelos matemáticos para solucionar el mismo problema esto depende de la complejidad del problema así como de la economía de l proceso de cálculo.

En general se pueden obtener resultados más exactos utilizando programas basados en métodos de cálculo más complejos, por ejemplo el Método de los Elementos finitos, pero normalmente esto es a costa de emplear más tiempo economía - hombre ya que los datos requeridos para su ejecución son mayores y, que gracias a la informática estos se van reduciendo cada vez más.

El Cálculo de Estructuras por medios de programas informáticos, por consiguiente en una tarea que se realiza en tres niveles, de los cuales, los dos primeros se definen como preproceso y el tercero como postproceso:

1. **Modelización:** Seleccionar un programa que utilice el modelo

matemático (Cálculo matricial de barras, Método de los Elementos Finitos) más adecuado al problema a abordar y plantearlo en términos de que el programa sea fácil de usar, así mismo que permita una adecuada y lógica discretización de la estructura.

2. **Aplicación:** Utilización del programa, introduciendo los datos necesarios para describir los elementos a calcular y dando las órdenes para realizar el análisis correspondiente y obtener resultados deseados.

3. **Interpretación:** Recepción, comprensión y evaluación de los datos obtenidos, primeramente para verificar su fiabilidad y después para poder utilizarlos en la definición de los elementos de proyecto.

Para poder realizar estas operaciones con garantía de que los resultados sean correctos es imprescindible que el usuario tenga los conocimientos necesarios sobre el comportamiento y el cálculo de estructuras, ya que si no es así estos programas pueden convertirse en herramientas muy peligrosas en manos inconscientes.

La facilidad cada vez mayor de utilización de éstos aumenta el riesgo de que su uso sea incorrecto ya que el saber introducir los datos no significa que se podrá asegurar la fiabilidad de los resultados.

### **Programas para el Cálculo de Estructuras**

Existe una gran variedad de programas de cálculo de estructuras, como por ejemplo: WinEva, Sap90, Sap2000, Pòrtics, Plastic, Calsef, Ansys, etc. Es posible utilizar diferentes criterios para analizar la base matemática y el ámbito de aplicación de ellos.

También es importante evaluar el grado de facilidad en la comunicación entre el usuario y el ordenador y las ventajas que este da al facilitar las tareas y optimizar los procesos.

### 1. **Métodos Numéricos**

Dentro del cálculo de estructuras los métodos más conocidos son:

- a) Cálculo Elástico de elementos independientes
- b) Método de Cross (poco empleado actualmente)
- c) Cálculo Matricial
- d) Cálculo por medio del Método de los Elementos Finitos
- e) Modelos Mixtos

### 2. **Modelos de Tipologías de las Estructuras**

a) Modelo tridimensional ortogonal (simplificación muy rígida, la cual solo es apta para casos particulares).

b) Modelo bidimensional libre (simplificación más flexible, útil siempre que la estructura se pueda descomponer en planos).

c) Modelo tridimensional ortogonal (modelo más complejo y de resultados más exactos pero con la limitación de la ortogonalidad de los elementos).

d) Modelo tridimensional libre (es el sistema más flexible y que proporciona resultados más precisos).

### 3. **Utilización de los Programas de Cálculo**

En lo que respecta al cálculo de estructuras es posible utilizar programas genéricos adaptados a unas necesidades concretas, o bien usar programas específicos, ya preparados para realizar determinados cálculos de

estructuras.

#### 4. **Programas genéricos**

Los programas informáticos genéricos aplicados al cálculo de estructuras están pensados para realizar cualquier tarea que tenga que ver con procesos numéricos repetitivos, aplicados a la automatización del cálculo. Es evidente que para procesos de análisis complejos es preferible poder disponer de programas ya preparados. Pero en algunos casos, de cálculos sencillos de elementos estructurales, es suficiente poder automatizar las operaciones matemáticas repetitivas. De manera que, una vez establecidos los algoritmos numéricos, en función de parámetros variables, estos puedan ser utilizados cada vez introduciendo solamente los nuevos valores correspondientes a los diferentes parámetros.

Una hoja de cálculo es, un programa genérico que permite definir y trabajar sobre una estructura matricial de casillas en donde lo que se ve en cada una de ellas puede ser el texto, números que se han introducido previamente o puede ser una relación (Cálculos o Ecuaciones) con otras casillas. Por medio de estos mecanismos se pueden definir y almacenar secuencias de cálculo entendidas como relaciones numéricas entre casillas sucesivas.

Algunos ejemplos de utilización de hojas de cálculo son:

- a) Cálculo de tensión en barras.
- b) Cálculo de deformación de barras.
- c) Cálculo de elementos de cimentación y muros de contención.
- d) Cálculo de aislamiento térmico de elementos constrictivos compuestos.

e) Cálculo de aislamiento acústico de elementos constructivos compuestos.

f) Cálculo simplificado de pequeñas redes de fluidos.

### 5. **Programas específicos**

Existen, actualmente, en el mercado una gran variedad de programas específicos de cálculo estructuras, orientados a necesidades y problemas diferentes, entre los que es importante poder seleccionar los más convenientes.

Al evaluar cada uno de ellos es importante contemplar algunos parámetros importantes.

a) Modelo o Modelos matemáticos que utiliza y, en consecuencia ámbitos de aplicación así como grado de complejidad y precisión.

b) Facilidad en la utilización (grado de comodidad y eficacia de la interface entre el usuario y el ordenador).

c) Posible compatibilidad entre otras aplicaciones (Posibilidad de transformar información entre el programa de cálculo y otros, por ejemplo: interpretar archivos de dibujo directamente en la ejecución del análisis).

Programa SAP 200 versión 11, el cálculo de estructuras más complejas en una, dos y tres dimensiones con la implementación del Método de los Elementos Finitos en análisis lineal, y un pre y postproceso mucho más completo, además de contar con cálculo sísmico (Este programa será utilizado para la interface que se presenta en esta publicación). Contiene su propio pre y postproceso, pero tiene algunas limitaciones dentro de este.

Este programa es actualmente el más utilizado entre los Calculistas,

Investigadores y estudiantes debido a que el manejo de este es cómodo. Pero, siempre se ha de conocer a fondo el programa, los fines de su uso, así como la interpretación de los resultados, pues puede ser peligroso para aquellos que no están familiarizados con los conceptos de cálculo de estructuras.

### **Metodología de análisis para el pre y postproceso del cálculo de estructuras**

Que es el preproceso en la actualidad, el Cálculo de Estructuras se realiza mediante programas informáticos cada vez más avanzados y sofisticados. Al mismo tiempo se implementan nuevos métodos de cálculo, que permiten conocer de forma ágil y fácil el comportamiento estructural de cualquier género de edificio.

El Método de los Elementos Finitos es uno de ellos y gracias a la informática es, actualmente, una de las herramientas más utilizadas para el cálculo de estructuras entre profesionales e investigadores. Pero, su problema fundamental radica en la discretización de la estructura a estudiar ya que no siempre se trata de estructuras sencillas. Por esta razón, la modelización para su cálculo posterior es compleja y esto implica que se implementen programas de dibujo (CAD) para poder realizarla.

Esto es a lo que se llama el preproceso, a la interpretación de entidades de dibujo las cuales a su vez se traducen en datos necesarios (generación de nodos con sus respectivas coordenadas y conectividad de los elementos) para su cálculo posterior. Estos datos son, como se verá más adelante, interpretados por un programa de Elementos Finitos, junto con sus respectivos datos estructurales tales como: materiales, condiciones de contorno, etc.

Dentro del cálculo de estructuras, por medio de programas informáticos, en los que se utiliza el Método de los Elementos Finitos, el preproceso siempre ha sido un problema difícil de resolver ya que prácticamente todas las estructuras son de geometría variada y en algunos casos complejas, no siempre fáciles de resolver. Debido a esto, es importante poder realizar un preproceso adecuado de estas estructuras, antes de proceder al cálculo de ella.

En la mayoría de los programas, el preproceso se realiza manualmente insertando los datos de la geometría o con la ayuda de un programa de dibujo. Esto significa dibujar la estructura que se quiere estudiar y a su vez realizar una discretización de ella (generación de la malla).

Una vez que se tiene esta discretización, normalmente se graban los resultados en un archivo con la extensión, la cual, proporcionará nodos, coordenadas de los mismos, elementos de la malla, así como la conectividad entre ellos. Posteriormente deben de anexarse características de materiales, condiciones de contorno, cargas, método de cálculo, entre otros.

Para realizar todo este proceso es necesario dedicarle mucho tiempo, además de que puede generarse errores en la discretización de la estructura lo cual, se puede traducir en una mala interpretación de los resultados. El primer paso a realizar en el preproceso es conocer el tipo de estructura a calcular (problema a resolver). Esto significa, seleccionar primero un modelo matemático adecuado para describir su comportamiento estructural.

Una vez que se tiene definido el modelo matemático el siguiente paso sería la discretización (generación de la malla) de la estructura en pequeños trozos que se llaman elementos finitos. Los elementos (fragmentos) se conectan entre sí a través de nodos situados en su contorno. (frames),

bidimensionales (shells, asolids) e incluso tridimensionales (sólid); o una combinación de los mismos. Tal como ya se ha mencionado, la etapa de discretización constituye una parte primordial del preproceso.

### **El modelo matemático**

Aceptando que la mayoría de las estructuras tienen un comportamiento continuo y para conocer su comportamiento estructural, es necesario realizar un análisis más profundo de ellas, para resolver las ecuaciones diferenciales que expresen su equilibrio.

El Cálculo Matricial de barras y el Método de los Elementos Finitos para barras y estructuras continuas, son actualmente los métodos de cálculo más utilizados. En el primer caso, el análisis está destinado al cálculo de las deformaciones elásticas y de los esfuerzos producidos en una estructura de barras, sometidas a unas acciones determinadas.

En lo que respecta al MEF., actualmente es uno de los procedimientos más potentes para el análisis de estructuras de carácter uni, bi o tridimensional sometidas a las acciones más diversas. La gran semejanza entre el cálculo matricial de barras y el MEF., facilitan sobre manera el estudio de éste.

En este apartado solo se analizan los modelos matemáticos relacionados con el MEF. Dichos conceptos serán de gran ayuda para el estudio de estructuras de tipologías más complejas. A partir de esta introducción, el siguiente paso será definir el modelo matemático que se utiliza en el cálculo.

Es importante resaltar que la aplicación de los modelos matemáticos

estará en función de la imaginación o la capacidad de abstracción del usuario frente a una estructura real, sea plana o tridimensional.

Para comprender lo que significa el modelo matemático, se subdividen en tres apartados:

1. Idealización de la estructura: (Vigas, placas, láminas, elasticidad bi y tridimensional, sólidos y láminas de revolución)

2. Modelado del material: (Material elástico lineal o no lineal).

3. Ecuaciones del problema: (Ecuaciones diferenciales). Con excepción de las de barras 3 Siempre y cuando la simplificación de la estructura lo permita

4 Método de los Elementos Finitos (A partir de ahora se utiliza esta abreviación para simplificar el MEF.)

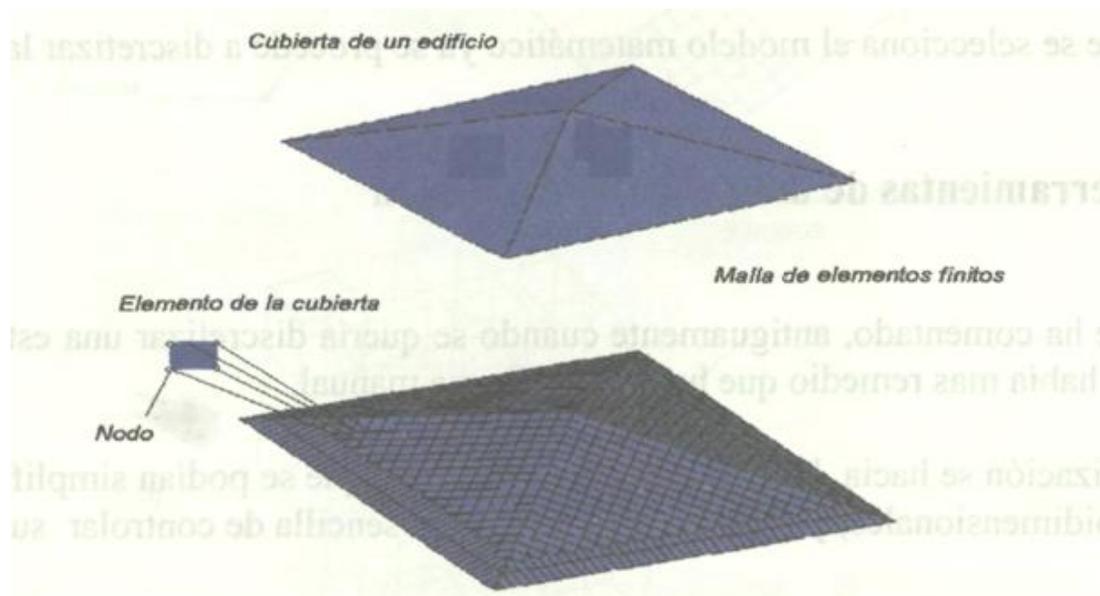
### **Idealización de la estructura**

La idealización de una estructura, se puede considerar que la misma se encuentra formada por "Partes" ideales. Así, los nudos o nodos se consideran identificados con un punto (a los efectos del cálculo), cuando se sabe que cualquier nudo tiene un volumen (visualiza el encuentro de una viga y una columna). De igual manera, se debe tomar en consideración a las vigas y columnas como "barras" lineales, sin espesor, aunque les asignemos un peso y características geométricas (momento de inercia, altura, etc.).

Las losas y cáscaras pasan a ser láminas de espesor infinitesimal, cuando en realidad tienen espesor. Los apoyos, son rígidos (o con empotramiento total, que no existe en ningún caso) o móviles (que se da en los apoyos de puentes, aunque siempre existe un coeficiente de roce inicial con un valor que puede ser más o menos apreciable). También a los

materiales los consideramos ideales: el acero es totalmente elástico; el hormigón (en el caso del hormigón armado) lo acompaña perfectamente en sus deformaciones. Todo esto se hace a los efectos de hacer los cálculos de una manera más sencilla, más simplificada. Los resultados que se obtienen de estas simplificaciones o "idealizaciones" están muy cerca de la realidad, con las debidas limitaciones.

A continuación, se presenta como ejemplo el análisis de una cubierta de un edificio como se muestra en la Figura 7, y es necesario, inicialmente, seleccionar un modelo matemático adecuado para definir su comportamiento.



**Figura 7. Análisis de la Cubierta de un Edificio por medio del MEF**

Fuente: Muñoz, F. (2000).

## Teoría de la Elasticidad Tridimensional

### 1. *Modelado del material*

Ahora hay que definir las características mecánicas de los materiales de

la cubierta, así como la naturaleza de las deformaciones de la misma (pequeños o grandes desplazamientos, análisis en primer o segundo orden, análisis dinámico o estático, etc.). Una vez que se selecciona el modelo matemático ya se procede a discretizar la estructura.

## **2. *Herramientas de uso en la discretización***

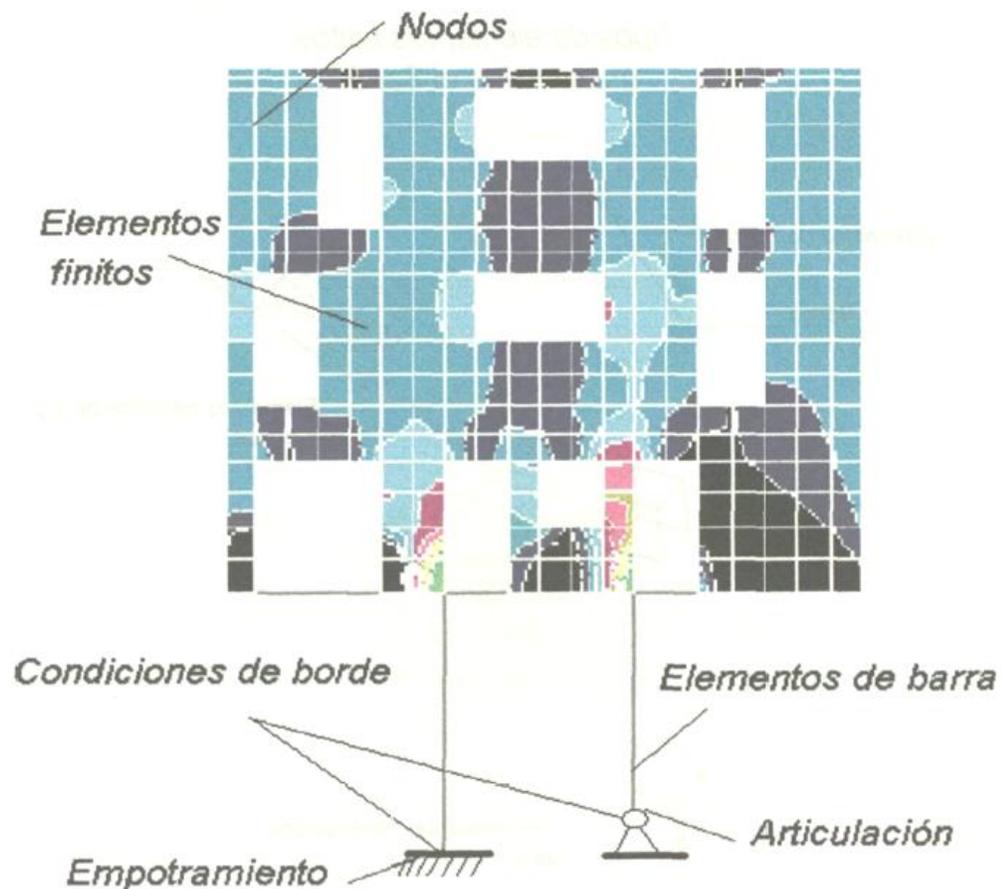
Como ya se ha comentado, antiguamente cuando se quería discretizar una estructura para su posterior análisis, no había más remedio que hacerlo de forma manual. Esta discretización se hacía, lógicamente, en estructuras que se podían simplificar en el plano (barras o elementos bidimensionales) ya que era la manera más sencilla de controlar su geometría).

Actualmente, y gracias al avance de la informática, esa tarea es mucho más sencilla. Existen programas gráficos (CAD) que permiten dibujar cualquier estructura, por compleja que sea, discretizarla, y transformar su geometría (archivo dxf) en datos útiles para su cálculo. Lo más habitual es aprovechar los ficheros de salida de los programas gráficos formateados en un lenguaje estándar, como los \*.dxf, que contengan información de la geometría del dibujo y de su discretización. Este fichero lo lee e interpreta un programa de cálculo que lo traduce en información sobre los nodos (puntos), los elementos de la discretización, así como su conectividad entre ellos.

Finalmente, toda esta información se introduce en un programa de cálculo, ya sea matricial o de elementos finitos, para un análisis posterior. Se apoyan en diferentes tipos de elementos finitos para discretizar (generar malla) una estructura. Una vez que se han introducido esos datos (geometría) en un archivo, se procede a ensamblar el resto de la información, tal como: el tipo de material (densidad, módulo de Poisson, módulo de elasticidad, etc.), condiciones de borde (empotramientos, desplazamientos y

giros) de la estructura, cargas, peso propio, así como el resto de los datos que requiere el programa para su correcto funcionamiento.

Pero este proceso, que aunque resulta más rápido y eficaz que el anterior, sigue siendo bastante complicado pues continua siendo inevitable el uso de los programas que transforman los archivos de dibujo a uno de texto.



**Figura 8. Elementos de un Malla**  
Fuente: Muñoz, F. (2000)

### Ecuaciones del problema

El siguiente paso del preproceso es el Proceso. Este se inicia con la

obtención de las matrices de rigidez y de los vectores de carga en los nodos para cada elemento discretizado:  $k'$  y  $f'$  respectivamente. El hecho de que intervenga un complicado proceso de integración de la energía de deformación sobre el dominio uni, bi, y tridimensional hace que sea más compleja la obtención de las matrices de rigidez de los elementos finitos que las de sus homólogos barra.

Ecuación matricial de un elemento finito:  $f' = k' \times a'$

*Donde:*

$a'$  = Es el vector de movimientos en los nodos del elemento

$k'$  = Matriz de Rigidez para cada elemento,

$f'$  = Vector de Cargas para cada Elemento.

Una vez que se tienen estos datos, se procede al ensamblaje de las matrices y de los vectores de carga para cada elemento en una matriz global que implica toda la malla de elementos finitos de la estructura completa. El sistema de ecuaciones resultante permitirá obtener los desplazamientos nodales.

Sistema de ecuaciones resultante  $F=Ka$

*Donde:*

$A$  = es el vector de movimientos incógnita de cada uno de los nodos.

$K$  = es la matriz global de toda la estructura.

$F$  = es el vector completo de cargas en todos y cada uno de los nodos de la estructura.

Calculados los movimientos nodales  $a$  ya se pueden obtener las deformaciones, las tensiones y, a continuación, los esfuerzos en cada

elemento. Lógicamente, para poder realizar todas estas operaciones en el proceso, es necesario apoyarse en un programa informático que lo resuelva.

### ***El postproceso***

Una vez que la estructura ha sido calculada por algún programa informático ya que se pueden obtener los resultados. Cada vez más y debido a la cantidad de datos que se manejan, éstos se sustituyen por una adecuada representación gráfica y visualmente más inteligible.

A esto se le llama postproceso, a la implementación gráfica de todos y cada uno de los resultados de la estructura calculada. Este último, al igual que el preproceso, requiere de un programa que pueda interpretar de forma gráfica los resultados.

### **Método de los elementos finitos (MEF)**

Zienkiewicz. (2003), expresa que con anterioridad a la aparición de las primeras herramientas de simulación por el Método de los Elementos Finitos en torno al año 1950, “la definición de estructuras metálicas complejas se realizaba a partir de la resolución analítica de ecuaciones diferenciales, lo cual se convirtió rápidamente en un problema al presentarse casos complejos y difíciles de resolver” (p. 22).

A comienzos del siglo XX investigadores como Castigliano, Rayleigh y Ritz (s/f), desarrollaron una metodología para predecir el desplazamiento de una estructura basándose en ecuaciones de funciones de forma de sistemas sencillos de carga, siendo estos resueltos por una minimización de la energía. El trabajo desarrollado por el matemático Richard Courant a mediados de 1950 permitió sentar las bases de la resolución de sistemas

estructurales mediante la implementación de la notación matricial y su resolución algebraica.

A partir de este momento, con el desarrollo que han experimentado las computadoras en el aumento de su capacidad de cálculo, gestión de memoria, capacidad de almacenamiento en disco, unido al uso y desarrollo del Método de los Elementos Finitos aplicado al cálculo estructural lineal, no lineal, dinámico, térmico, ha hecho que esta metodología se vaya extendiendo desde las universidades, pasando por las multinacionales y llegando a las pequeñas y medianas empresas. (Zienkiewicz, 2003)

### **Simulación por el Método de los Elementos Finitos (MEF)**

El Método de los Elementos Finitos es un método numérico de resolución de ecuaciones diferenciales de problemas continuos, de tal forma que:

- El continuo se divide en un número finito de partes, “elementos”, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros asociados a ciertos puntos característicos denominados “nodos”. Estos nodos son los puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes.

- La solución del sistema completo sigue las reglas de los problemas discretos. El sistema completo se forma por ensamblaje de los elementos.

- Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y pasan a ser el valor de estas funciones en los nodos.

- El comportamiento en el interior de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos mediante las adecuadas funciones de

interpolación o funciones de forma.

De igual manera, Zienkiewicz. (2003), señala que el MEF, por tanto, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos.

### **Mecánica de los sólidos deformables: la resistencia de los materiales y la teoría de la elasticidad**

Ambos conceptos teóricos aborda el estudio de la resistencia de los materiales, estado de tensiones y la rigidez, según Cervera, y Blanco. (2006), es el “referente al estado de formaciones, de cuerpos sólidos deformables sometido a la acción de sistemas de fuerzas y libertad asimismo ambas parten del principio de linealidad entre acción y respuesta” (p. 34) esto implica, que el comportamiento de los materiales se supone elástico y que los movimientos que se produce se suponen pequeños.

La resistencia de materiales limita su campo de aplicación a ciertos tipos de elementos estructurales (losas, columnas entre otros) sustentado de cierta manera predeterminada (apoyos simples, articulaciones, empotramientos entre otros) y sometida a cierta tipo de acciones (fuerza puntuales y repartidas, generalmente, y otras acciones definidas de forma adecuada). Esta restricción previa en cuanto a las geometrías, Comisión de apoyo y acciones consideradas permite la formulación de ciertas hipótesis de partida de un planteamiento simplificado apto para la resolución analítica de multitud de problemas cotidianos de ingeniería estructural.

La teoría de la elasticidad por su parte, afronta el problema mecánico en su forma más general en cuanto geometría, condiciones de contorno y tipo de acciones consideradas. Esto conlleva un rigor que precisa de un planteamiento matemático que impide obtener soluciones analíticas, salvo para un número limitado de casos, requiriendo el uso de métodos numéricos aproximados (diferencia finita elementos finitos) como es el caso de la tesis que se propone realizar, esto para la resolución de la mayor parte de problemas de interés práctico. (Cervera y Blanco, 2006)

### **Evolución de la Resistencia de Materiales**

Según Cervera y Blanco (2006), este concepto se inicia "con carácter científico a principios del siglo XVII con los trabajos de Galileo. Se desarrolla posteriormente en Europa junto a las ciencias empíricas" (p. 22), gracias a los aportes de Robert Hooke, los hermanos Jacob y John Vernouilli. Euler y Charles Agustín Coulomb. Por su parte la teoría de la elasticidad se inicia a finales del siglo XVIII para tomar forma en los trabajos de Navier y Lamé, entre otros.

Debido a sus objetivos y principios comunes, la resistencia de materiales y la teoría de la elasticidad siguen caminos paralelos prácticamente desde sus inicios y a partir de la sistematización de ambas, no es fácil delimitar de forma clara los ámbitos respectivos desde la perspectiva actual es habitual considerar a la resistencia de materiales una parte subordinada de la teoría del elasticidad. Cualquier caso, ambas disciplinas manejan multitud de conceptos comunes, tales como los de fuerza, desplazamiento, tensión, de formación, equilibrio, entre otros. (Cervera y Blanco, 2006)

### **Concepto de Tensión**

Respecto al concepto de tensión pueden hacerse las siguientes observaciones:

- Las dimensiones de la tensión son  $FL^{-2}$ , o sea, fuerza por unidad de superficie. En el sistema internacional la tensión se mide en Pascales es decir, en  $N/m^2$ .

- La tensión depende del punto y de la orientación de la sección elegida así, en un punto dado se tendrán diferentes tensiones según la orientación considerada, y para una sección dada se tendrán tensiones diferentes para distintos puntos.

- En general la tensión no es normal al plano de corte considerado, sino que puede descomponerse segundo elemento componentes: la tensión normal al plano de la sección y la tensión tangencial al dicho plano.

Es importante agregar también que sobre cada cara de un elemento actúa una tensión diferente que se puede descomponer según los ejes de referencia. El sistema de tensiones que actúa sobre los planos coordenados que pasan por un punto están definidos por diferentes componentes independientes. Estos componentes definen el esquema de tensiones en un punto que permite calcular la tensión que actúa sobre cualquier plano que pase por dicho. (Cervera y Blanco, 2006)

### **Deformación**

Un cuerpo cualquiera sometido a la acción de fuerza aplicada, y con vínculos suficientes como para impedir el movimiento de sólido rígido, dado que no existe material alguno que sea infinitamente rígido, la acción de la fuerza se traduce en la deformidad del cuerpo. Por lo cual el cuerpo se comporta de forma suficientemente rígida como para que los movimientos

que se producen en el proceso de deformación se han pequeños comparado con las dimensiones del cuerpo, lo que es llamado principio de rigidez.

La deformación de un elemento diferencial de volumen de dimensiones diferentes, puede descomponerse en tres partes rotación y traslación (movimientos de sólido rígido) y de formación pura (cambio de forma). (Cervera y Blanco, 2006)

### ***Elasticidad y linealidad. Ley de Hooke***

Todo cuerpo se deforma bajo la acción de las fuerzas aplicadas, y al cesar ésta, el cuerpo tiende recuperar su forma primitiva. Esta tendencia que, en mayor o menor grado, tienen todos los cuerpos se domina elasticidad.

En realidad, los cuerpos no son ni perfectamente elásticos y perfectamente elásticos. Las deformaciones que en ellos se producen constan de una parte de deformación elástica que desaparece al cesar las fuerzas aplicadas cubas y una parte de formación permanente, que se mantiene posteriormente. En un elevado número de cuerpos, si la fuerza no sobrepasan determinados valores, las deformaciones permanentes son muy pequeñas, y en consecuencia, dicho cuerpo pueden considerarse elásticos. (Cervera y Blanco, 2006).

### ***Principio de Superposición***

Si se cumple la Ley de Hooke y se supone que los desplazamientos producidos por las fuerzas actuantes son muy pequeños en relación a las dimensiones del cuerpo, de tal manera que se pueda considerar que éste mantiene la forma y dimensiones originales, entonces puede aplicarse el principio de superposición o principio de linealidad. El principio de

superposición establece que los efectos que un sistema de fuerzas aplicadas, origina en un cuerpo, son iguales a la suma de los efectos que originan esas mismas fuerzas actuando por separado.

Al respecto la ley de ajuste generalizada establece la proporcionalidad entre fuerzas (acciones) y desplazamientos (efecto), a la relación existente entre tensión y deformaciones actuantes. Enunciada de esta forma, se llama ley de Hooke generalizada, y los coeficientes de proporcionalidad que aparecen son constantes características del material, y no dependen de la geometría del cuerpo, ya que el estado tensional y de deformación son propios de un punto. (Cervera y Blanco, 2006)

### **Objetivo de la Resistencia de Materiales**

La resistencia de materiales, como parte integrante de la mecánica estructuras, tiene como objetivo fundamental determinar la respuesta de las estructuras cuando éstas se ven sometida a las diferentes acciones que deben soportar durante su construcción y durante su vida útil así como también el trabajo de las acciones que soportarán cuando sean objeto de derribo. Por respuesta estructural se entiende como básicamente, la determinación de los estados de tensión y de formación a los que la estructura va a estar sometida por efecto de las diferentes acciones que deben soportar durante su construcción y vida útil.

Por respuesta estructural se entiende, la determinación de los estados de tensión y deformación a los que la estructura va a estar sometida por efecto a diferentes estados de carga que se considera y en el presente caso a la acción del corte y derribo que va a estar sujeto el muro objeto de estudio.

La determinación de los estados de tensión es necesaria para comprobar la satisfacción de los criterios de resistencia que establecen las correspondientes normativas y los usos de buena práctica de cara para garantizar la seguridad de las estructuras. Por su parte, la determinación de los estados de formación suele ser necesaria para satisfacer los criterios de rigidez, están a menudo ligados a requisitos de funcionalidad de las estructuras.

Por tanto, la resistencia de materiales pretende establecer las condiciones de región de resistencia y rigidez de las estructuras analizadas. Ambos aspectos se abordan en otro tipo de problemas fundamentales que se plantean en la práctica ingenieril: el dimensionamiento y la verificación de estructuras. (Cervera y Blanco, 2006)

### **Principios de la resistencia de materiales**

La resistencia de materiales se basa en tres principios o hipótesis fundamentales: el principio de rigidez, el principio de superposición y el principio de Saint-Venant seguido la validez de los resultados obtenidos mediante esta teoría depende, básicamente, del grado de satisfacción de estos principios en el caso concreto en que se aplique. Para que los principios fundamentales enunciados se cumplan y los resultados de la resistencia de materiales sean válidos las piezas deben cumplir las condiciones de: geometría de la directriz, y geometría de las secciones.

Las fuerzas (acciones y reacciones) que actúa sobre una estructura deben estar en equilibrio estático. Esto significa que debe formar un sistema de fuerzas resultante nula de momento resultante en uno; por tanto, deben cumplir las ecuaciones que se conocen con el nombre de ecuaciones de la estática. (Cervera y Blanco, 2006)

## Plasticidad

La Teoría de Plasticidad es el estudio matemático de esfuerzos y deformaciones en sólidos plásticamente deformados, especialmente en metales. No se trata de la explicación física de la plasticidad. La relación entre la estructura cristalina (y sus correspondientes fuerzas cohesivas) con las propiedades elásticas y plásticas de los metales, corresponde al campo de la física de metales.

La necesidad de esta teoría surge de observaciones macroscópicas de sólidos plásticos bajo un estado uniforme de esfuerzos combinados. La teoría se orienta a alcanzar los siguientes propósitos: (1) construir relaciones generales de esfuerzos y deformaciones que concuerden lo mejor posible con las observaciones experimentales, y (2) desarrollar relaciones esfuerzo – deformación, sin distribución uniforme, en cuerpos permanentemente distorsionados en alguna manera. A partir de ahí, será posible estudiar el comportamiento elástico y plástico de los materiales, así como determinar el nivel de carga límite que puede soportar un cuerpo para deformarse en forma plástica.



**Figura 9. La curva esfuerzo – deformación**  
**Fuente: Cervera y Blanco. (2006)**

El diagrama es típico en una prueba de tensión, compresión o torsión. En P el metal tiene un comportamiento elástico (se recupera íntegramente al

efectuar la descarga). A partir de Y el comportamiento deja de ser lineal para iniciar un comportamiento plástico. En S, todavía en el nivel plástico, al efectuarse una descarga, se llega a producir una recuperación de tipo elástico, pero con una deformación plástica permanente OO'. Al reiniciar la carga, hasta P' el comportamiento es lineal, con el mismo módulo de elasticidad, identificándose nuevamente la deformación plástica en Y'. De continuar la carga, se podría llegar a un punto S', de tal manera que de no haberse producido interrupción, el tránsito SS' hubiese sido continuo. (Cervera y Blanco, 2006)

## Ductilidad

En correspondencia, la deformación puede estar referida a la deformación unitaria, la rotación, el desplazamiento u otro. El factor de referencia (el denominador en la medida de la ductilidad) es la deformación correspondiente a la fluencia. Se considera la deformación a la máxima resistencia, para encontrar la demanda de ductilidad. Utilizando la deformación en el nivel último, se obtiene la capacidad de ductilidad. Esta última es la medida usual para la ductilidad. Según se indica en el diagrama, la ductilidad limitada está entre 1.5 y 3.5. (Ver Figura 10.)



**Figura 10. Deformación Unitaria**  
Fuente: Cervera y Blanco. (2006)

Ductilidad es la capacidad de un material de deformarse plásticamente sin fracturarse. La curva esfuerzo – deformación unitaria conduce a mediciones de la ductilidad. En términos ingenieriles, el esfuerzo resulta de la división de la carga entre el área transversal original, y la deformación unitaria como el alargamiento como proporción de la longitud original:

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

En el estado elástico  $\sigma = Ee$  (totalmente recuperable).

Al pasar el esfuerzo de fluencia, se produce la deformación plástica, y la deformación unitaria se incrementa. El volumen, sin embargo, permanece constante,  $A_l = A_0 l_0$ .

El máximo de la curva corresponde a la resistencia más alta a la tensión,  $\sigma_m$ . La deformación unitaria correspondiente es  $e_m$ .

Las medidas convencionales de ductilidad en metales obtenidas en pruebas de tensión, están relacionadas a la deformación unitaria a la fractura  $e_f$  (expresada como un porcentaje de la elongación), y a la reducción del área en la fractura,  $q$  (también expresada como un porcentaje).

$$e_f = \frac{l_f - l_0}{l_0} = \frac{l_f}{l_0} - 1 \quad q = \frac{A_0 - A_f}{A_0} = 1 - \frac{A_f}{A_0}$$

De la constancia del volumen:  $A_f l_f = A_0 l_0$ , se encuentra una expresión para  $e_f$  dependiente del cambio de área.

$$\frac{l_f}{l_0} = \frac{A_0}{A_f} = \frac{1}{1 - q} \quad e_f = \frac{l_f}{l_0} - 1 = \frac{1}{1 - q} - 1 = \frac{q}{1 - q}$$

### Criterio de fluencia

Es supuesto que si un elemento, en un sólido ideal, es plásticamente deformado, y luego es descargado, se recuperará elásticamente de tal manera que los cambios en las deformaciones dependen linealmente de los cambios de los esfuerzos. Aunque la recuperación elástica está limitada por la fluencia plástica, el módulo elástico inicial permanece invariable.

Para un material isotrópico, la condición de fluencia plástica puede depender solamente de las magnitudes de los tres esfuerzos principales aplicados (y no de sus direcciones), y ser expresada en la forma:

$$f(I_1, I_2, I_3) = 0$$

Donde  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  son los tres primeros invariantes del tensor de esfuerzos  $\sigma_{ij}$ , que son expresados en términos de los tres esfuerzos principales  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  en la forma:

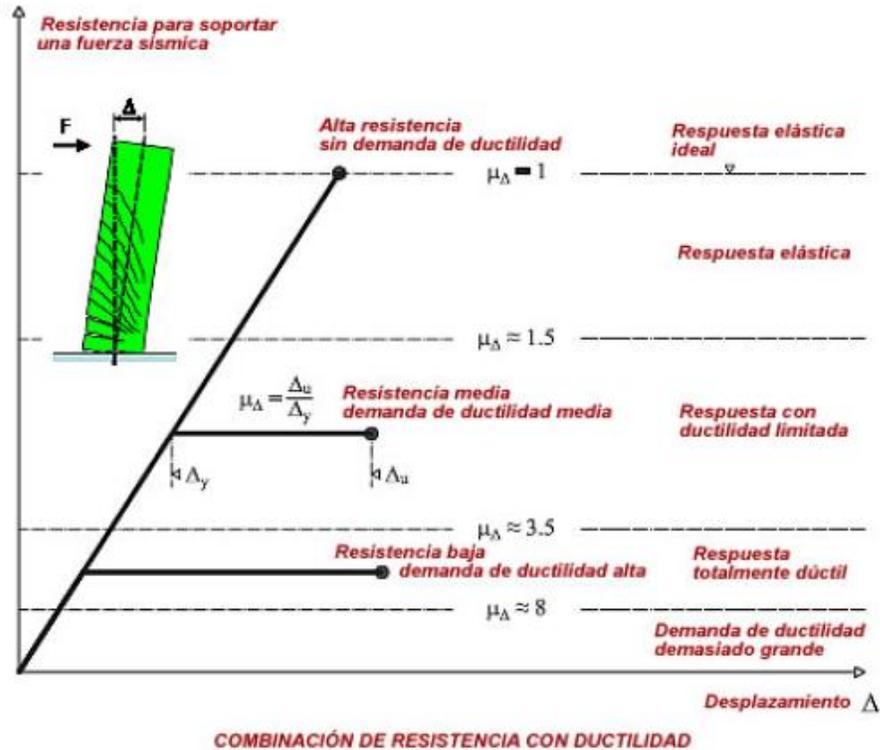
$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad I_2 = -(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1) \quad I_3 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3$$

Los tres esfuerzos principales resultan de las raíces de la ecuación cúbica:

$$\lambda^3 - I_1\lambda^2 - I_2\lambda - I_3 = 0$$

Con lo cual se indica que la condición de fluencia puede expresarse tanto en términos de los invariantes como de los esfuerzos principales.

Resistencia y ductilidad en muros estructurales de concreto armado. La combinación de resistencia y ductilidad es clave en la prevención de un colapso sísmico. Se puede alcanzar el nivel de desplazamiento deseado con alta resistencia y muy baja ductilidad, con resistencia media y ductilidad media, y con resistencia baja y ductilidad alta.



**Figura 11. Combinación de Resistencia con Ductilidad**  
Fuente: Cervera y Blanco. (2006)

En correspondencia, la deformación puede estar referida a la deformación unitaria, la rotación, el desplazamiento u otro.

El factor de referencia (el denominador en la medida de la ductilidad) es la deformación correspondiente a la fluencia. Se considera la deformación a la máxima resistencia, para encontrar la demanda de ductilidad. Utilizando la deformación en el nivel último, se obtiene la capacidad de ductilidad. Esta última es la medida usual para la ductilidad. Según se indica en el diagrama, la ductilidad limitada está entre 1.5 y 3.5. (Cervera y Blanco, 2006)

### Demolición controlada

La demolición es un proceso muy peligroso que implica un buen uso de

los elementos de protección colectiva y personal. La gran cantidad de polvo y/o escombros resultante implican que el desarrollo del proceso de demolición se practique en condiciones no muy favorables. Por lo anteriormente dicho, deberá desarrollarse una buena planificación y capacitación del personal a ejecutar la actividad.

La metodología a implementar dependerá en el mayor de los casos del tipo de estructura que se deba demoler. Se deberán establecer los frentes de ataque preservando siempre los elementos estructurales, ya que una demolición fuera de término puede ocasionar un derrumbe no esperado de toda la estructura. La planificación de las demoliciones deberá presentarse por escrito con detalles de los métodos a implementar.

Si bien es cierto que, la demolición es lo contrario de construcción; es decir el derribo de edificios y otras estructuras. Las demoliciones de edificaciones han sufrido un fuerte incremento en los últimos tiempos, esto ha sido debido a varios motivos entre los que se encuentran la necesidad de un mejor aprovechamiento del suelo, sobre todo en zonas de una alta densidad de población, lo que obliga a un saneamiento del centro de las ciudades. El rápido cambio tecnológico en la industria, en espacios de tiempo más cortos, exige que los edificios de fábricas sean efectivos, lo que implica al menos derribos parciales para adaptarlos y mantener un alto nivel de competitividad.

Demoliciones debidas al simple deterioro de las edificaciones por el paso del tiempo, como es el caso de los edificios de hormigón y que por tanto se hace necesaria su demolición para evitar el peligro que supone una estructura que no está en su estado óptimo. Se requieren ahora modificaciones y modernizaciones que implican obras de reparación, reforma e incluso de demolición integral en ciertos casos.

Y en otros casos por requerimientos constructivos como es el caso de la construcción con *Método Invertido*, lo cual será expuesto más adelante y que fue el método que se utilizó para el desarrollo de este estudio.

### **Métodos de Demolición**

Existe gran variedad de alternativas a la hora de demoler una edificación. Para la selección del método adecuado es necesario valorar una serie de factores, que se pueden englobar en cuatro grupos:

- **Condiciones locales:** ubicación de la obra, alrededores, espacio disponible, ordenanzas locales y exigencias ambientales vigentes.
- **Tipo de obra:** estructura de la edificación, material utilizado en su construcción y estado de conservación.
- **Volumen a demoler:** factor muy influyente sobre la maquinaria a utilizar, que será aquella que reporte los costos totales más bajos.
- **Plazo de ejecución.** La elección del método más adecuado no depende exclusivamente de los aspectos técnicos o económicos, también se ha de tener en cuenta factores ambientales, riesgo de accidentes y seguridad en el trabajo.

Existen diferentes métodos para realizar una demolición controlada en este caso se utiliza la demolición utilizando demolición controlada y corte con hilo diamantado.

## **Proceso de Demolición**

El método más usual para el desarrollo de una demolición, es el inverso al de su construcción, es decir demoliendo desde su azotea hacia el nivel de piso. Existen otros métodos mecanizados como las bolas de demolición o el uso controlado de explosivos.

Por lo que se brindará principal importancia a la primera metodología.

1. Acciones previas
2. Solicitar licencias: derribos, contenedores, entre otros.
3. Anular instalaciones. Dejar agua y luz por plantas
4. Desinfectar y desinsectar
5. Instalación de maquinaria, como acceso, grúa, entre otros,
6. Instalación de oficinas y servicios.
7. Instalación de andamios
8. Previsión de evacuación y acarreo de escombros

## **Demolición de muros**

Es necesario tener en cuenta la topología de muros, y aunque como es lógico, se comienza por la parte superior. Si el muro es de telar, se desmontan de arriba hacia abajo, conjuntamente ambos materiales y por niveles. En el presente caso se recurre a la simulación del proceso para luego llevarlo al campo y comprobar su ejecución de acuerdo a lo planeado.

## **El Método Invertido**

Según Perri (1997), por construcción con método invertido, para una estación subterránea de transporte masivo, se refiere aquel procedimiento

constructivo según el cual los muros perimetrales y demás elementos estructurales portantes principales (columnas) de la estación, se ejecutan todos desde la superficie en la primera etapa de la construcción. Luego, la segunda etapa constructiva prevé la construcción del techo de la estación y sucesivamente se procede, desde el subterráneo, a excavar y construir todas las demás estructuras internas, esencialmente las losas de mezanine y de andén y/o losa de fondo, junto con todos los otros elementos estructurales accesorios, como escaleras, pasillos de comunicación entre otras. Con tal procedimiento constructivo se libera el área de superficie al tránsito y demás actividades en tiempos muy breves, ya que la mayor parte de las etapas constructivas de la estación se llevan finalmente a cabo desde el subterráneo.

Este método constructivo sin embargo, además de caracterizarse por una gran cantidad de implicaciones técnicas y tecnológicas directamente relacionadas con las secuencias constructivas, requiere de una especial elaboración de proyecto, la cual parte de la previa adaptación arquitectónica y funcional de la estación al concepto del ciertamente limitante método constructivo invertido, y continúa con la modelación numérica integral y de detalle, simulando con aquella cada fase constructiva para permitir el análisis y luego el diseño estructural de todos los elementos, bien sea para condiciones de trabajo de servicio (las de largo plazo) cuando la estructura esté completada, bien sea para las condiciones de trabajo temporales cuando la estructura esté aún incompleta.

Vale la pena señalar con especial atención, al detalle del empotramiento estructural de las losas a los muros perimetrales, cuando se trata de losas del techo de la estación, debido a las grandes cargas verticales de tierra y de tránsito de superficie que generalmente deben ser soportadas y transmitidas por estas losas. (Perri, op cit).

## **Escombros y Demoliciones**

Los residuos de construcción y demolición proceden en su mayor parte de derribos de estructuras de concreto o de rechazos de los materiales de construcción de las obras de otros, de nueva planta y de pequeñas obras de reformas en viviendas o urbanizaciones. Se conocen habitualmente como escombros.

Se generan en grandes cantidades y el volumen supera al de origen doméstico. Estos residuos se están llevando en su mayor parte a vertedero, dadas las favorables condiciones de precio que proporcionan éstos con unos costes de vertido que hacen que no sea competitiva ninguna otra operación más ecológica. Con ello contribuyen a la rápida compactación tanto de los vertederos municipales como los vertederos especiales. En el peor de los casos se vierten de forma incontrolada, con el impacto visual y ecológico consiguiente.

La mayor parte de los escombros se pueden considerar inertes o asimilables o inertes, y por lo tanto su poder contaminante es relativamente bajo pero, por el contrario, su impacto visual es con frecuencia alto por el gran volumen que ocupan y por el escaso control ambiental ejercido sobre los terrenos que se eligen para su depósito. Un segundo impacto ecológico negativo se deriva del despilfarro de materias primas que implica este tipo de gestión, que no contempla el reciclaje.

Los denominados residuos inertes pueden tener distintas procedencias: Excavaciones de suelos o ejecución de obras de reforma en calles del casco urbano; los originados en carreteras e infraestructuras; mezcla de los escombros de construcción o demolición de edificios y los rechazos o roturas de la fabricación de piezas y elementos de construcción, como en el presente

caso de estudio el derribo de un muro de concreto en la estación Jardines del Metro de Caracas. (Atlas. CopCo, 2008)

### Bases Legales

En el presente estudio se consideraran la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (2005), la Ley Orgánica del Ambiente (2007), y Ley Orgánica del Ambiente (2006), los cuales contienen preceptos legales que deben ser seguidos de manera estricta en la ejecución del presente estudio. Así como también las NORMAS COVENIN (Ver Cuadro 1) relacionadas con el estudio realizado.

**Cuadro 1.**  
**Normas COVENIN utilizadas**

<b>NORMA COVENIN Nº.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>2004- 1998</b>	<b>Terminología de las Normas Covenin-Mindur de Edificaciones</b>
<b>2244-91</b>	<b>Encofrados, Requisitos de Seguridad</b>
<b>2221-01</b>	<b>Materiales de Construcción</b>
<b>2246-90</b>	<b>Demolición y Remoción. Especificaciones y Acciones para Demolición y Remoción de Escombros</b>
<b>2385-2000</b>	<b>Concreto y Mortero. Agua de Mezclado. Requisitos</b>
<b>2825-91</b>	<b>Mortero de Cemento Hidráulico Sin Retracción (Grout)</b>
<b>2830-91</b>	<b>Mortero de Cemento Hidráulico con Retracción (Grout)</b>
<b>3594-1999</b>	<b>Tecnología del Concreto. Manual de Elementos de Estadística y Diseño de Experimentos</b>
<b>3464.1999 (ISO 7518:1983)</b>	<b>Ingeniería Civil y Arquitectura. Dibujo Técnico. Demolición y Reconstrucción. Representación Simplificada</b>

**Fuente:** Elaboración Propia. (2010)

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA**

En este capítulo se representa el mecanismo fundamental en la investigación, ya que proporciona la estructura del conjunto de técnicas y procedimientos que fueron utilizados en el desarrollo del problema, dirigido al estudio y análisis de datos según los fines propuestos en el estudio que se va a realizar, en este sentido Tamayo y Tamayo (2001), señala que la “metodología es el procedimiento ordenado que se sigue para establecer lo significativo de los hechos hacia los cuales está encaminado el interés de la investigación.” (p.124). Ante esta definición se puede decir, que en todo proceso de investigación es necesario delimitar y describir los lineamientos metodológicos; de allí que sean los pasos sistemáticos que se llevarán a cabo para efectuar un trabajo de forma metódica y secuencial de las actividades que se van a estudiar. Esto da a entender que la metodología no es más que el conjunto de aspectos y procedimientos que dan apoyo al proceso de investigación en forma sistemática a fin de dar respuestas a la problemática que se presenta.

#### **Tipo y Diseño de Investigación**

El estudio estuvo referido al esquema general de la investigación, sustentado en un diseño de campo de tipo descriptivo y apoyado en una revisión bibliográfica, la cual le da unidad, coherencia, secuencia y permite ubicar en la práctica los objetivos del estudio propuesto.

El tipo de estudio realizado es descriptivo, ya que de acuerdo con los objetivos propuestos, según Hernández, Fernández y Baptista (2003) “tiene como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiesta una o más variables” (p. 193). Se analizó el comportamiento del muro de concreto en su estado actual así como cuando fuese derribado, con respecto a las premisas que se plantearon para dicho proceso. Está delimitado a un diseño de campo con la técnica observacional, entendido como una relativa y circunscrita área de estudio, a través de la cual, los datos se recogen de manera directa de la realidad en su ambiente natural, con la aplicación de determinados técnicas e instrumentos de recolección de información, tales como el software utilizado. Como lo señala el Manual de Trabajo de Grado, de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales. (UPEL, 2006), por tanto, la información obtenida se considera de primera mano observando el proceso directamente en el lugar de ocurrencia. Y en este caso se obtuvieron parte de los datos en la Estación Jardines del Metro donde se derriba el muro de concreto, en la Línea 3 en Caracas.

El estudio realizado también contempla en su diseño el bibliográfico, ya que parte de la información para realizar los cálculos se obtuvo de documentos tales como: manuales técnicos, informes entre otros. (Hernández, Fernández y Baptista, op. cit). El manejo de la información documental constituye una labor sistemática, durante la cual se elaboran los pertinentes archivos textuales digitales, referentes al proceso de simulación, que facilitan la tarea de búsqueda de documentación.

### **Operacionalización de Variables**

Las variables representan elementos que pueden asumir diferentes valores cada vez que son examinados y su definición operacional es el desglose de la misma en aspectos más sencillos, (Zorrilla y Torres, 2000) lo cual se presenta a continuación. (Ver Cuadro 2)

**Cuadro 2.**  
**Operacionalización de Variables**

<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas/ Instrumento</b>
Describir la estructura sujeta a demolición	Estructura	Proceso de ejecución Antecedentes históricos del muro Criterio estructural de la Línea 3 Fases de construcción del muro Dimensiones del Muro	Observación directa Registro fotográfico Revisión de documentos Informe del Metro de Caracas Planos del Metro de Caracas
Realizar los cálculos referidos a la metodología de corte del muro colado central en virtud del mantenimiento de la estabilidad del elemento objeto de demolición	Metodología de corte	Estática	Fórmulas matemáticas
Desarrollar un modelo matemático de la estructura para la representación de las solicitaciones que se demandan	Modelo matemático	Cálculos	Fórmulas matemáticas
Simular utilizando un programa de cálculo estructural, el proceso de demolición controlada y extracción del muro central de la estación	Simulación del proceso de demolición y extracción	Cálculos Numéricos Preparación de corte Corte con hilo diamantado Secuencia de extracción y acarreo	Cálculo de elementos finitos
Comparar los resultados obtenidos en el campo con el modelo elaborado para el proceso de la demolición controlada del muro colado central de la estación	Comparación de lo diseñado y lo ejecutado en la demolición, corte y extracción	Aspectos del proceso de corte y extracción Cálculos realizados	Observación y chequeo del derribo y acarreo Constatación del lo planeado en los cálculos

## **Área de Investigación**

Las labores de investigación tienen que delimitar una temática específica que ha de ser estudiada, así como también el espacio físico en el cual ésta se desarrollo; en este orden de ideas Sabino (2001), expresa que la selección del área temática consiste:

En la definición y posterior delimitación del campo del conocimiento sobre el que se piensa trabajar, escoger y delimitar un área temática indica simplemente que se ha definido un campo de trabajo, un terreno de estudio, sobre el cual podrá o no hacerse una investigación. (p.20)

Basándose en lo antes expuesto, se debe decir entonces que en este caso del área de investigación estuvo dirigida en la Estación Jardines del Metro donde se demolió el muro de concreto, en la Línea 3 (El Valle-La Rinconada) en Caracas, que fue el área donde se encuentra y controlan todo el proceso en estudio.

## **Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

En el desarrollo de cualquier estudio investigativo, es necesario establecer el conjunto de técnicas e instrumentos requeridos para la recopilación de las informaciones que han de llevar a la obtención de los resultados esperados en su proceso. Así lo describen Tamayo y Tamayo (2001), “las técnicas son fuentes o documentos a lo que acude al investigador y que le permite obtener información, a través de medio empleados para recolectarla.” (p.103).

Para efectos de la siguiente investigación, las técnicas que serán utilizadas, son la observación directa. Para Ander Egg. (2000) “la observación directa, denominada también ordinaria, simple o libre, consiste

en reconocer y anotar los hechos sin recurrir a la ayuda de medios técnicos especiales.” (p.88). Así mismo, para Tamayo y Tamayo (2001) “la observación se considera directa por que podrá observar y recoger datos de la realidad mediante su propia observación.” (p.122).

En este caso la observación se considera directa, ya que el investigador directa podrá observar y recoger datos de la realidad mediante su propia observación aplicándola en forma precisa en el ámbito real de la problemática estudiada.

En cuanto al Registro Fotográfico, este es el proceso de capturar imágenes y almacenarlas en un medio de material sensible a la luz, basándose en el principio de la cámara oscura, con la cual se consigue proyectar una imagen captada por un pequeño agujero sobre una superficie, de tal forma que el tamaño de la imagen queda reducido y aumentada su nitidez. Para almacenar esta imagen, las cámaras fotográficas utilizaban hasta hace algunos años exclusivamente la película sensible, mientras que en la actualidad se emplean, casi siempre, sensores CCD y CMOS y memorias digitales; es la nueva fotografía digital. (Rivero, A. 2004).

Por último se utilizó, la técnica de Estación total, donde el investigador procedió a vaciar todos los datos en una hoja de medición de campo para la comparación de las lectura inicial con la final, posteriormente realizó graficas para obtener una mejor visualización de la información para analizarla.

### **Técnicas de Análisis de Datos**

Para Hernández, Fernández y Baptista (2003), consideran que el análisis que se practica a los datos recaudados en la investigación depende del grado de medición de las variables, de la forma en que las hipótesis

fueron formuladas y de interés del investigador. Los autores anteriormente mencionados explican que los diversos tipos de métodos de análisis no son de uso indiscriminado, por el contrario, "...cada método tiene su razón de ser y un propósito específico, no deben hacerse más análisis que los necesarios. La estadística no es un fin en sí misma, es una herramienta para analizar datos..." (p. 350).

Los datos obtenidos en la presente investigación son esencialmente de carácter cualitativo. Este es el caso de aquellos que se logran a través de la observación directa y de entrevista hecha a los empleados del área estudiada. Debido a esta característica, dichos datos sólo serán analizados lógicamente, se obtuvo datos cuantitativos, susceptibles de análisis estadístico, donde el investigador seleccionó para el análisis de dichos datos la realización de un cuadro de distribución de frecuencia en la que se resumirán las observaciones realizadas, que componen adjunta a esta tabla se presenta un gráfico línea basado en ella.

La distribución de frecuencia y los gráficos que de ella se generan son herramientas de la estadística descriptiva que permiten detallar los datos, valores o puntuaciones obtenidas para cada variable durante la investigación. Una distribución de frecuencias es una tabla donde se presentan las puntuaciones obtenidas para cada variable. Ella consta de dos elementos esenciales: la categoría y la frecuencia.

Según Hernández, Fernández y Baptista (ob.cit), definen a la estadística descriptiva "Como aquella que se encarga de describir los datos, valores o puntuaciones obtenidas para cada variable..." (p. 350). Para la graficación de los datos contenidos en las tablas estadísticas se utilizaron diagramas circulares o de pastel. Esta técnica se utilizó para el análisis cuantitativo de la información obtenida del cuestionario aplicado al personal

de la sección de cuentas por cobrar de los organismos oficiales de la empresa en estudio.

Para ello, se utilizó una gráfica de línea para plasmar los datos de Distancia en mts vs la Altura mts, para obtener una mejor visualización de la información analizada.

### **Fases de la Investigación**

En esta parte se puede decir que es un procedimiento metodológico donde se ejecutan en secuencia las fases que permitieron desarrollo del estudio para el logro de los objetivos de la investigación; al respecto Arias (2006), expone que “es el camino que sigue la ciencia para alcanzar sus objetivos, una serie de operaciones a modo de una sucesión de razonamiento encontrados”. (p. 127).

En toda investigación por muy elemental que sea siempre se comienza con el análisis de lo que está sucediendo en los actuales momentos, o bien conocer la situación actual para así tener una visión general y poder mejorar las fallas o las necesidades; por consiguiente el presente estudio se enmarcará en una serie de procedimientos metodológicos, conformado por las siguientes fases:

#### **Fase I. Compilación de registros y antecedentes de estudios similares y datos referentes al proyecto de corte y derribo**

En la primera etapa de la investigación fue preciso hacer una recopilación documental de toda la normativa aplicable; en donde se consideró la base legal, científica y tecnológica, desde Códigos, Normas, Métodos de Diseño, Investigaciones Previas, Antecedentes y Orígenes del Objeto de estudio, planos, y

programas de cálculo para procesadores computarizados, entre otros.

## **Fase II. Diseño del proceso de corte y extracción del muro de concreto**

La creación de modelos numéricos de cualquier estructura arquitectónica comienza con la generación de su geometría. Por esta razón, la modelización, para su cálculo posterior. Es de suma importancia generar una geometría adecuada, de la estructura a demoler de forma controlada, en este caso, ya que esto se refleja en sus resultados numéricos.

- ***Antecedentes Históricos de la Línea 3 del Metro de Caracas.*** Es necesario conocer la reseña de la construcción del Metro de Caracas, para poder tener conocimiento de la conformación de las cuatro líneas del metro.

- ***La Línea 3 del Metro de Caracas.*** Es en esta línea donde se ubica el muro que se demolió.

- ***Estructura de la Estación Jardines.*** Fue necesario para conocer las características y dimensiones que presenta la Estación.

- ***Criterio Estructural de la Línea 3.*** Para realizar el estudio de las estaciones de este ramal y el resto de la vía férrea se construyeron conjuntamente con la circulación de trenes en el sector, mientras que la estación de la Línea 3 en el Metro de Caracas fue construida bajo condiciones complejas.

- ***Descripción de la Estructura Sujeta a Demolición.*** Fue necesario para tener conocimiento de que la estructura a demoler era el muro colado central, el cual fue fabricado de concreto armado y que el mismo se encuentra ubicado en la Estación Jardines del Metro de Caracas.

- **Proceso de ejecución del muro colado demolición.** En este punto se presentan los pasos a seguir para la demolición del muro colado central, de la Estación Jardines del Metro de Caracas.

### **Fase III. Desarrollo del Modelo Matemático**

Se expone la construcción del muro utilizando la metodología de trincheras así como el papel que representa en este tipo de estructura y las razones por las cuales debió ser demolido.

- **Desarrollo del modelo matemático de la estructura para la representación de las solicitaciones que se demanda.** Esta Metodología se desarrolló con la descripción de la geometría de la estación del Metro Jardines, para ello fue necesario conocer las dimensiones generales de la estación, los elementos estructurales utilizados en el modelo de cálculo y el soporte legal fundamentado por la Norma COVENIN. (2002), que refiere los criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones.

Todos estos aspectos, permitieron realizar un análisis lineal, sin considera el comportamiento de la estructura en segundo orden; ya que sólo se pretende comprobar el correcto funcionamiento de las interfaces durante todo el proceso de modelización. Para ello se aplicó el Método de los Elementos Finitos, se estimó el comportamiento de los elementos estructurales proyectados del muro, sometidos a determinadas condiciones previstas, se realizó sólo un análisis lineal de la estructura, y se consideró el comportamiento del material como continuo.

### **Fase IV. Simulación del Modelo**

- **Modelización:** Donde se seleccionó un programa que utiliza el modelo matemático de Método de los Elementos Finitos más adecuado al

problema a abordar, planteándolo en términos de que el programa fue fácil de usar; además, permitiendo al investigador una adecuada y lógica modelización de la estructura.

- **Aplicación:** Se utilizó el programa como tal introduciendo los datos necesarios para describir los elementos a calcular y dando las órdenes para realizar el análisis correspondiente y obtener resultados deseados.

- **Interpretación:** Posteriormente se obtuvieron, comprensión y evaluación de los datos obtenidos, primeramente para verificar su fiabilidad y después para poder utilizarlos en la definición de los elementos del proyecto de simulación de corte y extracción.

- **Programa utilizado en la modelización.** El programa empleado para el desarrollo del modelo matemático fue el SAP 2000, versión 11.

- **Método numérico.** Se utilizó el Método de los Elementos Finitos, el cual está implementado en el Programa Sap2000 versión 11.

- **Tipología de la estructura.** Es un Modelo Tridimensional Libre.

## **Fase V. Comparar los Resultados**

Esto se comprueba a través de tres partes:

1- **Revisión Teórica.** Se realizó una revisión a una serie de documentos y teorías que sustentaron al estudio en referencia con el método invertido de demolición controlada. Cabe resaltar que esta parte se realizó en dos etapas: Corte y Extracción del Muro Colado Central.

**2- Ejecución de la Demolición de Muro.** En este punto se realizó la puesta en práctica de la ejecución de la demolición de muro, la cual se desarrollo en dos etapas: Corte y Extracción del muro colado central.

**3- Comparar los Resultados.** Una vez que se realizaron los pasos anteriores, el investigador procedió a analizar la información obtenidas para comparar los datos y sacar sus propias conclusiones y recomendaciones finales.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

En este capítulo se recopila toda la información y se analiza mediante las técnicas e instrumentos para la recolección de datos explicativos se procede a realizar un análisis sistemático de cada uno de los objetivos específicos planteados para esta investigación. Según Arias (2006), señala que “En este punto se describen las distintas operaciones a las que están sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso”. (p.111). De igual manera destaca el autor (ob.cit), que en lo referente al análisis, se definirán las técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis-síntesis), o estadísticas (descriptiva o inferenciales), que será empleadas para descifrar lo que revelan los datos recolectados.

De acuerdo con ello, un análisis según acota Ander-Egg (2000), consiste en “descomponer y examinar cada elemento del conjunto, de ahí que analizar es lo mismo que separar, clasificar, cribar y tamizar”. (p.146), así mismo destaca el autor que una interpretación, “Se supone un juicio, pues busca significado y una explicación que trasciende los hechos”. (p.146). A tales efectos, los métodos de análisis implementados permitieron efectuar la interpretación de la información considerando los aspectos relacionados con la problemática en estudio, lo cual finalmente permitió la realización del correspondiente al análisis e interpretación de los datos recolectados se hizo en atención a la descripción de los mismos; es decir, sobre la base de las opiniones, apreciaciones y consideraciones aportadas por la muestra, de

acuerdo a lo observado durante la ejecución del proceso en estudio.

Seguidamente se presentaron los resultados del estudio realizado, con base en el orden de los objetivos de la investigación propuestos.

## **Fase I. Compilación de registros, antecedentes de estudios similares y datos referentes al proyecto de corte y extracción**

### **Antecedentes Históricos de la Línea 3 del Metro de Caracas**

El Metro de Caracas en la actualidad está conformado por cuatro líneas, que atienden una demanda diaria de aproximadamente un millón setecientos mil personas. La demanda de transporte que imponen las altas densidades de población y empleo en el casco central de Caracas dan una elevada utilización del Metro, sobre todo en el tramo Capitolio - Plaza Venezuela.

En la actualidad, la C.A. Metro de Caracas ejecuta un conjunto de proyectos de expansión de Líneas, tal es el caso de la Línea 3: Tramo El Valle - La Rinconada, la Línea 5 y el Sistema Caracas - Guarenas - Guatire. Además, se lleva a cabo la renovación y reacondicionamiento de la Línea 1. Estos trabajos son complementados por tres proyectos, como lo es el Metrocable San Agustín, Metrocable Mariche y Cabletren Bolvariano. El mapa de Líneas Metro y Metrobús de Caracas, se presenta en la Figura 12.



**Figura 12. Plano del Metro de Caracas y detalle de la Estación Jardines Fuente.** Tralci, 2006

La construcción del Metro de Caracas comienza de manera física en el año 1972 con la primera línea, desde La Hoyada hacia el este. A principios de 1972 se inicia la construcción del tramo superficial desde Agua Salud hasta Caño Amarillo y las obras civiles de la estación Agua Salud en 1973. En 1974 se concluye el anteproyecto desde La Hoyada hasta Chacaíto y se contrata el proyecto correspondiente con dos firmas venezolanas: La Oficina Consultora de Ingeniería y Desarrollo S.A. (OCOIDES) y el consorcio GRID-APM, contando ambas con la asesoría de la firma inglesa Mott, Hay & Anderson, de amplia experiencia en proyectos de Metro.

El 12 de marzo de 1975 se emprende la construcción de la Línea Propatria - Petare del Metro, comenzando por el extremo oeste. En abril de 1977 la Oficina de Proyectos y Obras del Metro pasa a depender del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) y cuatro meses más tarde, el 8 de agosto de ese mismo año se funda la Compañía Anónima Metro de Caracas, adscrita a dicho ministerio. Este año se inicia la perforación de

túneles, desde la trinchera situada en Gato Negro, en ruta hacia el oeste por debajo de las avenidas: Sucre, España y El Atlántico. Y en octubre se le da prioridad a la Línea 2 (Caricuao – El Silencio), iniciándose los estudios y proyectos de este ramal. Durante ese año se concluye el proyecto del tramo La Hoyada – Chacaíto y se inicia el correspondiente al tramo Chacaíto – Los Dos Caminos.

En 1978 se procedió a la demolición del Cuartel Urdaneta, ubicado en Propatria, para dar paso a la construcción de los Patios y Talleres de la línea Catia- Petare. Para el año 1979, se concluyen las estaciones Propatria, Pérez Bonalde, Plaza Sucre, Gato Negro y Colegio de Ingenieros. Igualmente se inicia la renovación urbana en el boulevard de Sabana Grande. También en ese año, llegó desde Francia el primer cargamento de rieles para ser instalados en el tramo Propatria - Chacaíto. Arribaron al país 300 toneladas de vías férreas y escaleras.

En 1980 se inaugura el boulevard de Sabana Grande y para 1981 se concluyen 12 estaciones de la Línea 1. Finaliza la construcción de 6.896 metros de túneles gemelos de los tramos Propatria - La Hoyada y La Hoyada- Chacaíto, así como 2.100 metros de vías a nivel y 464 metros elevados. En el transcurso de 1982, se finalizan las dos últimas estaciones de las catorce del tramo Propatria - Chacaíto, se termina la colocación de todas las vías férreas, se empieza la construcción del boulevard de Caricuao y se completa el boulevard de Sabana Grande, con la Plaza Brión en Chacaíto. Los trabajos de construcción, suministros, instalaciones y pruebas de los equipos progresaron con toda normalidad, permitiendo la puesta en operación, el 2 enero de 1983, de la primera etapa de la Línea 1 desde Propatria hasta la Hoyada, con ocho estaciones. En marzo de 1983, se inaugura el Tramo la Hoyada- Chacaíto, con seis estaciones más.

El tendido de rieles en el Patio de Las Adjuntas, de la Línea 2 Caricuao-El Silencio, se inicia en 1984. En enero de ese mismo año, se inicia la construcción del segundo tramo de la Línea 1 Chacaíto - Los Dos Caminos y la expropiación y demolición de inmuebles del tramo La Paz –El Silencio de la Línea 2. El 4 de octubre de 1987 comenzó a funcionar la primera etapa de la Línea 2, Las Adjuntas- Zoológico- La Paz, con 16,3 kilómetros de red férrea y 9 estaciones. Mientras se ejecutaban los trabajos subterráneos de la Línea 2, el Metro creó un sistema de transporte superficial, para que los usuarios provenientes de las parroquias Caricuao y Las Adjuntas, pudiesen proseguir su viaje para conectarse con la Línea 1.

El Metrobús inició operaciones en octubre de 1987, con un servicio de transferencia entre la estación La Paz y la estación Capitolio de la Línea 1. Un año después, el 6 de noviembre de 1988 arranca el tramo La Paz- El Silencio de la Línea 2, se inicia su operación. En los años siguientes el Metro continuó su expansión hasta finalizar completamente los 20,36 Kilómetros de la Línea 1, con el tramo Los Dos Caminos- Palo Verde, inaugurado el 19 de noviembre de 1989. El Metro se expandió hacia la parte sur de la ciudad.

### **La Línea 3 del Metro de Caracas**

La línea 3 del Metro de Caracas, (Ver Figura 1), posee 3 terminales y 10 estaciones. La línea 3 (tramo 2-fase 1) que conecta a El Valle con La Rinconada se inauguró en 2006 comunica a los habitantes de Los Valles del Tuy con el Metro de Caracas. Tiene una extensión de 5,97 kilómetros desde la actual estación El Valle hasta terrenos del Hipódromo, donde se conecta con la estación “Simón Bolívar” del Ferrocarril hacia los Valles del Tuy. El 09 de enero del año 2010, se inauguró la segunda etapa de la Línea 3, que inició su construcción en el año 2003, marcando así el inicio del servicio de las estaciones Coche – Los Jardines y Mercado, con las que se completa

este ramal.

Cabe destacar, que el muro a ser derribado se ubica entre las Estaciones de el Valle y la Rinconada, específicamente en la Estación Jardines. La estación "Jardines", está ubicada en el sector Jardines del Valle, en la Parroquia El Valle de Caracas, entre las estaciones El Valle y Coche, más específicamente entre las calles "8" y "11" de Los Jardines del Valle. Fue inaugurada junto con todo el ramal el 9 de enero de 2010. La operación comercial inició el día 10 de enero de 2010.

### **Estructura de la Estación Jardines**

La Estación Jardines, tiene una dimensión de 5.270,60 m<sup>2</sup>, tipo: Subterránea, así como dos (2) Mezzaninas. Seguidamente se presenta una vista de la Estación.



**Figura 13. Vista de la Estación Jardines, Metro de Caracas.**  
**Fuente.** Metro de Caracas. (2009).

Posee el área de embarque de la estación con un juego de torniquetes y con cuatro accesos al andén, dos poseen escaleras fijas y los otros dos escaleras mecánicas inteligentes. En éste nivel se encuentran las escaleras de acceso a las salidas de la estación en dos sentidos. Se encuentra la caseta del operadaor y la boletería consta de un área especial y tres máquinas expendedoras automáticas. Posee un ascensor para

discapacitados y personas de la tercera edad. También posee el acceso a zonas restringidas, como las oficinas internas de la estación.

**Andén:** El andén es central. Posee características especiales para los discapacitados, como canaletas en el suelo para personas con discapacidad visual, las cuales guían a éstas a puntos del andén como los ascensores o áreas del andén especial para discapacitados. Posee numerosas señalizaciones las cuales indican la dirección de los trenes, así como el mapa de líneas de la Línea 3.

**Accesos: Dos (2):** Avenida intercomunal Oeste: Da hacia la avenida intercomunal del Valle y el acceso al nuevo Mini-Centro Comercial del Metro de Caracas. Posee un ascensor para discapacitados, unas escaleras fijas y dos eléctricas.

**Avenida intercomunal Este:** Se encuentra diagonal al otro acceso y también da hacia la avenida intercomunal. Posee sólo una escalera fija. Contiene un jardín interno con diferentes especies de plantas para los detalles arquitectónicos.

**Rutas MetroBús:** De las rutas 852/854 respectivamente.

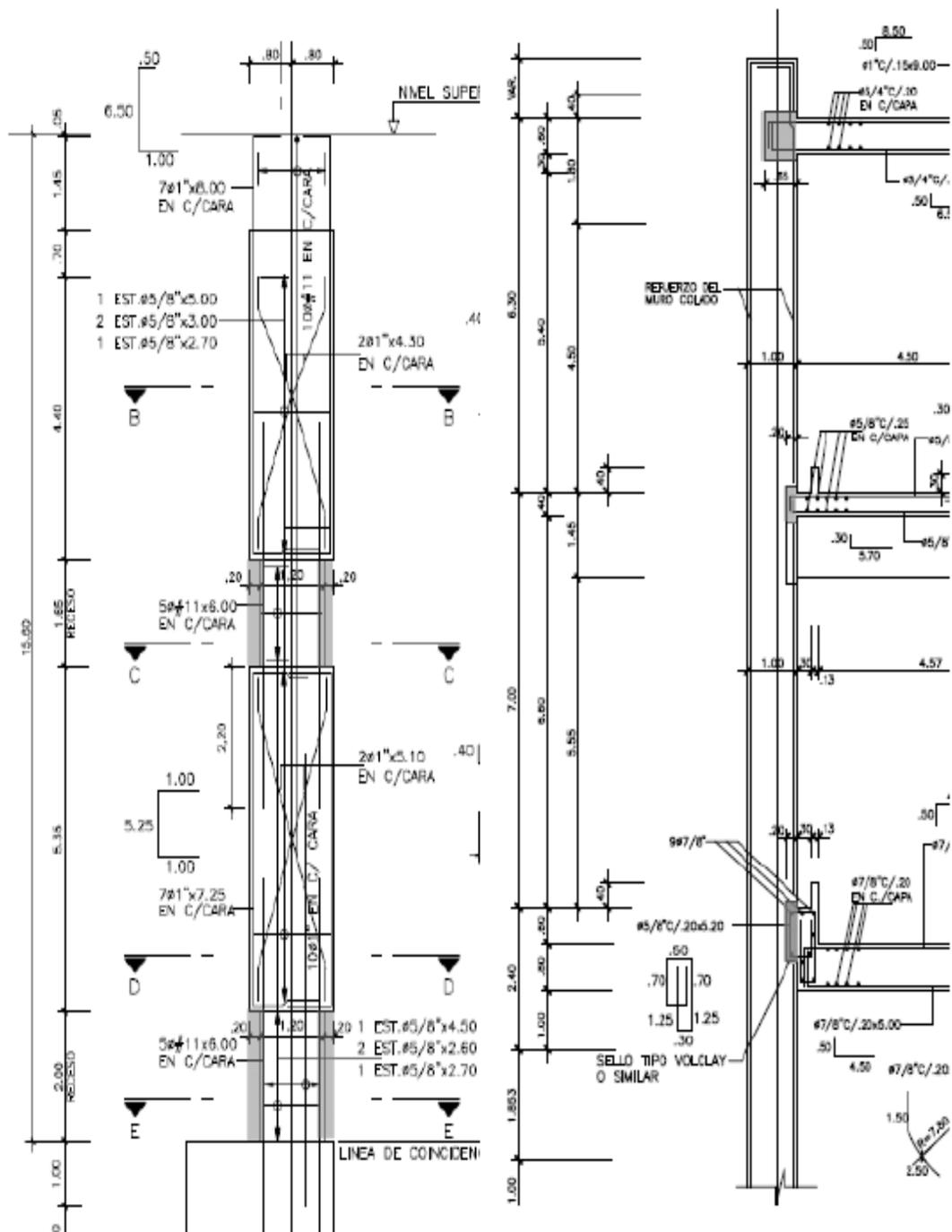
**Otras características:** La estación cuenta con un sistema de ventilación ambiental que toma aire del ambiente y lo filtra para luego mantener la estación con una temperatura adecuada, evitando usar aires acondicionados de alto consumo eléctrico. La estación posee también una buena iluminación y sistema de sonido. Posee un cielo raso o techo que brinda una buena perspectiva de la estación. En toda la estación existe un sistema especial para discapacitados que los guía a los diferentes puntos de ésta. Posee un alto sistema de seguridad y vigilancia. En la estructura de la estación existe un Mini-Centro Comercial del Metro de Caracas, con 13 locales comerciales. En la parte superior fueron plantadas plantas

ornamentales y fueron restituidos 200 metros lineales de aceras. Así como el reacondicionamiento de las fachadas de los edificios cercanos, entre otras características.

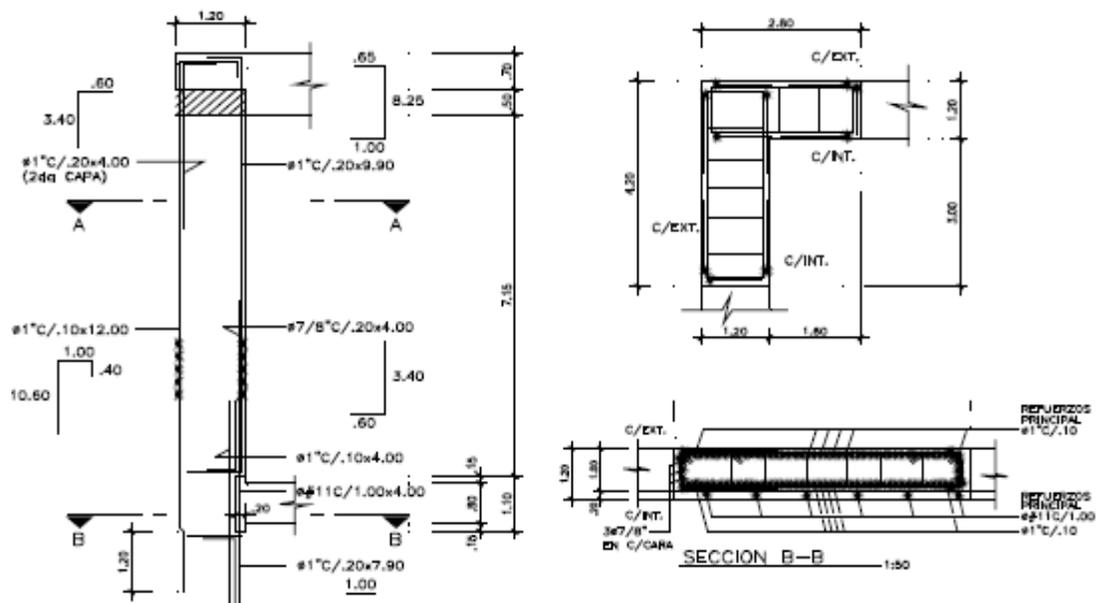
### **Criterio Estructural de la Línea 3**

Un hecho inédito en el Metro de Caracas, es que las estaciones de este ramal y el resto de la vía férrea se construyeron conjuntamente con la circulación de trenes en el sector. Mientras tres estaciones de la Línea 3 del Metro de Caracas están siendo construidas bajo las más complejas de las circunstancias descritas, esto es con los trenes en ejercicio dentro de los túneles excavados previamente a las estaciones y a ser luego desmontados para ser sustituidos por las estructuras de las mismas estaciones en curso de ejecución.

Una estación típica del Metro de Caracas, cuyas vías férreas están alojadas dentro de túneles gemelos con aproximadamente 6 metros de diámetro cada uno. Quizás el detalle constructivo más importante y más recurrente que requiere el procedimiento invertido, es el que se refiere a las reservas que, dentro del cuerpo de los muros colados perimetrales y de los eventuales barrotes (columnas) de la estación, deben ser previstas para el adecuado y fundamental empotramiento que dentro de tales reservas debe ser realizado en todos los casos para las losas de mezanine y de anden, o losa de fondo estación, y también para las losas de techo estación, en aquellos casos en que resulte necesario. A continuación se presentan vistas de estas descripciones. (Ver Figura 14)



**Figura 14. Detalle Estructural del Muro Colado. Vista A: Receso en los Barrotes (columnas). Vista B: Recesos en los muros Colados. Fuente. Tralci, 2006.**



**Figura 15. Muros colados sin recesos a nivel de techo de estación.**  
**Fuente.** *Tralci, 2006.*

Para el caso de los muros perimetrales, manteniendo al mismo tiempo también la presencia de una armadura mínima dentro del espesor mismo del receso. Naturalmente entre los aspectos fundamentales de este problema está el geométrico, en el sentido de la precisión con la cual tales recesos deben ser previstos y conformados a los diferentes niveles de profundidad para las diferentes barretas y los diferentes paneles involucrados en cada caso. Niveles estos que inclusive pueden variar de barrote a barrote y de panel a panel, en los caso de losas a ser luego construidas con cierta pendiente.

Vale la pena señalar que especial atención debe ser prestada al referido detalle del empotramiento estructural de las losas a los muros perimetrales, cuando se trata de losas del techo de la estación, debido a las grandes cargas verticales de tierra y de tránsito de superficie que generalmente deben ser soportadas y transmitidas por estas losas.

En estos casos las reservas, o recesos, dentro del cuerpo de los paneles colados deben ser más profundos y las conexiones muros-losas deben ser estructuralmente mucho más eficientes. También reviste cierta peculiaridad y delicadeza estructural del método constructivo invertido, la manera en que se deben transmitir las cargas de superficie, techo y mezanine al terreno de fundación durante las etapas temporales iniciales del proceso constructivo, hasta tanto no sea construida por completo la losa de fondo estación, la cual en definitiva transmitirá permanentemente las mayor parte de las cargas de toda la estructura al terreno de fundación.

Mientras tanto serán los muros colados perimetrales que a través de su necesario y adecuado empotramiento deben funcionar como elementos de fundación profunda, conjuntamente con los barrotos que, cuando previstos, deben ser igualmente adecuadamente y suficientemente empotrados para trabajar temporalmente como fundaciones profundas (pilotes) y no solamente como columnas.

Finalmente, las losas de techo y de mezanine deben prever la presencia de importantes aperturas temporales, estratégicamente ubicadas dentro del área de la estación en función de las previstas operaciones de desescombro de los terrenos que, siendo excavados desde el subterráneo, deben ser eficientemente evacuados hasta la superficie. Estas aperturas temporales de dimensiones relativamente importantes, obligan a prever la existencia de situaciones estructuralmente muy exigentes para las losas de techo y de mezanine, y a prever al mismo tiempo, adecuados y eficientes detalles estructurales para su posterior cierre, o eventualmente para su posterior redimensionado para los casos de su posible coincidencia con alguna de las aperturas funcionales permanentes presentes en la estación.

### **Peculiaridades especiales**

Las dificultades ligadas al procedimiento constructivo invertido de las estaciones se incrementan cuando se pretende construir el túnel, o los túneles gemelos, antes de construir las estaciones mismas, y como se incrementan aún más cuando, en el caso de túneles gemelos, se pretende además mantener en ejercicio el tránsito de los trenes durante todas las fases constructivas de las estaciones mismas en por lo menos uno de los dos túneles.

Lo anterior generalmente puede ocurrir por preconcebidas exigencias programáticas o de inversión, mientras en otros casos y quizás con más frecuencia, puede ocurrir para compensar demoras programáticas de varias procedencias. Es deseable en todos estos casos, que por lo menos se puedan construir (vaciar) los muros colados correspondientes a los cabezales de las estaciones antes del paso de los túneles, de manera tal que tal paso se produzca perforando los muros y evitando en consecuencia las grandes dificultades que se deberían en cambio enfrentar al tener que construir los mismos muros alrededor de los túneles eventualmente ya excavados.

Las problemáticas ligadas a la construcción de los muros longitudinales de las estaciones, paralelos a los túneles ya excavados, son por otro lado relativamente sencillas, ya que en principio se limitan a la necesaria precisión con que se debe respetar el replanteo geométrico de los muros y la estricta verticalidad de su excavación, toda vez que se pueda prever un retiro mínimo suficiente entre los muros y los túneles, el cual puede ser del orden del metro y cuando necesario, también algo inferior.

En el caso específico de las referidas tres estaciones de la Línea 3 del

Metro de Caracas (Jardines - Coche y Mercado), para mantener en ejercicio los trenes dentro de los túneles construidos previamente, se ha construido desde la superficie un tercer muro colado longitudinal temporal a todo lo largo del eje de la estación, suficientemente empotrado debajo de la cota de fondo andén y vaciado solamente hasta la cota de mezanine.

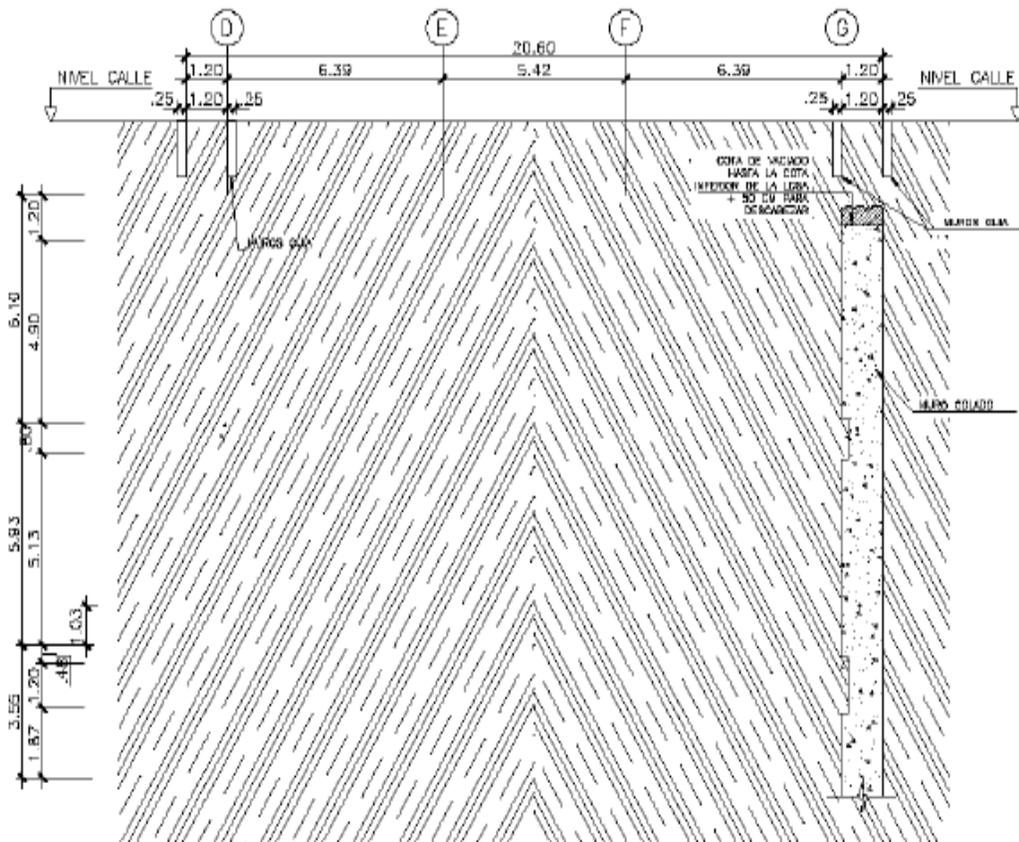
Este muro cumple inicialmente la función de elemento de contención, cuando en una de las vías aún está transitando el tren dentro del túnel mientras en la otra se está desmontando el túnel y se están construyendo la losa de fondo estación con el andén y todos los demás elementos de la vía férrea, y cumple luego la función de simple separación física, cuando el tren transita en la vía de la estación primeramente completada mientras se está desmontando el segundo túnel y se están construyendo la losa de fondo estación con el andén y todos los demás elementos de la segunda vía férrea de la estación.

Contemporáneamente, la porción empotrada del mismo muro colado dispuesto longitudinalmente a todo lo largo del eje de la estación, cumple con la fundamental y muy delicada función estructural de apoyo y de ancla para ambas mitades de la losa de fondo estación, sujetas a la acción del tránsito del tren y a la contemporánea fuerte sub-presión hidráulica. Tal función temporal se prolonga durante todo el lapso de tiempo comprendido entre el momento del vaciado de cada una de las mitades de la losa de fondo estación y el momento en que se puede finalmente completar la conexión y la continuidad estructural entre ambas porciones, lo cual ocurre solamente al final del procedimiento, cuando se haya vaciado por completo la segunda media losa y se haya procedido a la demolición de la porción no empotrada del muro colado separador.

Las figuras que se presentan a continuación, ilustran las principales

etapas o fases del proceso constructivo y el detalle del ancla del muro colado central.

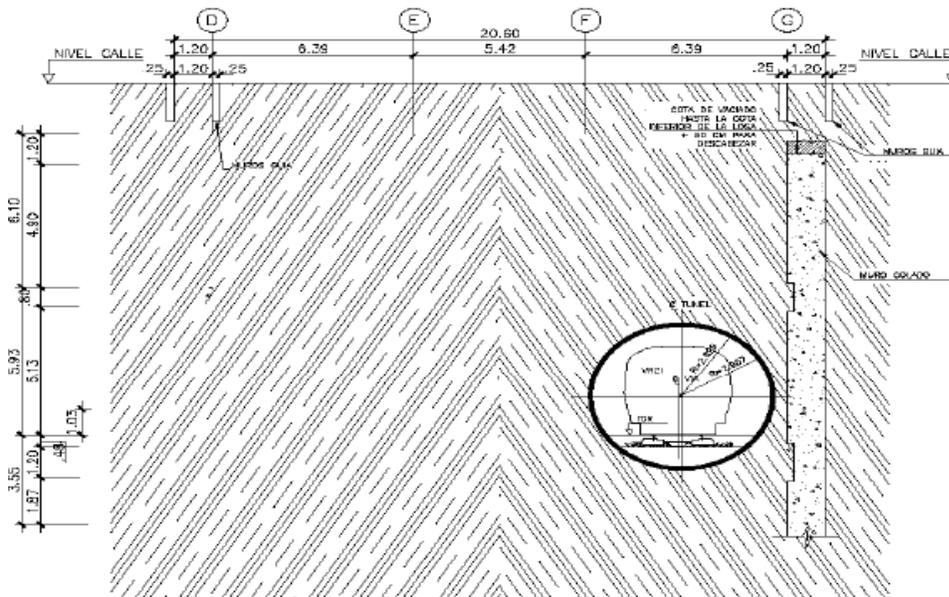
En la figura 16, siguiente es aprecia en la Fase 1, los muros de la Estación Jardines, específicamente la excavación de los muros de los portales norte y sur así como los muros colados adyacentes al túnel izquierdo.



**Figura 16. Fase 1-a: Excavación y construcción del muro colado, Estación Jardines.**

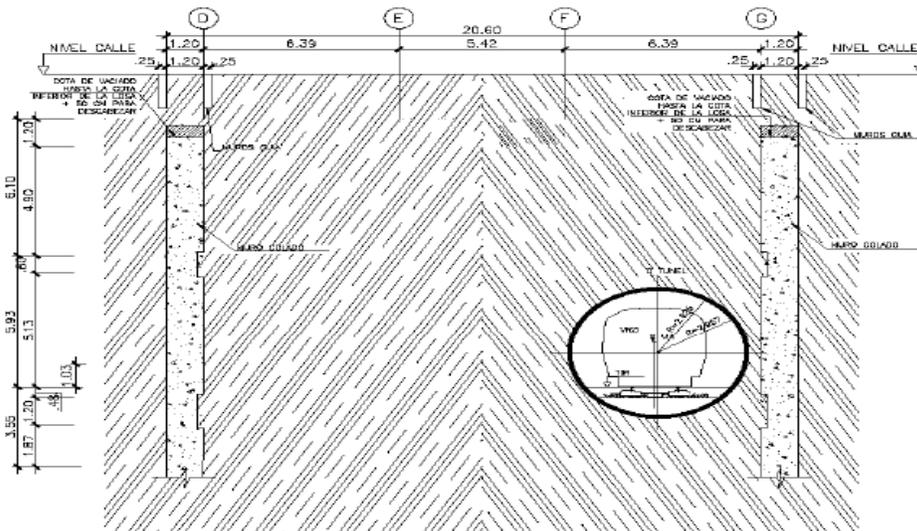
**Fuente.** Perri (2006)

En la Fase 2, se procedió a la excavación del túnel izquierdo a través de la estación, como se aprecia a continuación en la figura 25.



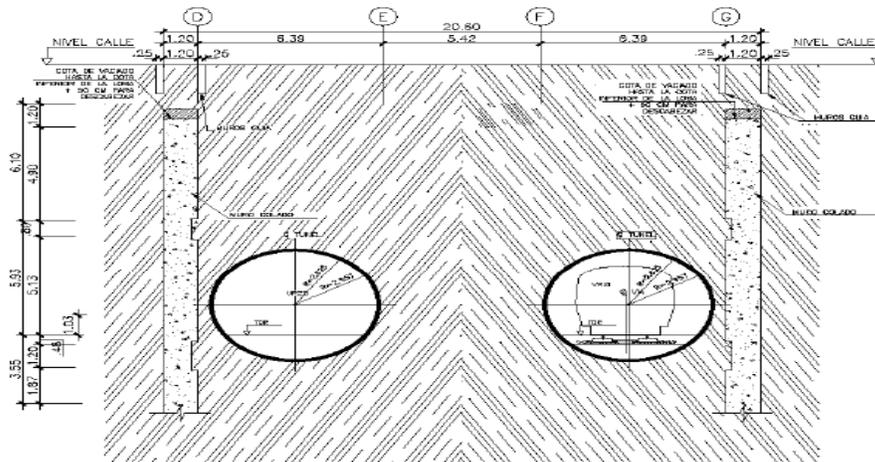
**Figura 17. Fase 1-b: Excavación y construcción del túnel izquierdo, Estación Jardines.**  
**Fuente.** Perri (2006)

En la Fase 1- c, se excavan y construyen los muros adyacentes al túnel derecho.



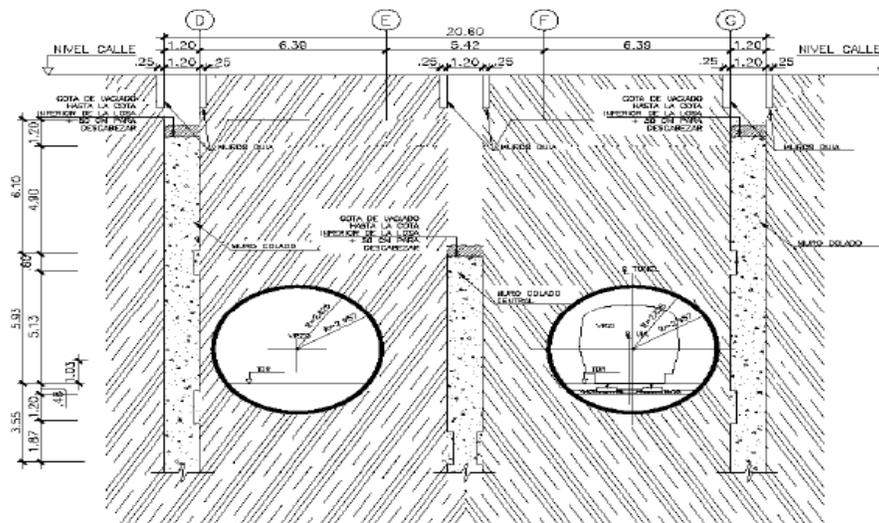
**Figura 18. Fase 1-c: Excavación y construcción del túnel izquierdo, Estación Jardines.**  
**Fuente.** Perri (2006)

Posteriormente, como se observa en la figura siguiente (Fase 2a), se excava y construye el túnel derecho a través de la Estación Jardines.



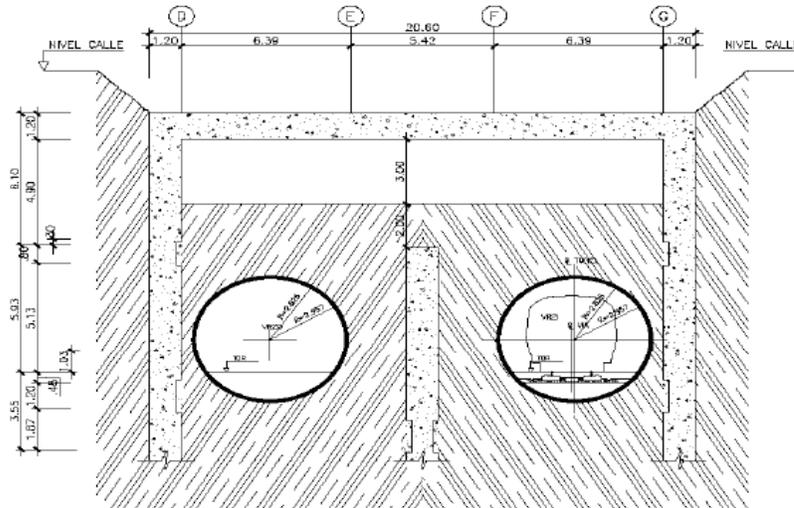
**Figura 19. Fase 2a: Excavación y construcción del túnel derecho, Estación Jardines.**  
**Fuente.** Perri (2006)

En la Fase 2b, se excavan y construyen los muros colados centrales para la estabilización del túnel izquierdo (en operación comercial), durante la construcción de la vía derecha. También se prevén los recesos para el vaciado de la losa de techo, mezzanina y base de la estación. Ver siguiente figura 28.



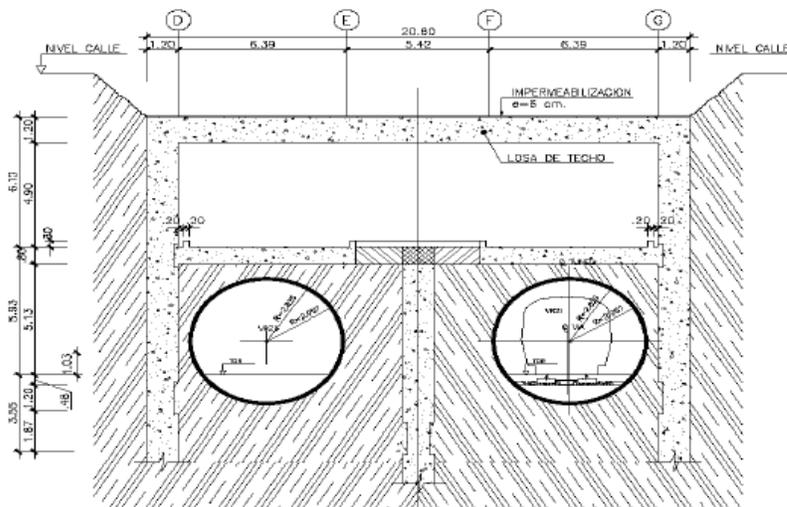
**Figura 20. Fase 2b: Excavación y construcción de los muros colados centrales para la estabilización del túnel izquierdo Estación Jardines.**  
**Fuente.** Perri (2006)

La figura 29, ilustra la Fase 3, donde se comienza a excavar la cota inferior de la losa de techo.



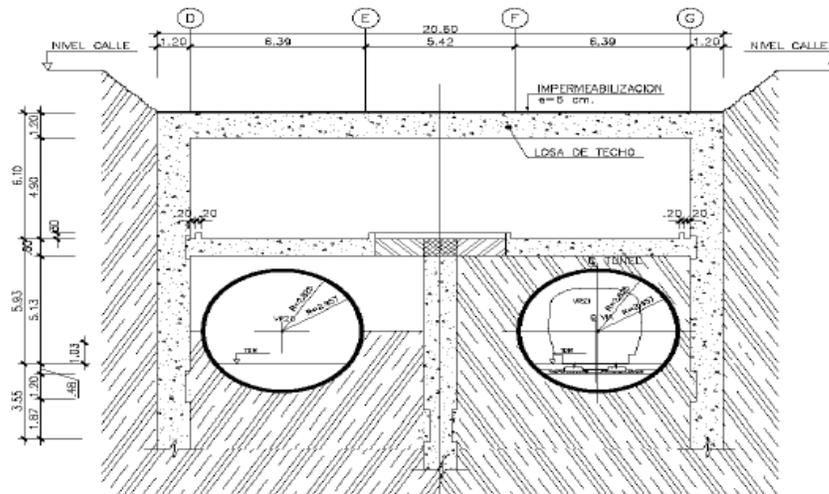
**Figura 21. Fase 3: Excavación y construcción de los muros colados centrales para la estabilización del túnel izquierdo Estación Jardines.**  
**Fuente.** Perri (2006)

La siguiente figura presenta la fase 4, donde se impermeabiliza el techo de la estación, se rellena 1 metro sobre la losa de techo, y se realiza la excavación hasta la cota inferior de la losa de mezzanina.



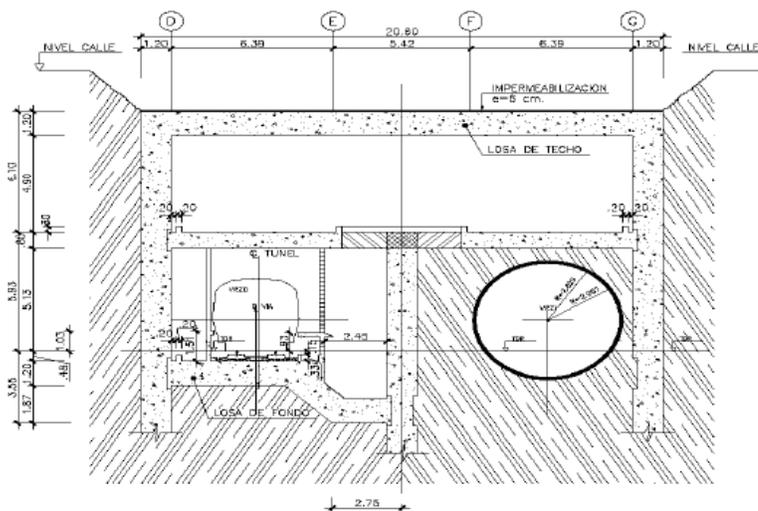
**Figura 22. Fase 4: Excavación hasta la cota inferior de mezzanina. Estación Jardines.**  
**Fuente.** Perri (2006)

En la Fase 4a. que se presenta seguidamente, se realiza la excavación sectorizada y demolición de los segmentos de anillo.



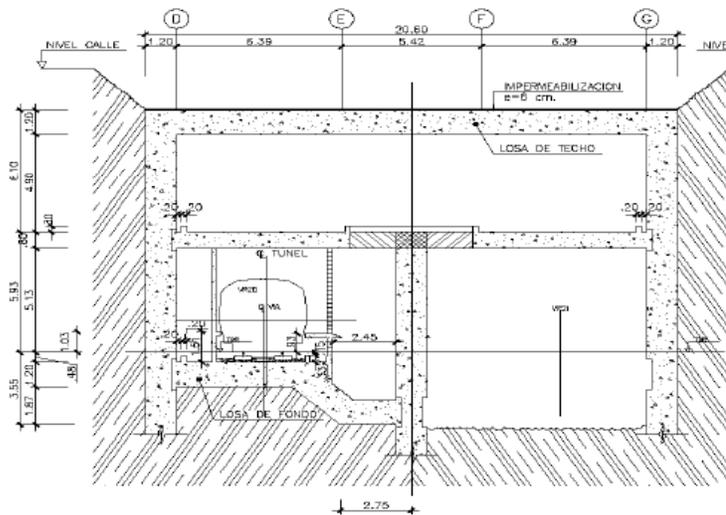
**Figura 23. Fase 4a: Excavación sectorizada. Estación Jardines.**  
*Fuente.* Perri (2006)

La fase 5 (figura siguiente), refiere la excavación de la vía derecha, vaciar la losa de fondo, construir el andén derecho, el tabique de protección, para la excavación de la vía izquierda, y la posterior puesta en funcionamiento de la vía derecha.



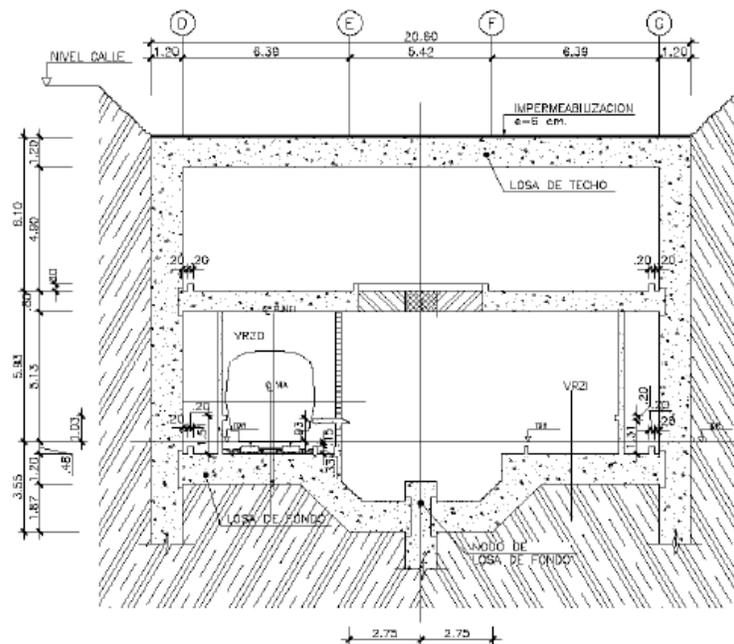
**Figura 24. Fase 5: Excavación de la vía derecha. Estación Jardines.**  
*Fuente.* Perri (2006)

La fase 6 (figura siguiente), refiere la excavación de la vía izquierda.



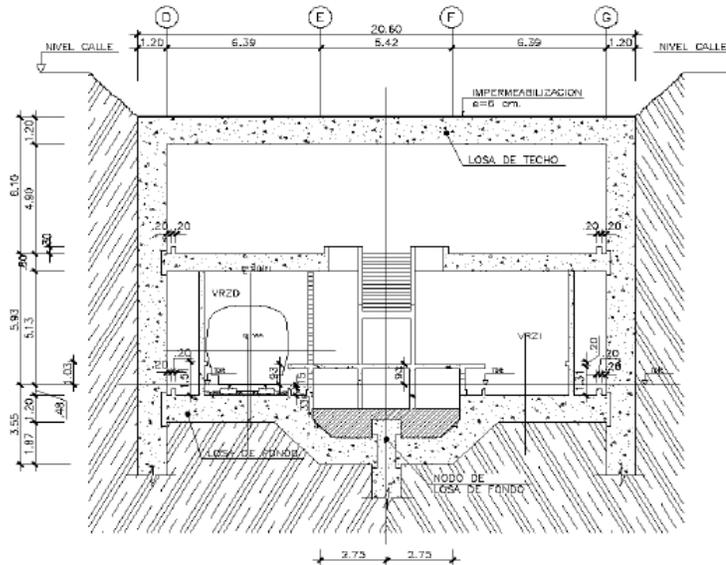
**Figura 25. Fase 6: Excavación de la vía izquierda. Estación Jardines.**  
Fuente. Perri (2006)

En la fase siguiente (figura que se muestra a continuación), se diagrama el vaciado de la losa de fondo de la vía izquierda.



**Figura 26. Fase 7: Losa de fondo vía izquierda. Estación Jardines.**  
Fuente. Perri (2006)

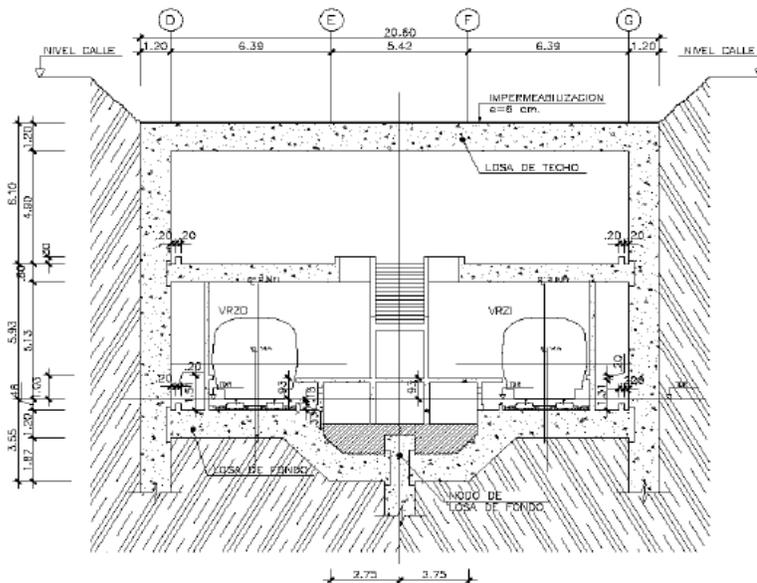
Seguidamente, se diagrama el vaciado nodo de la losa de fondo, el andén central, las escaleras y la habilitación de la vía izquierda.



**Figura 27. Fase 8: Andén Central, Escaleras y vía izquierda. Estación Jardines.**

**Fuente.** Perri (2006)

En la fase siguiente (figura que se muestra a continuación), se presenta la puesta en funcionamiento de la estación.



**Figura 28. Fase 9: Estación concluida. Estación Jardines.**

**Fuente.** Perri (2006)

Puede afirmarse que el método invertido empleado para construir la estación en estudio, en el Metro de Caracas, representa ciertamente una formidable y desafiante solución técnica, permitiendo resolver exitosamente problemáticas complejas e imposibles de ser eficientemente enfrentadas de otra manera. En este caso el método permitió aprovechar las peculiaridades del mismo en relación con las efectivas necesidad y posibilidad de poder liberar rápidamente la superficie, y el desarrollo del sistema de transporte ya que se requería que la estación iniciara su operación.

Para utilizar este método se evaluó cuidadosamente la conveniencia de recurrir a tal procedimiento constructivo en alternativa al método clásico y más ampliamente comprobado de construir de manera convencional las estructuras de la estación a cielo abierto, lo cual requirió de una excavación profunda oportunamente y temporalmente estabilizada. (Perri, 1989).

La utilización de este método constructivo sin embargo, además de caracterizarse por una gran cantidad de implicaciones técnicas y tecnológicas directamente relacionadas con las secuencias constructivas, requirió de una especial elaboración de proyecto, la cual partió de la previa adaptación arquitectónica y funcional de la estación al concepto del ciertamente limitante método constructivo invertido, continuando con la modelación numérica integral y de detalle, simulando con aquella cada fase constructiva para permitir el análisis y luego el diseño estructural de todos los elementos, tanto para las condiciones de trabajo de servicio (las de largo plazo) así como cuando la estructura se completó.

Este método por tanto requirió la demolición del muro colado central de concreto armado, como se evidenció en la secuencia de los diagramas ya presentados, así como su modelización para ser ejecutada en la realidad.

De lo anteriormente expuesto puede observarse en las figuras presentadas anteriormente, que solo se demolió una sección del muro colado central, el resto de la estructura es utilizada para el empotramiento de la losa de fondo, por lo cual deben tener en cuenta las dimensiones de la sección a demoler.

Dicho muro tiene un espesor de 1,20 metros, longitud de 167,60 metros; una altura variable de  $H=7,23$  metros y 6,68 metros, debido a que una sección de la losa de fondo es de mayor espesor. (Ver Anexo A -Plano)

### **Descripción de la Estructura Sujeta a Demolición**

La estructura sujeta a demolición está representada por un muro colado central, fabricado en concreto armado ubicado en la Estación Jardines del Metro de Caracas, ubicado en la Avenida Intercomunal de Valle, del Municipio Libertador en la Ciudad de Caracas. Posee con una longitud total de 167,60 metros, está conformado en secciones o paneles de 7,00 metros de longitud cada uno, y 17,80 metros de altura con un espesor de 1,20 metros, existiendo una separación entre paneles de 1,00 metro promedio.

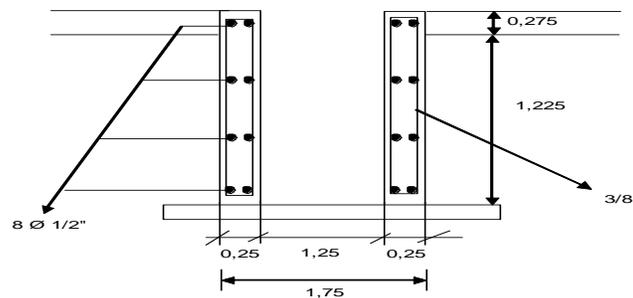


**Figura 29. Muro Colado Central de Concreto Armado - Estación Jardines.**

**Fuente:** Elaboración Propia. (2010)

### 1.1. Proceso de ejecución del muro colado

La ejecución de un muro colado necesita en primer lugar la construcción de las trincheras guías que son unas zanjas de poca profundidad, máximo 1,50 m cuyas paredes son sostenidas por dos (2) muros de concreto armado apuntalados debidamente. También se les llama muros guía, ya que sirven para asegurar la posición correcta de la almeja en el proceso de excavación. En el siguiente plano se presenta un ejemplo del armado de los muros guía.



**Figura 30. Detalle del Armado de un Muro Guía.**  
**Fuente. Tralci. (2006).**

Seguidamente se presentan 2 vistas del proceso que se siguió para la construcción del muro en estudio.



**Figura 31. Proceso de Ejecución del Muro Colado de la Línea 3. Vista A: Excavación de Muro Guía. Vista B: Armado de Muros Guías.**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

Si la excavación para la ejecución del muro se hará en lodo bentonítico este debe ser preparado previamente mezclando en una máquina especializada para ello arcilla montmorillonita y agua, lo cual produce una solución viscosa que evita el derrumbe de las paredes de la excavación, dándole estabilidad a las mismas mientras se ejecuta el muro colado.

Entre las propiedades del lodo bentonítico están: La viscosidad la cual se verifica con el cono de Marsh y se cronometra el tiempo de escurrimiento de 1000 cm<sup>3</sup>, sus parámetros normales son de 30 a 45 s, el contenido de arena se mide con un elutriómetro, instrumento en el cual se vierte un volumen específico de lodo bentonítico, se deja decantar por unos segundos y se verifica en la escala graduada que tiene en sus paredes de vidrio el porcentaje de arena presente en la solución, el cual por norma debe ser menor al 2% para poder ser vaciado el concreto en el muro, la densidad se mide con una balanza tipo Baroid la cual debe estar entre 1,034 g/cm<sup>3</sup> y 1,210 g/cm<sup>3</sup>, y el ph es una propiedad que mide la alcalinidad o acidez del lodo bentonítico, es chequeado mediante una cinta de colores para medir ph y debe estar entre 8,50 y 10,50.

**Cuadro 3.**  
**Rangos de las Propiedades del lodo Pentonítico**

Propiedad	Mínimo	Máximo
Concentración bentonítica	4.5%	15.0%
Densidad (gr/cm3)	1.034	1.210
Viscosidad Plástica (seg)	30	45
ph	8.5	10.5
Contenido de arena	0	2%

**Fuente.** *Tralci, 2006.*

Se fabrican las armaduras de refuerzo o jaulas de acero del muro colado según las especificaciones dadas por el ingeniero calculista, y se

debe tomar en cuenta que la separación entre los estribos sea adecuada para facilitar el paso de la tubería de vaciado. También se debe tener presente que si la armadura tiene una longitud mayor a 12 m se fabrican tantas partes como sean necesarias hasta cubrir el largo total de la misma, esto se debe a que en el mercado solo se cuentan con cabillas que miden máximo 12 m de longitud, al momento de introducir las jaulas en la excavación se solapan con soldadura cada una de las partes.

La excavación del muro se hace con una almeja al seco o en lodo bentonítico dependiendo del tipo de suelo presente, de ser un suelo suelto y sin cohesión se requiere el uso de la bentonita. Debe cuidarse cuando se ejecuta la excavación cerca de edificaciones vecinas, sobre todo en puntos importantes de transmisión de carga como pilotes y zapatas para evitar futuros asentamientos en dichas estructuras.



**Figura 32. Almeja para la excavación de muros colados.**  
*Fuente. Tralci, 2006.*



**Figura 33. Excavación de muros colados.**  
*Fuente. Tralci, 2006.*

Una vez terminada la excavación se introduce la jaula de acero con una grúa previendo respetar el recubrimiento estimado en el cálculo mediante unos separadores de concreto y además se coloca la tubería de vaciado.



**Figura 34. Colocación de la armadura de un muro colado.**  
*Fuente. Tralci, 2006.*

Se vacía el concreto por medio de la tubería el cual debe ser premezclado para garantizar el asentamiento y la resistencia de diseño, parámetros cuyos valores estándar son 8" para el asentamiento y mayor a 300 Kg/cm<sup>2</sup> para la resistencia a la compresión. Se debe colocar un número de tuberías suficiente para obtener de esta manera un vaciado uniforme a lo largo de todo el muro y además desarenar correctamente la bentonita para eliminar porcentajes altos de arena que contaminen el concreto. El concreto llega al fondo de la excavación y a medida que su volumen aumenta va desplazando a la bentonita la cual es evacuada con bombas sumergidas mandadas a un tanque para su reciclaje.



**Figura 35. Proceso de Ejecución del Muro Colado de la Línea 3. Vista A: Tuberías para el vaciado. Vista B: Vaciado del muro colado.**  
*Fuente. Tralci, 2006.*



**Figura 36. Lodo bentonítico y bomba sumergible.**  
**Fuente. Tralci, 2006.**

Es importante que a medida que aumenta el nivel de concreto en el panel, se debe ir retirando la tubería para evitar que se pegue con el endurecimiento del concreto. Para un correcto control de vaciado es indispensable que el nivel de vaciado sea controlado desde arriba por medio de sondas, de esta forma se puede comparar el volumen teórico de concreto con el práctico para determinar oportunamente si se han producido derrumbes en la excavación. Una vez que se ha llegado hasta la cota máxima de vaciado del panel se culmina su ejecución.

## **Fase II. Diseño del proceso de corte y extracción del muro de concreto**

En esta fase se efectuaron los cálculos referidos a la metodología adecuada para el corte del muro colado central en virtud del mantenimiento de la estabilidad del elemento objeto de demolición, a partir del concepto de la demolición controlada del muro colado central de la estación con el fin de evitar cualquier tipo de interrupción o de falla en el funcionamiento del servicio prestado por la empresa de metro de caracas a los usuarios de la línea 3 en estudio, surge la idea de desarrollar un método de demolición que cumpla con la exigencias del problema que se presenta.

El caso plantea la posibilidad de demoler el muro utilizando un método que permita mantener la estabilidad del elemento tomando en cuenta las condiciones de espacio de operación y riesgo en el campo de trabajo. En este sentido y para darle solución al problema de demolición se plantea la idea del corte del muro con hilo diamantado y la extracción de los bloques con equipo pesado.

Dentro de este orden de ideas, y en relación al análisis anterior y para dar forma al método se utilizaron 5 criterios para este caso, los mismos se exponen seguidamente.

### **Criterios considerados para el Corte y Extracción del Muro Colado Central de Concreto Armado**

***Geometría de proyecto.*** Para realizar la demolición controlada del muro colado central es importante tomar en cuenta las condiciones de espacio reducido presentes en el método invertido ya que trabajamos en un área confinada dentro de una excavación de trinchera tipo túnel la cual posee aberturas provisionales en las losas que podremos utilizar al momento de retirar el elemento demolido.

***Geometría de los recesos.*** Hacen referencia a los vacíos provisionales dejados para la extracción de material producto de la excavación. Se dejaron 2 recesos, ambos en el mismo eje de simetría, uno en la losa de techo y otro en la losa de mezzanina. Tal como se observa en la figura siguiente:



**Figura 37.** Izquierda: receso de la losa de mezzanina y receso externo.  
**Fuente:** Elaboración Propia. (2010)

Los recesos son espacios libres ubicados en las losas de techo y mezzanina de la estación, dejados con el fin de introducir equipos para excavar, cortar y extraer el material de la excavación, los mismos tuvieron unas medidas de: **Largo: 9.50 metros y de Ancho: 8.37 metros.**

**Geometría del andén.** Se refiere al espacio contenido entre la losa de fondo que soporta las vías del tren, la losa mezzanina en la parte superior y los muros colados perimetrales, esta sección de la estación es la más profunda y está dividida por el muro colado central en dos secciones iguales. Una vez ejecutada la primera sección de la vía, se procede al cambio de vía en el funcionamiento del metro, se realiza la excavación en la otra sección hasta la cota de la losa de fondo la cual tiene las siguientes dimensiones: **Ancho: 8,50 metros, Altura: 6,81 metros y de Longitud: 167,60 metros.**



**Figura 38.** Sección de la trinchera tipo túnel en construcción.  
**Fuente:** Elaboración Propia. (2010)

**Geometría del muro colado central.** El muro colado central de concreto armado está conformado por paneles de concreto armado de dimensiones: longitud = 7 metros, espesor = 1.20 metros y altura de demolición = 6.68 metros para los paneles comprendidos entre el panel 104 y el panel 118 y una altura de demolición = 7.23 metros para los paneles 101, 120 y 121, los paneles están separados por espacios de 1.00 metros aproximadamente lo cual provee espacio adicional para realizar la demolición con mayor comodidad.



**Figura 39.** Vista del muro colado central de la estación.  
**Fuente:** Elaboración Propia. (2010)

## **Maquinaria pesada utilizada**

Partiendo de la geometría ya expuesta se debe conseguir un equipo pesado que se ajuste a las condiciones de operación en el entorno de trabajo, debido a las condiciones de espacio, operatividad y a las diversas acciones presentes en el área de trabajo es necesario escoger un equipo que se ajuste a todas las actividades como excavación, nivelación, carga del material producto de la excavación y finalmente la extracción de el elemento a demoler.

A continuación se presentan algunos de los equipos que cumplen con las exigencias de la geometría de proyecto y demás actividades a ejecutar en campo.

***Caterpillar 320 D L, especificaciones.*** Se utilizó este equipo ya que dispone de una amplia variedad de accesorios optativos instalados en fábrica para mejorar el rendimiento y la administración del sitio de la obra específicamente para la carga, excavacion. Así como tambien permite visibilidad total.

En cuanto las especificaciones del equipo destacan las siguientes:

### Motor

Modelo de motor	Cat® C6.4 ACERT™	
Potencia neta al volante	103 kW	138 hp
Potencia neta – ISO 9249	103 kW	138 hp
Potencia neta – SAE J1349	103 kW	138 hp
Potencia neta – EEC 80/1269	103 kW	138 hp
Calibre	102 mm	4,02 pulg
Carrera	130 mm	5,12 pulg
Cilindrada	6,4 L	389 pulg <sup>3</sup>

- La potencia neta ofrecida es la disponible en el volante cuando el motor está equipado con ventilador, filtro de aire, silenciador y alternador.
- No se requiere reducir la potencia del motor a altitudes inferiores a 2.300 m (7.500 pies).

**Figura 40.** Especificaciones del motor de la máquina Caterpillar 320, DL, según fabricante.

**Fuente.** CAT. (2010)

### Pesos

Peso en orden de trabajo – Estándar Tren de rodaje	20.330 kg	44.820 lb
• Pluma de alcance, R2.9B1 (9 pies 7 pulg) Brazo, 0,9m <sup>3</sup> (1,18 yd <sup>3</sup> ) Cucharón, 600 mm (24 pulg) Zapatas		
Peso en orden de trabajo – Tren de rodaje estándar	21.570 kg	47.554 lb
• Pluma de alcance, R2.9B1 (9 pies 7 pulg) Brazo, 0,9m <sup>3</sup> (1,18 yd <sup>3</sup> ) Cucharón, 800 mm (32 pulg) Zapatas		

**Figura 41.** Especificaciones pesos para trabajo de la máquina Caterpillar 320, DL, según fabricante.

**Fuente.** CAT. (2010)

### Mecanismo de rotación

Velocidad de rotación	11,5 rpm	
Par de rotación	61,8 kN	45.612 lb pies

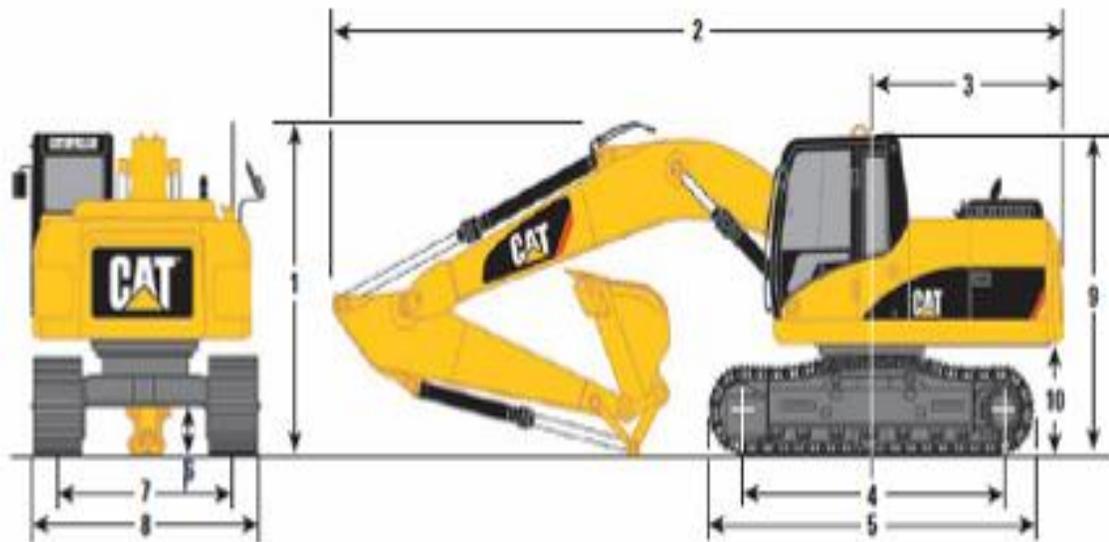
### Mando

Fuerza máxima en la barra de tiro	206 kN	46.311 lb
Velocidad máxima de desplazamiento	5,5 km/h	3,4 millas/h

**Figura 42.** Especificaciones del mecanismo de rotación y de mando de la máquina Caterpillar 320, DL, según fabricante.

**Fuente.** CAT. (2010)

Considerando el trabajo que debe realizar el equipo en el proceso de extracción de materiales fue necesario analizar las especificaciones referentes a la pluma y el brazo para determinar que se adecuaron a las necesidades, las mismas se presentan a continuación en las vistas laterales y frontal de la máquina con sus dimensiones, aproximadas según el fabricante (en metros). (Ver Figura 43).



**Figura 43. Dimensiones de la máquina Caterpillar 320, DL.**

**Fuente.** CAT. (2010)

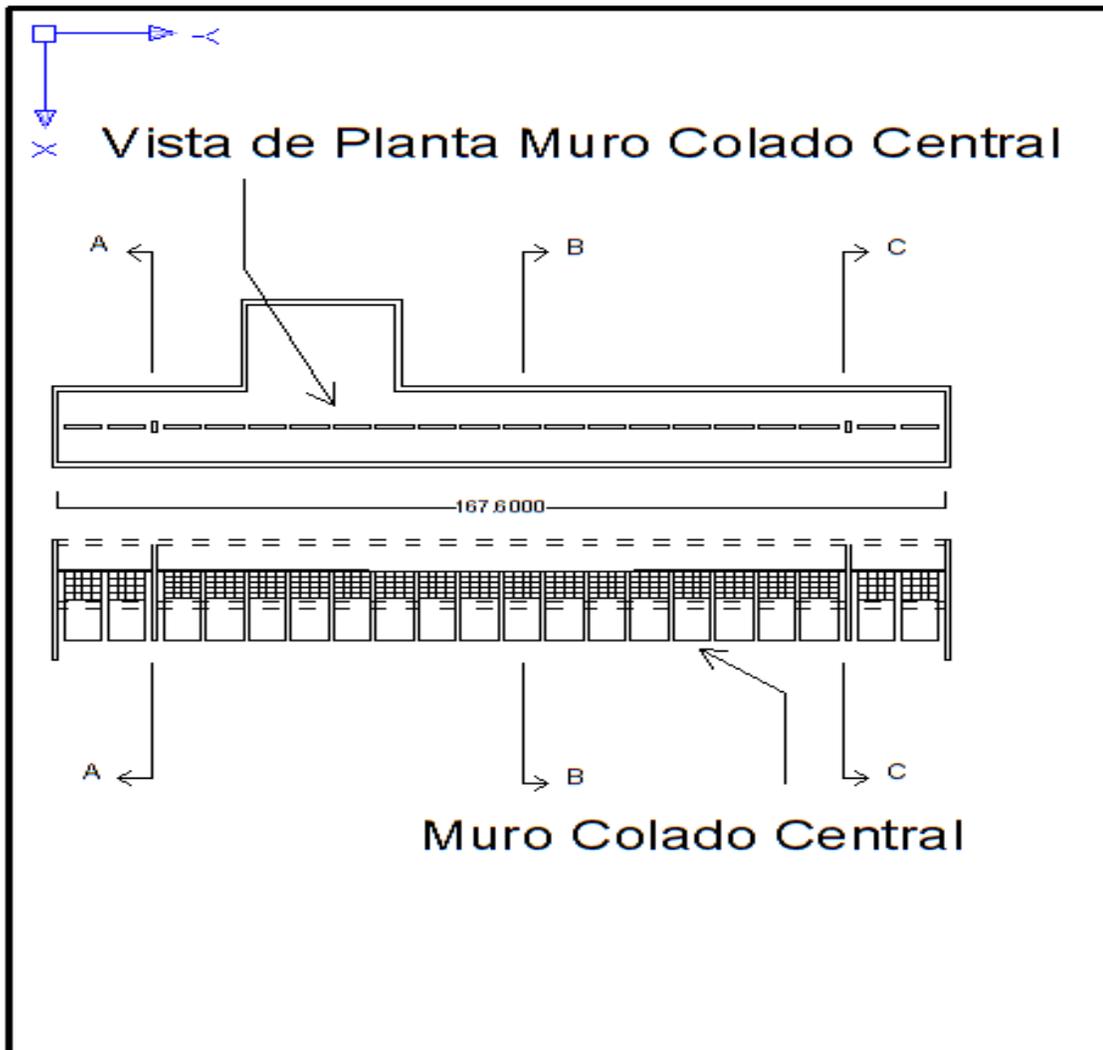
Opciones de pluma		Alcance – 5,68 m (18 pies 8 pulg)	Alcance – 5,68 m (18 pies 8 pulg)	Alcance – 5,68 m (18 pies 8 pulg)	De gran volumen 5,2 m (17 pies 1 pulg)	De alcance superlargo 8,85 m (29 pies 0 pulg)
Opciones de brazo		R3.9B1 m (12 pies 10 pulg)	R2.9B1 m (9 pies 7 pulg) Std/SA	R2.5B1 m (8 pies 2 pulg) Std/SA	M2.4CB2 m (7 pies 10 pulg)	6,28 m (20 pies 7 pulg)
1	Altura de embarque	3.440 mm (11 pies 3 pulg)	3.030 mm (9 pies 11 pulg)	3.050 mm (10 pies 0 pulg)	3.280 mm (10 pies 9 pulg)	3.190 mm (10 pies 6 pulg)
2	Longitud de embarque	9.440 mm (31 pies 0 pulg)	9.460 mm (31 pies 0 pulg)	9.460 mm (31 pies 0 pulg)	9.050 mm (29 pies 8 pulg)	12.680 mm (41 pies 7 pulg)
3	Radio de giro de la cola	2.750 mm (9 pies 0 pulg)	2.750 mm (9 pies 0 pulg)			
4	Longitud hasta el centro de los rodillos					
	Estándar	3.265 mm (10 pies 9 pulg)	N/A			
	Largo	3.650 mm (12 pies 0 pulg)	3.650 mm (12 pies 0 pulg)			
5	Longitud de cadena					
	Estándar	4.075 mm (13 pies 4 pulg)	N/A			
	Largo	4.455 mm (14 pies 7 pulg)	4.455 mm (14 pies 7 pulg)			
6	Espacio libre sobre el suelo	450 mm (1 pie 6 pulg)	450 mm (1 pie 6 pulg)			
7	Entrevía					
	Estándar	2.200 mm (7 pies 3 pulg)	N/A			
	Largo	2.380 mm (7 pies 10 pulg)	2.380 mm (7 pies 10 pulg)			
8	Ancho para el transporte	Zapatillas de 800 mm	Zapatillas de 700 mm	Zapatillas de 600 mm		Zapatillas de 800 mm
	Estándar	3.000 mm (9 pies 10 pulg)	2.900 mm (9 pies 6 pulg)	2.800 mm (9 pies 2 pulg)	2.800 mm (9 pies 2 pulg)	2.800 mm (9 pies 2 pulg)
	Largo	3.180 mm (10 pies 5 pulg)	3.080 mm (10 pies 1 pulg)	2.980 mm (9 pies 9 pulg)	2.980 mm (9 pies 9 pulg)	2.980 mm (9 pies 9 pulg)
9	Altura de la cabina	2.950 mm (9 pies 8 pulg)	2.950 mm (9 pies 8 pulg)			

**Figura 44. Especificaciones de la pluma y del brazo de la máquina Caterpillar 320, DL, según fabricante.**  
Fuente. CAT. (2010)

### Pre-dimensionamiento del elemento a demoler

Se sabe que para movilizar un objeto primero se debe conocer el peso, ya que se pueden ajustar las dimensiones del objeto a demoler, utilizando el

valor establecido en la norma COVENIN 2002 para la densidad del concreto armado el cual es de  $2500 \text{ kg/m}^3$  y conociendo el espesor del muro colado central el cual es de 1,20 metros. Solamente queda por ajustar el alto y el ancho para lograr el volumen adecuado así poder cortar el muro de tal forma que es posible manejar su peso con comodidad.

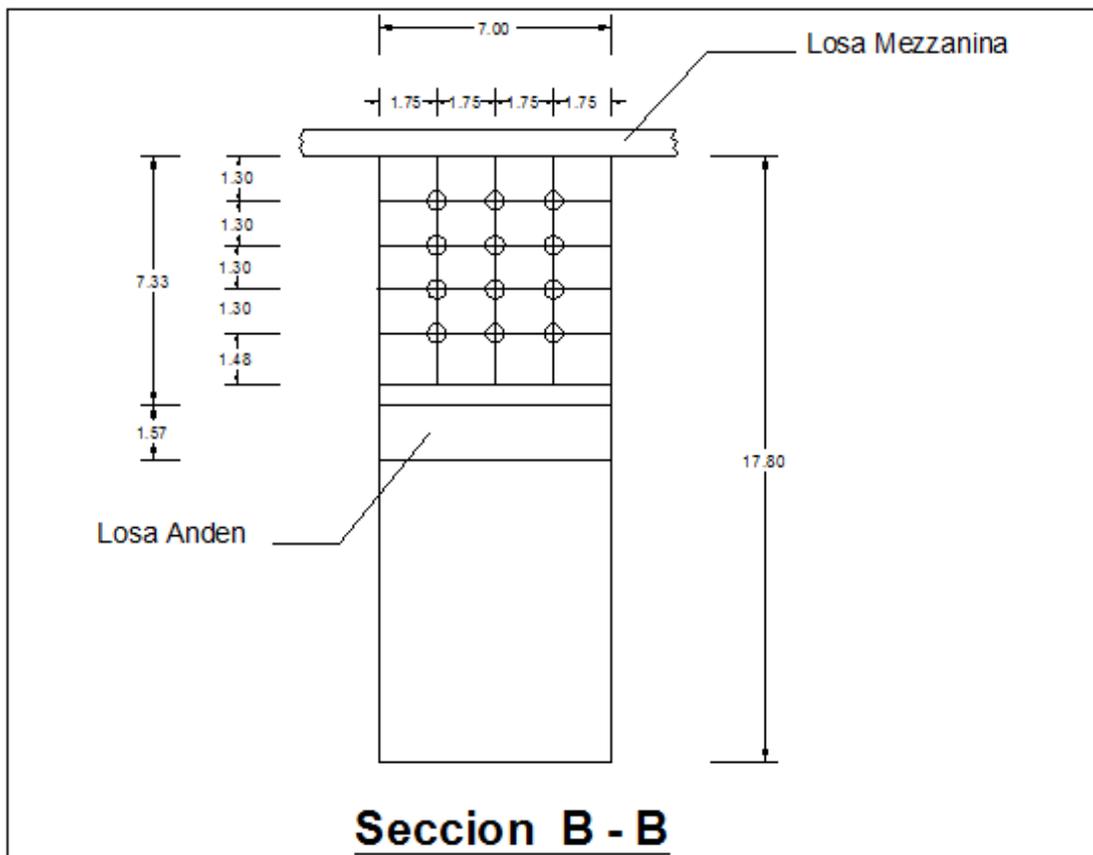


**Figura 45. Vista de Planta Muro Colado Central.**

**Fuente: Elaboración Propia a través del Programa Auto CAT. (2010)**

Cada panel tiene 7 metros de longitud, si se divide el panel en 4 partes iguales se obtiene un valor de 1,75 metros para el ancho de cada bloque. Para el caso de la altura se tienen dos alternativas:

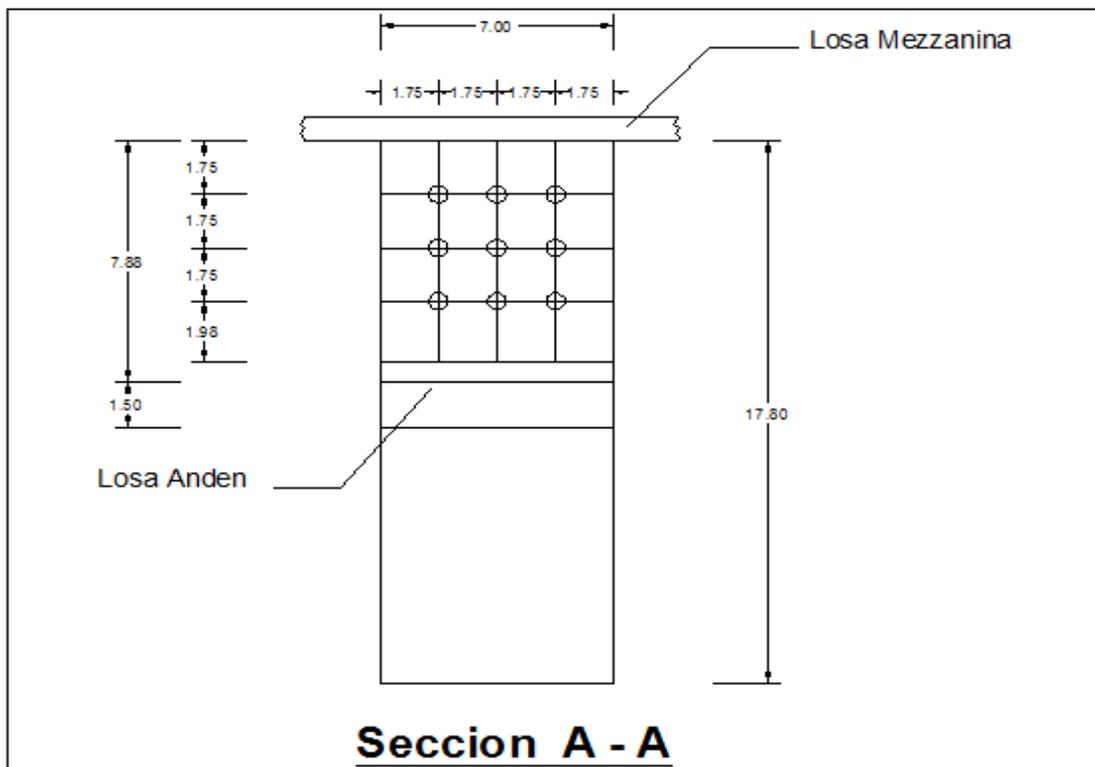
**Caso 1: Altura de demolición** = 6.68 metros para los paneles comprendidos entre el panel 104 y el panel 118, para este caso se divide en 5 partes el panel, pero como el valor de la distancia no es divisible entre 5 serán 4 secciones de 1,30 metros y una de 1,48 metros.



**Figura 46.** Altura de demolición.

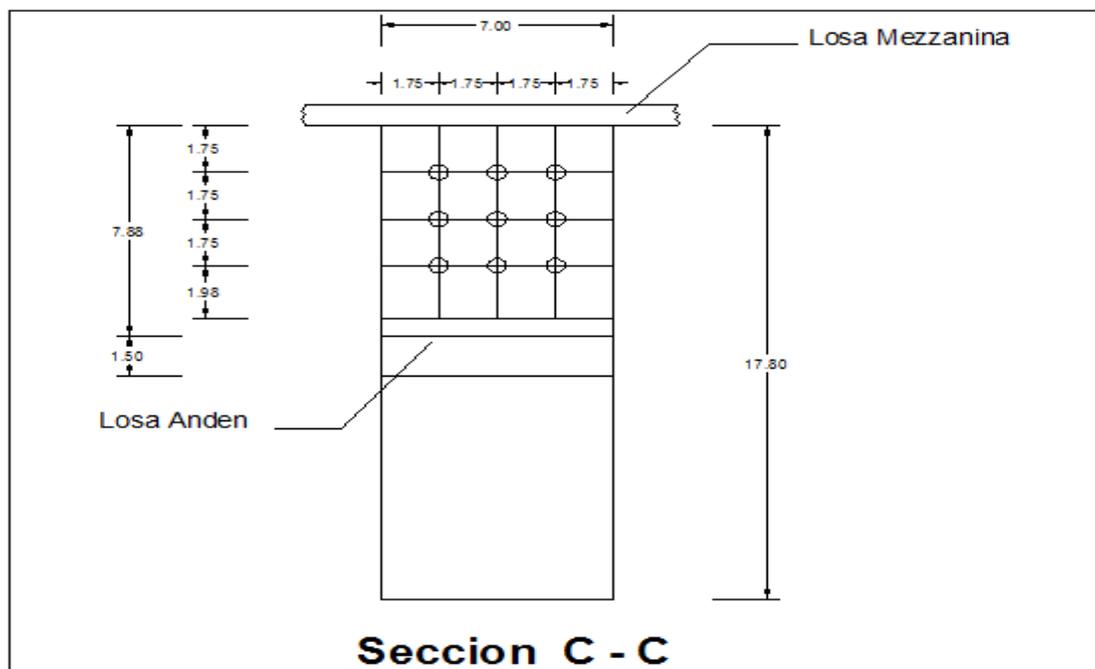
**Fuente:** Elaboración Propia a través del Programa Auto CAT. (2010)

**Caso 2: Altura de demolición** = 7,23 metros para los paneles 101 y el panel 120 y 121, para este caso se divide en 4 partes el panel, pero como el valor de la distancia no es divisible entre 4 serán 3 secciones de 1,75 metros y una de 1,98 metros.



**Figura 48.** Altura de demolición.

**Fuente:** Elaboración Propia a través del Programa Auto CAT. (2010)



**Figura 47.** Altura de demolición.

**Fuente:** Elaboración Propia a través del Programa Auto CAT. (2010)

## Estabilidad del muro

La estabilidad se refiere a la **primera ley de Newton o Ley de la inercia**. La primera ley del movimiento rebate la idea aristotélica de que un cuerpo sólo puede mantenerse en movimiento si se le aplica una fuerza. Newton expone que todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que sea obligado a cambiar su estado por fuerzas impresas sobre él. (Burbano de E, S., 2003)

Esta ley postula, por tanto, que un cuerpo no puede cambiar por sí solo su estado inicial, ya sea en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, a menos que se aplique una fuerza neta sobre él. Newton toma en cuenta, así, el que los cuerpos en movimiento están sometidos constantemente a fuerzas de roce o fricción, que los frena de forma progresiva, algo novedoso respecto de concepciones anteriores que entendían que el movimiento o la detención de un cuerpo se debía exclusivamente a si se ejercía sobre ellos una fuerza.

En consecuencia, un cuerpo con movimiento rectilíneo uniforme implica que no existe ninguna fuerza externa neta o, dicho de otra forma, un objeto en movimiento no se detiene de forma natural si no se aplica una fuerza sobre él. En el caso de los cuerpos en reposo, se entiende que su velocidad es cero, por lo que si esta cambia es porque sobre ese cuerpo se ha ejercido una fuerza neta.

Debe cortarse el muro conservando su estado de reposo para que no altere su estabilidad. La Primera ley de Newton establece que para que un cuerpo altere su movimiento es necesario que exista algo que provoque dicho cambio. Ese algo es lo que se conoce como fuerzas. Estas son el resultado de la acción de unos cuerpos sobre otros.

**La Segunda ley de Newton** se encarga de cuantificar el concepto de fuerza, afirmando que la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que adquiere dicho cuerpo. La constante de proporcionalidad es la masa del cuerpo, de manera que se puede expresar la relación de la siguiente manera:

$$F = m \times a$$

**La tercera ley de Newton** afirma que toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: o sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas. En cuanto a la *tercera ley* es completamente original de Newton (pues las dos primeras ya habían sido propuestas de otras maneras por Galileo, Hooke y Huygens) y hace de las leyes de la mecánica un conjunto lógico y completo. Expone que por cada fuerza que actúa sobre un cuerpo, este realiza una fuerza de igual intensidad y dirección, pero de sentido contrario sobre el cuerpo que la produjo. Dicho de otra forma, las fuerzas, situadas sobre la misma recta, siempre se presentan en pares de igual magnitud y opuestas en dirección.

Al inclinar el plano de la superficie de apoyo y aplicar una fuerza puntual al objeto estudiado, vectorialmente se obtiene la sumatoria de la fuerza aplicada y un porcentaje del peso propio el cual es afectado por la aceleración gravitatoria y depende del ángulo de inclinación de la superficie de apoyo, a esta sumatoria de fuerzas solamente se contrapone la fuerza de rozamiento la cual dependiendo del caso puede no ser suficiente para llevar nuevamente al estado inicial de reposo del objeto.

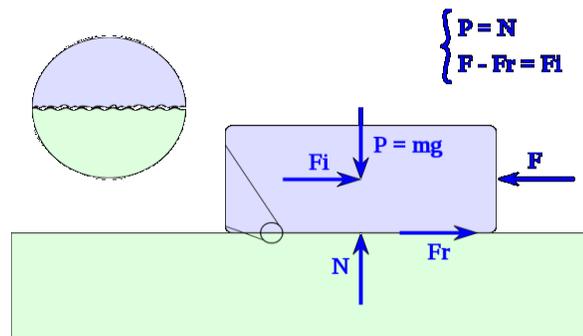
Si se toma el caso de un plano de apoyo horizontal en el que solo se contrapone a la fuerza de rozamiento la fuerza puntual aplicada sobre el objeto, una vez la fuerza puntual deje de aplicarse el cuerpo volverá a su estado de reposo a través de la fuerza de rozamiento generada entre el

objeto y la superficie de apoyo.

Puede concluirse que para realizar la demolición controlada del muro conservando nuestra condición de estabilidad el plano de corte debe ser horizontal eliminando así cualquier posibilidad de una aceleración no controlada del objeto cortado.

### Casos de extracción de los bloques cortados

Caso 1: Bloque de concreto simplemente apoyado sobre superficie de concreto



**Figura 48. Plano de contacto entre la superficie y el bloque cortado.**  
**Fuente: Elaboración Propia. (2010)**

Dado un cuerpo en movimiento sobre una superficie horizontal, deben considerarse las siguientes fuerzas:

**F:** la fuerza aplicada.

**F<sub>r</sub>:** la fuerza de rozamiento entre la superficie de apoyo y el cuerpo, y que se opone al movimiento.

**F<sub>i</sub>:** fuerza de inercia, que se opone a la aceleración de cuerpo, y que es igual a la masa del cuerpo **m** por la aceleración que sufre **a**.

**P:** el peso del propio cuerpo, igual a su masa por la aceleración de la gravedad.

**N:** la fuerza normal, que la superficie hace sobre el cuerpo

sosteniéndolo.

Como equilibrio estático, se puede establecer que:

$$\begin{cases} P = N \\ F - F_r = F_i \end{cases}$$

Sabiendo que:

$$P = N = mg$$

$$F_r = \mu_d N$$

$$F_i = ma$$

Se puede reescribir la segunda ecuación de equilibrio estático como:

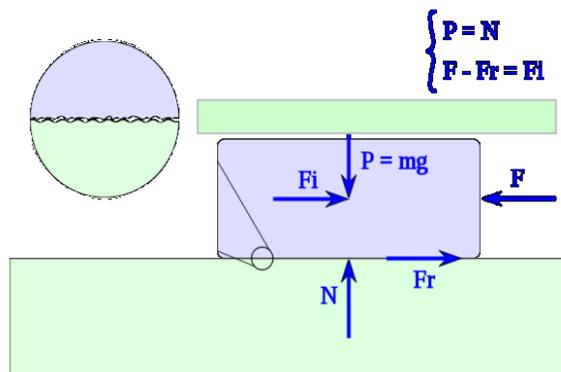
$$F = \mu_d mg + ma$$

Como se parte de la teoría en la que el cuerpo está en reposo entonces la  $a = 0$  y de ahí queda lo siguiente.

$$F = \mu_d mg \rightarrow F = 0,65 \times (1,75 \text{ m} \times 1,75 \text{ m} \times 1,20 \text{ m} \times 2500 \text{ kg}/\text{m}_3)$$

$$F = 9.187,5 \text{ Kgf}$$

Caso 2: Losa mezzanina que descansa sobre bloque de concreto apoyado simple sobre superficie de concreto



**Figura 49.** Plano de contacto entre la superficie y el bloque cortado.  
**Fuente:** Elaboración Propia. (2010)

Dado un cuerpo en movimiento sobre una superficie horizontal, deben considerarse las siguientes fuerzas:

**F:** la fuerza aplicada.

**F<sub>r</sub>:** la fuerza de rozamiento entre la superficie de apoyo y el cuerpo, y que se opone al movimiento.

**F<sub>i</sub>:** fuerza de inercia, que se opone a la aceleración de cuerpo, y que es igual a la masa del cuerpo **m** por la aceleración que sufre **a**.

**P:** el peso del propio cuerpo, igual a su masa por la aceleración de la gravedad.

**N:** la fuerza normal, que la superficie hace sobre el cuerpo sosteniéndolo.

Como equilibrio estático, se puede establecer que:

$$P = N$$

$$F - F_f = 0$$

Sabiendo que:

$$P = N = mg$$

$$F_r = \mu_d N$$

Se puede reescribir la segunda ecuación de equilibrio estático como:

$$N_1 = m_1 g$$

$$N_2 = m_2 g$$

$$F = \mu \times (m_1 - m_2) \times g$$

Como se parte de la teoría en la que el cuerpo está en reposo entonces la  $a = 0$  y de ahí queda:

$$F = \mu \times (m_1 - m_2) \times g$$

$$F = 0,65 \times (1.75 \text{ m} \times 9.20 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} - 1.30 \text{ m} \times 1.75 \text{ m} \times 1.20 \text{ m}) \times 2500 \text{ kgf/m}^3$$

$$\mathbf{F = 16.493,75 Kgf}$$

## **5. Equipos de corte y perforación**

El aumento de la demanda de las estructuras de concreto armado en los diferentes campos de la construcción ha conllevado el desarrollo de diversas herramientas y máquinas de corte destinadas al aumento de la productividad y de la calidad de estos productos, conservando unos costes moderados. Actualmente los equipos de perforación y corte con hilo diamantado son los más utilizados dentro del ramo de la construcción debido a su alto rendimiento y operatividad bajo las condiciones más difíciles de trabajo.

### **Equipos de perforación**

El equipo permite realizar perforaciones con agua en concreto armado, como el trabajo a realizar, con espaciador de broca >12". Así como también la capacidad para realizar barrenos profundos y de forma angular hasta 45°, perforación de barrenos guías para aberturas de gran tamaño y perforación de barrenos en serie con el uso de columnas y accesorios.

Se presenta como fácil de operar y muy versátil en su uso, con una columna para todas las aplicaciones rectas o hasta en ángulo de 45° con un nuevo diseño del mandril para conexiones de brocas más rápidas y fáciles, y un motor con 3 velocidades, es un sistema de perforación compacto, práctico, fácil de transportar y de usar.



**Figura 50. Core dril, modelo D-200.**

**Fuente.** HILTI. (2010)

### Datos Técnicos

	DD 200
Rango de diámetros	25-400 mm 50-200 mm (óptimo)
Voltaje	230 V
Potencia nominal de entrada	2.600 W
Intensidad nominal de entrada	11.3 A
Velocidades sin carga	Rango de diámetros
1ª velocidad 320 rpm	202-400 mm (8"-16")
2ª velocidad 550 rpm	102-182 mm (4"-7")
3ª velocidad 1120 rpm	25-97 mm (1"-3 3/4")
Peso (motor)	12.7 kg

**Figura 51. Vista de las aplicaciones del Codril, modelo D-200, proveídas por el fabricante.**

**Fuente.** HILTI. (2010)

### Máquina de corte con hilo diamantado

La máquina de corte con hilo es uno de los equipos utilizados para la demolición de concreto armado dado el rendimiento que se obtiene con el empleo de esta máquina de corte. Su función básica es la realización de cortes verticales y horizontales sobre una masa de hormigón, para realizar la demolición de la misma, realizando más tarde un despiece de bloques de tamaños que puedan ser transportados.

Durante el proceso de corte, el hilo, mediante el giro impreso por la máquina, sirve de elemento abrasivo para el desgaste de forma acelerada sobre la pieza que se desea demoler y una manguera aporta el agua que cumple un doble propósito al ayudar al proceso de desgaste y sirve de enfriamiento al hilo para evitar su rotura. Esta aportación de agua disminuye a la vez la cantidad de polvo nocivo, que pueda generarse en el corte.

Entre las máquinas de corte con hilo diamantado más utilizadas se tiene HILTI y HYDROSTRESS.



**Figura 52. Máquina cortadora con hilo diamantado, Modelo Ds-ws-15.**  
**Fuente.** HILTI. (2010)

Es una máquina para aplicaciones y cortes de difícil acceso, como cortes de elementos voluminosos de concreto, como el muro colado central de concreto armado que se estudia, lo cual permite una demolición controlada, permite el corte de concreto armado en espesores superiores a 73 cm, con hilo diamantado.

Es de fácil manejo con la consola de controles y gran versatilidad de corte ya que también tiene un avance de corte automático, equipo compacto y robusto, alto rendimiento de corte para trabajos de diversas dimensiones. Es eficiente ya que los motores eléctricos que proporcionan una potencia de hasta 22 kW. Requerimiento mínimo de agua para el enfriamiento de los mismos, utilizando como mínimo 32 A como fuente de poder

También tiene durabilidad ya que se maneja el cable de diamante de

alto rendimiento, en longitudes variables. Se cuenta con encastres de liberación rápida que proporcionan una máxima seguridad a los usuarios, y es flexible: el uso de las poleas que giran prácticamente hacia cualquier dirección, le da una opción de cortes muy amplia; el cable puede ser montado y desmontado rápidamente.

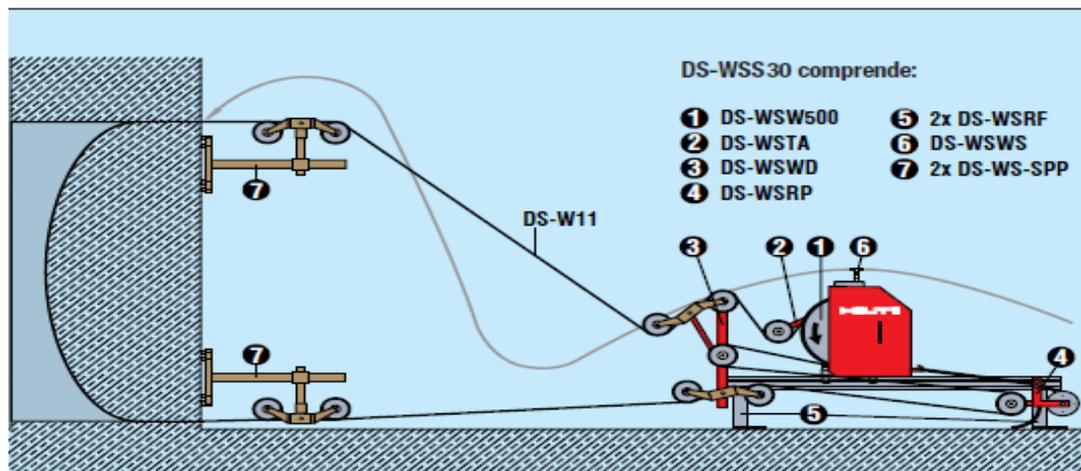
Seguidamente se presentan más detalles técnicos del equipo:

### Datos Técnicos

Unidad de accionamiento DS-WS15	
Rueda motor	2 x 280 mm diámetro
Potencia nominal	P1 = 2 x 7.5 kW potencia continua (=15 kW)
Velocidad de cable	Regulación Infina, 0-27 m/s
Almacenamiento de hilo	máx 9.2 m
Dimensiones	1580 x 790 x 930 mm
Peso del motor	aprox. 266 kg
Tipo de protección	IP 65 (protección contra chorro de agua)
Longitud del cable entre unidades de sistema	7 m
Refrigeración eléctrica del motor	Refrigeración por agua con al menos 5 l/min a una presión máx. de 6 bares, los datos nominales están garantizados a una temperatura del agua de 20°C
Grupo electrógeno recomendado (no incluido)	60 kVA
Consola de control DS-WS15	
Voltaje nominal	400 V - 50/60Hz 3P+N+PE o 3P+PE
Corriente nominal	25 A
Valor nominal de fusible	32 A
Valor mínimo nominal de fusible	16 A
Interruptor de fallo de tierra (PRCD) en fuente de alimentación en el lugar de trabajo	30 mA
Dimensiones	520 x 590 x 1.080 mm
Peso de la unidad de control	aprox. 68 kg
Tipo de protección IP 44 (protección frente a los chorros de agua)	
Operación del generador	60 kVA
Compresor	
Presión de aire	Al menos 8 bar
Volumen de aire	Al menos 100 l/min
Conexión de la alimentación	230 V

**Figura 53.** Especificaciones técnicas detalladas de la máquina cortadora con hilo diamantado, modelo Ds-ws-15.

**Fuente.** HILTI. (2010)



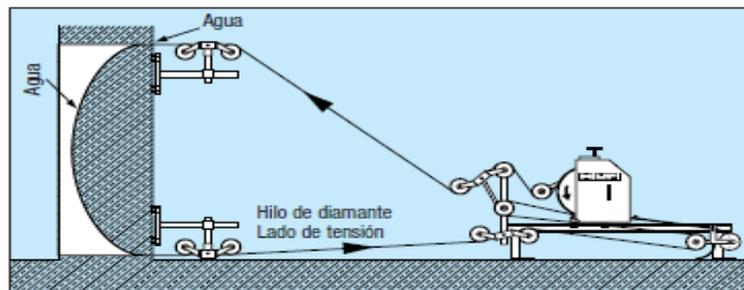
**Figura 54. Equipo de corte con hilo diamantado modelo DS-WS-15.**

**Fuente.** HILTI. (2010)

### Aplicaciones básicas

#### Corte vertical estándar

- Longitud de corte óptima.
- No se produce un radio agudo del hilo de diamante en el hormigón.
- Prestaciones de corte promediadas.
- Ratio normal de desgaste del hilo.



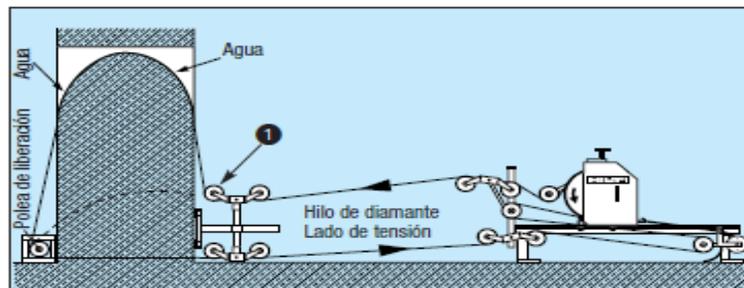
#### Corte vertical con la polea de liberación

##### 1º Paso

- Longitud de corte y contacto relativamente corta.
- Altas prestaciones de corte.
- Alta tasa de desgaste del hilo.

##### Nota:

Cuando la entalladura de corte se encuentra a la altura de la polea 1, la polea se debe invertir y colocar por debajo del cable.

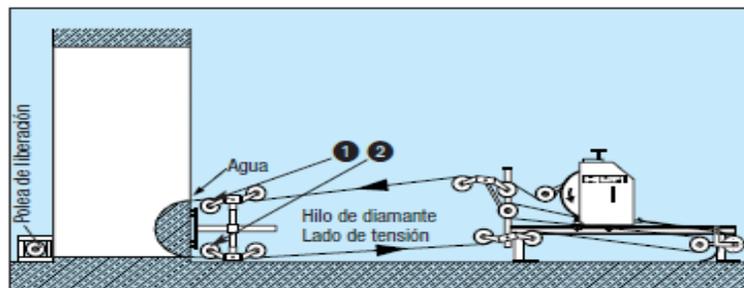


##### 2º Paso

##### Nota

Al final del corte, cuando el hilo del diamante se saca de la entalladura de corte, queda **capturado** por las poleas 1 y 2.

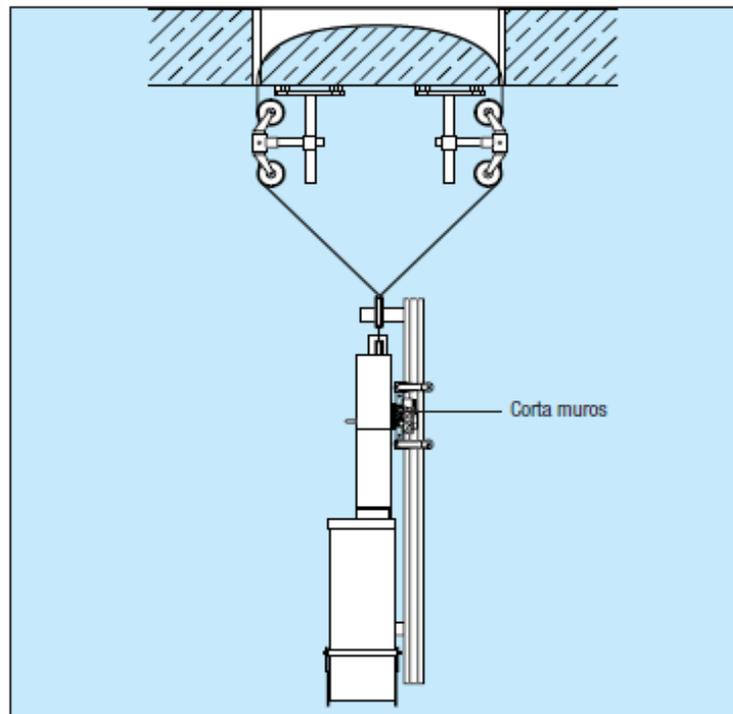
- No hay peligro de latigazos del hilo.
- Evita daños en el hilo.



**Figura 55. Aplicaciones Básicas**

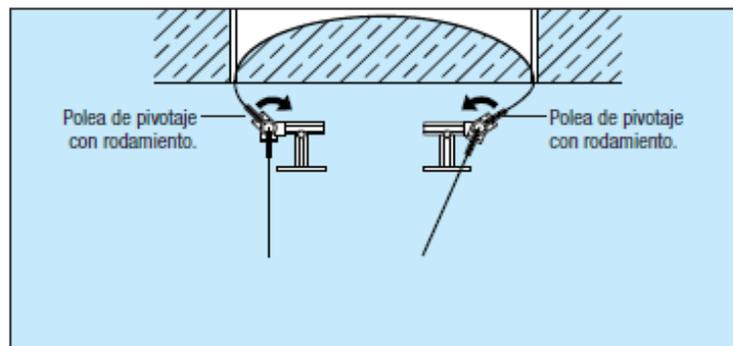
**Fuente.** HILTI. (2010)

**Corte horizontal estándar**

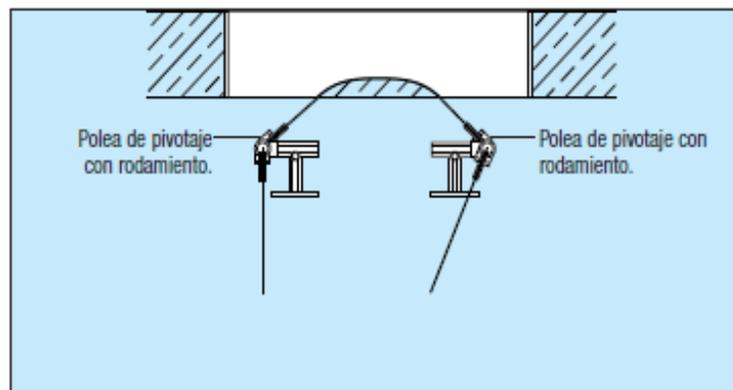


**Corte horizontal a ras**

Al principio del corte.



Al final de corte



**Figura 56. Corte Horizontal**  
**Fuente.** HILTI. (2010)

## Metodología de Corte

1. Se coloca un cerramiento provisional que impida la visión y el paso de objetos extraños a la zona de operaciones de la línea del tren en funcionamiento.
2. Se coloca una superficie sólida de apoyo entre el muro a demoler y la losa de andén.
3. Se coloca el suministro de agua y electricidad a lo largo del cerramiento provisional para abastecer a la máquina de corte y los core drill.
4. Se dibuja la cuadrícula sobre la superficie del muro a cortar.
5. Se fija la base de la máquina perforadora en el punto donde se interceptan las líneas de la cuadrícula.
6. Se fija la máquina perforadora a la base colocada en posición.
7. Se le suministra un punto de agua y electricidad a la máquina para ejecutar la perforación.
8. Se perforan los puntos donde se interceptan las líneas la cuadrícula con una máquina perforadora con broca de diamante de 3 pulgadas (core drill).
9. Se coloca un sistema de seguridad para protección del operador de la máquina de corte en caso que alguna falla afecte su funcionamiento.

10. Se coloca la máquina de corte en la posición adecuada para proceder al corte del muro.
11. Se fija la máquina de corte a la superficie una superficie sólida de apoyo entre el muro a demoler y la losa de andén.
12. Se fijan al muro las poleas que tensan y dirigen el hilo de corte.
13. Se coloca el suministro de agua en el punto de corte a través de una manguera.
14. Se realizan los cortes en forma vertical sobre la cuadrícula dibujada de cada panel.
15. Se realiza el primer y el segundo corte en forma horizontal sobre la cuadrícula.
16. Se extraen los bloques cortados de la línea superior.
17. Se coloca una eslinga metálica de 10 Ton de resistencia alrededor del bloque.
18. Se asegura el bloque a un equipo pesado.
19. Se procede a extraer los bloques de la ubicación correspondiente del muro.
20. Se arrastra el bloque hasta quedar bajo el receso dejado en las losas superiores.
21. Se realiza el acarreo hasta el nivel superficie y se coloca en un lugar adecuado para su posterior demolición.

## **Instrucciones Generales de Uso del Hilo de Diamante**

### **Instrucciones de montaje**

- Observe la dirección correcta de corte (flechas a lo largo del hilo de diamante). No se debe cambiar la dirección de corte. Las perlas de diamante están codificadas adecuadamente (el diámetro menor hacia el borde frontal).
- No coloque nunca una conexión sin la junta tórica entre la conexión y la perla.
- No empalme hilos de diamante de diámetros diferentes.
- Retuerza el hilo de diamante en sentido contrario al de los agujas del reloj (visto desde la posición del operador cuando mira hacia el extremo cortado del hilo de diamante) en, aproximadamente, 1,5 vueltas por cada metro de hilo de diamante.
- Para conseguir un desgaste uniforme de las perlas, debe volver a retorcer el hilo de diamante después de que se realice un corte grande, aplicándole un número diferente de vueltas.
- Evite nudos en el cable.

### **Instrucciones para el Serrado con Hilo de Diamante**

#### ***Preparativos para el primer corte***

- Antes de iniciar el serrado, redondee las esquinas de la pieza de trabajo en una distancia aproximada de 10 cm. (utilizando un martillo y un

cincel, o un martillo combinado Hilti) y/o tire manualmente del hilo de diamante.

- Sitúe el suministro de agua en el punto en que el hilo de diamante penetra en la pieza de trabajo. En función de la longitud del corte, puede ser necesario aplicar agua refrigerante en varios puntos. Si se quiere conseguir un buen corte, resulta de importancia decisiva el funcionamiento correcto del suministro de agua refrigerante.
- Utilice el movimiento de avance/retroceso para poner en tensión el hilo de diamante. Manténgase a una distancia segura y ponga en marcha el motor. La sierra de hilo de diamante debe ponerse en marcha suave y lentamente, e ir incrementando su velocidad gradualmente hasta que se alcance la velocidad máxima permitida.
- Durante el cerrado.
- Debe supervisar constantemente la marcha de las operaciones de serrado. Antes de reajustar la posición del suministro de agua refrigerante, detenga el movimiento de avance y desconecte el motor y la unidad hidráulica.

### **Fase III. Desarrollo del Modelo Matemático**

## **2. DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA ESTRUCTURA PARA LA REPRESENTACIÓN DE LAS SOLICITACIONES QUE SE DEMANDA**

La modelización numérica del muro de concreto a demoler, es una herramienta importante para el conocimiento del mismo.

### **Descripción de la Geometría de la Estación del Metro Jardines**

La creación de modelos numéricos de cualquier estructura arquitectónica comienza con la generación de su geometría. De allí que se demanda generar una geometría adecuada, de la estructura en estudio, ya que esto se refleja en sus resultados numéricos.

### **Dimensiones Generales de la Estación del Metro Jardines**

La estación posee una longitud total de 170,00 metros de largo distribuidos en 17 ejes y un ancho total de 75,80 metros distribuidos en 9 ejes que van desde el eje A hasta el eje I. Está conformada por varias secciones importantes como lo son: la sección principal o cuerpo de la estación que contiene los dos túneles gemelos por donde transita el tren y va desde el eje 1 al eje 17 con 170 metros de longitud y desde el eje D hasta el eje G con un ancho de 22,90 metros.

La entrada principal construida como un módulo independiente a un costado de la sección principal de la estación, la cual se comunica a través de un pasillo en el nivel mezzanina, está ubicada entre los ejes 1 y 6 con una longitud de 43.90 metros; y entre los ejes H e I con un ancho de 19,80

metros.

La entrada 2 o entrada secundaria, se encuentra conectada a la sección principal de la estación, está ubicada entre los ejes 4 y 8 con una longitud de 25.50 metros de longitud y entre los ejes A y D con un ancho de 24.85 metros.

La salida de emergencia posee menores dimensiones a las secciones mencionadas anteriormente, es una estructura anexa a la estación y se encuentra entre los eje H e I con una longitud de 24.50 metros y entre los ejes 13 y 14 con un ancho de 8.85 metros.

### **Altura de la Estación de Metro Jardines**

Todas las secciones mencionadas con anterioridad poseen los tres niveles de la estación; como son el nivel andén, el cual es el nivel más profundo ubicado a 14.27 metros del nivel de superficie, contiene las dos vías del tren y la losa que sirve como terminal para la entrada y salida de los usuarios al servicio.

El nivel mezzanina ubicado a 6.44 del nivel de superficie, en el cual se encuentra el sistema de venta de boletos, cuartos que contienen equipos técnicos y controles del tren. Y el nivel superficie el cual contiene los dos sentidos de la Avenida Intercomunal del Valle.

### **Elementos estructurales utilizados en el modelo de cálculo**

Para realizar un adecuado estudio es necesario colocar en el modelo de cálculo todos aquellos elementos que permitan la transferencia de las cargas o que generen un aporte significativo al mantenimiento de la estabilidad de la estructura.

Los elementos estructurales son: los muros, las losas, los vacíos, provisionales, las columnas, las vigas, los arriostramientos y las cargas.

**Norma COVENIN. (2002), referida a los Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones.**

Las presentes Normas establecen los requisitos y las acciones mínimas que deben considerarse en el proyecto y construcción de edificaciones y en el presente caso de demolición y derribo del muro colado central de concreto armado de la Estación jardines del Metro de Caracas. Las acciones aquí definidas son las de servicio o utilización, aplicables tanto en la Teoría Clásica como en la Teoría de los Estados Límites.

La siguiente clasificación se establece de acuerdo a la distribución de las acciones con relación al tiempo

**Acciones Permanentes**

Son las que actúan continuamente sobre la edificación y cuya magnitud puede considerarse invariable en el tiempo, como las cargas debidas al peso propio de los componentes estructurales y no estructurales: pavimentos, rellenos, paredes, tabiques, frisos, instalaciones fijas, etc. Igualmente el empuje estático de líquidos y tierras que tengan un carácter permanente, las deformaciones y los desplazamientos impuestos por el efecto de pretensión, los debidos a movimientos diferenciales permanentes de los apoyos, las acciones reológicas y de temperatura permanentes.

**Determinación de las cargas permanentes**

Para la determinación de las cargas permanentes se usarán los pesos

de los materiales y elementos constructivos a emplear en la edificación.

### **Pesos de los Materiales y Elementos Constructivos**

En los cuadros siguientes se presentan los valores probables de los pesos de los materiales de construcción, y elementos constructivos.

#### **Cuadro 4.**

##### **Pesos unitarios probables de materiales de construcción**

<b>Concretos</b>	<b>Peso unitario Kg/m<sup>3</sup></b>
Concreto de agregados livianos	variable
Concreto de agregados ordinarios	2400
Concreto armado de agregados livianos	2500

*Fuente: Norma COVENIN. (2002)*

### **Peso Propio de los Elementos Estructurales**

En los cuadros se presentan los pesos por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de los elementos de concreto armado presentes en la estación y que son utilizados para el modelo.

#### **Cuadro 5.**

##### **Peso Propio de los elementos estructurales**

<b>Elementos estructurales</b>	<b>Peso Propio</b>	<b>Espesor</b>
Muro colado perimetral	3000 kgf/ m <sup>2</sup>	1.20 metros
Muro colado central	3000 kgf/ m <sup>2</sup>	1.20 metros
Losa de techo	3000 kgf/ m <sup>2</sup>	1.20 metros
Losa de mezzanina	2000 kgf/ m <sup>2</sup>	0.80 metros

*Fuente: Elaboración Propia. (2010)*

### **Carga permanente sobre la losa de techo**

Según el método constructivo del proyecto, la losa de techo debe llevar una capa de material de relleno de 2 metros de espesor que sirve de soporte

para el tránsito sobre una de las arterias viales más importantes de la zona.

### **Pesos de los materiales de relleno**

En los cuadros siguientes se presentan los valores probables de los pesos de los materiales de relleno.

**Cuadro 6.**  
**Pesos unitarios probables de materiales de relleno**

<b>Materiales Almacenables</b>	<b>Pesos unitarios Kgf/m<sup>3</sup></b>
Arena y grava húmedas	1.800

**Fuente:** Norma COVENIN. (2002)

### **Pesos de materiales de relleno sobre la losa de techo**

**Cuadro 7.**  
**Peso propio de los materiales de relleno**

<b>Materiales de relleno</b>	<b>Peso Propio</b>	<b>Espesor</b>
Arena y grava húmedas	3200 kgf/ m <sup>2</sup>	2 metros

**Fuente:** Elaboración Propia. (2010)

### **Acciones Variables**

Son aquellas que actúan sobre la edificación con una magnitud variable en el tiempo y que se deben a su ocupación y uso habitual, como las cargas de personas, objetos, vehículos, ascensores, maquinarias, grúas móviles, sus efectos de impacto, así como las acciones variables de temperatura y reológicas, y los empujes de líquidos y tierras que tengan un carácter variable

USOS DE LA EDIFICACION	AMBIENTES														
	A. AREAS PUBLICAS pavimentos, aceras, estacionamientos, etc.	B. AREAS PRIVADAS oficinas, salas, quirófanos, cocinas, laboratorios, servicio y mantenimiento (1)	C. AREAS CON ASIENTOS FIJOS	D. AREAS CON ASIENTOS MOVILES, SALONES DE FERIA	E. AZOTEAS O TERRAZAS (3) y (4)	F. BALCONES con L > 1.20 (3) y (4)	G. BIBLIOTECAS, ARCHIVOS Y SIMILARES	H. ESCALERAS Y ESCALERAS DE ESCAPE (5)	I. ESCENARIOS PLATAFORMAS Y ZONAS DE EXPOSICIONES	J. ESTACIONAMIENTOS	K. HABITACIONES: PASILLO INTERNO, CAMERINOS, VESTIBULOS, ESTUDIOS DE RADIO Y TV, CELDAS	L. AREAS CON CARGAS LIVIANAS DE MAQUINAS	M. AREAS CON CARGAS MEDIANAS DE MAQUINAS	N. DEPOSITOS EN GENERAL	O. TECHOS CP ≤ 30 kg/m <sup>2</sup>
1. VIVIENDAS UNIFAMILIARES Y MULTIFAMILIARES HOTELER, MOTELER, CLUBES	300			500	100	300		300		(6)	175				
2. EDIFICACIONES EDUCACIONALES ESCUELAS, LICEOS, UNIVERSIDADES, INSTITUTOS TECNICOS Y SIMILARES	400	300	400	500	100	300	(5)	500	500	(6)	175	600	1200	(8y9)	
3. LUGARES DE CONCENTRACION PUBLICA: TEATROS, CINES, RESTAURANTES, LUGARES DE CULTO, MUSEOS, BIBLIOTECAS, ESTUDIOS, TRIBUNAS, GIMNASIO, ETC	500	300	400	500	100	300	(5)	500	750	(6)	175	600		(8y9)	
4. EDIFICACIONES INSTITUCIONALES: MEDICO ASISTENCIALES, CUARTELES CARCELES, CONVENTOS Y MONASTERIOS, MINISTERIOS	300	250	400	500	100	300	(5)	500	500	(6)	175	600	1200	(8y9)	
5. EDIFICACIONES COMERCIALES: ALMACENES COMERCIALES, TIENDAS, SUPERMERCADOS, LOCALES, OFICINAS Y BANCOS	300	250	400	500	100	300	(5)	500	500	(6)	175	600		(8y9)	
6. EDIFICACIONES PARA TRANSPORTE Y DEPOSITOS ESTACIONAMIENTOS, DEPOSITOS DE MERCANCIA LIVIANA, FRIGORIFICOS, MORQUE	500	300	400	500	100	300	(5)	500		(6)	175	600		(8y9)	
7. EDIFICACIONES INDUSTRIALES: TALLERES, IMPRENTAS ESTUDIOS DE RADIO, CINE Y TV	500	300	400	500	100	300	(5)	500	750	(6)	175	600	1200	(8)	
8. CONSTRUCCIONES VARIAS: HELIPUERTOS (11), PUENTES PEATONALES, TERMINALES DE PASAJEROS	500	300	400	500	100	300	(5)	500		(6)	175	600		(8)	

**NOTAS:**

**GENERAL:** Aquellos rangones que no tengan valores establecidos, podrán asimilarse a casos semejantes.

1. Oficinas: 250 kgf/m<sup>2</sup>. Aulas, Quirófanos y Laboratorios: 300 kgf/m<sup>2</sup>. Cocinas, Servicios, etc.: 400 kgf/m<sup>2</sup>.
2. La que corresponda a su uso, pero no menor de 100 kgf/m<sup>2</sup>.
3. Para barnadas, pasamanos y antepechos, véase la sección 5.3.4.
4. Para balcones con l ≤ 1.20 m. se aplica la nota (2). Independientemente del valor de l, se aplicará en el extremo del volado una carga lineal de 150 kgf/m.
5. Salas de lectura: 300 kgf/m<sup>2</sup>. Salas de archivo: Según ocupación y equipos, pero no menor de 500 kgf/m<sup>2</sup>. Zona de estanterías con libros: 250 kgf/m<sup>2</sup> por cada m. de altura, pero no menor de 700 kgf/m<sup>2</sup>. Depósitos de libros, véase nota 8.
6. Para vehículos de pasajeros: 250 kgf/m<sup>2</sup> y además se verificará para una carga concentrada de 900 kgf distribuida sobre un cuadrado de 15 cm de lado y colocada en el punto más desfavorable. Para autobuses y camiones: 1000 kgf/m<sup>2</sup> y además se verificará para una carga concentrada igual a la carga máxima por rueda distribuida en un cuadrado de 15 cm de lado. Véase la Sección 5.2.5.
7. Según especificaciones particulares. Para piso de sala de máquinas de ascensores: 2000 kgf/m<sup>2</sup>, incluyendo el impacto.
8. Según especificaciones particulares, pero no menor de 250 kgf/m<sup>2</sup> por metro de altura del depósito; véase Tabla 4.2. Depósito de libros apilados y estanterías sobre rieles: 1100 kgf/m<sup>2</sup> por cada m de altura.
9. Frigoríficos: según especificaciones particulares, pero no menor de 1500 kgf/m<sup>2</sup>. Morgue: 600 kgf/m<sup>2</sup>.
10. Las correas deberán verificarse también para una carga concentrada de 80 kgf/m<sup>2</sup> ubicada en la posición más desfavorable.
11. Según las características de los equipos.

**Figura 57. Tabla Mínimas Cargas Distribuidas Variables sobre Entrepisos Kg/m<sup>2</sup>**

**Fuente:** Norma COVENIN. (2002)

## Determinación de las propiedades físicas de los materiales

Las propiedades físicas de los materiales relativas a los empujes de tierras, materiales granulares y líquidos, se determinarán mediante estudios realizados por laboratorios especializados.

Para obras de menor importancia, y a criterio del Proyectista, podrán adoptarse sin necesidad de ensayos los valores de los pesos unitarios  $\gamma$ , índices de vacíos  $n$ , ángulos de rozamiento interno  $\phi$  y cohesión  $c$ , indicados en el cuadro 8 y sus notas.

### Cuadro 8.

#### Pesos unitarios probables materiales almacenables

TIERRAS	kgf/m <sup>3</sup>	$\phi$ °
Arcilla y greda	2100	para h ó 4 m 25* entre 4 y 6 m 20* para h > 6 m 17*
Arena y grava húmedas	1800	30
Arena y grava saturadas	2000	27
Piedras con predominio de cantos rodados	1900	30
Tierra vegetal húmeda, humus	1700	20
<b>Líquidos</b>	<b>kgf/m<sup>3</sup></b>	<b>Temperatura</b>
Agua	1.000	

*Fuente: Norma COVENIN. (2002)*

### Empujes de tierras, materiales granulares y líquidos

La determinación de las acciones permanentes, variables y accidentales debidas a los empujes de tierras, materiales granulares y líquidos, se regirá por el presente Capítulo.

#### Empujes de tierra

#### Acciones debidas a empujes de tierras

Las estructuras o sus partes sometidas a empujes de tierras, como los muros de sostenimiento, los muros de sótanos, etc., se diseñarán para los

efectos del empuje activo, así como para los del empuje pasivo cuando corresponda. Deberá tomarse en cuenta las posibles cargas variables y permanentes que pueda haber en la parte superior del terreno adyacente. Adicionalmente, se deberá verificar la estabilidad al volcamiento y al deslizamiento, y los factores de seguridad resultantes no podrán ser menores de 1.5.

### **Rozamiento entre tierras y muros**

El ángulo de rozamiento entre tierras y muros,  $\delta$ , depende principalmente del ángulo de rozamiento interno del suelo, de su grado de humedad y de la rugosidad del paramento. Este ángulo  $\delta$  puede determinarse experimentalmente o estimarse para las condiciones extremas en la forma siguiente:

a) Para los casos más desfavorables, como suelos anegados o muros de paramentos muy lisos, se tomará un ángulo de rozamiento:

$$\delta = 0^\circ$$

b) Para condiciones muy favorables, como suelos bien drenados y muros con superficies muy rugosas, el valor máximo posible del ángulo de rozamiento  $\delta$  será igual a  $\phi$ . Para el cálculo de los empujes se tomará como máximo:

$$\delta = 2/3 \phi$$

COVENIN-MINDUR 2002 – 88 37.

### **Presión sobre muros por debajo del nivel freático**

En el diseño de muros de sótanos y estructuras verticales similares, sometidas a la presión lateral del suelo, con una parte o la totalidad del suelo adyacente por debajo del nivel freático, se deberá considerar la presión hidrostática y la presión del suelo con su peso unitario reducido por la presencia del agua.

## Empujes de líquidos

### Líquidos a presión

Cuando sobre la superficie libre del líquido actúe una presión mayor que la atmosférica, la diferencia de las presiones se sumará a las calculadas.

*Empujes a considerar para el cálculo y diseño de estructuras enterradas y muros de contención según la teoría de Rankine.*

Cuando se habla de empujes de tierra se refiere al movimiento lateral que sufre un muro bajo las presiones que le impone la masa de suelo.

Un punto que hay que estudiar siempre con cuidado es el tipo de empuje que se debe tomar, el cual depende del posible movimiento del muro o de la estructura, que también influye en el punto de aplicación de dichos empujes. Estos empujes son el activo y el pasivo.

#### 2.1.1.

#### 2.1.2. Empuje activo, empuje pasivo y empuje en reposo

“Los esfuerzos en el interior de un suelo están producidos por las cargas exteriores aplicadas al mismo y por el peso propio del suelo.”(Coduto 1994, p.113). Los empujes laterales que el suelo ejerce sobre los muros de contención pueden clasificarse, según la relación de esfuerzos de los empujes horizontales, entre los verticales, de la manera siguiente:

$$\text{Empuje neutro: } K_0 = \frac{\sigma_o}{\sigma_v}$$

$$\text{Empuje activo: } K_a = \frac{\sigma_a}{\sigma_v}$$

$$\text{Empuje pasivo: } K_p = \frac{\sigma_p}{\sigma_v}$$

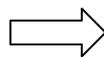
Estos empujes están referidos al movimiento lateral que sufre el muro bajo las presiones que le impone la masa de suelo.” (Fratelli 1993, p.446). En el caso del empuje activo, la masa de suelo ejercerá presión sobre el elemento de retención, tendiendo este último a desplazarse. El empuje pasivo será aquel que el muro ejercerá sobre la masa de suelo, por lo general desarrollado en pantallas atirantadas. El neutro o de reposo se genera cuando el elemento de retención es incapaz de desplazarse, generalmente por estar confinado a una estructura de mayor envergadura. Los valores de dichas expresiones dependerán de la densidad del suelo y de la altura de diseño.

Dentro de los elementos de contención, cuya finalidad es estabilizar los empujes laterales de taludes muros colados.

El estado activo de Rankine permite encontrar la expresión de empuje activo a partir de la envolvente Mohr-Coulomb, donde se relacionan los esfuerzos principales ( $\sigma_1, \sigma_3$ ) con la cohesión (C) y el ángulo de fricción del suelo ( $\phi$ ); ambos parámetros de resistencia del suelo.

$$K_a = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} = \frac{\sigma_3 f}{\sigma_1 f} = \frac{1 - \text{sen} \phi}{1 + \text{sen} \phi}$$

$\phi$  es el ángulo de fricción



$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 - \tan \alpha}{1 + \tan \alpha}$$

## 2.2. Cálculo de empujes de tierra

La presión y la fuerza que ejerce una masa de suelo contra un muro de contención pueden calcularse teóricamente de una forma aproximada siempre y cuando se conozcan las características del suelo.

### - Debido a la masa de suelo

En la zona activa de Rankine la presión producida por el peso del suelo

a una profundidad  $z$  es igual:

$$\sigma_h = \gamma \cdot H \cdot K_a$$

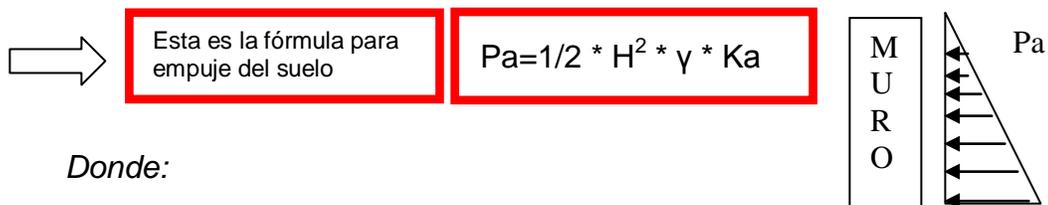
Donde:

$\gamma$  = Peso específico del suelo

$H$  = Profundidad bajo la superficie del terreno

$K_a$  = Coeficiente de presión activa

Las presiones horizontales sobre el muro aumentan linealmente con la profundidad. Por tanto el empuje horizontal total sobre el muro será:



Donde:

$H$  = Altura del muro

$P_a$  = Empuje horizontal total

$\gamma$  = Peso unitario del suelo

$K_a$  = Coeficiente de empuje activo

La posición de la aplicación de la fuerza del empuje estará distribuida en forma de trapecio por encima de la base.

#### **- Debido a la presencia de nivel freático**

Por otra parte en caso de que se tenga presencia de nivel freático en la masa de suelo estudiada se debe tomar en cuenta la presión y el empuje producido por el mismo:

$$\sigma_h = \gamma_w \cdot H_1$$

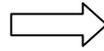
Donde:

$H_1$  = Altura del muro con presencia del nivel freático

$\gamma_w$  = peso unitario del agua

El empuje horizontal total producido por el nivel freático actuante sobre el muro será:

Esta es la formula para empuje  
debido al agua



$$P_a = 1/2 * H_1^2 * \gamma_w$$

**Donde:**

$H_1$  = Altura del muro con presencia del nivel freático

$\gamma_w$  = peso unitario del agua

La posición de la aplicación de la fuerza del empuje estará distribuida en forma de trapecio por encima de la base hasta el punto más elevado del nivel freático.

**Parámetros de diseño**

- Nivel Freático (NF) = 9,60 m
- Ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) = 27°
- Cohesión (C) = 0
- Peso Unitario ( $\gamma$ ) = 2 ton/m<sup>2</sup>
- Coeficiente de empuje activo ( $K_a$ ) = 0,28
- Coeficiente de empuje pasivo ( $K_p$ ) = 1/ $K_a$  = 3,57

**Combinaciones de acciones**

Las acciones pueden actuar en diferentes combinaciones, por lo que las fundaciones, la estructura, y todos sus componentes, deberán analizarse o revisarse para la envolvente de las solicitaciones que produzcan los efectos más desfavorables en la edificación; éstos pueden ocurrir cuando algunas acciones no están actuando. Cuando sea aplicable, se podrá considerar una reducción en las acciones variables.

Las acciones se combinarán en la forma establecida en las normas aplicables al material utilizado y a los estados límites considerados. En

ausencia de disposiciones específicas para determinar los efectos más desfavorables se tomarán en cuenta las siguientes combinaciones de acuerdo a la Norma COVENIN (2002):

- 1) Acciones permanentes;
- 2) Acciones permanentes y acciones variables;
- 3) Acciones permanentes y acciones accidentales;
- 4) Acciones permanentes y acciones variables conjuntamente con acciones accidentales

### **Movimiento de las acciones variables**

En las losas o placas de estructuras continuas los efectos máximos se calcularán situando las acciones variables en las posiciones más desfavorables. Sin embargo, como procedimiento expeditivo y suficientemente aproximado, se autoriza no considerar el movimiento de las acciones variables cuando tengan una distribución razonablemente uniforme y no excedan las magnitudes de las acciones permanentes.

### **Señalamiento de las acciones variables**

En todo edificio, estructura, o sus partes, para uso comercial o industrial, se exhibirán permanentemente las magnitudes de las acciones variables adoptadas en el cálculo de los entresijos.

### **Acciones durante las etapas de fabricación, transporte, montaje y construcción**

El proyectista deberá tomar en cuenta las acciones debidas al proceso constructivo y, cuando sea procedente elaborar las especificaciones del

proyecto relativas a la construcción, tales como tiempo de desencofrado, apuntalamientos y arriostramientos provisionales, cargas de construcción, etc. El constructor velará por el estricto cumplimiento de las especificaciones pertinentes al proceso constructivo. Cualquier modificación significativa del proceso constructivo o la aplicación de acciones de construcción adicionales deberá ser aprobada por el profesional responsable del proyecto. Estas combinaciones son las que se describen a continuación.

Donde se tiene que:

3. CP = CARGA PERMANENTE
4. CV = CARGA VIVA
5. E = CARGAS POR EMPUJE DEL SUELO

Eh = Carga por empuje del agua

Primera combinación de carga:

$$CP + CV + E + Eh$$

### **Determinación del módulo de elasticidad**

Con base en la expresión que determina el modulo de elasticidad referenciada en el:

$$6. \quad E = 15100 \times \sqrt{FC'} \quad \text{DONDE } FC' = \text{A LA RESISTENCIA DEL CONCRETO}$$

$$7. \quad \text{DE LA EXPRESIÓN QUEDA QUE } E = 15100 \times \sqrt{280} = 252671.328$$

### **8. HIPÓTESIS DEL MODELO**

De acuerdo a los cálculos realizados mediante el modelo matemático el investigador consideró necesario realizar los siguientes supuestos o conclusiones:

- EL SISTEMA ES CONSIDERADO ELÁSTICO LINEAL.
- El modelo está conformado por la sección principal de la estación y la entrada 2 la cual se encuentra anexa a esta.
- El modelo está representado por los elementos estructurales que transmiten las cargas al muro colado central.
- No se tomaron en cuenta dentro del modelo de cálculo las escaleras, por ser elementos estructurales calculados para trabajar en forma independiente a la estructura.
- Se tomaron en cuenta todos aquellos vacíos provisionales y permanentes contenidos en la losa de mezzanina que estén sobre el eje del muro colado central.
- Se tomo en cuenta solo el receso principal contenido en la losa de techo.
- El modelo es considerado bajo condiciones de construcción.
- El peso propio del concreto armado es de 2500 Kg/m<sup>3</sup>.
- El peso unitario del suelo es de 2 Ton/m<sup>2</sup>.
- El nivel freático esta a partir de los 9,6 m de profundidad.
- La combinación de cargas para el caso es de  $CP + CV + E + Eh$
- Se considera la losa mezzanina como simplemente apoyada sobre el muro colado central.

#### **Fase IV. Simulación del Modelo**

Esta fase se desarrolló mediante la simulación del Proceso de Demolición Controlada del Muro Colado Central de Concreto Armado de la Estación Jardines del Metro de Caracas utilizando un Programa de Cálculo

Estructural con base en la teoría de Elementos Finitos (MEF).

Cabe destacar, que la modelización numérica de estructuras arquitectónicas representa, actualmente, una herramienta importante en el conocimiento de éstos. De allí que se presenta a continuación la simulación en el Software SAP 2000 versión 11, del corte y derribo del muro colado central de concreto armado de la estación Jardines del Metro de Caracas. Este proceso ha permitido al investigador navegar virtualmente en la estructura del muro y poder comprender su comportamiento.

La creación de modelos numéricos de cualquier estructura arquitectónica comienza con la generación de su geometría. Por esta razón, la modelización, para su cálculo posterior, puede llegar a ser compleja y crear la necesidad de implementar programas de dibujo para su realización. De allí que se genera una geometría adecuada, del muro colado central de concreto armado, y esto se refleja en los resultados numéricos. Para lo cual se utilizó la información de los planos previamente diseñados por el proyectista, los cuales están presentados en los objetivos 1 y 2, así como las herramientas utilizadas para el diseño del mallado y discretización del modelo presentes en el programa de cálculo SAP 2000.

Se aplicó el Método de los Elementos Finitos, por lo cual se estimó el comportamiento del muro colado central de concreto armado sometido a determinadas condiciones previstas, se realizó solo un análisis tridimensional de la estructura, posteriormente se consideró el comportamiento del material como continuo.

**Secuencia de Modelado del Muro Colado Central de Concreto Armado en SAP 2000**

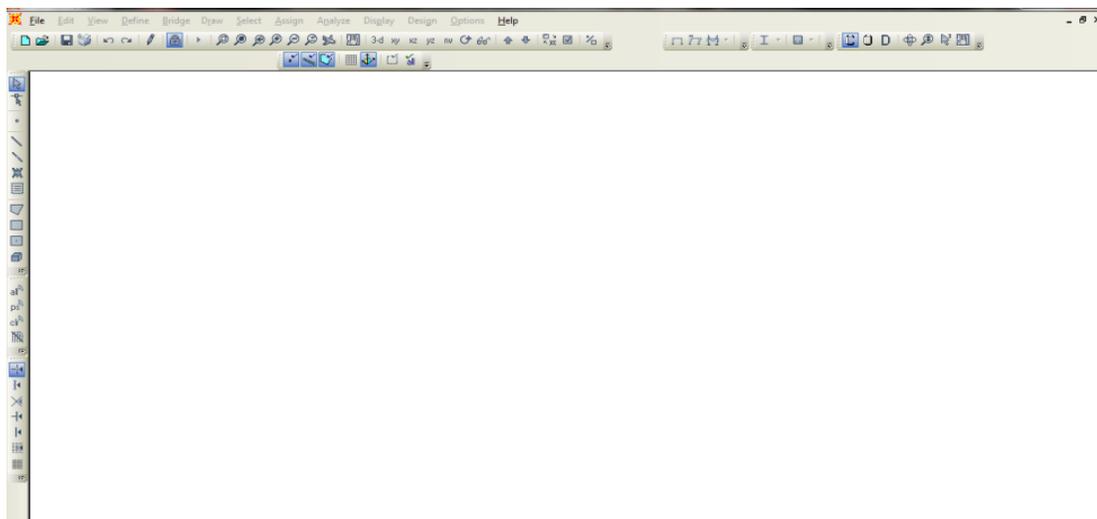
## Generación del mallado

Para formar el mallado es posible crear tantas superficies como mallas se deseen, en este caso se partió del plano del muro colado central, que se presenta en el objetivo 2, para crear la discretización deseada.

Para la discretización del muro que tiene una dimensión de 167,6mts de longitud por 7,83 mts de alto y un espesor de 1,20 mts, se consideró una proporción comprendida en un rango (promedio) no mayor, de dos a tres veces la otra dimensión, ya que si no se verifica esta condición, no es adecuada su discretización como elementos finitos. Tanto los muros como las losas se unen a lo largo de sus lados en cualquier posición y dirección.

La discretización efectuada es por elementos finitos tipo lámina gruesa tridimensional, que considera la deformación por cortante. Están formados por cuatro nodos, en los vértices y en los puntos medios de los lados, con seis grados de libertad cada uno. Su forma es de cuadrilátero regular y se realiza un mallado del muro en función de las dimensiones y geometría.

1. Se inicia el programa SAP 2000 y se ubica la pantalla inicial en blanco, como se muestra a continuación.

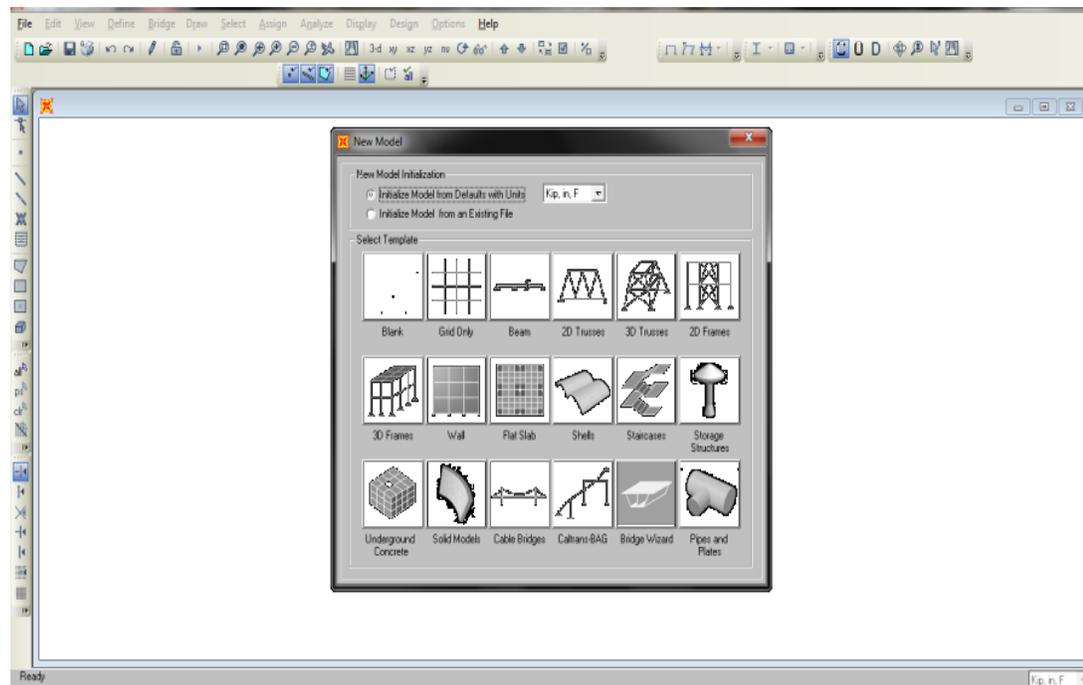


**Figura 58. Secuencia de Modelado. Inicio el Programa SAP 2000**  
**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador (2010)

2. Se selecciona la opción de realizar un nuevo modelo (new model) en la esquina superior izquierda de la pantalla.

3. A continuación aparece una pantalla donde se tiene un renglón de título (new model initialization) en el cual se toma la opción de iniciar un modelo con las unidades por defecto y se seleccionan las unidades de fuerza, distancia y temperatura que se van a trabajar que en este caso serán (Kgf, m, C).

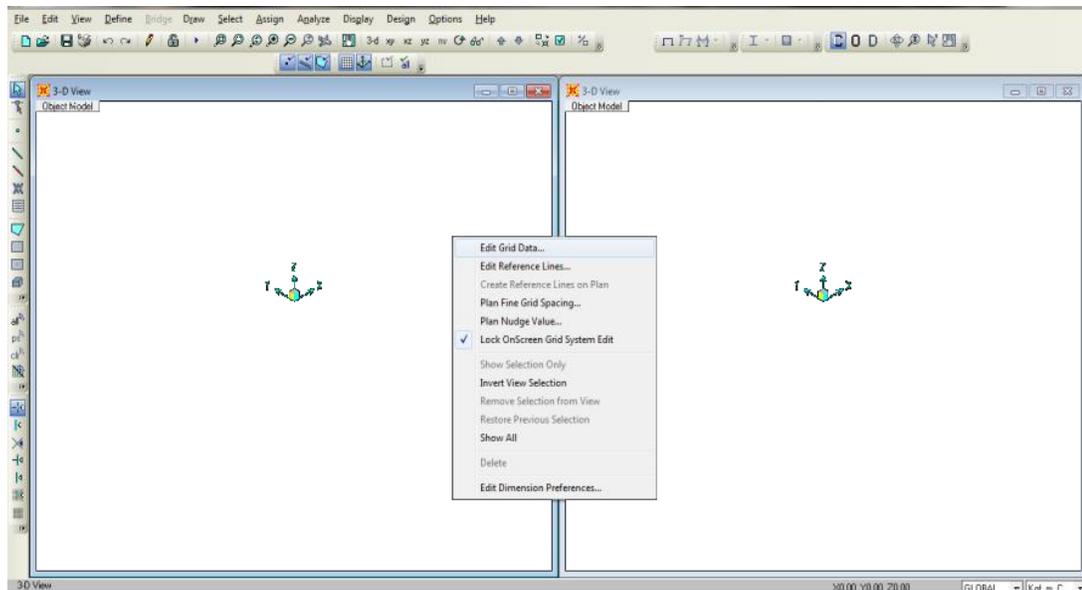
4. Dentro de la misma pantalla se tiene un renglón con el título (select template), el cual contiene varios tipos de grillas definidas para los modelos de cálculo más comunes, en este se selecciona la opción de hoja en blanco o (blank) en la esquina superior izquierda.



**Figura 59. Secuencia de Modelado. Selección de opción.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador (2010)

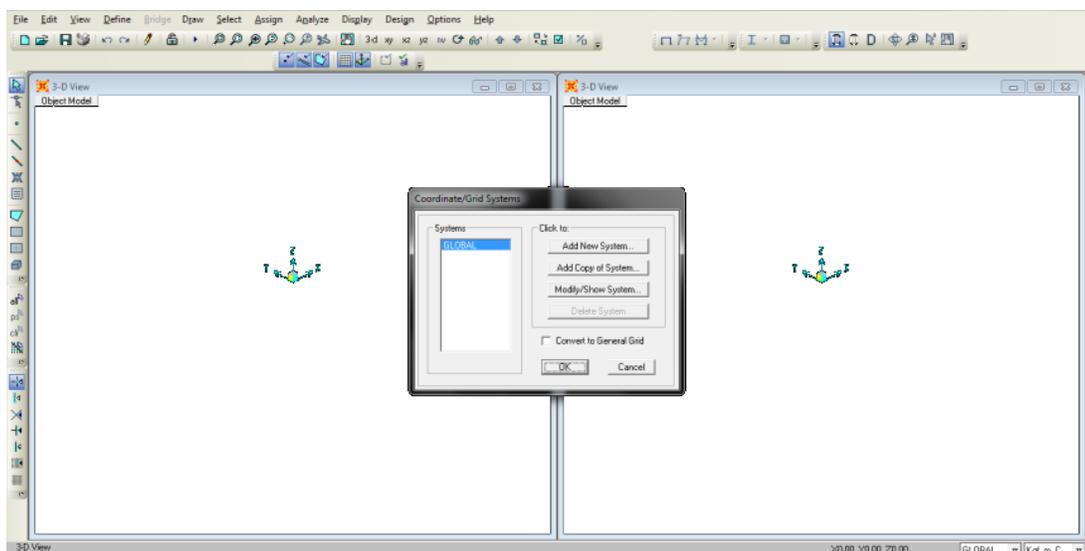
5. En la pantalla en blanco se clic derecho sobre ella y aparece un menú donde se escoge la opción (edit grid data).



**Figura 60. Secuencia de Modelado. Selección de opción.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador (2010)

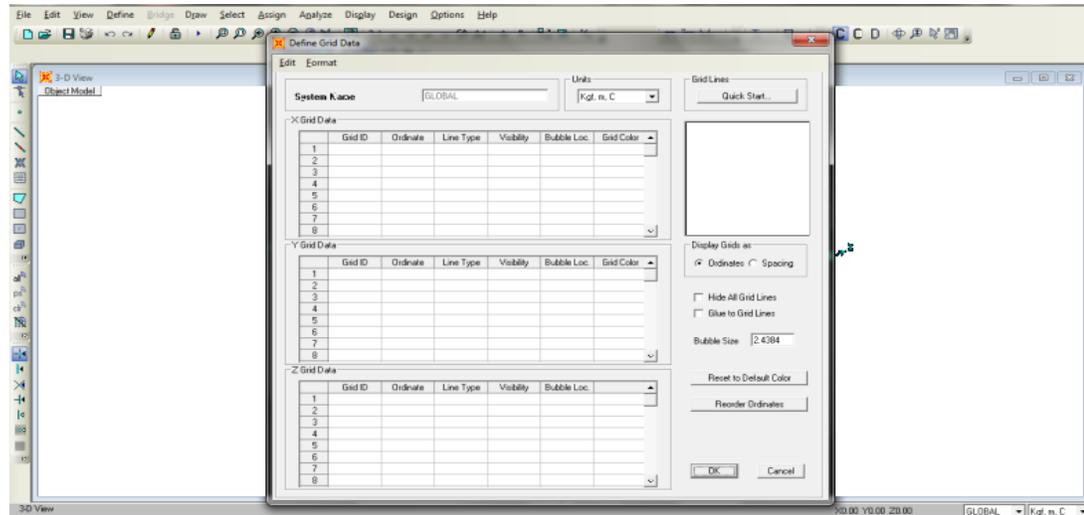
6. A continuación se tiene un menú donde se selecciona la opción (modify/show system).



**Figura 61. Secuencia de Modelado. Selección de opción.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador (2010)

7. Aparecen tres tablas de coordenadas X, Y, Z donde deben colocarse todos los datos de los elementos estructurales que se quieren resaltar.



**Figura 62. Secuencia de Modelado. Selección de opción.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador (2010)

8. Partiendo del plano de planta (ES-401-00-R5), se ajusta un eje de coordenadas X, Y, Z, referencial y se comienza desde un punto (0,0,0) para ubicar las distancias en una tabla según el eje.

9. Se toma el eje 1 como punto de partida en ese eje X y el eje I como punto de partida para el eje Y.

10. se comienzan a colocar los datos en la tabla del eje X partiendo del eje 1 del plano y tomando como valor inicial para el eje 1 igual a 0.

11. Se busca en el plano el siguiente valor de importancia el cual sería el extremo izquierdo del primer panel del muro colado central ubicado a 1.27 mts., del origen de coordenadas se coloca en la tabla el valor y el nombre correspondiente.

12. En el caso de los paneles del muro colado central estos poseen una subdivisión que representa la cuadrícula de corte previamente diseñada en los cálculos anteriores, la cual debe ser representada para realizar la secuencia de extracción en el modelo de cálculo.

13. De esta forma se tiene que el siguiente valor de importancia sería

el primer corte vertical del primer panel del muro colado, se coloca en la tabla (X grid data) el valor obtenido y la distancia medida desde el origen o eje 1 al punto proyectado sobre el eje X.

14. Para obtener todos los valores correspondientes al eje X debe repetirse el paso 13 para cada uno de los elementos de importancia dentro del modelo como son muros, paneles, columnas, barretas, cortes en el muros, recesos en la

15. Se comienzan a colocar los datos en la tabla del eje Y partiendo del eje I del plano y tomando como valor inicial para el eje I igual a 0.

16. Se busca en el plano el siguiente valor de importancia, el cual sería el extremo izquierdo del primer panel del muro colado en el eje G ubicado a 30,4 mts., del origen de coordenadas y se coloca en la tabla el valor y el nombre correspondiente.

17. De esta forma se tiene que el siguiente valor de importancia sería el muro colado ubicado en el eje G` a 32,8 mts., del origen o eje I, se coloca en la tabla (Y grid data) el valor obtenido y la distancia medida desde el origen o eje I al punto proyectado sobre el eje Y.

18. Para obtener todos los valores correspondientes al eje Y debe repetirse el paso 17 para cada uno de los elementos de importancia dentro del modelo como son muros, paneles, columnas, barretas, cortes en el muros, recesos en las losas.

19. Se comienzan a colocar los datos en la tabla del eje Z partiendo del eje I del plano y tomando como valor inicial para la losa de fondo igual a 0.

20. Se busca en el plano el siguiente valor de importancia, el cual sería el primer corte horizontal del muro colado ubicado a 0,60 mts del origen de coordenadas y se coloca en la tabla el valor y el nombre correspondiente.

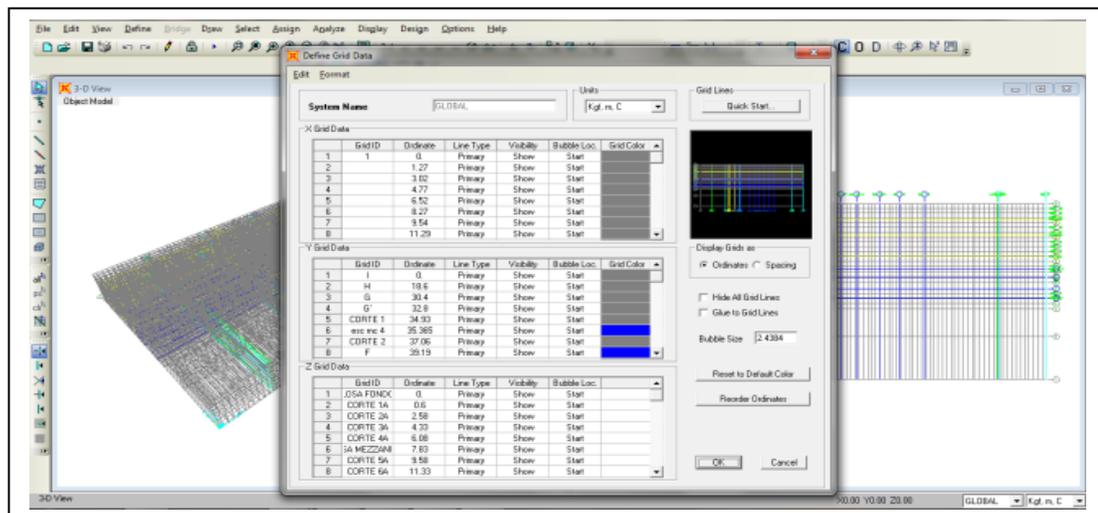
21. De esta forma se tiene que el siguiente valor de importancia sería el segundo corte del muro colado ubicado a 2,58 mts del origen o losa fondo, se coloca en la tabla (Z grid data) el valor obtenido y la distancia medida

desde el origen o losa fondo al punto proyectado sobre el eje Z.

22. Para obtener todos los valores correspondientes al eje Z debe repetirse el paso 21 para cada uno de los elementos de importancia dentro del modelo como son muros, paneles, columnas, barretas, cortes en los muros, recesos en las losas.

23. Obtenida la grilla principal se procede a completar con líneas secundarias los espacios en cada eje que tengan distancias de más de dos metros

24. Repitiendo los pasos 13, 17, y 21 en cada eje respectivamente, se procede a colocar valores intermedios entre los elementos de importancia que estén separados por más de dos metros dividiéndolos simétricamente (por ejemplo: si hay un espacio que tenga 2,5 metros se divide entre 2 y quedan dos espacios de 1,25 metros)



**Figura 63. Secuencia de Modelado. Plano de planta ubicar las distancias en una tabla según el eje**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador (2010)

## Generación de Superficies

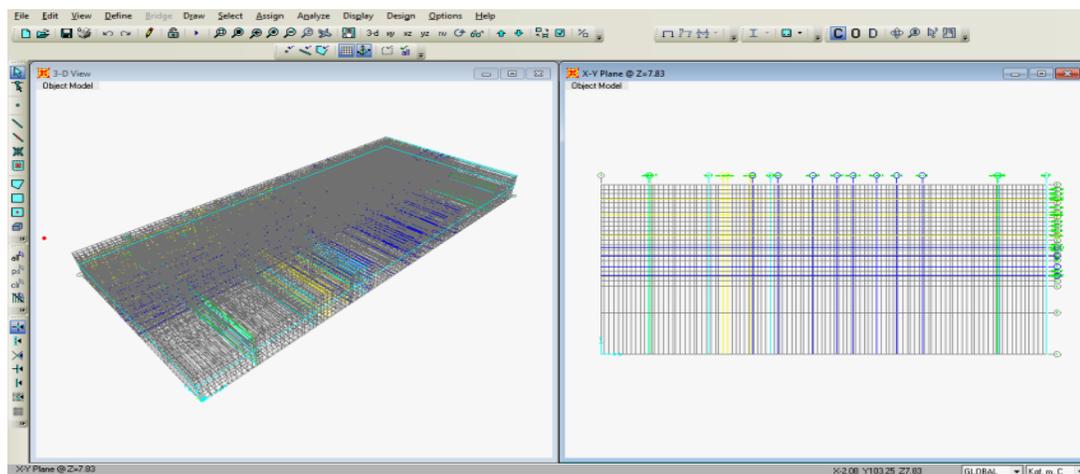
Una vez cumplido el paso anterior, el siguiente es revisar la geometría del muro. Esto significa, cuidar que todas las líneas sean independientes y

que estén conectadas entre sí por medio de nodos.

Además que comprobar que todas las líneas se encuentren en su capa correspondiente, ya que eso ayudará a tener un mayor control del muro en el momento de asignar datos; tales como condiciones de borde, espesor y características de los materiales, así como información complementaria al modelo.

La generación de las superficies, es el paso previo a la generación de la estructura. Debido a que es posible generar diferentes tipos de malla, dependiendo del tipo de problemas a resolver, en este caso se presenta el elemento tridimensional.

Una vez que el modelo gráfico está completo, se procede a conformar los elementos estructurales del modelo como muros, paneles y losas representándolos por medio de elementos de área tipo Shell.



**Figura 64. Secuencia de Modelado. Conformación de los elementos estructurales del modelo.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador (2010)

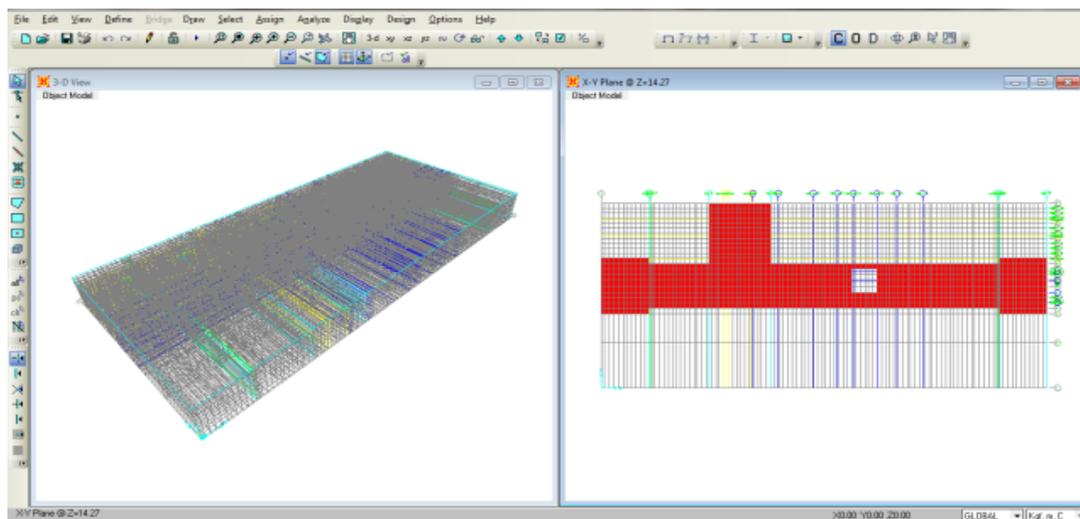
25. Se hace un clic sobre la pantalla del lado izquierdo y se coloca en la vista 3-D.

26. Se hace un clic sobre la pantalla del lado derecho y se coloca en la vista X-Y.

27. Se ubican a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Y en la elevación  $Z=14.27$ , la cual puede observarse en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

28. Se hace un clic sobre el botón de (quick draw área element) en la barra de tareas izquierda y se activa la opción para dibujar los elementos de área o Shell.

29. Una vez activada la opción de dibujo se procede a completar cada espacio correspondiente a la losa delimitada por la grilla de dibujo teniendo como referencia el Plano(ES-401-03-R0)(Ver Anexo A1) y dejando los espacios en blanco correspondientes a los recesos provisionales en la losa.

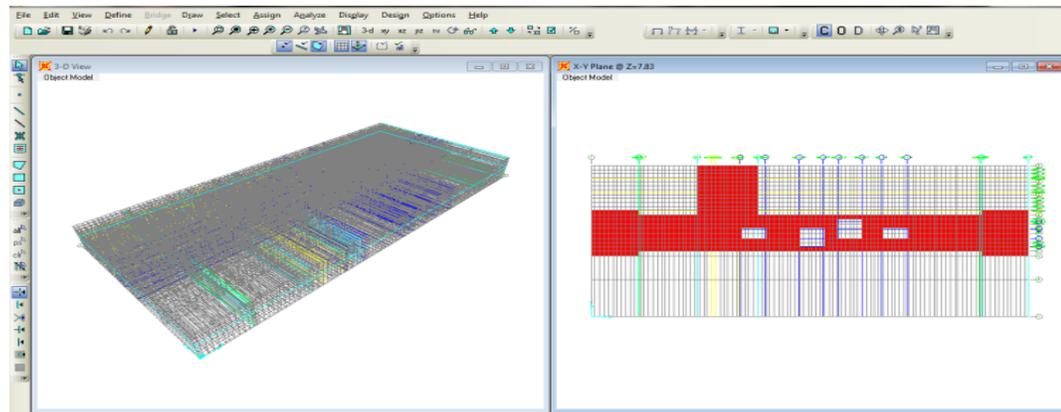


**Figura 65. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y Acceso a la Opción de Dibujo**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

30. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Y en la elevación  $Z=7,83$ , la cual puede observarse en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

31. Se procede a completar cada espacio correspondiente a la losa delimitada por la grilla de dibujo teniendo como referencia el Plano (ES-401-04-R0) (Ver Anexo A2), y dejando los espacios en blanco correspondientes a los recesos provisionales en la losa.

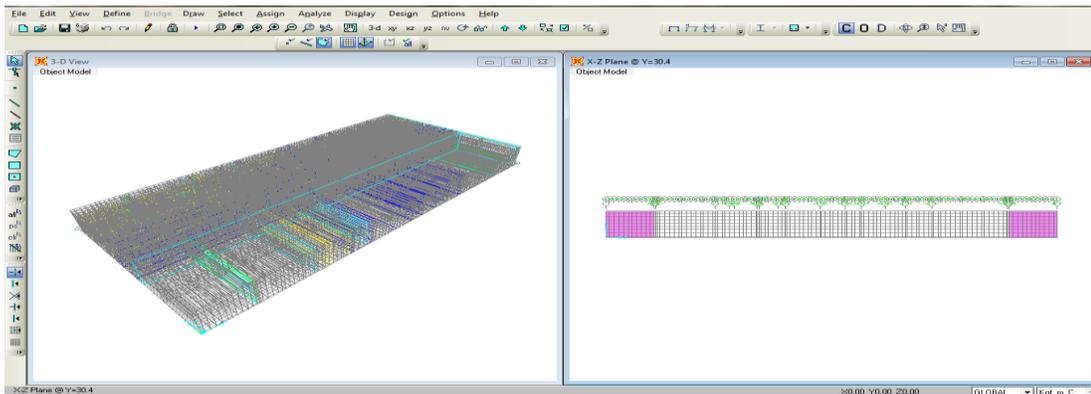


**Figura 66. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

32. Se ubican a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Z en la elevación  $Y=30,4$  la cual puede observarse en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

33. Se procede a completar cada espacio correspondiente al muro delimitado por la grilla de dibujo teniendo como referencia el Plano (ES-401-00-R5) (Ver Anexo A3).



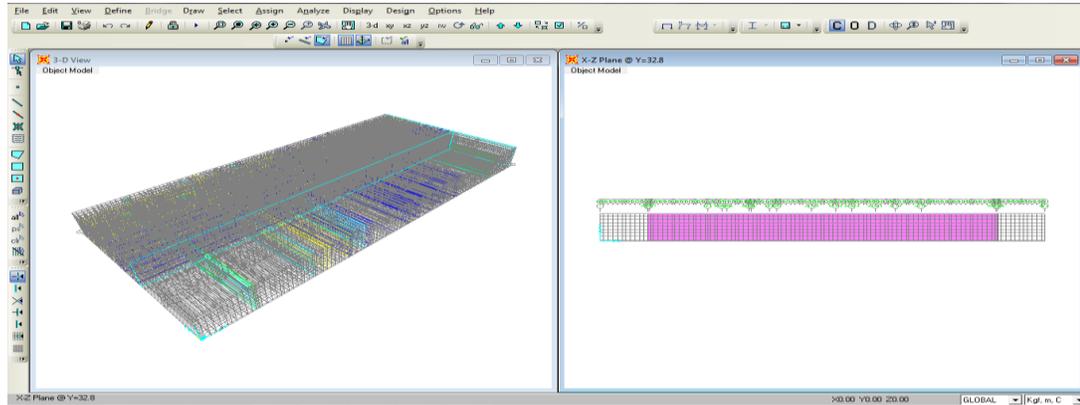
**Figura 67. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

34. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Z en la distancia  $Y=32,8$  la cual puede observarse en la

esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

35. Se completa cada espacio correspondiente al muro delimitado por la grilla de dibujo teniendo como referencia el plano (ES-401-00-R5).

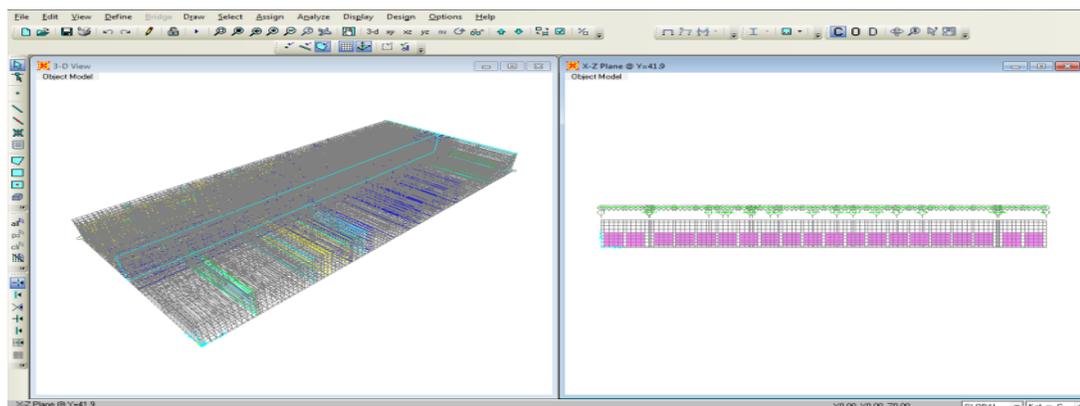


**Figura 68. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

36. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Z en la distancia Y=41,9 la cual puede observarse en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

37. Se completa cada espacio correspondiente al muro colado central o elemento a demoler delimitado por la grilla de dibujo teniendo como referencia el plano (ES-401-00-R5).

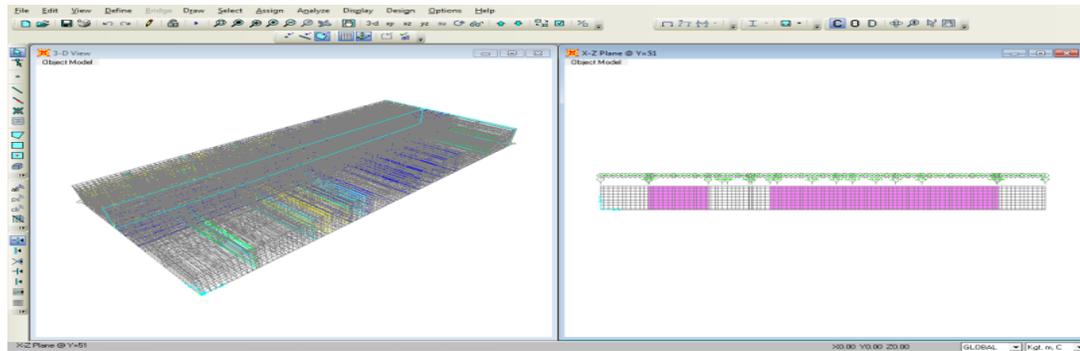


**Figura 69. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

38. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Z en la distancia  $Y=51$ , la cual puede observarse en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

39. Se procede a completar cada espacio correspondiente al muro demoler delimitado por la grilla de dibujo teniendo como referencia el plano (ES-401-00-R5).

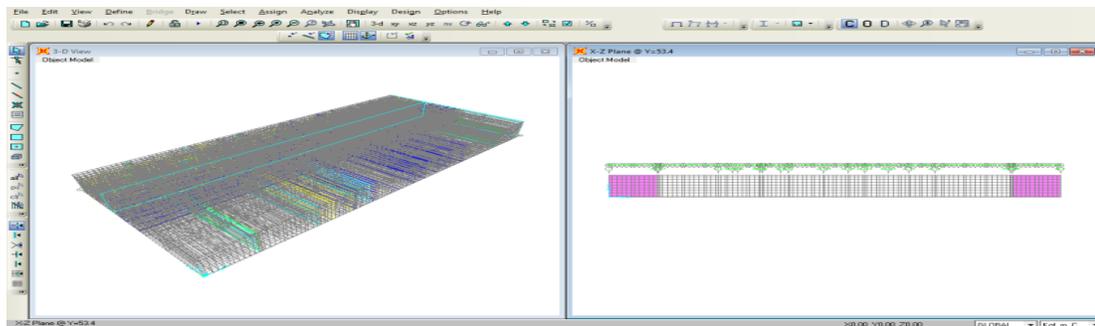


**Figura 70. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

40. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Z en la distancia  $Y=53.4$ , la cual puede observar en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

41. Se completa cada espacio correspondiente al muro demoler delimitado por la grilla de dibujo teniendo como referencia el plano (ES-401-00-R5).

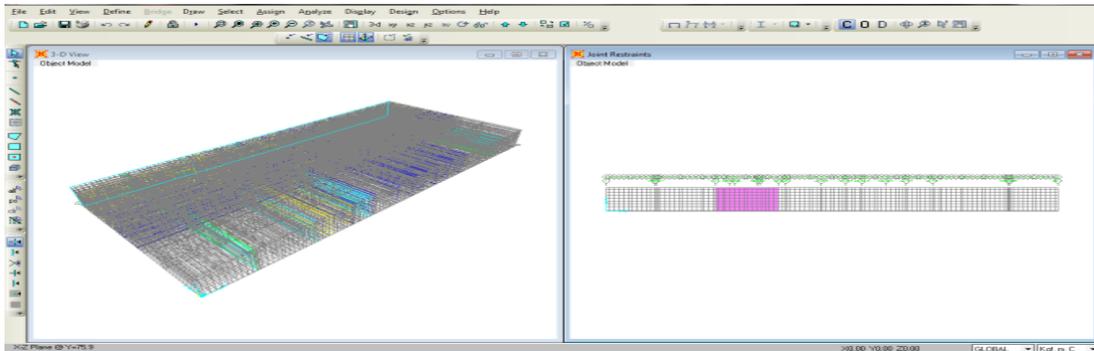


**Figura 71. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

42. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Z en la distancia  $Y=75.9$ , la cual puede observarse en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

43. Se procede a completar cada espacio correspondiente al muro demoler delimitado por la grilla de dibujo teniendo como referencia el plano (ES-401-00-R5).

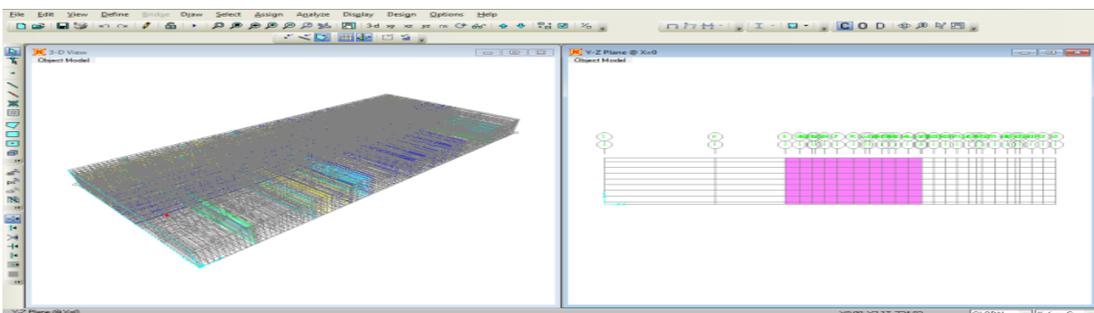


**Figura 72. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

44. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano Y-Z en la distancia  $X=0$ , la cual se puede observar en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

45. Se procede a completar cada espacio correspondiente al muro demoler delimitado por la grilla de dibujo teniendo como referencia el plano (ES-401-00-R5).

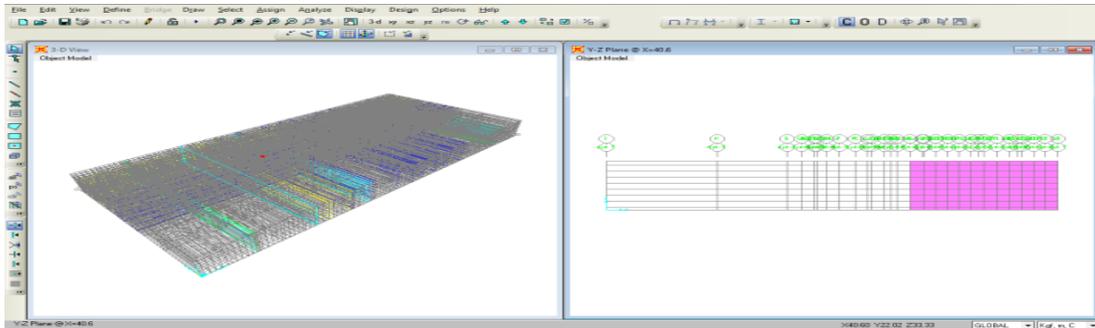


**Figura 73. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

46. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano Y-Z en la distancia  $X=40.6$ , la cual se puede observar en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

47. Se procede a completar cada espacio correspondiente al muro demoler delimitado por la grilla de dibujo teniendo como referencia el plano (ES-401-00-R5).

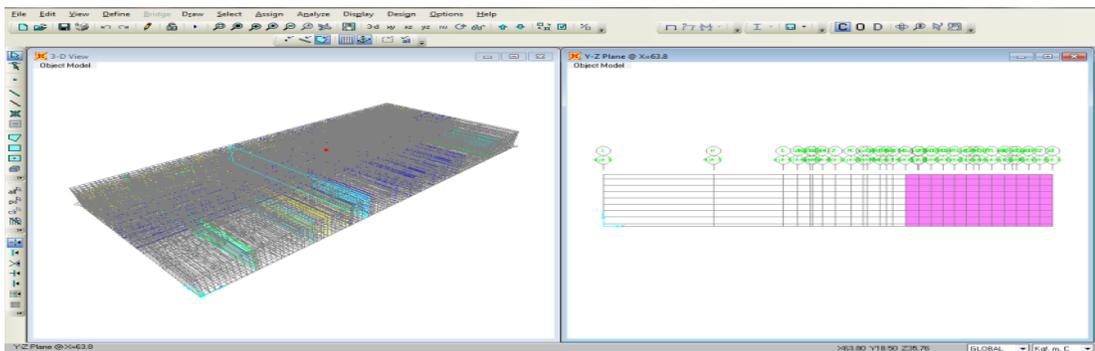


**Figura 74. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

48. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano Y-Z en la distancia  $X=63.8$  la cual se puede observar en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

49. Se procede a completar cada espacio correspondiente al muro demoler delimitado por la grilla de dibujo teniendo como referencia el plano (ES-401-00-R5).

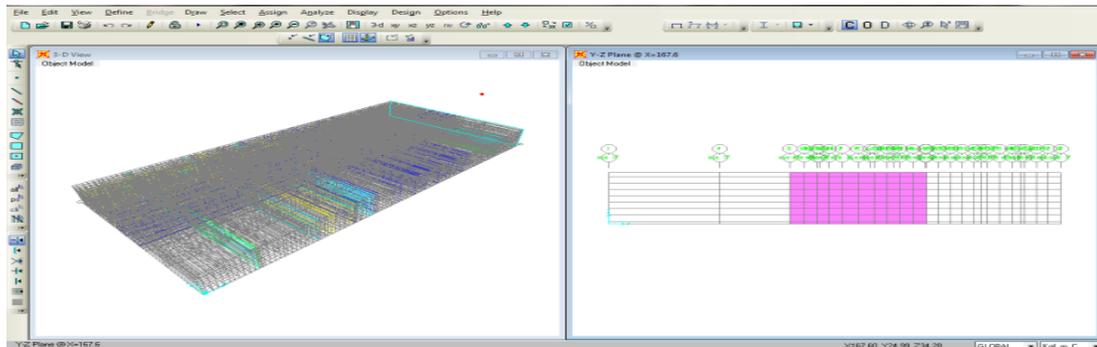


**Figura 75. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

50. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano Y-Z en la distancia  $X=167.6$ , la cual se puede observar en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

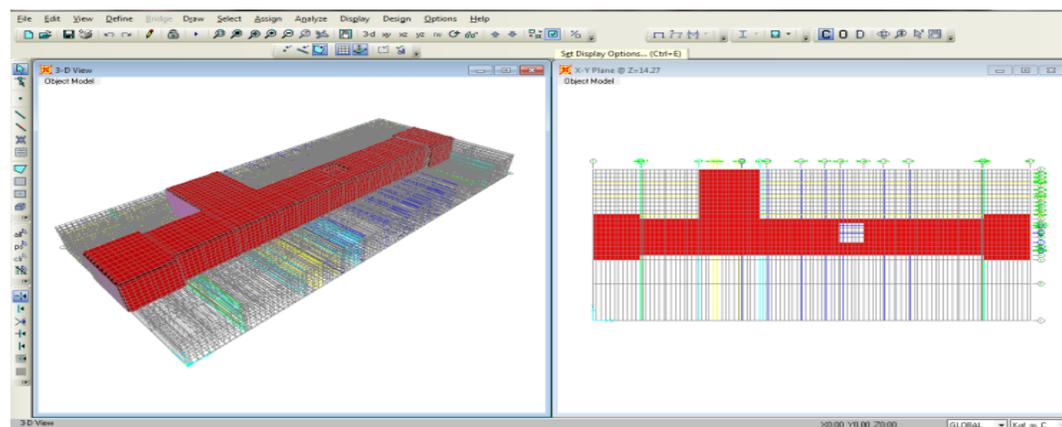
51. Se procede a completar cada espacio correspondiente al muro demoler delimitado por la grilla de dibujo teniendo como referencia el plano (ES-401-00-R5).



**Figura 76. Secuencia de Modelado. Ubicación de botones y completación de espacios con referencia al plano.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

52. Una vez terminadas las áreas representadas en Shell, se hace un clic sobre en botón (set display options), ubicado en la barra superior de la pantalla, y se seleccionan la opción (extrude view) y la opción (apply to allWindows) para darle una mejor apariencia visual a los elementos de área.



**Figura 77. Secuencia de Modelado. Terminación de áreas representadas en Shell y visualización de elementos de área.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

53. Ahora se deben hacer los elementos Unifilares o Frames, tales como columnas vigas.

54. Se hace un clic sobre la pantalla del lado derecho y se coloca en vista X-Z.

55. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Z en la distancia  $Y=69.8$ , la cual se puede observar en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

56. Se hace un clic sobre el botón de (draw frame/cable element) en la barra de tareas izquierda y se activa la opción para dibujar los elementos de unifilar o frame.

57. Una vez activada la opción de dibujo se procede a ubicar cada punto de inicio y fin correspondiente a la columna delimitada por la grilla de dibujo teniendo como referencia el Plano (ES-401-10-R0) (Ver Anexo A4).

58. Se repite los pasos 56, 57, y 58 hasta haber dibujado todas las columnas del modelo.

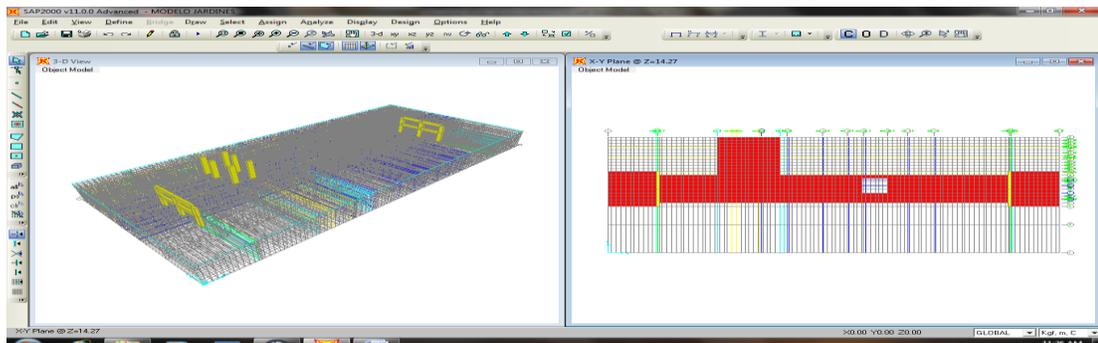
59. Se hace un clic sobre la pantalla del lado derecho y se coloca en vista X-Y.

60. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Y en la distancia  $Z=14.27$  la cual se puede observar en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

61. Se hace un clic sobre el botón de (draw frame/cable element) en la barra de tareas izquierda y se activa la opción para dibujar los elementos de Unifilare o Frame.

62. Una vez activada la opción de dibujo se procede a ubicar cada punto de inicio y fin correspondiente a la viga delimitada por la grilla de dibujo teniendo como referencia el plano (ES-401-10-R0)

63. Se repite los pasos 61, 62, y 63, hasta haber dibujado todas las vigas del modelo.



**Figura 78. Secuencia de Modelado. Elementos Unifilares o Frames.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

### Condiciones de Contorno

Para el problema abordado, los únicos nodos que irán con restricciones totales son los que se encuentran en la base de toda la estructura. El resto de nodos irán con la condición: 0,0,0,0,0,0 que representa que se encuentran libres de cualquier restricción. Esto es con lo que respecta a grados de libertad de los nodos. En el mismo comando, es posible asignar las cargas, ya sean por puntos o por líneas. Para este análisis solo se considerara el peso propio de la estructura.

La forma de fijar estas condiciones es con el ratón y a continuación dar la instrucción de finalizar - finish-. Es importante recordar que la asignación de las condiciones se puede hacer o ya sea por ventana o por teclado.

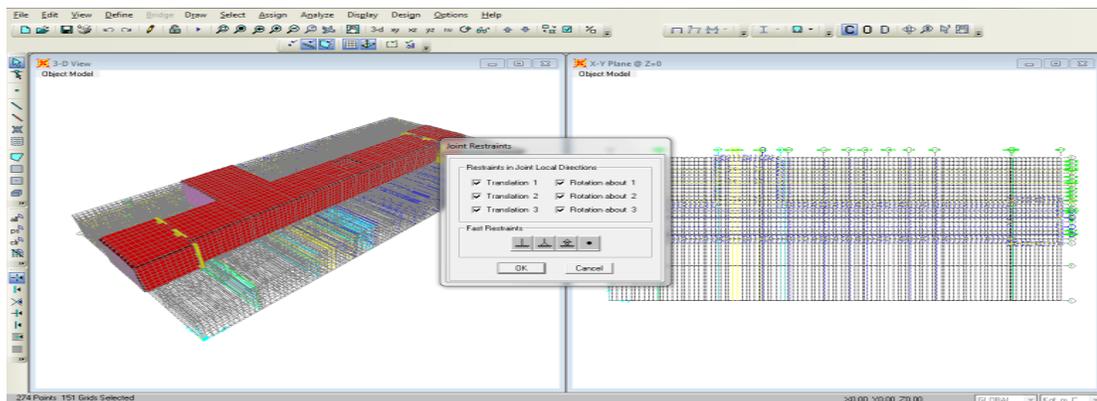
64. Ahora se procede a colocar los empotramientos a tierra para los elementos estructurales

65. Se hace un clic sobre la pantalla del lado derecho y se coloca en vista X-Y.

66. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Y en la distancia  $Z=0$ , la cual se puede observar en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

67. Se seleccionan todos los puntos o joints de los elementos estructurales que contenga el plano  $Z=0$

68. Se hace un clic sobre el botón de (assign) en la barra de menú superior y se activa la opción (joints-restraints) para asignarle las propiedades estructurales a los empotramientos.

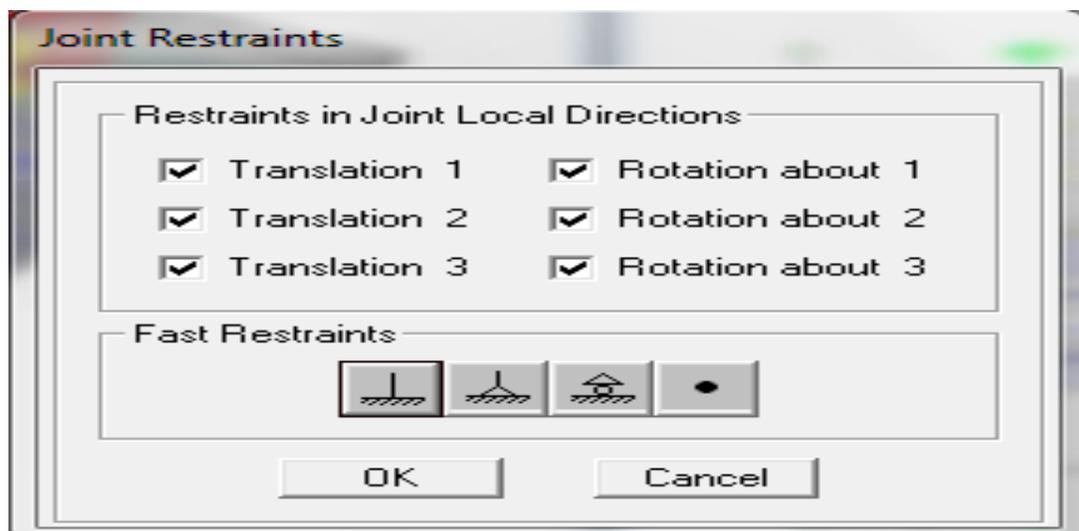


**Figura 79. Secuencia de Modelado. Fijación de Condiciones de Contorno.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

69. Se restringen todos los movimientos haciendo clic en el botón de empotramiento fijo.

70. Para terminar la operación Se hace un clic en botón OK.



**Figura 80. Secuencia de Modelado. Restricción de movimientos.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

## Características de los Materiales

En este aparte se definieron los materiales utilizados para la simulación. Para facilitar el control del modelo, se dividió la estructura en 2 partes, las cuales presentan las propiedades: espesor, módulo de elasticidad, densidad en el siguiente cuadro.

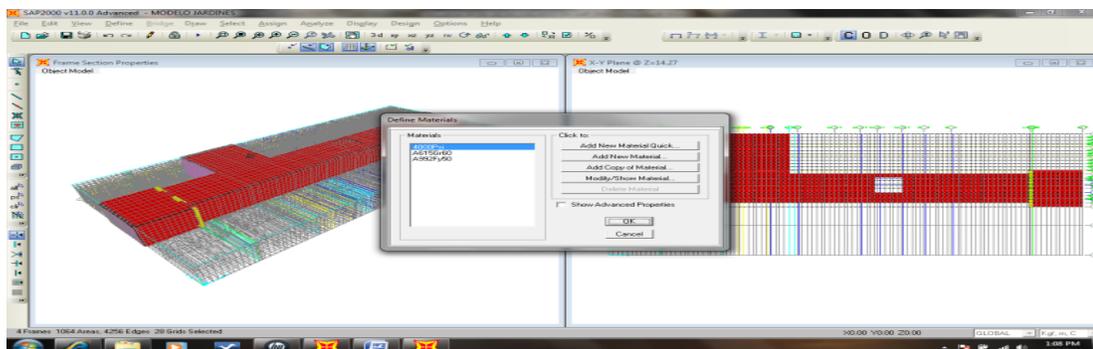
**Cuadro 9.**  
**Propiedades Materiales**

Elementos estructurales	Módulo de elasticidad $T/m^2$	Módulo de Poisson	Densidad $Kg/m^3$	Espesor mts	Resistencia del concreto $Kg/cm^2$
Losa de techo	252671.328	0,2	2.500	1.20 mts	280
Losa de mezzanina	252671.328	0,2	2.500	0.80 mts	280
Muro	252671.328	0,2	2.500	1.20 mts	280
	252671.328	0,2	2.500		280
	252671.328	0,2	2.500		280
Columna	252671.328	0,2	2.500		280
	252671.328	0,2	2.500		280
Columna x	252671.328	0,2	2.500		280
	252671.328	0,2	2.500		280
	252671.328	0,2	2.500		280
Viga	252671.328	0,2	2.500		280

**Nota:** Palacios (2010)

71. Ahora se deben definir las propiedades de los materiales a utilizar.

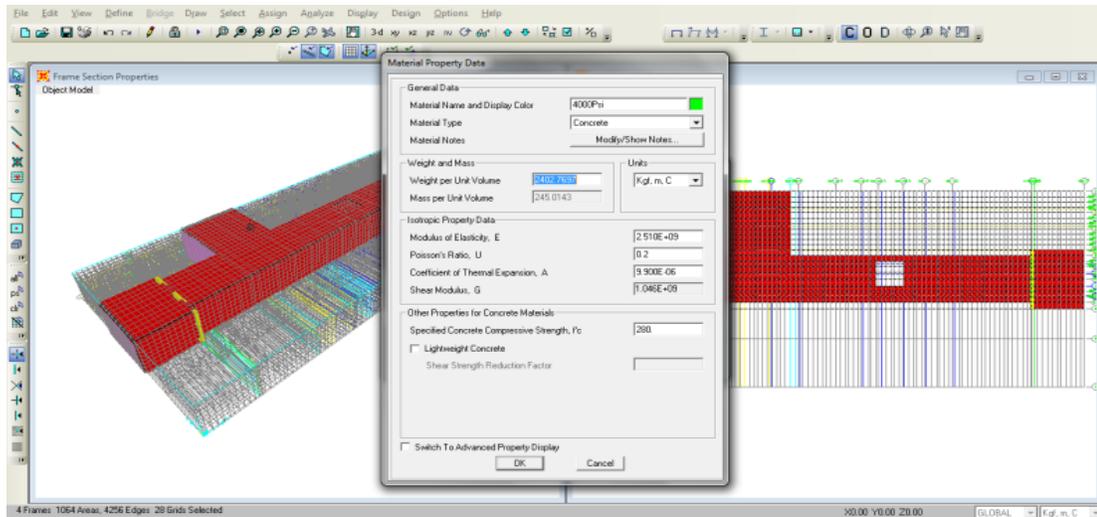
72. Se hace un clic sobre el botón de (define) en la barra de menú superior y se activa la opción (materials) para definir las propiedades mecánicas de los materiales.



**Figura 81.** Secuencia de Modelado. Definición de las propiedades de los materiales

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

73. Luego, en la ventana de (define materials), se coloca la opción de 4000 PSI y Se hace un clic sobre el botón (modify/show materials).



**Figura 82. Secuencia de Modelado. Definición de materiales**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

74. A continuación se verifican los datos de (material type = concrete), (units = kgf,cm,C), (modulus of elasticity,  $E = 250998.01$ ), (poissons ratios,  $U = 0.2$ ), (specified concrete compressive strength,  $f'_c = 280$ ).

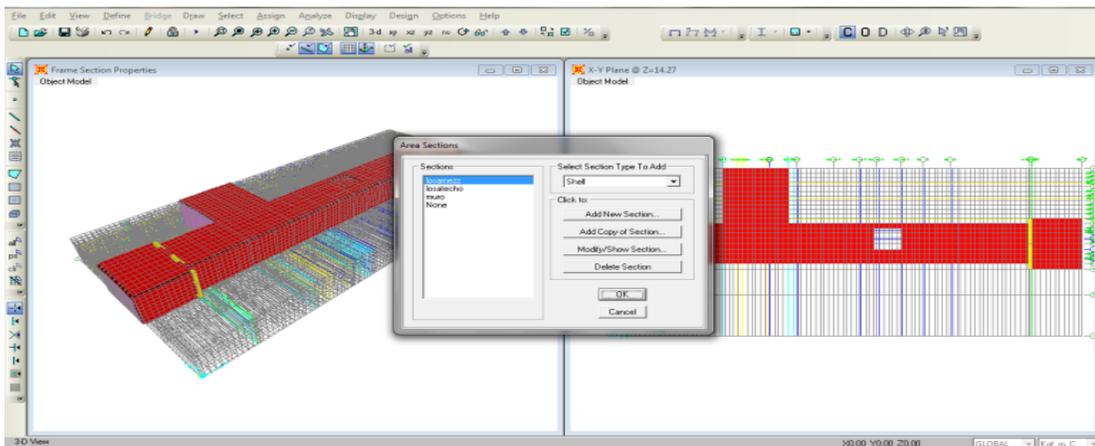
75. Una vez ajustado los valores Se hace un clic en el botón de OK.

### Secciones de área de cada elemento estructural

Las instrucciones al programa permiten realizar esta operación.

76. Ahora se deben definir la sección de área de cada elemento estructural.

77. Se hace un clic sobre el botón de (define) en la barra de menú superior y se activa la opción (area sections) para definir las secciones de área de los elementos.



**Figura 83. Secuencia de Modelado. Definición de la sección de área de cada elemento estructural.**

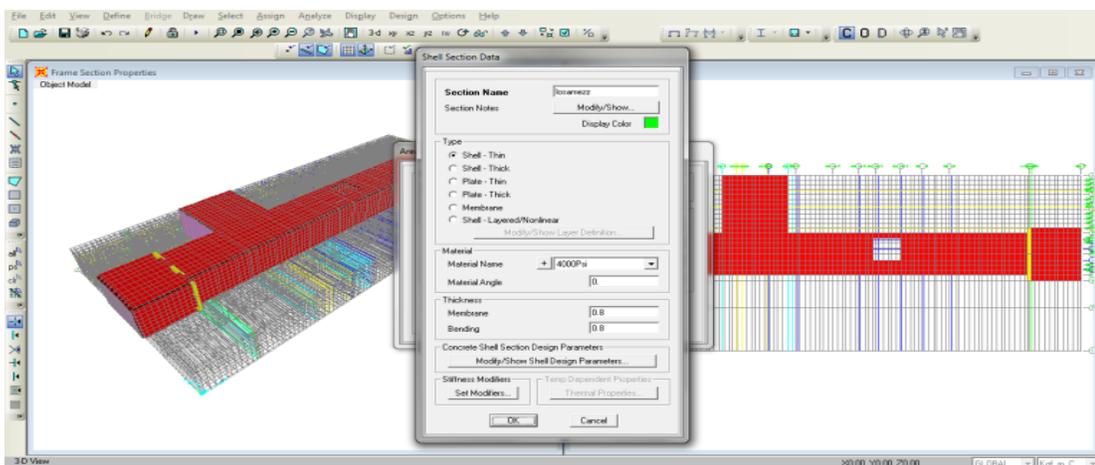
**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

78. A continuación se hace un clic en el botón de (add new section).

79. Se verifican los datos de (name material = nombre del elemento a definir), (membrane = espesor del elemento), (bending = ancho del elemento).

80. Una vez ajustado los valores, se hace un clic en el botón de OK.

81. Se repite los pasos 79, 80, 81 para crear todas las secciones de los elementos.



**Figura 84. Secuencia de Modelado. Verificación de datos.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

## Propiedades físicas de los elementos de área y mecánicas de los materiales

El procedimiento está referido a la operación del SAP para realizar una asignación de las características de los materiales definidas anteriormente a la simulación de los elementos como áreas o shell.

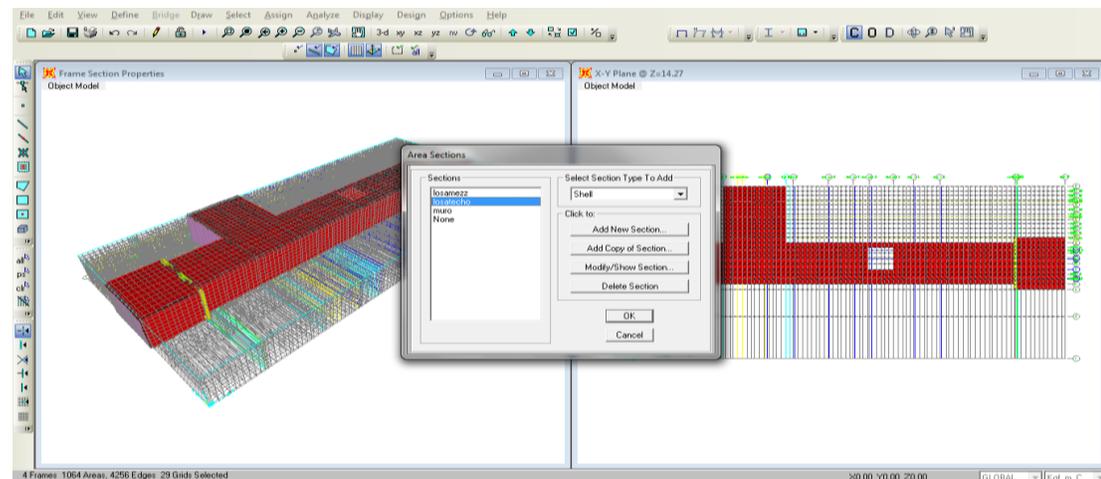
82. Ahora se deben asignar las propiedades físicas de los elementos de área o shell y mecánicas de los materiales que les corresponden.

83. Se hace un clic sobre la pantalla del lado derecho y se coloca en vista X-Y.

84. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Y en la distancia  $Z=14.27$ , la cual se puede observar en la esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

85. Se seleccionan todos las áreas o shell de los elementos estructurales que contenga el plano  $Z=14.27$  arrastrando el curso de izquierda a derecha sobre todos los elementos.

86. Se hace un clic sobre el botón de (assign) en la barra de menú superior y se activa la opción (area - sections) para asignarle las propiedades estructurales a los elementos.



**Figura 85. Secuencia de Modelado. Asignación de las propiedades físicas de los elementos.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

87. Se hace un clic sobre la sección de área correspondiente al elemento estructural seleccionado y luego se hace un clic en Ok.

88. Se repite los pasos 88, 87, 86, 85, 84, hasta haber asignado a cada área o Shell su sección de área correspondiente.

### Sección Unifilar

Esta sección representa los elementos estructurales tales como. Vigas, Columnas, Porticos, entre otros, para la simulación del modelo de calculo.

89. Ahora se deben definir la sección unifilar de los elementos estructurales.

90. Se hace un clic sobre el botón de (define) en la barra de menú superior y se activa la opción (frame sections).

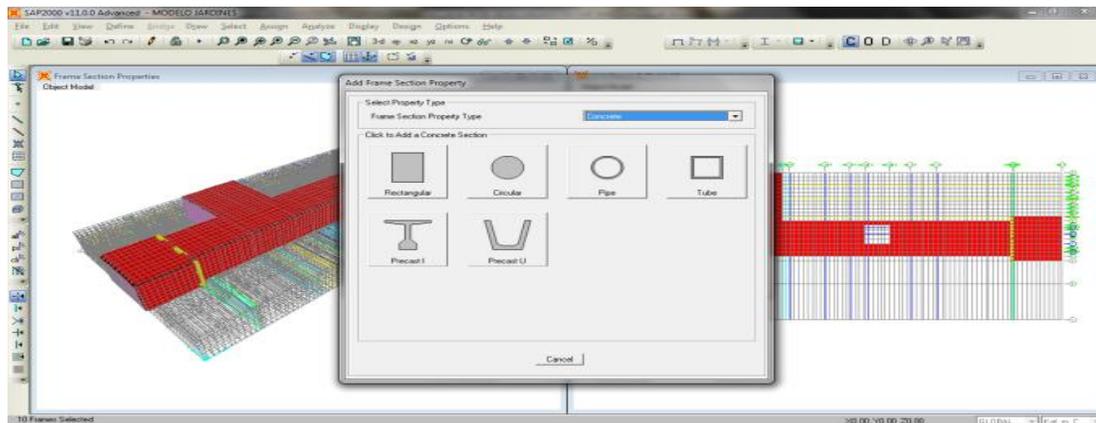


**Figura 86. Secuencia de Modelado. Definición de la sección unifilar de los elementos estructurales.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

91. Ahora se deben definir la sección de área de cada elemento estructural.

92. A continuación se hace un clic en el botón de (add new property).



**Figura 87. Secuencia de Modelado. Definición de la sección de área de cada elemento estructural.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

93. Se seleccionan en (frame section property type = concrete), el tipo de material y se hace un clic en el tipo de sección rectangular.

94. A continuación se verifican los datos de (name section = nombre del elemento a definir), (deph = espesor de la sección), (width = ancho de la sección).

95. Una vez ajustado los valores se hace un clic en el botón de OK.

96. Se repite los pasos 96, 95, 94, 93 para crear todas las secciones de los elementos.

### **Propiedades físicas de los elementos unifilares**

El procedimiento esta referido a la operación del SAP, para realizar una asignación de las características de los materiales definidas anteriormente a la simulación de los elementos unifilares o frame.

97. Ahora se deben asignar las propiedades físicas de los elementos unifilares o frame que les corresponden.

98. Se hace un clic sobre la pantalla del lado derecho y se coloca en vista X-Y.

99. Se ubica a través de los botones (move up in list, move down in list) el plano X-Y en la distancia Z=14.27, la cual se puede observar en la

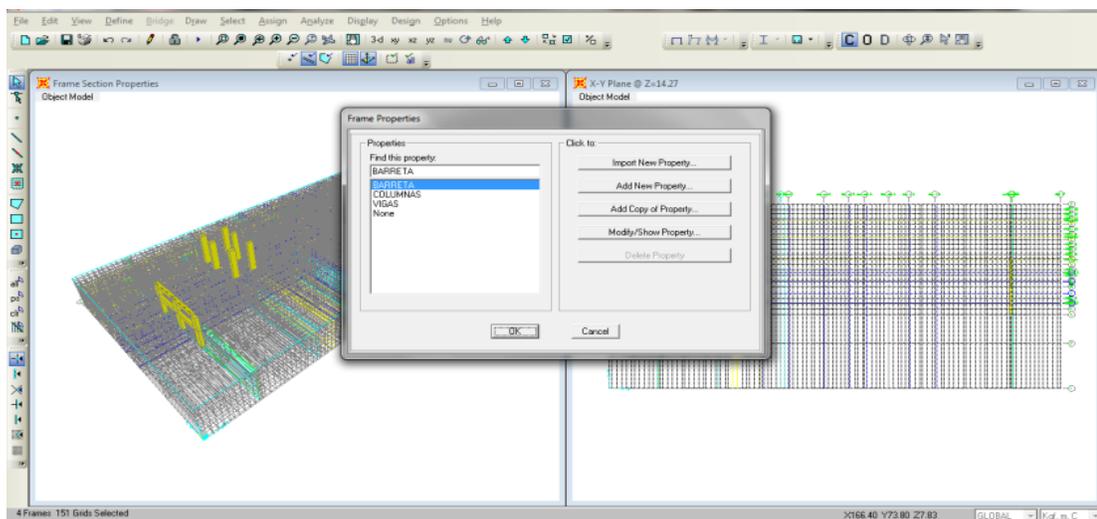
esquina superior izquierda de la pantalla de trabajo.

100. Se seleccionan todos las frame de los elementos estructurales que contenga el plano Z=14.27 arrastrando el curso de izquierda a derecha sobre todos los elementos.

101. Se hace un clic sobre el botón de (assign) en la barra de menú superior y se activa la opción (frame - sections) para asignarle las propiedades estructurales a los elementos.

102. Se hace un clic sobre la sección de frame correspondiente al elemento estructural seleccionado y luego Se hace un clic en Ok.

103. Se repite los pasos 103, 102, 101, 100, 99 hasta haber asignado a cada área o Shell su sección de área correspondiente.



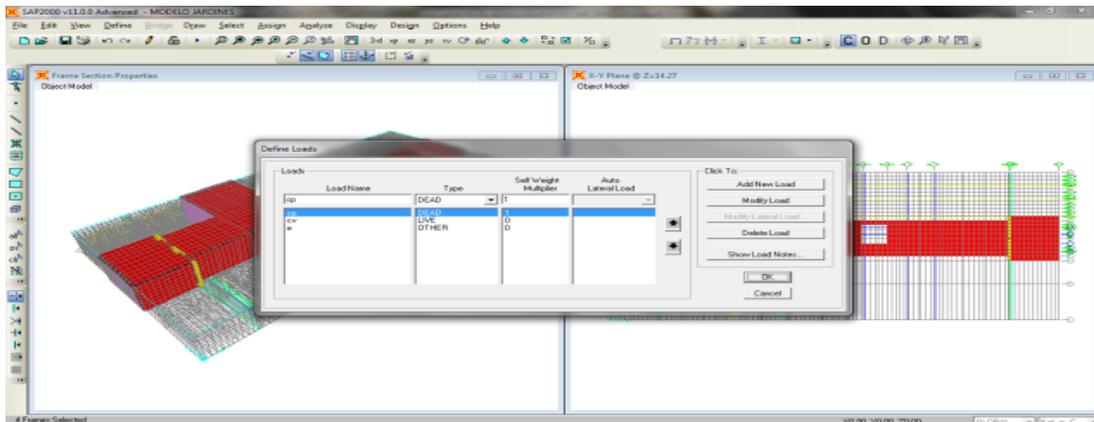
**Figura 88. Secuencia de Modelado. Asignación de las propiedades físicas de los elementos unifilares o frame**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

### **Cargas que actúan sobre los elementos estructurales**

104. Ahora se deben definir las cargas que actúan sobre los elementos estructurales.

105. Se hace un clic sobre el botón de (define) en la barra de menú superior y se activa la opción (loads cases).



**Figura 89. Secuencia de Modelado. Definición de las cargas que actúan sobre los elementos estructurales.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

106. Se hace un clic sobre el espacio en blanco se coloca el nombre de la carga permanente= CP en (load name).

107. Se coloca el tipo de carga = DEAD en (type).

108. Se coloca la cantidad por la que se deben multiplicar la carga para aplicarla = 1 en (self weight multiplier).

109. Se hace un clic en (add new load) para crear la carga.

110. Se hace un clic sobre el espacio en blanco se coloca el nombre de la carga variable= CV en (load name).

111. Se coloca el tipo de carga = LIVE en (type).

112. Se coloca la cantidad por la que se deben multiplicar la carga para aplicarla = 1 en (self weight multiplier).

113. Se hace un clic en (add new load) para crear la carga.

114. Se hace un clic sobre el espacio en blanco se coloca el nombre de la carga por empuje del suelo= E en (load name).

115. Se coloca el tipo de carga = OTHER en (type).

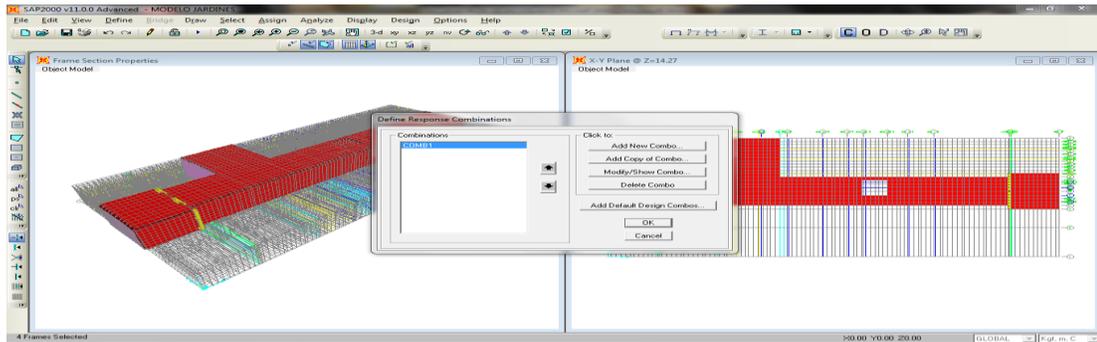
116. Se coloca la cantidad por la que se deben multiplicar la carga para aplicarla = 1 en (self weight multiplier).

117. Se hace un clic en (add new load) para crear la carga.

## Combinaciones de cargas para el modelo

118. Ahora se crean los casos de combinaciones de cargas para el modelo.

119. Se hace un clic sobre el botón de (define) en la barra de menú superior y se activa la opción (combinations).



**Figura 90. Secuencia de Modelado. Creación de los casos de combinaciones de cargas para el modelo.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

120. Se hace un clic sobre el botón (add new combo).

121. Se coloca el nombre en la casilla (response combination name).

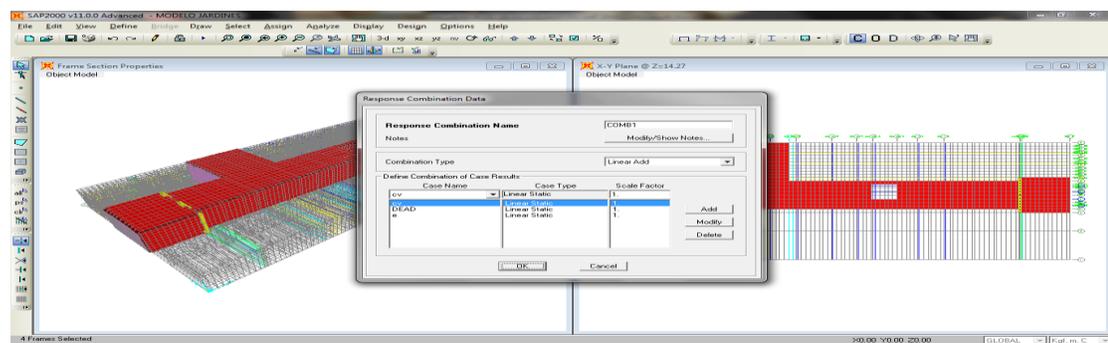
122. Se seleccionan la carga que se desea combinar en la casilla (case name)

123. Se coloca el múltiplo a usar para la carga en la casilla (scale factor)

124. Se hace un clic en (add).

125. En el presente caso se utilizan las tres cargas previamente creadas multiplicadas por un factor de escala 1.

126. Al colocar todas las cargas a usar en la combinación se hace un clic en el botón Ok.



**Figura 91. Secuencia de Modelado. Colocación de las cargas combinadas.**

**Fuente:** SAP. (2010). Cálculos realizados por el investigador. (2010)

## Secuencia con Aplicación del Puntal

A continuación se presenta la secuencia de redistribución de esfuerzos con la aplicación del puntal refuerzo.

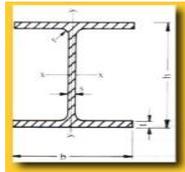
### Puntal HEA

I= .Momento de Inercia.

S= Momento de Resistencia.

R=Radio de Inercia, siempre referidos al eje de flexión correspondiente.

Calidades: ASTM-A-36 ST-37-2..



**Tabla 2.**  
**Puntal HEA**

HEA (I) IPBL	Dimensiones (mm)					Área $cm^2$	Peso $Kg/m$	Momento respecto a los ejes					
	h	b	s	t	r1			EJE-X-X			EJE-Y-Y		
								$I_x \text{ cm}^4$	$S_x \text{ cm}^3$	$R_x \text{ cm}$	$I_y \text{ cm}^4$	$S_y \text{ cm}^3$	$R_y \text{ cm}$
100	96	100	5.0	8.0	12	21.2	16.7	349	72.7	4.05	134	26.7	2.51
120	114	120	5.0	8.0	12	25.3	19.9	606	106.0	4.89	231	38.4	3.02
140	133	140	5.5	8.5	12	31.4	27.7	1030	155.0	5.73	389	55.6	3.52
160	152	160	6.0	9.0	15	38.8	30.4	1670	220.0	6.57	615	76.9	3.98
180	171	180	6.0	9.5	15	45.3	35.5	2510	294.0	7.45	924	103.0	4.52
200	190	200	6.5	10.0	18	53.8	42.3	3690	389.0	8.28	1330	133.0	4.98
220	210	220	7.0	11.0	18	64.3	50.5	5410	515.0	9.17	1950	178.0	5.51
240	230	240	7.5	12.0	21	76.8	60.3	7760	675.0	10.10	2770	231.0	6.00
260	250	260	7.5	12.5	24	86.8	68.2	0500	836.0	11.00	3660	282.0	6.50
280	270	280	8.0	13.0	24	97.3	76.4	13700	1010.0	11.90	4760	340.0	7.00
300	290	300	8.5	14.0	27	113.0	88.3	18300	1260.0	12.70	6310	420.0	7.49
320	310	300	9.0	15.5	27	124.0	97.6	22900	1480.0	13.60	6980	465.0	7.49
340	330	300	9.5	16.5	27	133.0	105.0	27700	1680.0	14.40	7430	495.0	7.46
360	350	300	10.0	17.5	27	143.0	112.0	33100	1890.0	15.20	7880	525.0	7.43
400	390	300	11.0	19.0	27	159.0	125.0	45100	2310.0	16.80	8560	571.0	7.34
450	440	300	11.5	21.0	27	178.0	140.0	63700	2900.0	18.90	9460	631.0	7.29
500	490	300	12.0	23.0	27	198.0	155.0	87000	3550.0	21.00	10400	691.0	7.24
550	540	300	12.5	24.0	27	212.0	166.0	112000	4150.0	23.00	10800	721.0	7.15
600	590	300	13.0	25.0	27	226.0	178.0	141000	4790.0	25.00	11300	751.0	7.05
650	640	300	13.5	26.0	27	242.0	190.0	175000	5470.0	26.90	11700	781.0	6.96
700	690	300	14.5	27.0	27	260.0	204.0	215000	6240.0	28.70	12200	812.0	6.84
800	790	300	15.0	28.0	30	286.0	224.0	303000	7680.0	32.60	12600	842.0	6.65
900	890	300	16.0	30.0	30	321.0	252.0	422000	9480.0	36.30	13500	903.0	6.50
1000	990	300	16.5	31.0	30	347.0	272.0	554000	11200.0	40.00	14000	933.0	6.35

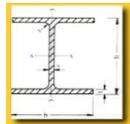
### Puntal HEB

I= Momento de Inercia.

S= Momento de Resistencia.

R= Radio de Inercia, siempre referido al eje de flexión correspondiente.

Calidades: ASTM-A-36.



**Tabla 3.**  
**Puntal HEB**

HEB (I)  IPB	Dimensiones (mm)					Área  cm <sup>2</sup>	Peso  Kg/m	Momento respecto a los ejes					
	h	b	s	t	r1			EJE-X-X			EJE-Y-Y		
								Ix cm <sup>4</sup>	Sx cm <sup>3</sup>	Rx cm	Iy cm <sup>4</sup>	Sy cm <sup>3</sup>	Ry cm
100	100	100	6.0	10.0	12	26.0	20.4	449	89.9	4.15	167	33.4	2.53
120	120	120	6.5	11.0	12	34.0	26.7	864	144	5.04	317	52.9	3.05
140	140	140	7.0	12.0	12	43.0	33.7	1510	216	5.93	549	78.5	3.58
160	160	160	8.0	13.0	15	54.3	42.6	2490	311	6.78	889	111	4.05
180	180	180	8.5	14.0	15	65.3	51.2	3830	426	7.66	1360	151	4.57
200	200	200	9.0	15.0	18	78.1	61.3	5700	570	8.54	2000	200	5.06
220	220	220	9.5	16.0	18	91.0	71.5	8090	736	9.43	2840	258	5.59
240	240	240	10.0	17.0	21	106	83.2	11300	938	10.3	3920	327	6.08
260	260	260	10.0	17.5	24	118	93.0	14900	1150	11.2	5130	395	6.58
280	280	280	10.5	18.0	24	131	103	19300	1380	12.1	6590	471	7.08
300	300	300	11.0	19.0	27	149	117	25200	1680	13.0	8560	571	7.58
320	320	300	11.5	20.5	27	161	127	30800	1930	13.8	9230	616	7.57
340	340	300	12.0	21.5	27	171	134	36700	2160	14.6	9680	646	7.53
360	360	300	12.5	22.5	27	181	142	43200	2400	15.5	10100	676	7.49
400	400	300	13.5	24.0	27	198	155	57700	2880	17.1	10800	721	7.39
450	450	300	14.0	26.0	27	218	171	79900	3550	19.1	11700	781	7.33
500	500	300	14.5	28.0	27	239	187	107000	4290	21.2	12600	841	7.27
550	550	300	15.0	29.0	27	254	199	137000	4970	23.2	13100	871	7.17
600	600	300	15.5	30.0	27	270	212	171000	5700	25.2	13500	902	7.08
650	650	300	16.0	31.0	27	286	225	211000	6480	27.1	14000	932	6.99
700	700	300	17.0	32.0	27	306	241	257000	7340	29.0	14400	962	6.86
800	800	300	17.5	33.0	30	334	262	359000	8980	32.8	14900	993	6.68
900	900	300	18.5	35.0	30	371	291	494000	11000	36.5	15800	1050	6.52

Para el caso de la colocación del puntal para el apoyo de la losa de mezzanina, se utilizaron las fórmulas correspondientes para el chequeo de la resistencia a compresión y por efecto de pandeo para los casos de los perfiles que se muestran en cada una de las tablas.

### Calculo del Perfil a Compresión

Primero se debe calcular el peso al que estará sometido el perfil, utilizando el cálculo del peso por área tributaria se tiene:

El peso del la losa de concreto por metro lineal es:

$$P_u = 2500\text{kg/m}^3 \times 1 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} \times 18.40\text{m}/2 = \mathbf{18400\text{kg}}$$

Según la tabla de propiedades mecánicas de los aceros estructurales se tiene que:

El  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  y el  $F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$ , para un acero de tipo estructural ASTM A-36.

Para el cálculo de la resistencia a compresión se calculó el área aproximada requerida:

$$A_s \text{ aprox} = \frac{P_u}{\phi \cdot f_y}$$

$P_u$  = Carga axial (kgf)

$F_y$  = Resistencia del perfil (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\phi = 0,75$

**Tabla 4.**  
**Iteración del Área de Perfil**

Sección	Área del perfil	r mínimo (puede ser x o y)(cm)	KL/r	$\Phi F_{cr}$ (de las tablas)	$\Phi P_n = \text{Área} \cdot \Phi F_{cr}$
HEA 550	9.70	7.15	18.18	2540	24630
HEB 550	9.70	7.17	18.13	2536	24600

**Fuente:** Guía de Diseño de Estructura de Acero por Estado Límite. (UCV-1999) (Ver Anexo B)

Condición  $\Phi P_n > P_u$  siendo  $24630 > 18400$

$K =$  (Si se supone articulado en ambos lados)

$L =$  longitud del perfil = 1.30 m

Se puede señalar, que para cualquiera de los dos casos los perfiles cumplen con la condición del cálculo del perfil a compresión para poder usarlo como puntal.

### Para la verificación del pandeo local para perfiles I

- En las alas

$$\lambda_r = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 0.56 \times \sqrt{(2.1 \times 10^6 / 2530)} = \mathbf{16.13}$$

- En el alma

$$\lambda_r = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 0.56 \times \sqrt{(2.1 \times 10^6 / 2530)} = \mathbf{16.13}$$

Siendo:

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f}$$

$$\lambda = 300 / (2 \times 12.5) = \mathbf{12}$$

La verificación es:

$$\lambda < \lambda_r \quad \mathbf{Ok}$$

Datos tomados del American Instituto of Steel Construcción, INC. (2005)

## **Fase V. Comparar los Resultados**

Finalmente se procedió a realizar una comparación de los resultados obtenidos en el campo con el modelo elaborado para el proceso de demolición controlada del muro colado central de la estación.

### **- Revisión Teórica**

Cabe resaltar, que en esta fase se realizó una comparación del proceso de demolición que se desarrollaron en la fase 4, con el proceso que se ejecutó en la realidad del muro colado central, con el propósito de verificar el trabajo realizado para corregir las deficiencias generadas en el proceso de demolición controlada, para lograrla se realizó en dos etapas: Corte y Extracción del Muro Colado Central Estación Los Jardines.

**Cuadrícula de corte.** Fue necesario realizar una cuadrícula que sirvió de guía para la ejecución de corte (Horizontales y Verticales) del muro, haciendo un prediseño del dimensionamiento de los elementos a cortar se pudo establecer un patrón de despiece del muro que facilitó la extracción a través de los equipos de excavación.

Debe señalarse, que existen dos variables que condicionan la cuadrícula de corte como lo son: la Geometría de Corte y el Ángulo de Corte.

En cuanto a la *Geometría de Corte*, esta geometría depende del peso específico del concreto del concreto armado que para este caso es de 2500 kg/m<sup>3</sup> y de las dimensiones de los elementos, a través de estas dos variables se va a fijar un peso adecuado para lograr un mejor manejo de extracción por bloques o piezas cortadas.

En cuanto al *Ángulo de Corte*, depende también de dos variables: la primera la estabilidad del muro, debido a que al realizar un *corte angulado* se produce una suma vectorial de fuerzas que favorecen el desplazamiento del bloque e impiden el control del mismo. Como segunda variable se consideró el equipo de corte utilizado sólo permite cortes limpios horizontales y verticales, se puede destacar que para la realización de un corte en ángulo con este equipo puede producirse un efecto de cuña entre las piezas cortadas que dificultan la extracción del elemento.

**Secuencia de Extracción.** Es de resaltar que al momento de realizar la secuencia de extracción teórica se tomó como punto de referencia el valor máximo admisible para la resistencia de concreto con presión que es de  $280\text{kg/cm}^2$ , a través del programa se determinó donde se encontraba la mayor concentración de esfuerzos en las piezas cortadas, además de poder visualizar con anticipación cuales eran las piezas que se debían extraer, por lo que el investigador consideró necesario utilizar puntales como herramienta para la redistribución de los esfuerzos concentrados durante la secuencia de extracción de las piezas.

Para el caso de la ejecución real de la secuencia de extracción, ésta se realizó de forma lineal continua y secuencial considerando sólo el peso de los bloques. Cabe destacar que solamente era evidenciada la concentración de esfuerzos sobre las piezas, únicamente al momento de aplicar la fuerza con los equipos o maquinarias de extracción.

- **Ejecución de la Demolición de Muro.** La ejecución de la demolición del muro colado central de la Estación Jardines, se realizó con hilo diamantado, el cual se desarrolló mediante los siguientes pasos.

### ***Pasos para la Ejecución de la Demolición de Muro***

***Descripción del trabajo a ejecutar.*** Demolición controlada de estructuras de concreto (muros colados), con sistema de hilo diamantado para la ejecución de la losa de fondo y andén de la Estación Jardines.

#### ***Muro Colado Central Estación Coche***



#### **Dimensiones del muro**

▶ L = 167,60 m

▶ H = 7,83 m

*Donde:*

L = Longitud

h = Altura

***Dimensiones de corte en bloques.*** La demolición controlada del corte con hilo diamantado se debe efectuar en secciones con las siguientes dimensiones:



***Dimensiones del corte del bloque.***

►  $L = 1,75 \text{ m}$   $h = 1,30 \text{ m}$  y  $e = 1.20 \text{ m}$

*Donde:*

L = Longitud

h = Altura

e = Espesos

Lo cual genera bloques de 6.8 toneladas aproximadamente, que permite el manejo controlado del elemento.

**Áreas a cortar**

Horizontal  $5 \times 167,60 = 838,00 \text{ m}^2$

Vertical  $101 \times 7,83 = 790,83 \text{ m}^2$

**Área total a cortar  $838,00 + 790,83 = 1628.83 \text{ m}^2$**

## - Metodología de Corte

Paso 1. Se realiza un dibujo de la cuadrícula de corte, previamente diseñada.



Paso 2. Se procede a realizar las perforaciones con codril  $d=3''$ , se realizan en los puntos de intersección de la cuadrícula de corte, dibujada sobre el muro colado central.



► Paso 3. Cortes en sentido vertical con la máquina.



► Paso 4. Cortes en sentido horizontal con la máquina. Corte del muro de colado con hilo diamantado en sentido horizontal.



### ***Metodología de Extracción***

Paso 1. Se procede a extraer el bloque cortado de su posición original dentro del muro colado central, utilizando la excavadora hidráulica.



Paso 2. Acarreo de los bloques hasta el receso más cercano.



Paso 3. Transporte hasta nivel superficie de los bloques de concreto.



Paso 4. Demolición de los bloques de concreto en nivel superficie para transportar y botar los escombros.



Paso 5. Carga y bote de escombros, por medio de camiones volteo para transporte y bote de escombros y material proveniente de la excavación.



### **- Ejecución y Rendimiento**

En esta parte fue necesario conocer el número de personas que trabajaron en la ejecución del corte, por cada equipo de trabajo tanto para la Ejecución del Corte como para la para la Secuencia de Extracción, se muestran a continuación se en los siguientes cuadros.

**Cuadro 10.**

#### **Distribución del Personal por Ejecución del Corte**

<b>Perfil Técnico y Profesional</b>	<b>N° Personas</b>
Supervisor	1
Operador de Equipo	1
Ayudante	1
Técnico de Seguridad Industrial	1
Operador de Core drill	1
<b>Total</b>	<b>5</b>

**Fuente: Palacios (2010)**

**Cuadro 11.**

#### **Maquinarias y Equipos para la Ejecución del Corte**

<b>Maquinarias y Equipos</b>	<b>N° Personas</b>
-Máquina de Corte con Hilo Diamantado	1
-Equipo de Peroración tipo Core drill marca Hilti DD 200	1
<b>Total</b>	<b>2</b>

**Fuente: Palacios (2010)**

**Cuadro 12.**

#### **Distribución del Personal para la Secuencia de Extracción**

<b>Perfil Técnico y Profesional</b>	<b>N° Personas</b>
Operador de Excavadora	1
Ayudante	2
Técnico de Seguridad Industrial	1
<b>Total</b>	

**Fuente: Palacios (2010)**



### **Equipos de Acarreo, Carga y Bote de Escombros**

En este punto se mencionan los equipos y las maquinarias a utilizaron para el acarreo y bote de escombros fueron los siguientes:

- ▶ 1 Grúa celosía de 70 a 90 toneladas (excavación).

Se muestra a continuación una fotografía de la grúa celosía de 90 toneladas, utilizada para extracción de material de excavación.



- ▶ 1 Retroexcavadora (excavación).

Se muestra a continuación una fotografía de la retroexcavadora Caterpillar E416 con martillo, demolición menor y carga de material.



- ▶ 1 Grúa telescópica 80 ton (tierra, escombros, bloques de concreto)

Se muestra a continuación una fotografía de la grúa telescópica 80 toneladas, extracción de material de excavación.



▶ 2 Equipos para perforaciones con codril de brocas de diamante d=3”  
(habrá 2 equipos de reserva para usar en cualquiera de las 3 estaciones).



▶ 2 Máquinas de corte con hilo diamantado (habrá 2 máquinas de corte de reserva para usar en cualquiera de las 3 estaciones).



▶ Tolvas de 6 ó 9 m<sup>3</sup> dependiendo del tamaño del receso con el que se cuente.



▶ 1 Excavadora con martillo para demolición de anillos y bloques de concreto.



► Camiones volteo para transporte y bote de escombros y material proveniente de la excavación.



### **- Comparar los Resultados.**

Una vez presentado los 2 Modelos Simulados, se pudo analizar que la diferencia más significativa es que existen puntos de apoyo de la losa mezzanina sobre el muro de colado central (elemento a demoler), en que la secuencia real los valores sobrepasan el esfuerzo admisible a compresión del concreto, en el caso de la secuencia teórica se busca a través de la anticipación de los resultados que la concentración de esfuerzo no supere este valor y se utilizan como herramienta de apoyo los puntales de acero estructural diseñados para este caso, para lograr una mejor distribución de los esfuerzos.

A continuación se presenta una secuencia comparativa de los dos modelos.

### **Secuencia de Extracción del modelo con vigas de amarre para barretas y recesos adicionales**

La idea principal de diseñar el modelo matemático y llevarlo a su simulación en el programa de cálculo estructural SAP 2000 es poder observar la distribución de los esfuerzos generados sobre el objeto de

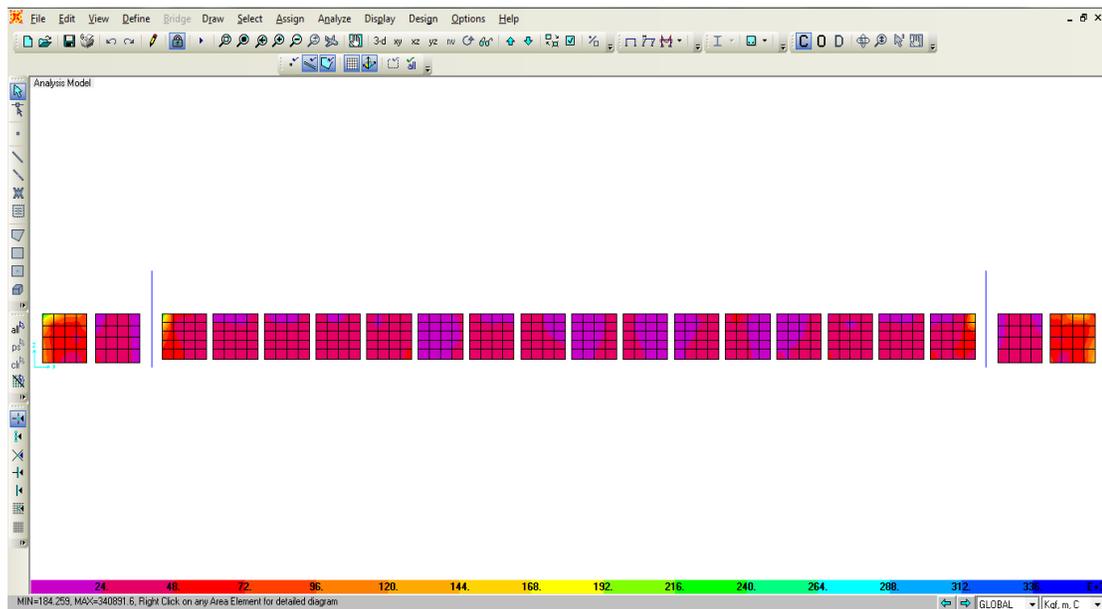
demolición debido a que a través de ellos se puede decidir cuál será la secuencia de extracción de los bloques cortados.

En la medida que se vaya realizando la extracción se podrá observar un cambio en la distribución de estos esfuerzos formándose concentraciones de cargas en los puntos de apoyo de la losa de mezzanina sobre el muro colado, lo cual conduce a tomar un valor máximo admisible para la concentración de esfuerzos el cual será de  $280 \text{ kg/cm}^2$ .

### **Inicio de la Secuencia de Extracción**

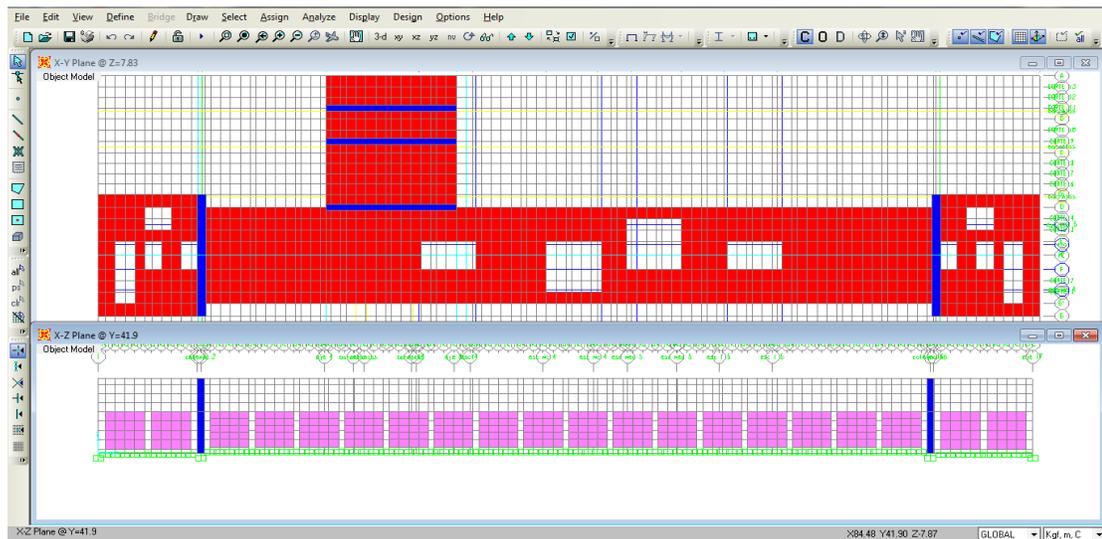
Para realizar la secuencia de extracción conservando la estabilidad del muro se debe comenzar por los elementos del muro colado central que se encuentran en contacto con la losa mezzanina, ya que estos transmiten las cargas del resto de la estructura al muro colado central.

Paso 1. Realizar la extracción de todos aquellos bloques que no estén afectados por el peso de la losa de mezzanina; es decir, que sólo estén apoyados por su peso propio y se encuentre en la línea superior de la cuadrícula de corte aquí se puede observar el muro en la fase inicial de extracción. (Ver Figura 92)



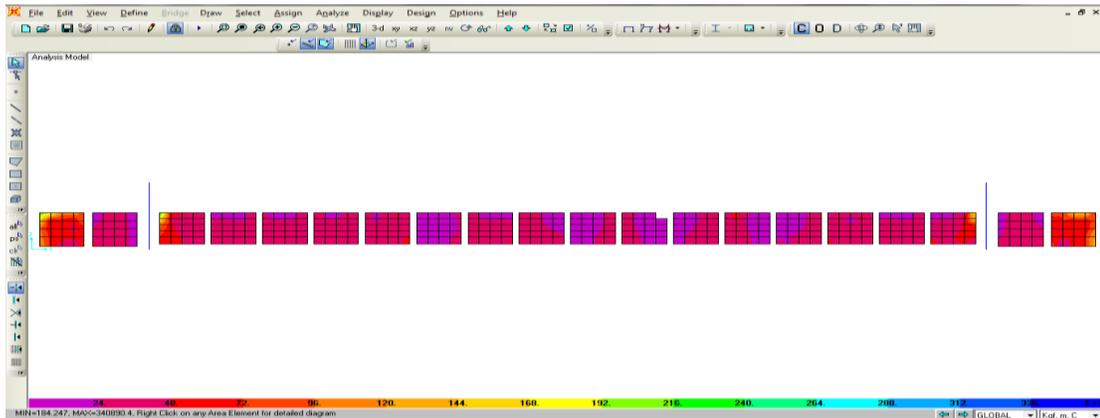
**Figura 92.** Secuencia de Extracción Teórica del Muro Colado Central  
**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

En la Figura 93, se puede observar los recesos de la losa mezzanina donde el muro colado central queda liberado.



**Figura 93.** Secuencia de Extracción. Vista de Planta de la Losa Mezzanina y Vista de Perfil del Muro Colado Central  
**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

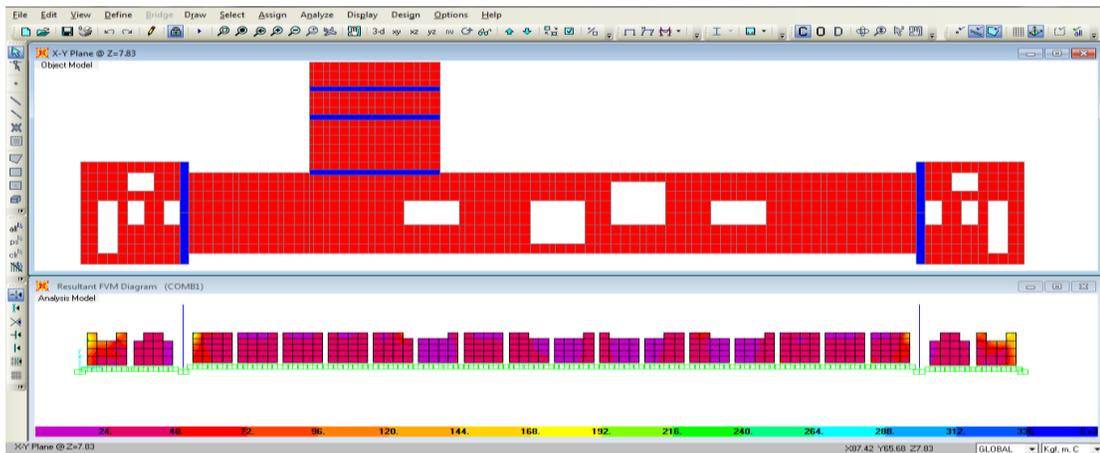
2. En la siguiente Figura 94, se inicia la extracción de los bloques contenidos en los recesos de la losa, solo aquellos afectados por su peso propio (durante esta etapa la distribución de los esfuerzos sobre el muro colado no se ve afectada debido a que el apoyo de la losa mezzanina sobre el elemento no se ve afectado)



**Figura 94.** Inicio de la Secuencia de Extracción.

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

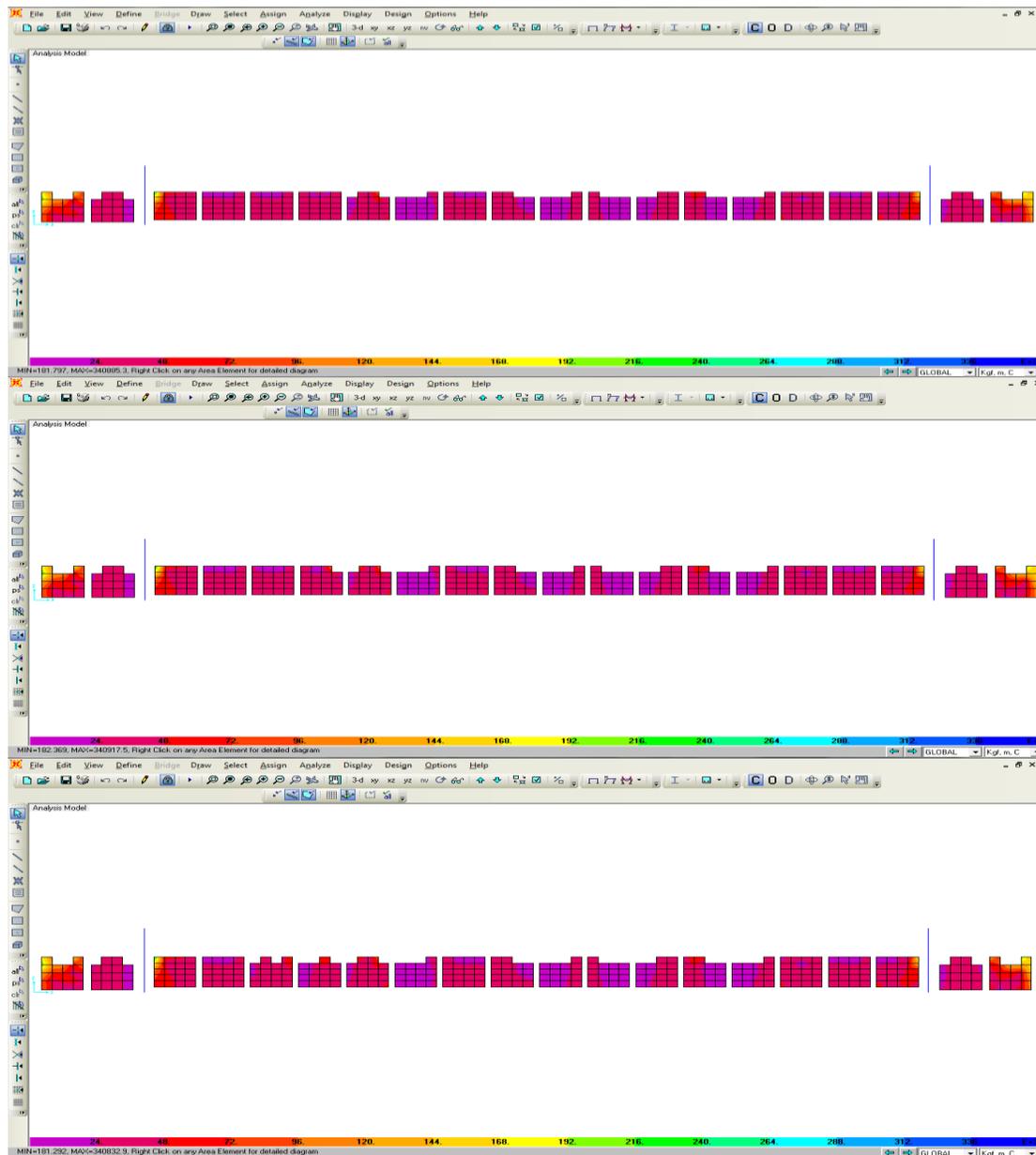
En la siguiente se puede observar que la extracción de los bloques en la zona de los recesos no compromete la estabilidad del muro y mantiene la misma distribución de esfuerzos.



**Figura 95.** Secuencia de Extracción. Vista de Planta de la Losa Mezzanina y Vista de Perfil del Muro Colado Central con los Bloque extraídos de los recesos.

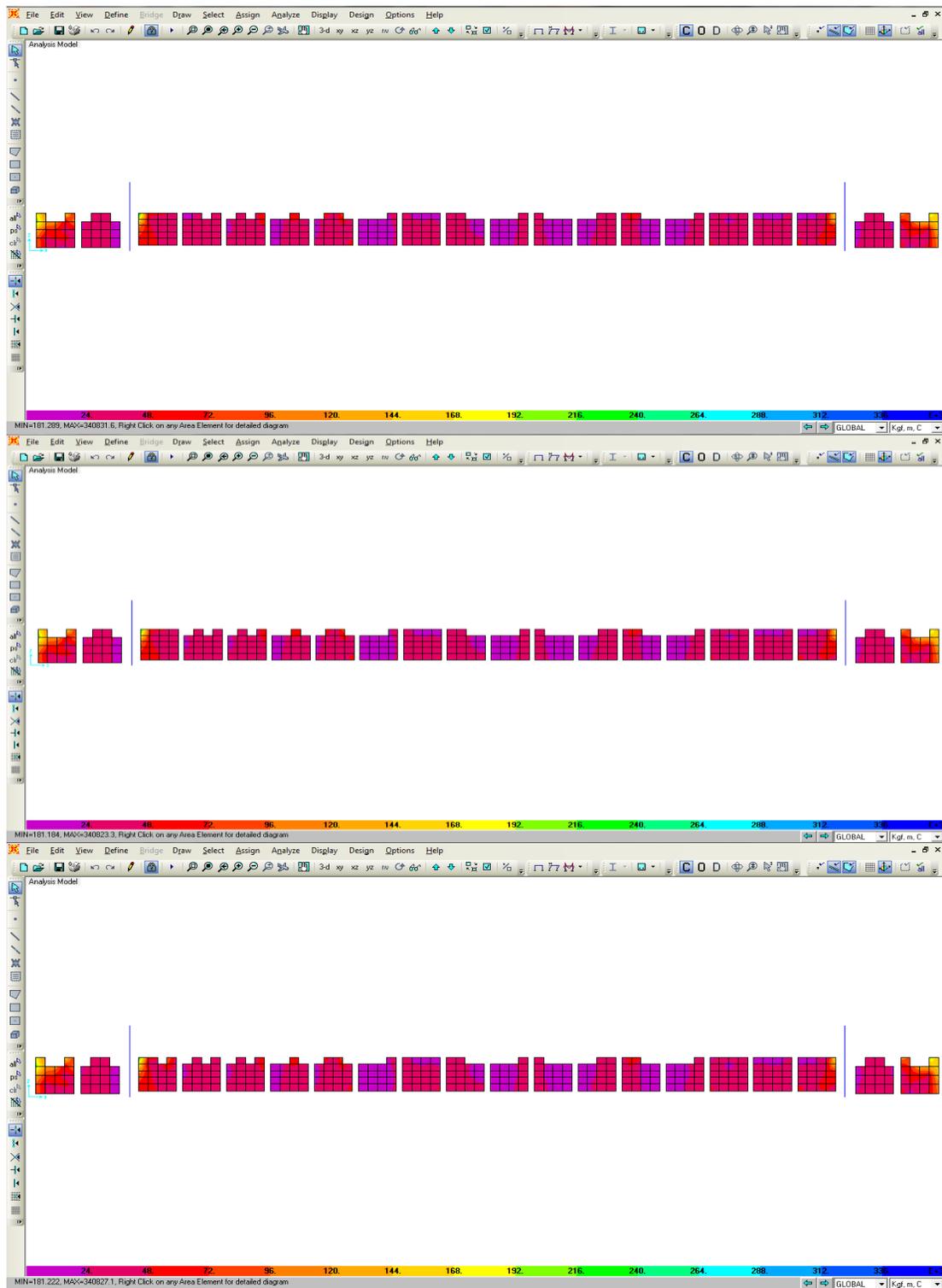
**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

Para seguir con la secuencia procedemos a extraer los elementos que se encuentran en contacto con la losa mezzanina donde se concentran las cargas más elevadas, se debe realizar un estudio cuadro a cuadro del espectro de valores para poder determinar cuál es el siguiente bloque a extraer.



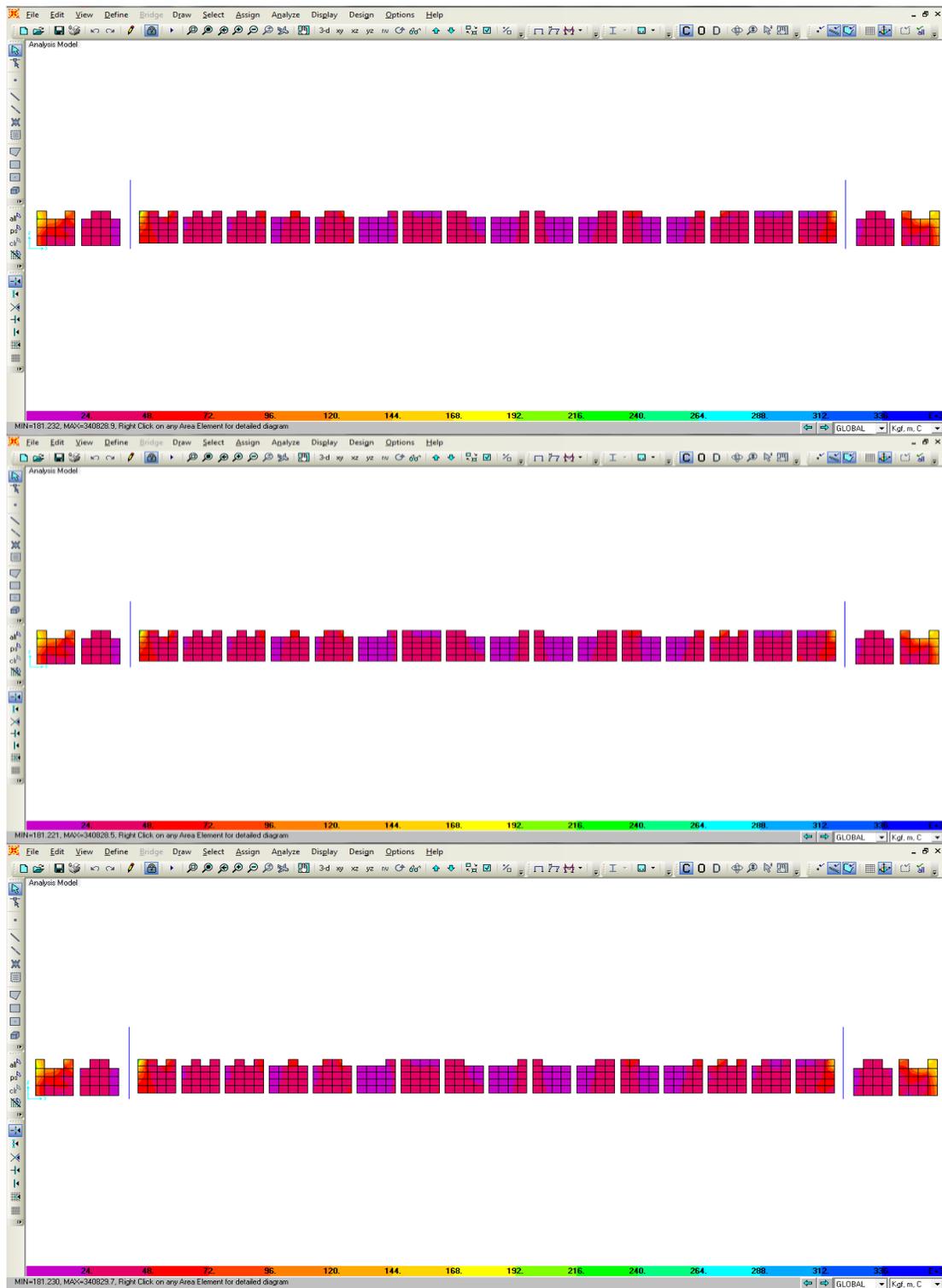
**Figura 96.** Secuencia de Extracción. Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



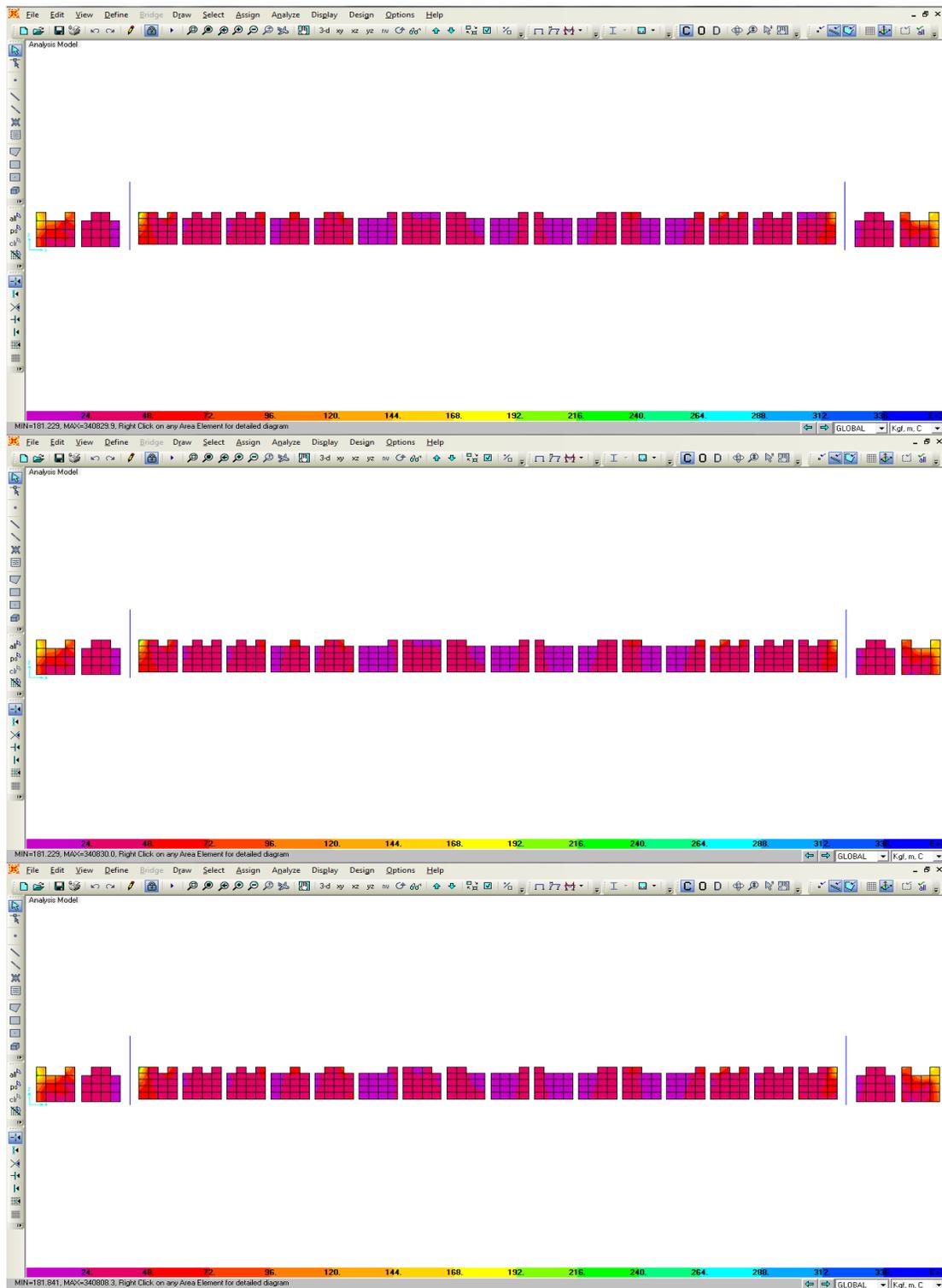
**Figura 97.** Secuencia de Extracción. Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible.

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



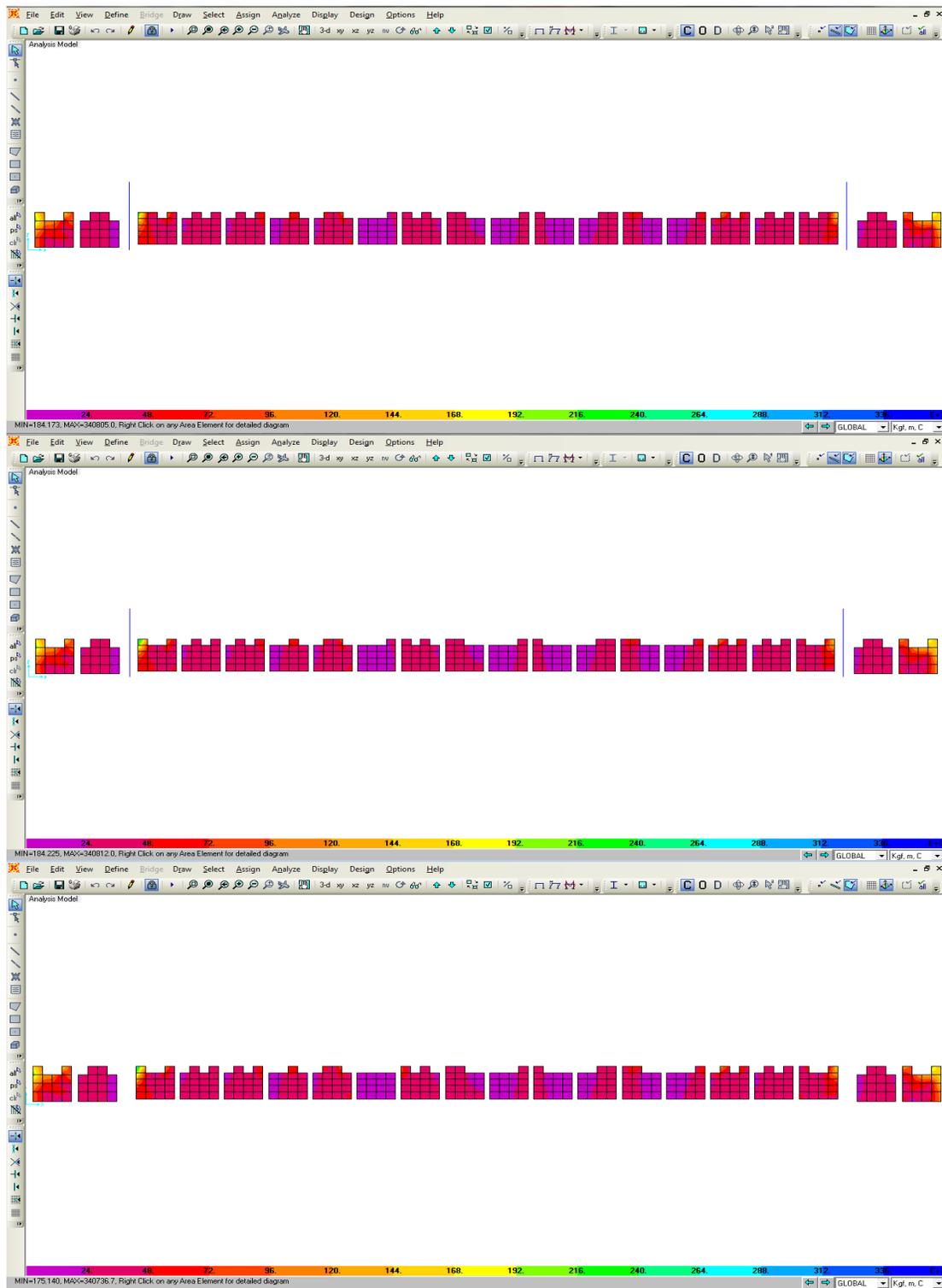
**Figura 98.** Secuencia de Extracción. Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible.

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



**Figura 99.** Secuencia de Extracción. Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



**Figura 100.** Secuencia de Extracción. Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

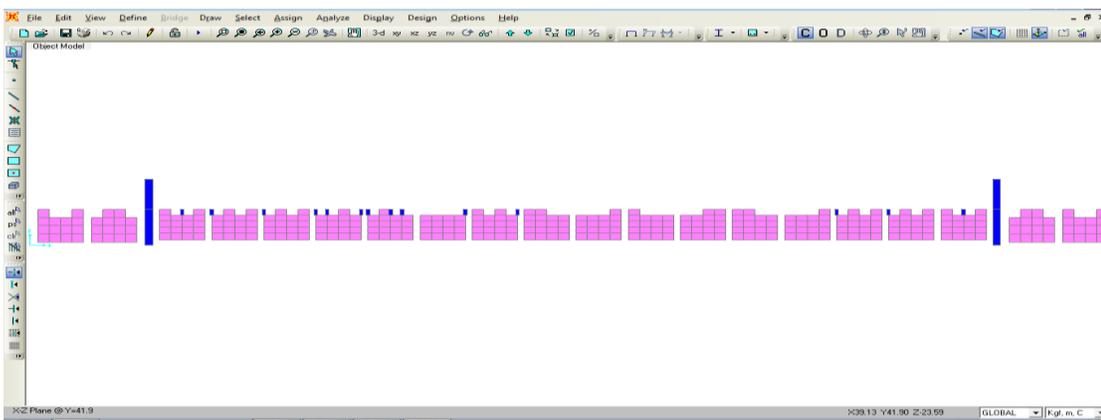


**Figura 101.** Secuencia de Extracción. Extracción de Bloques sin superar el valor máximo admisible

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

Luego de haber sacado todas las piezas sin haber superado el valor admisible de  $280 \text{ kg/cm}^2$  de compresión para el concreto, se colocan una serie de puntales como elementos de apoyo para distribuir mejor los esfuerzos concentrados en los bloques restantes para poder realizar la extracción.

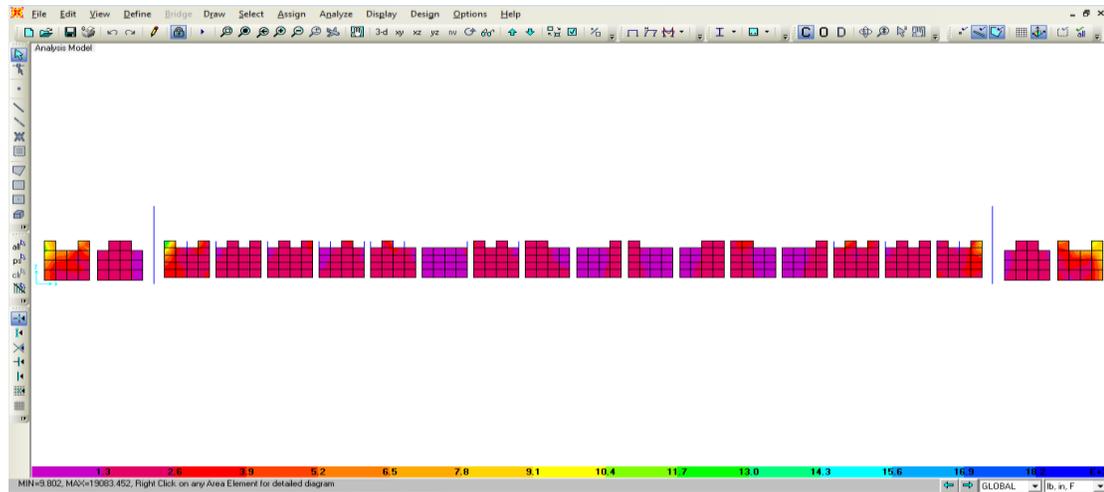
En la siguiente figura se colocan los puntales en los sectores donde fueron extraídos los bloques para simular para apoyarlos entre la losa de mezzanina y muro colado central.



**Figura 102.** Secuencia de Extracción. Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

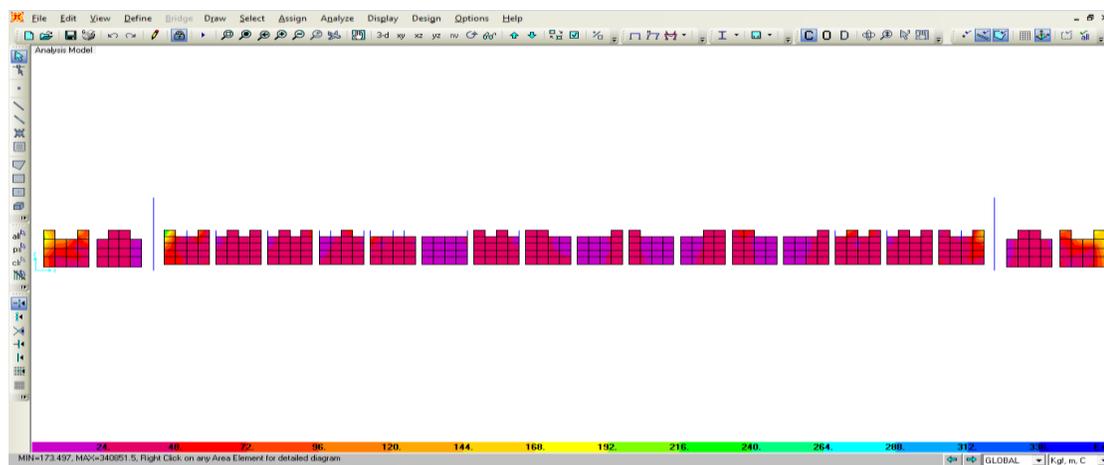
En la siguiente figura se muestra la distribución de los esfuerzos en el muro colado con la asistencia de los puntales.



**Figura 103.** Secuencia de Extracción. Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

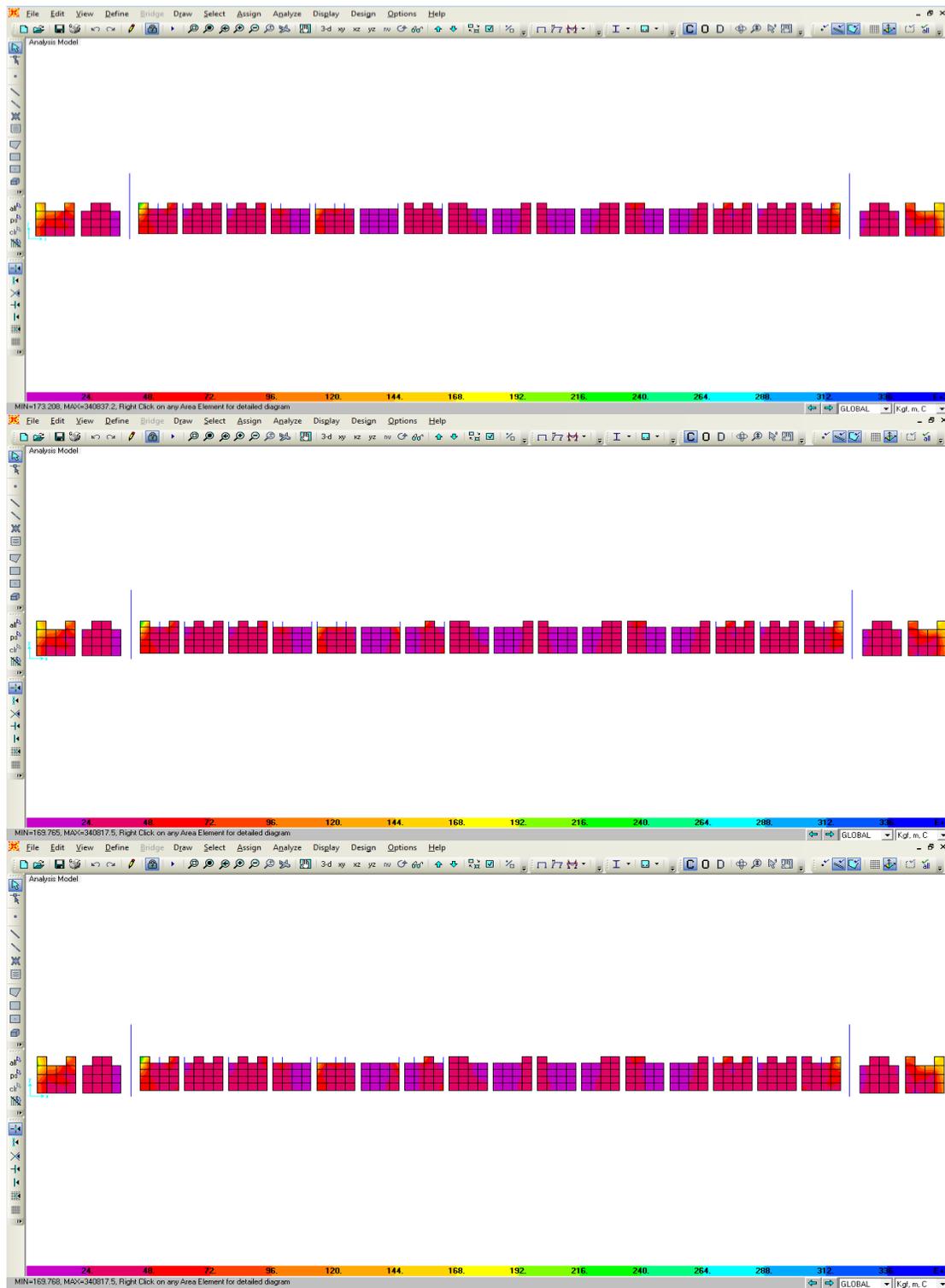
**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

Una vez colocados los puntales se procede a retirar los bloques restantes que no excedan el valor admisible de  $280 \text{ kg/cm}^2$  para el concreto a compresión y sustituirlos por puntales para mantener la distribución de los esfuerzos.



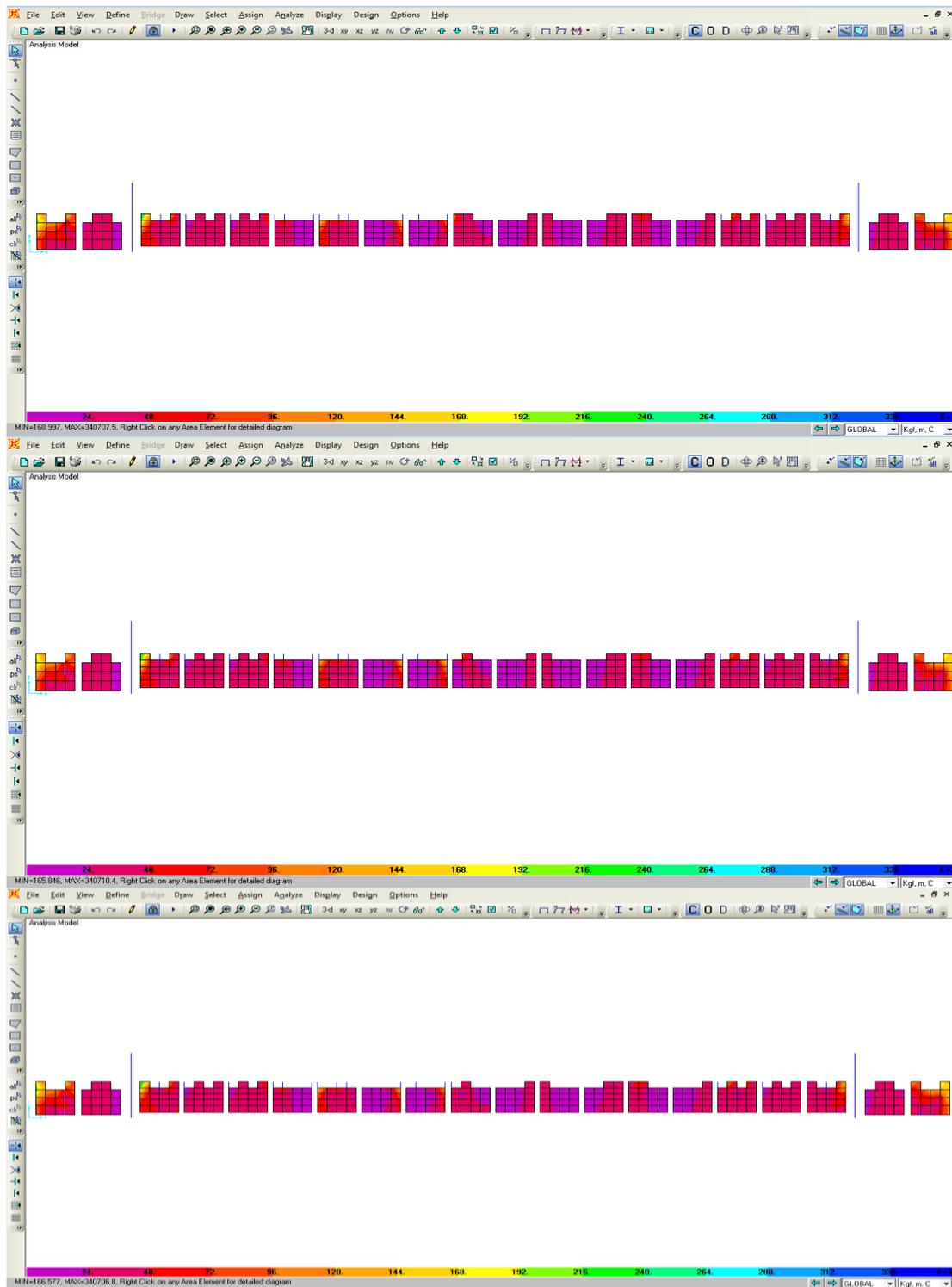
**Figura 104.** Secuencia de Extracción. Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



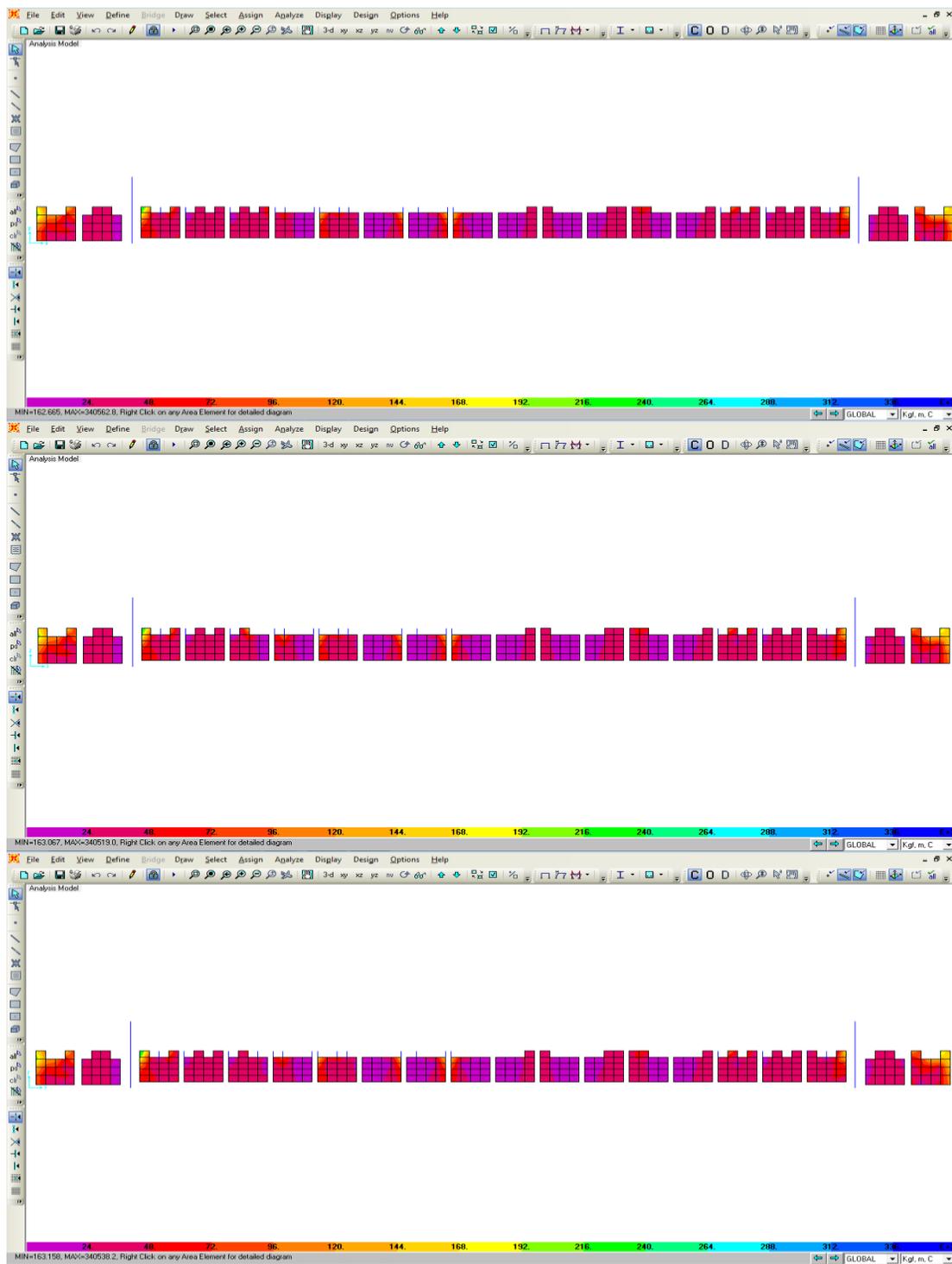
**Figura 105.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



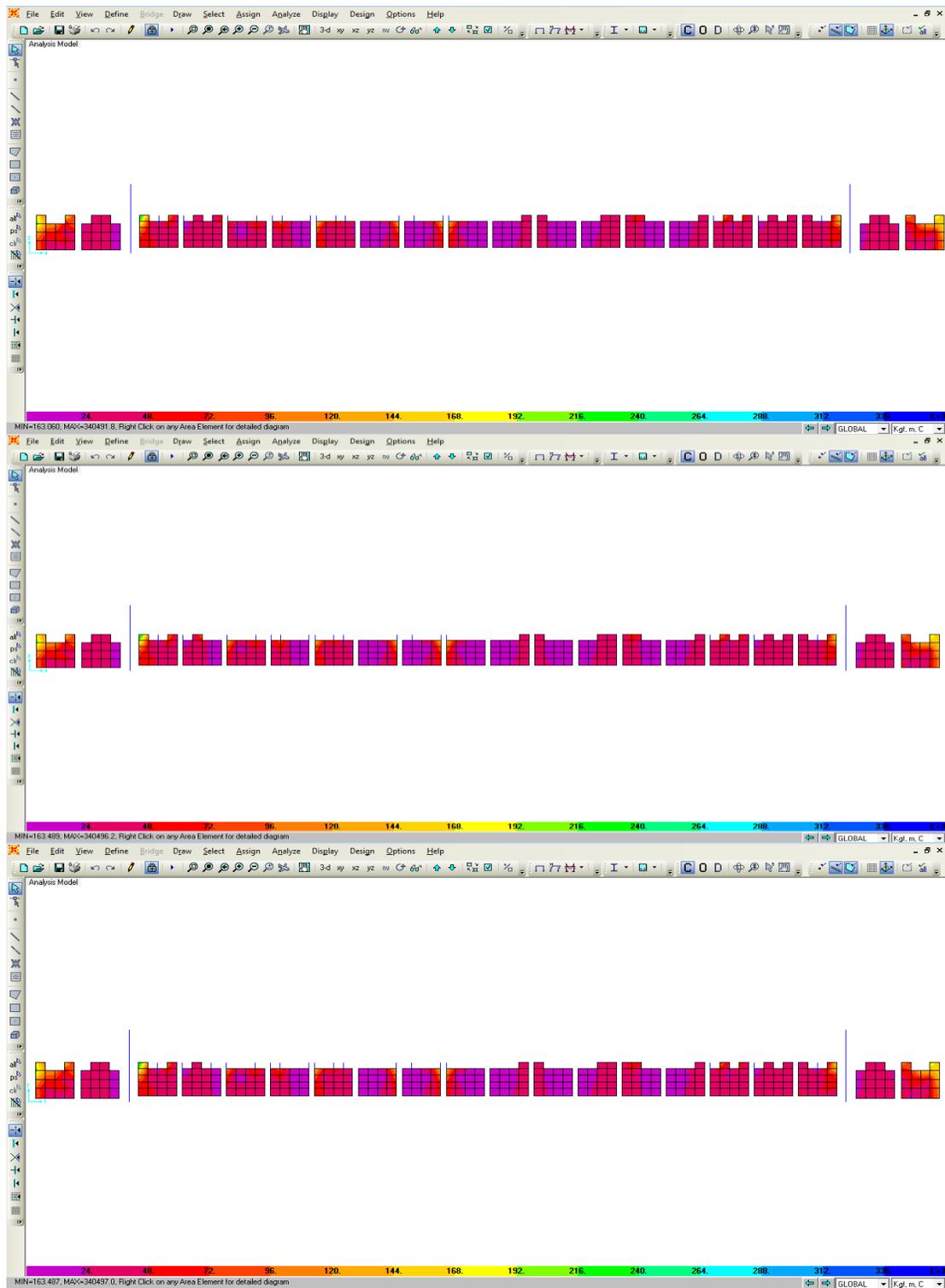
**Figura 106.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



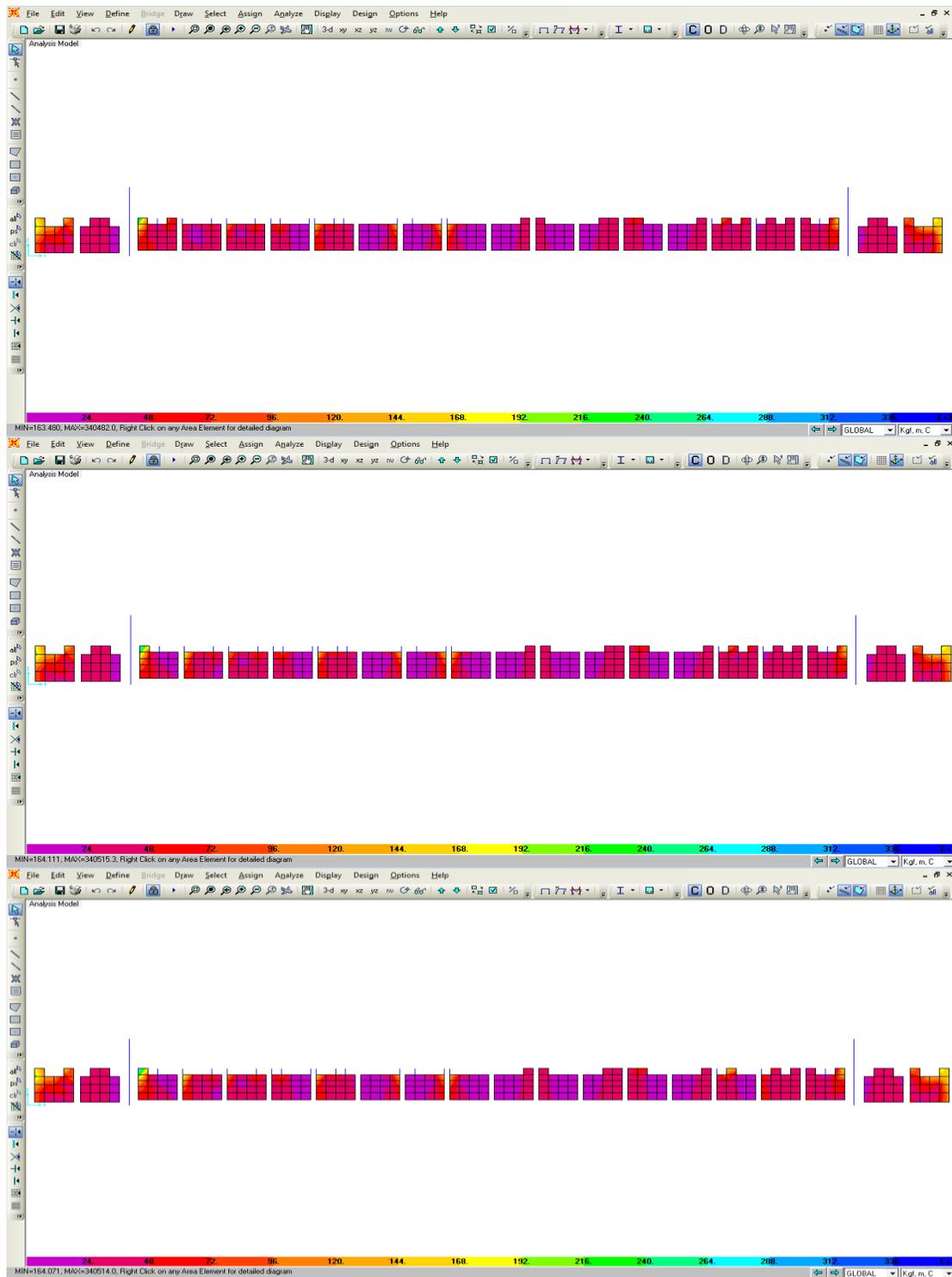
**Figura 107.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



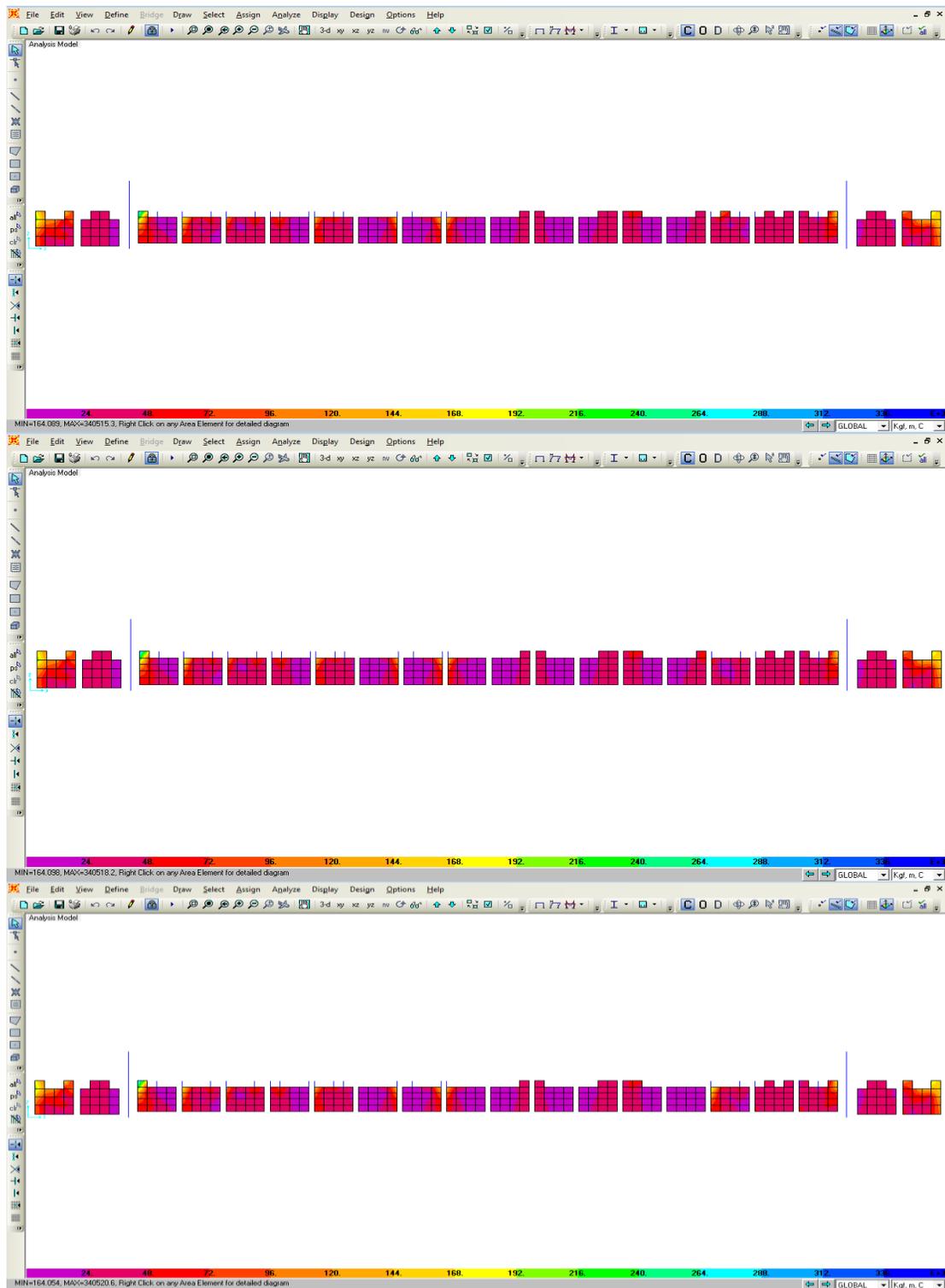
**Figura 108.** Secuencia de Extracción. Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



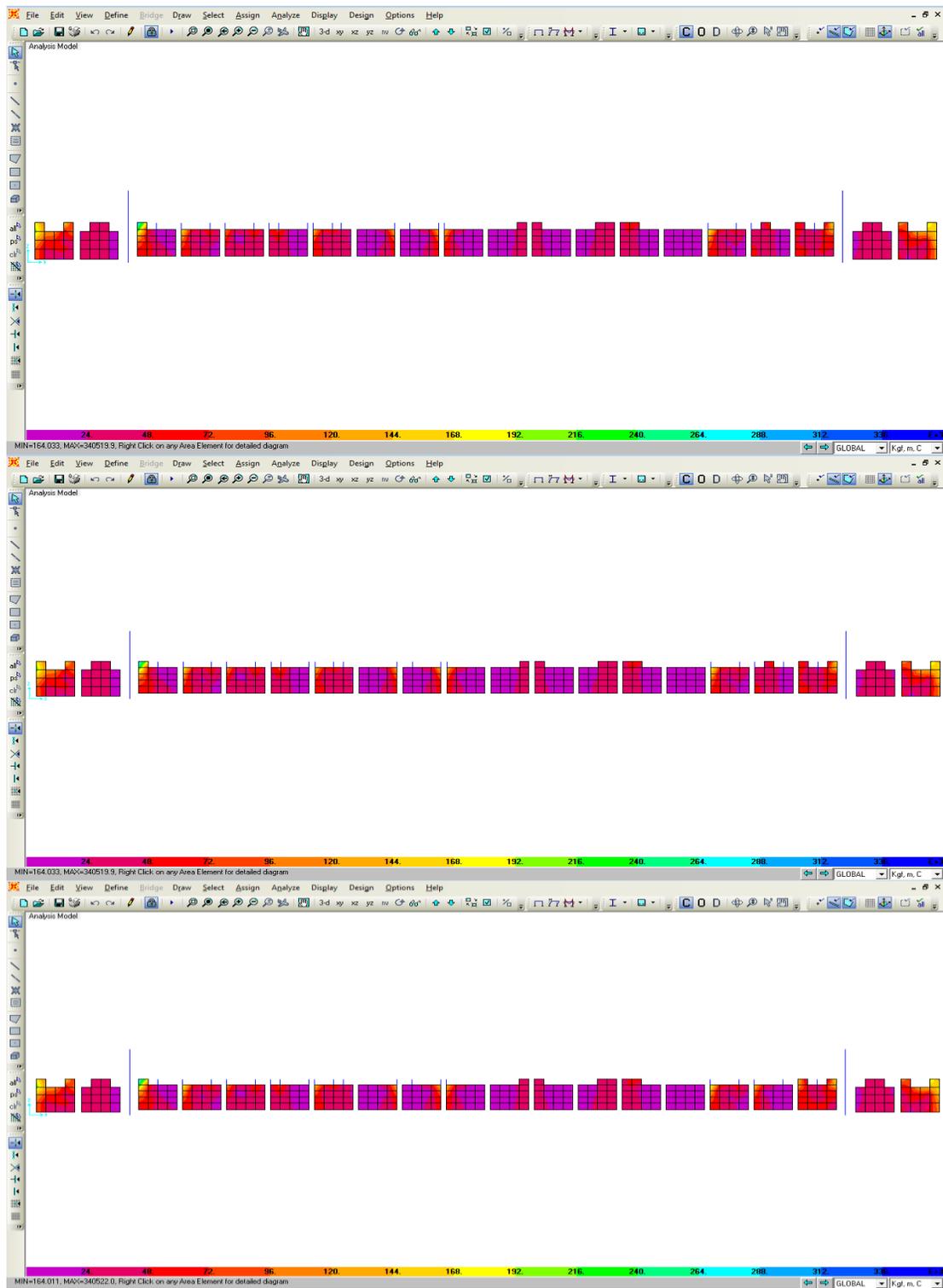
**Figura 109.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



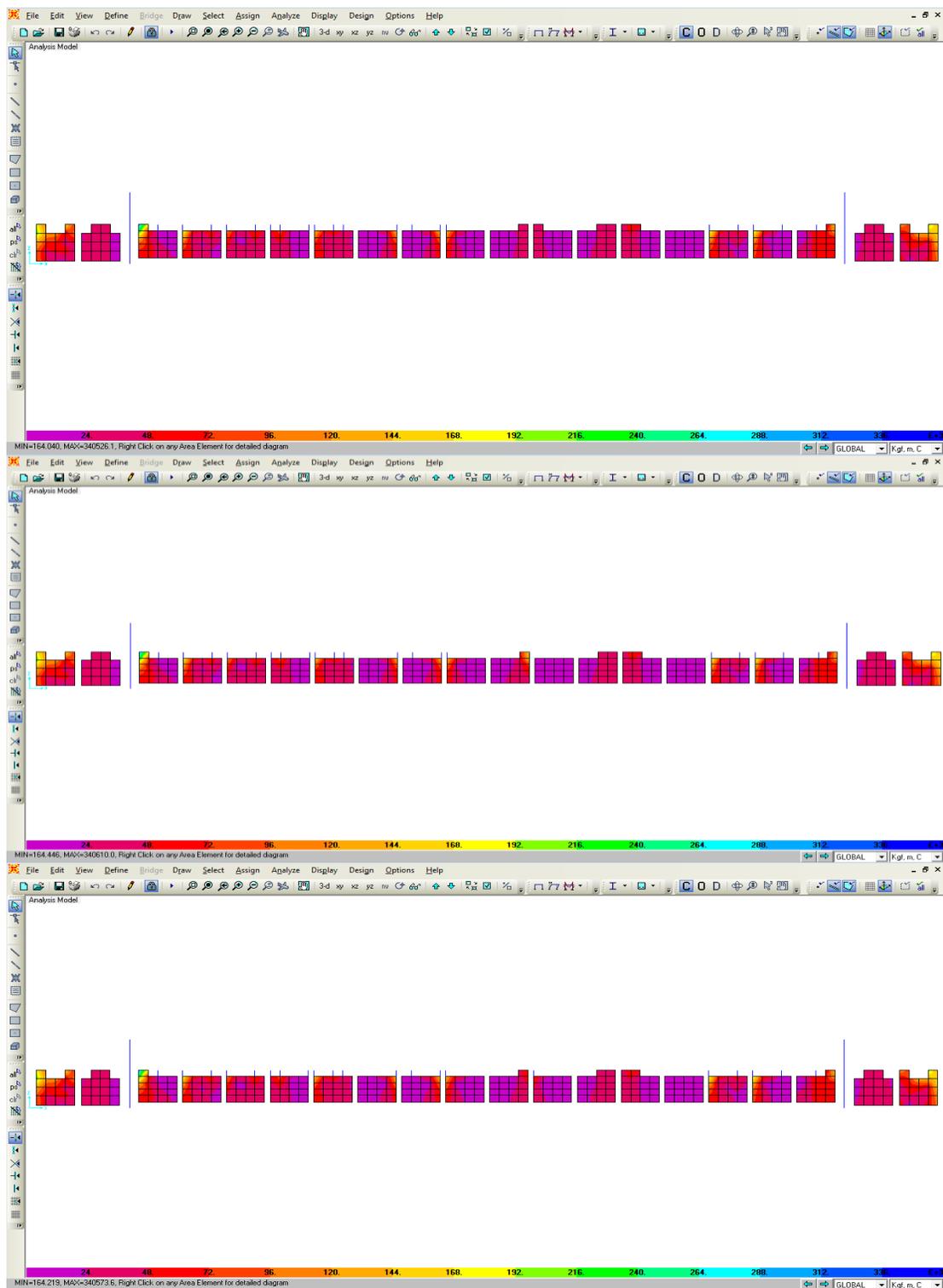
**Figura 110.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



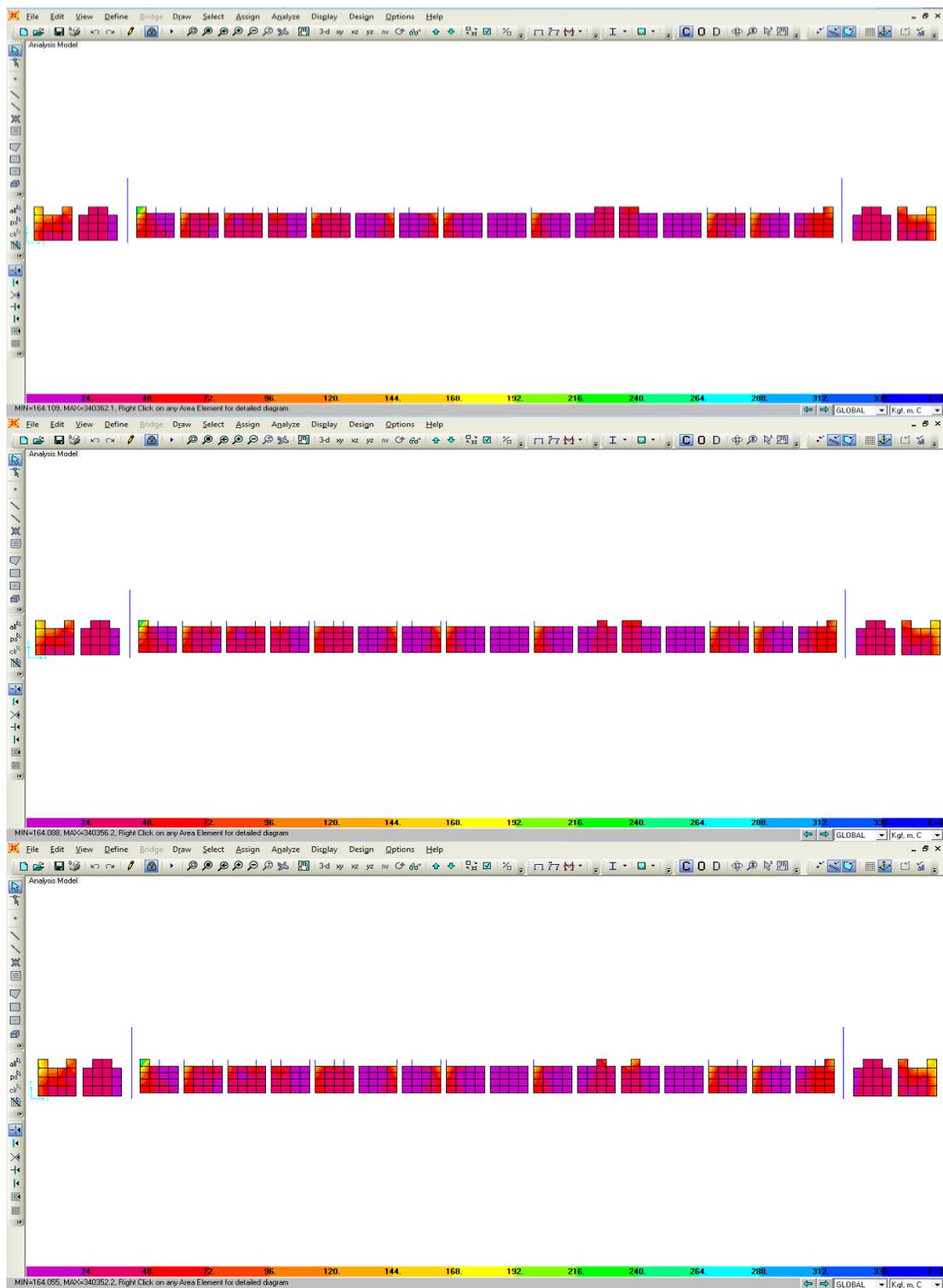
**Figura 111.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



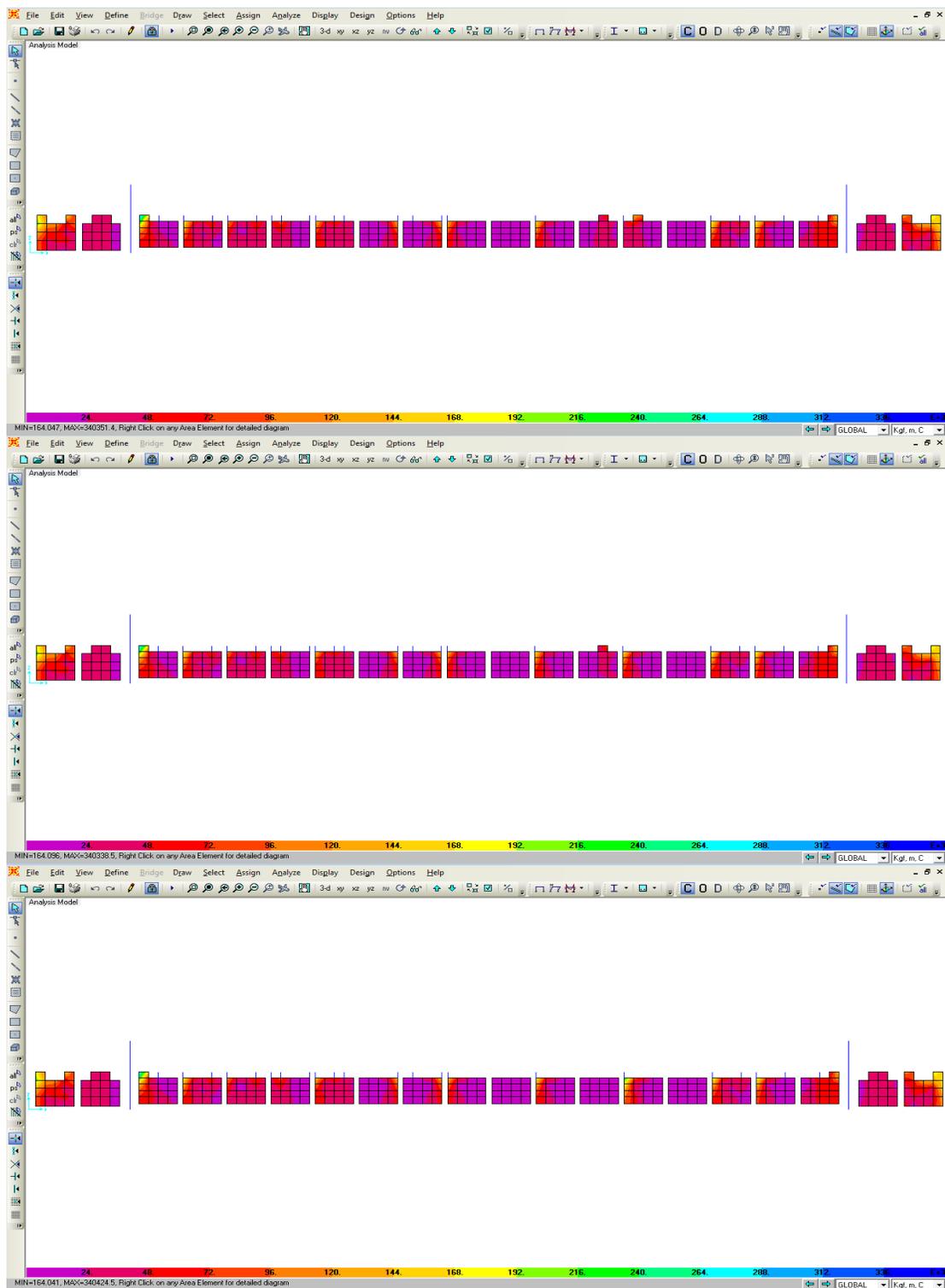
**Figura 112.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



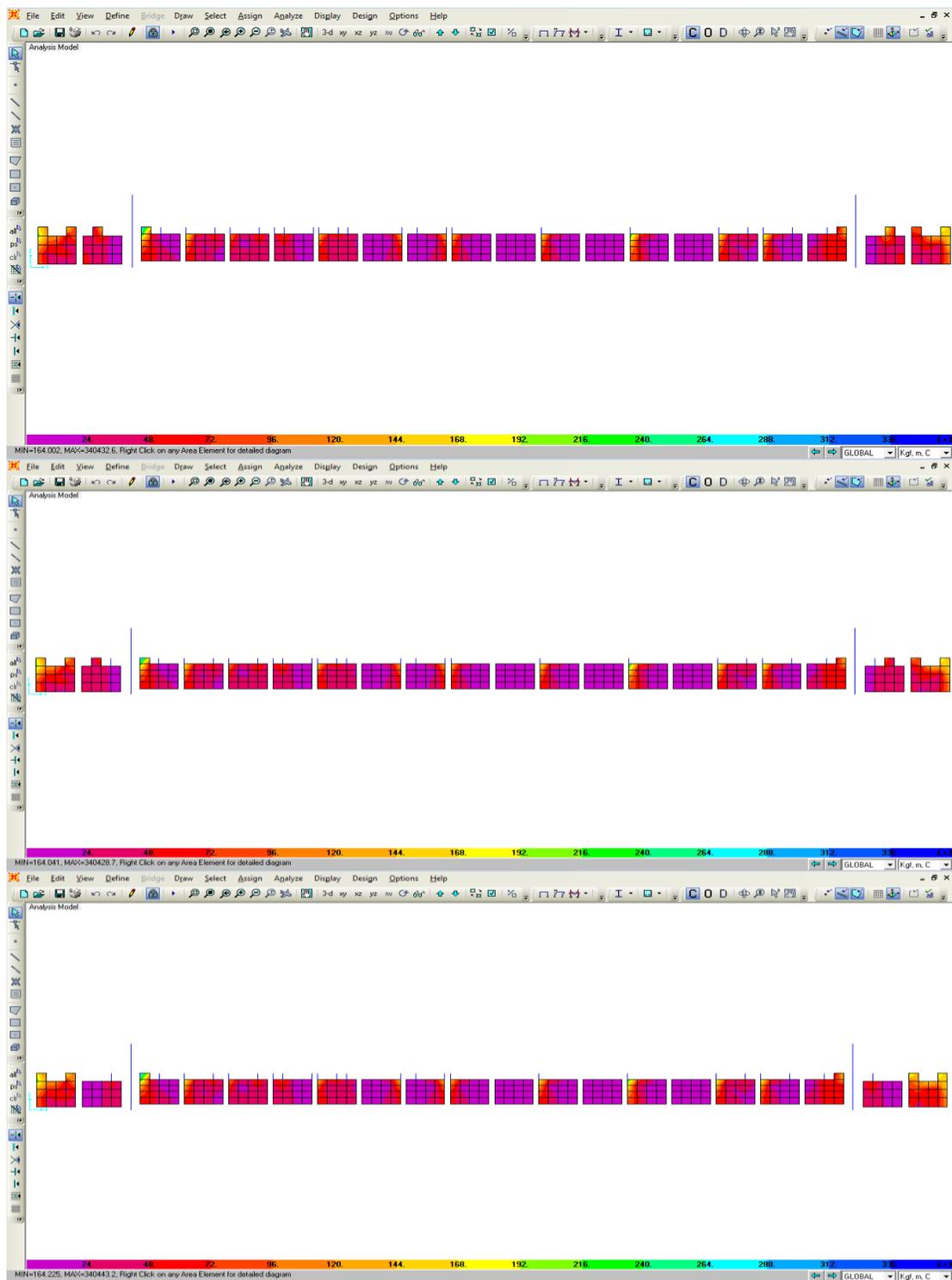
**Figura 113.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



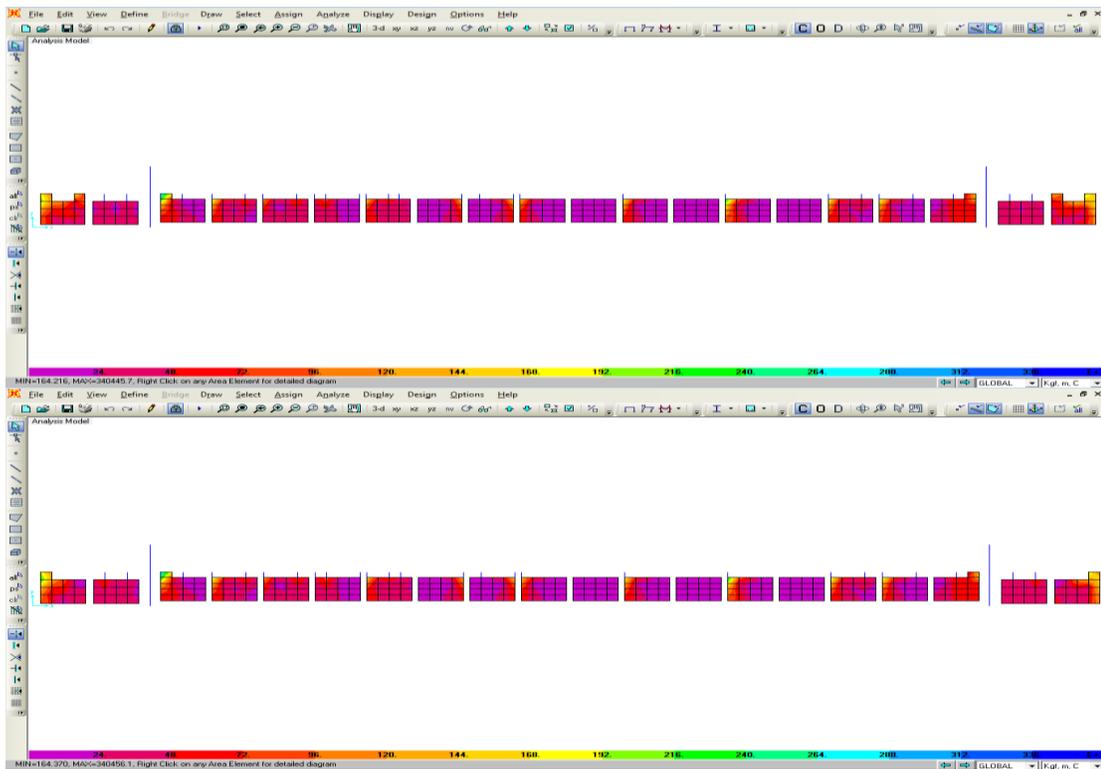
**Figura 114.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



**Figura 114.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

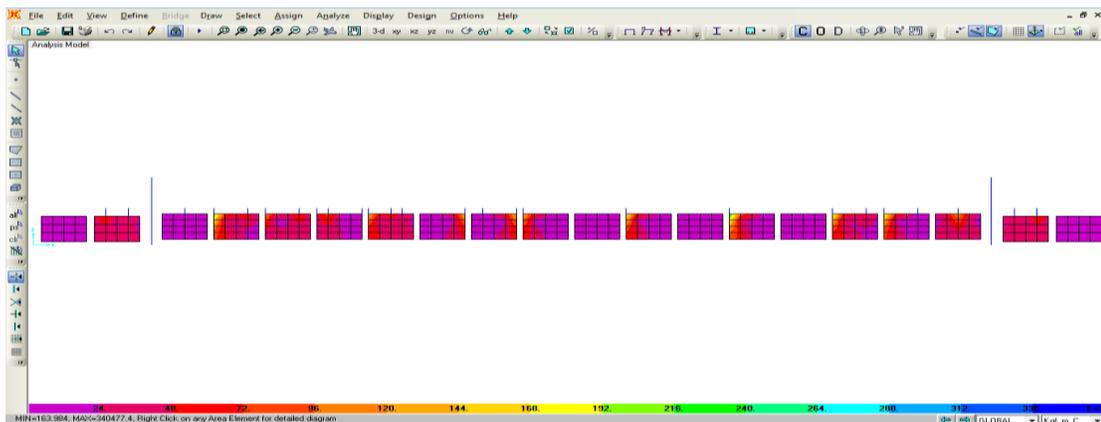
**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



**Figura 115.** Secuencia de Extracción de Bloques utilizando los puntales de apoyo

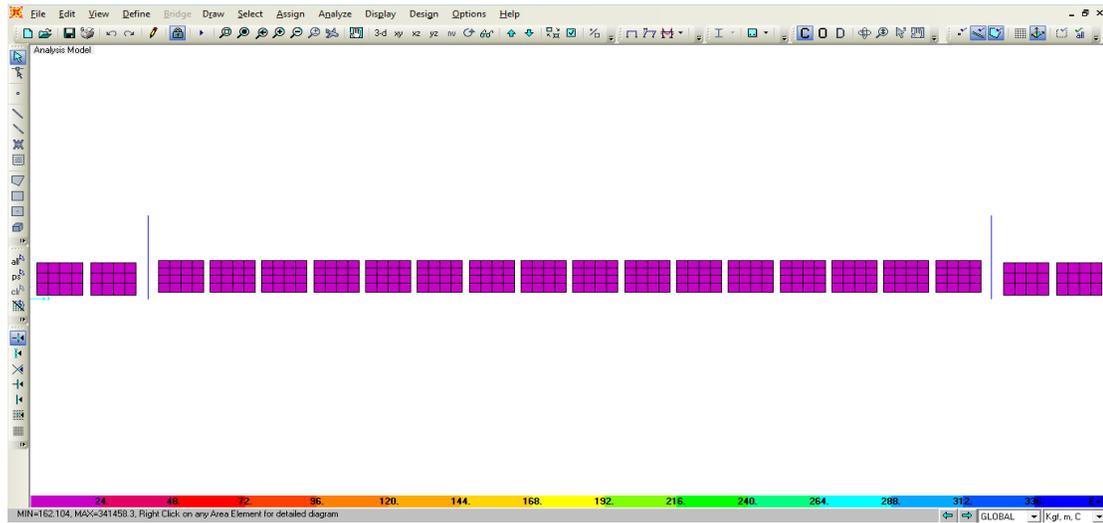
**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

Por efectos de concentración de cargas los bloques restantes representan esfuerzos que son soportados por los pórticos y los muros próximos a ellos.



**Figura 116.** Secuencia de Extracción. Extracción de los Puntales Colocados  
**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

Por último se remueven los puntales colocados

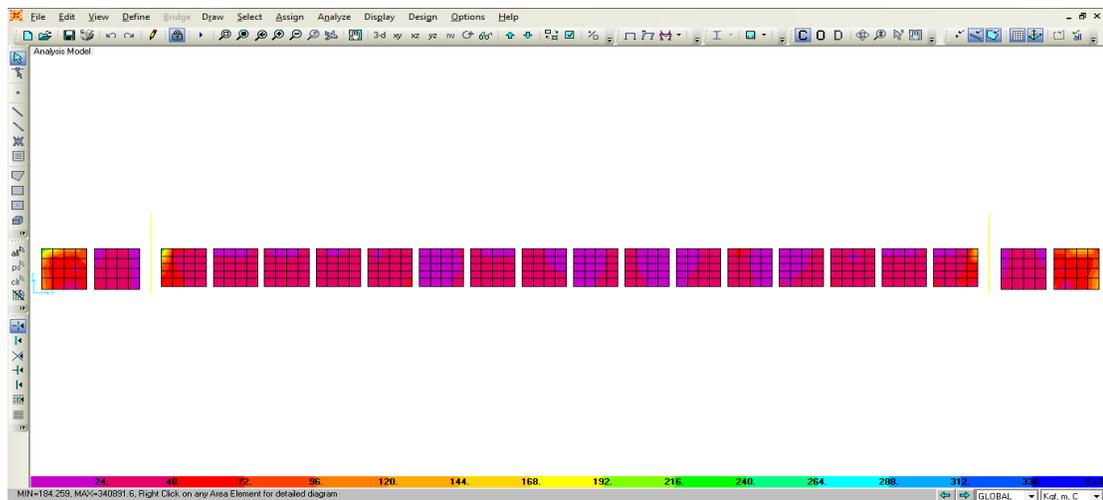


**Figura 117.** Inicio de Secuencia de Extracción de Bloques afectados por su propio peso

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

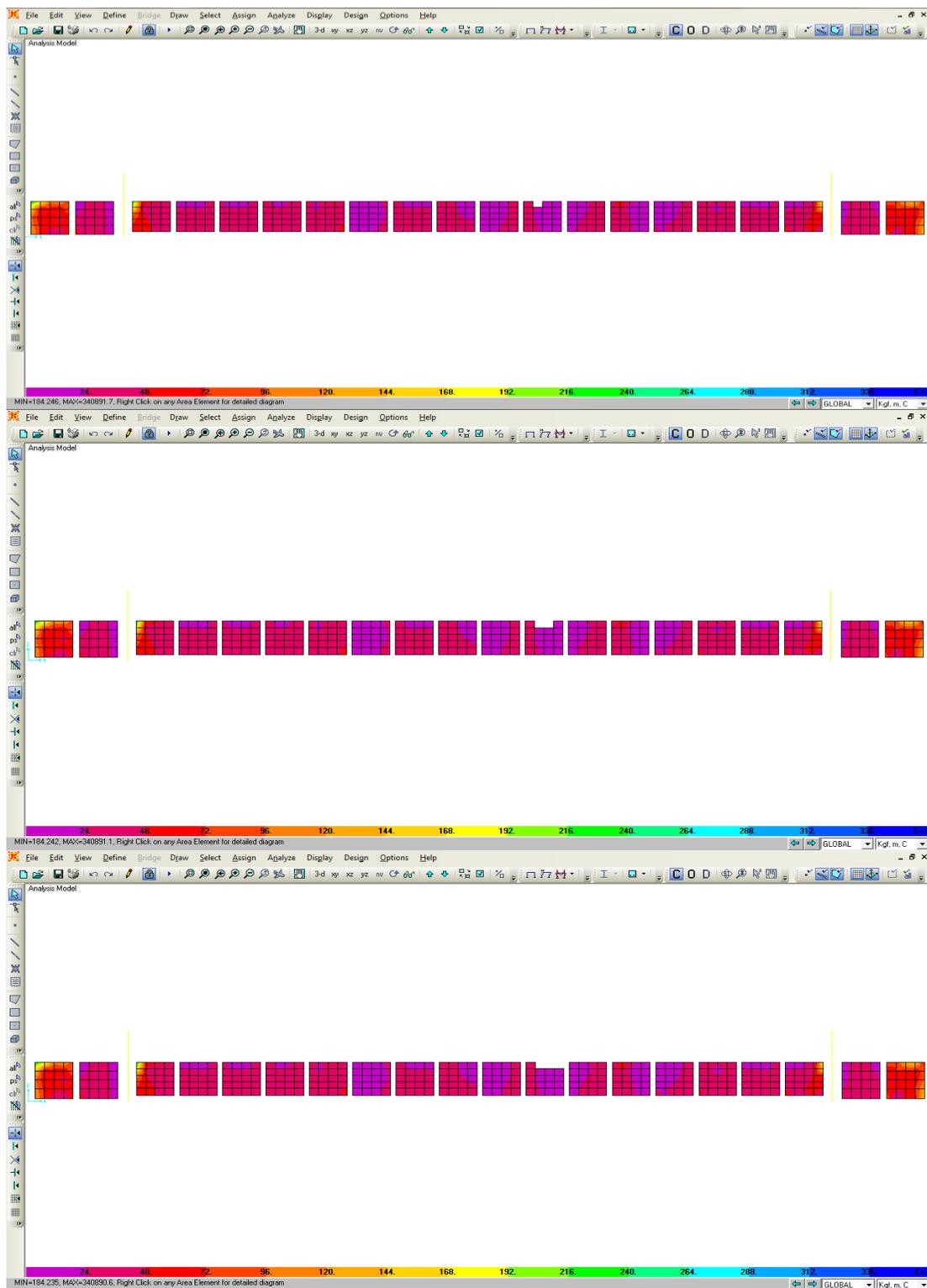
Para la siguiente secuencia podemos extraer los bloques de la segunda línea los cuales están influenciados sólo por su peso propio, la secuencia del modelo se ejecuta de manera lineal, continua y secuencial.

### Secuencia Real de Extracción del Muro Colado



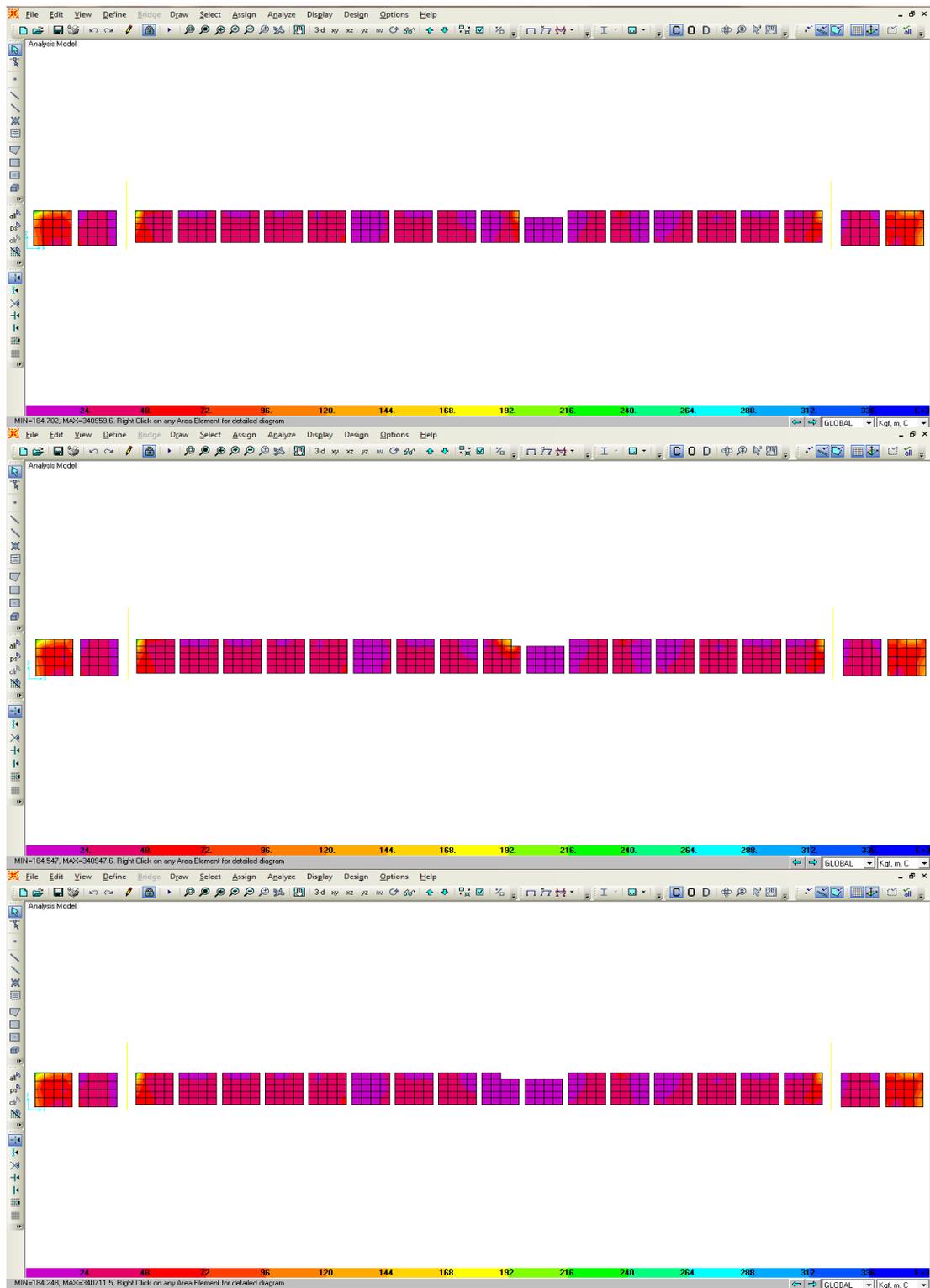
**Figura 118.** Inicio de Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



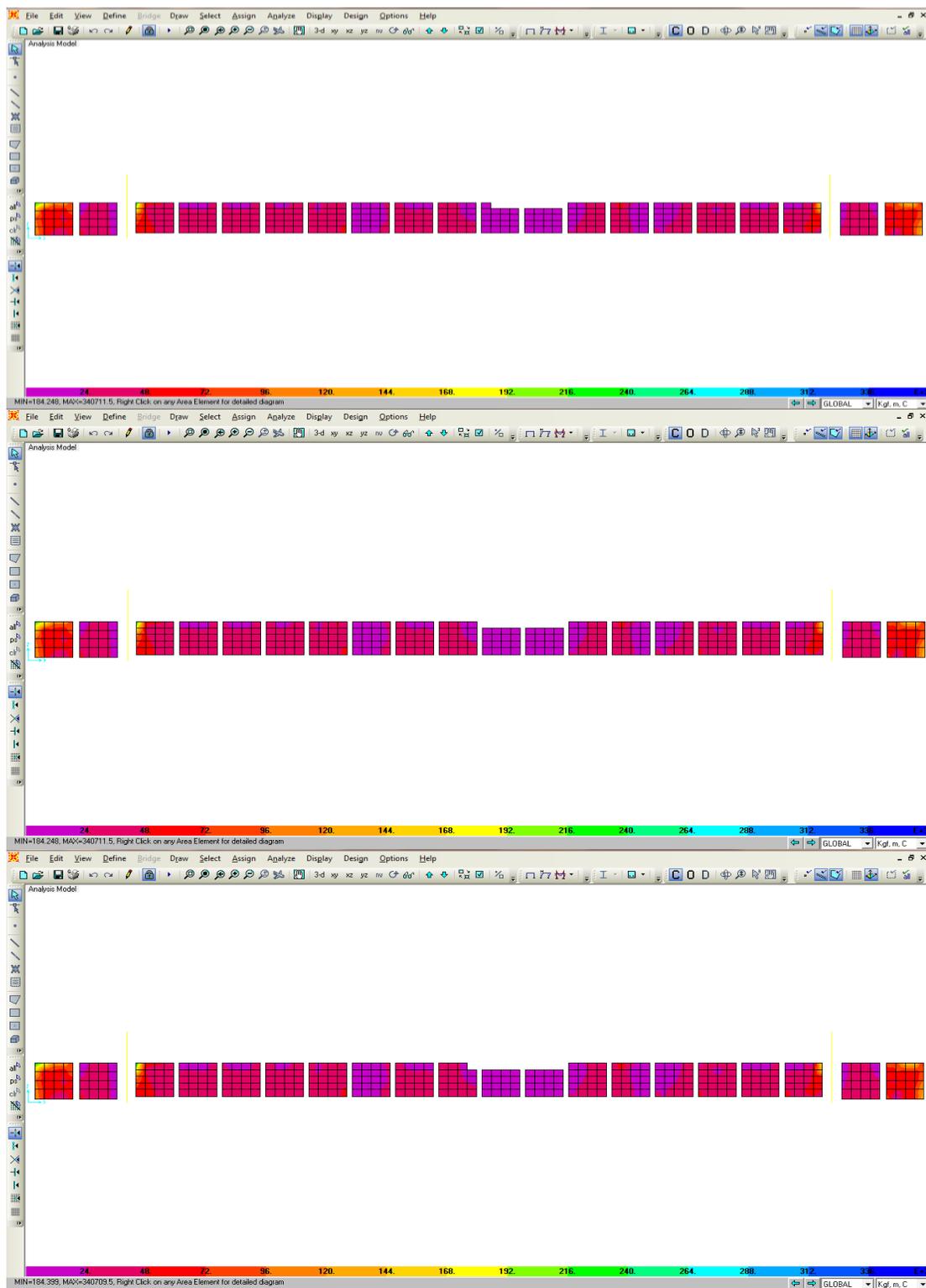
**Figura 119.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



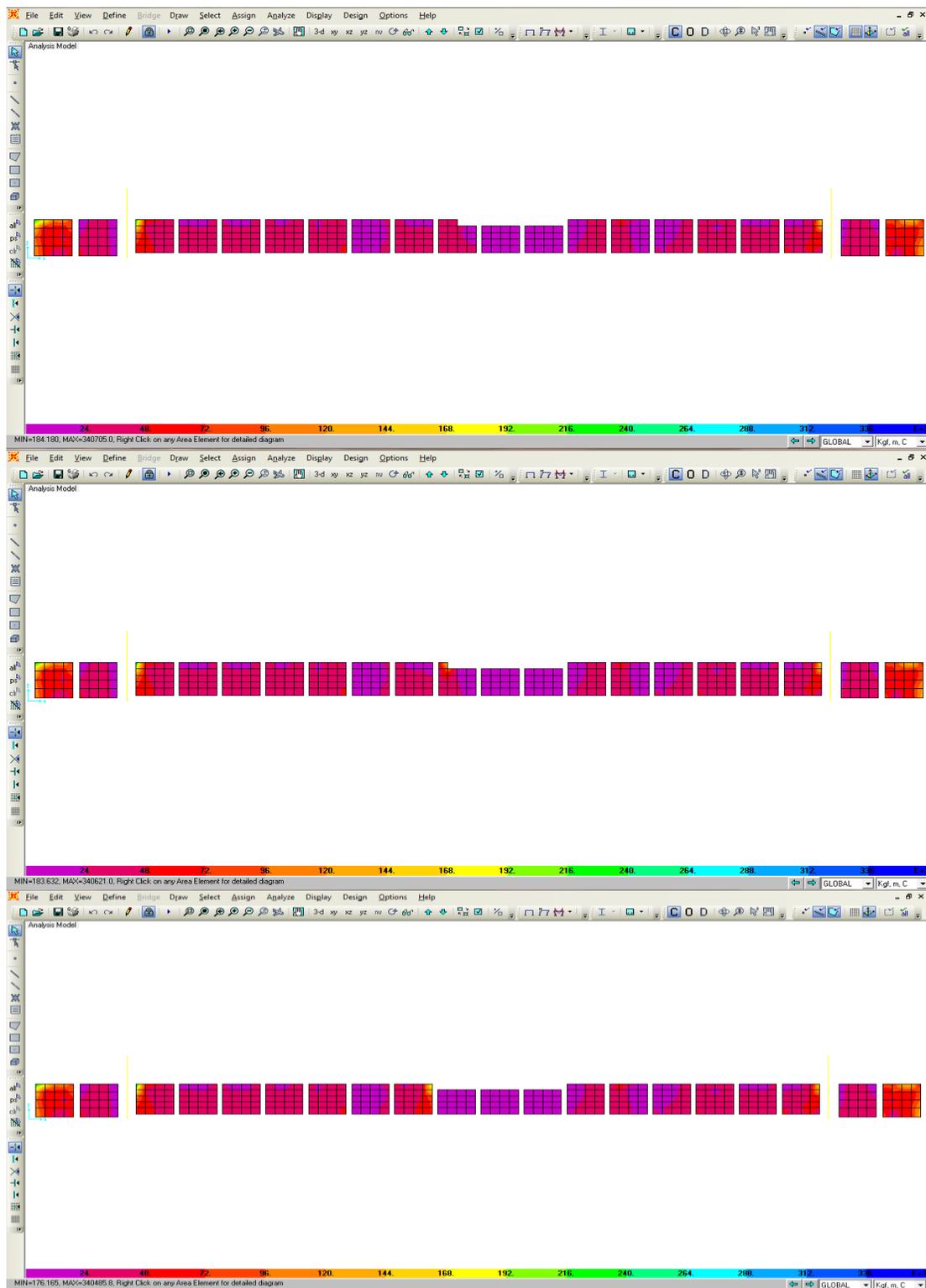
**Figura 120.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



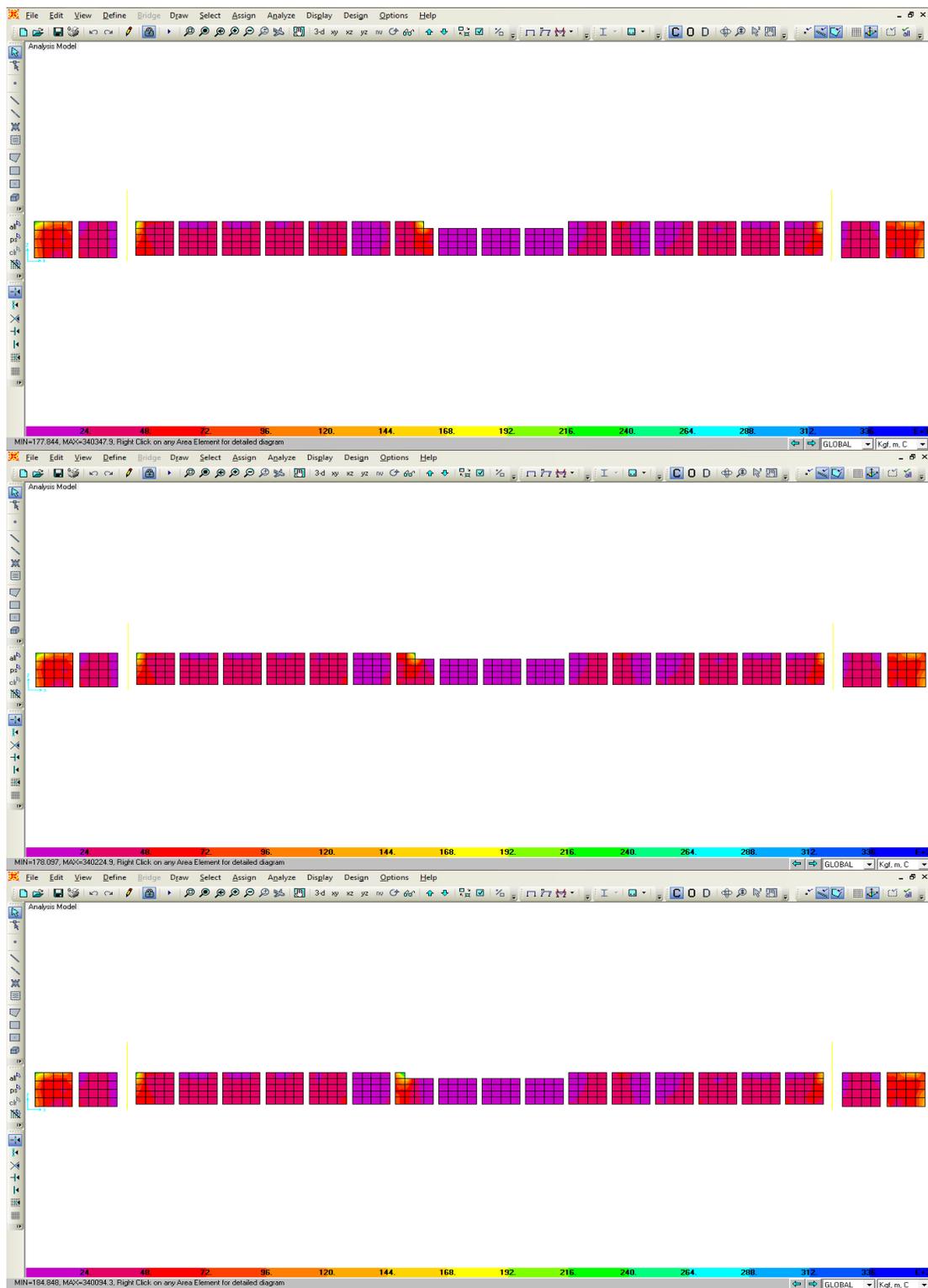
**Figura 121.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



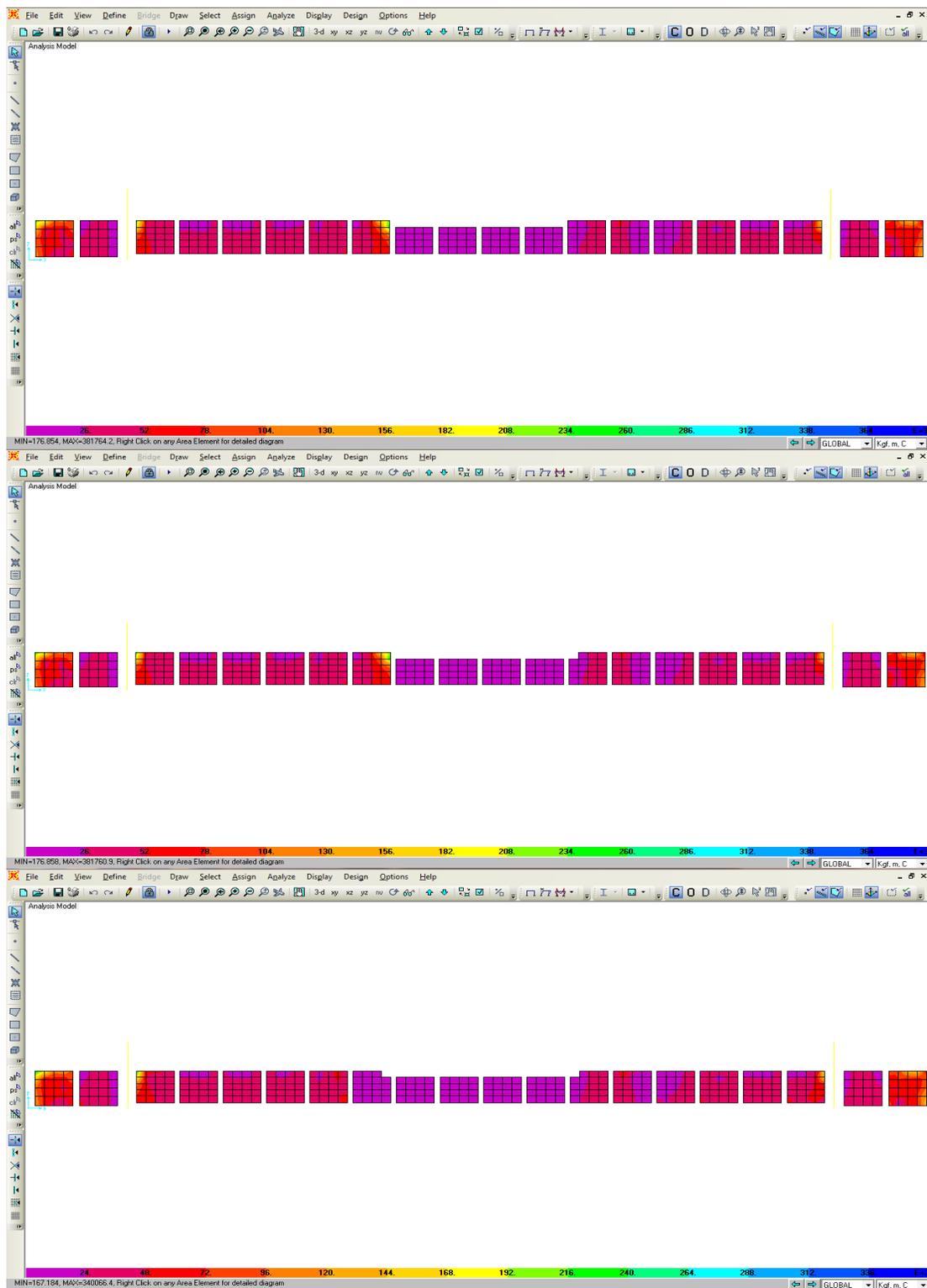
**Figura 122.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



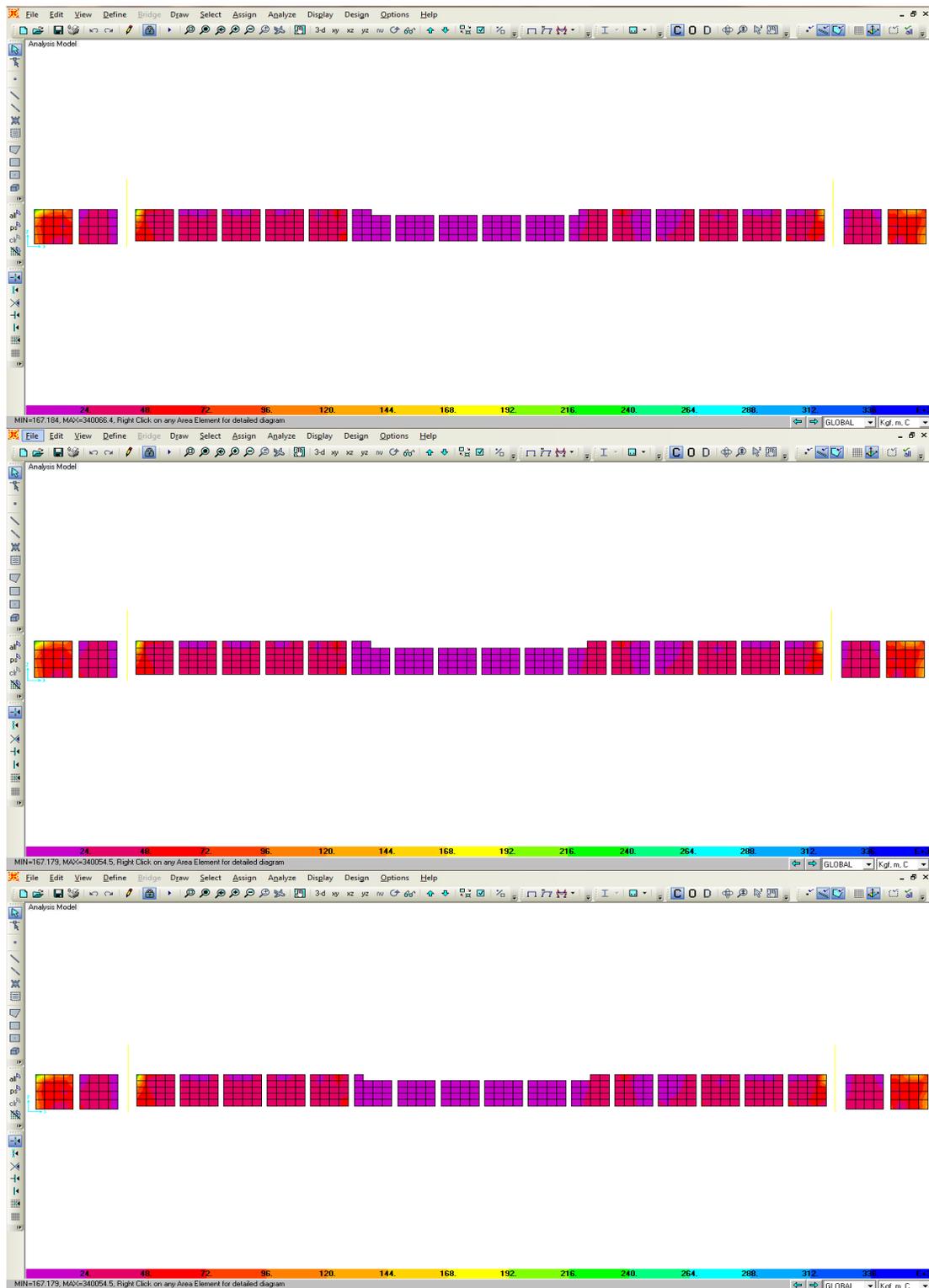
**Figura 123.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



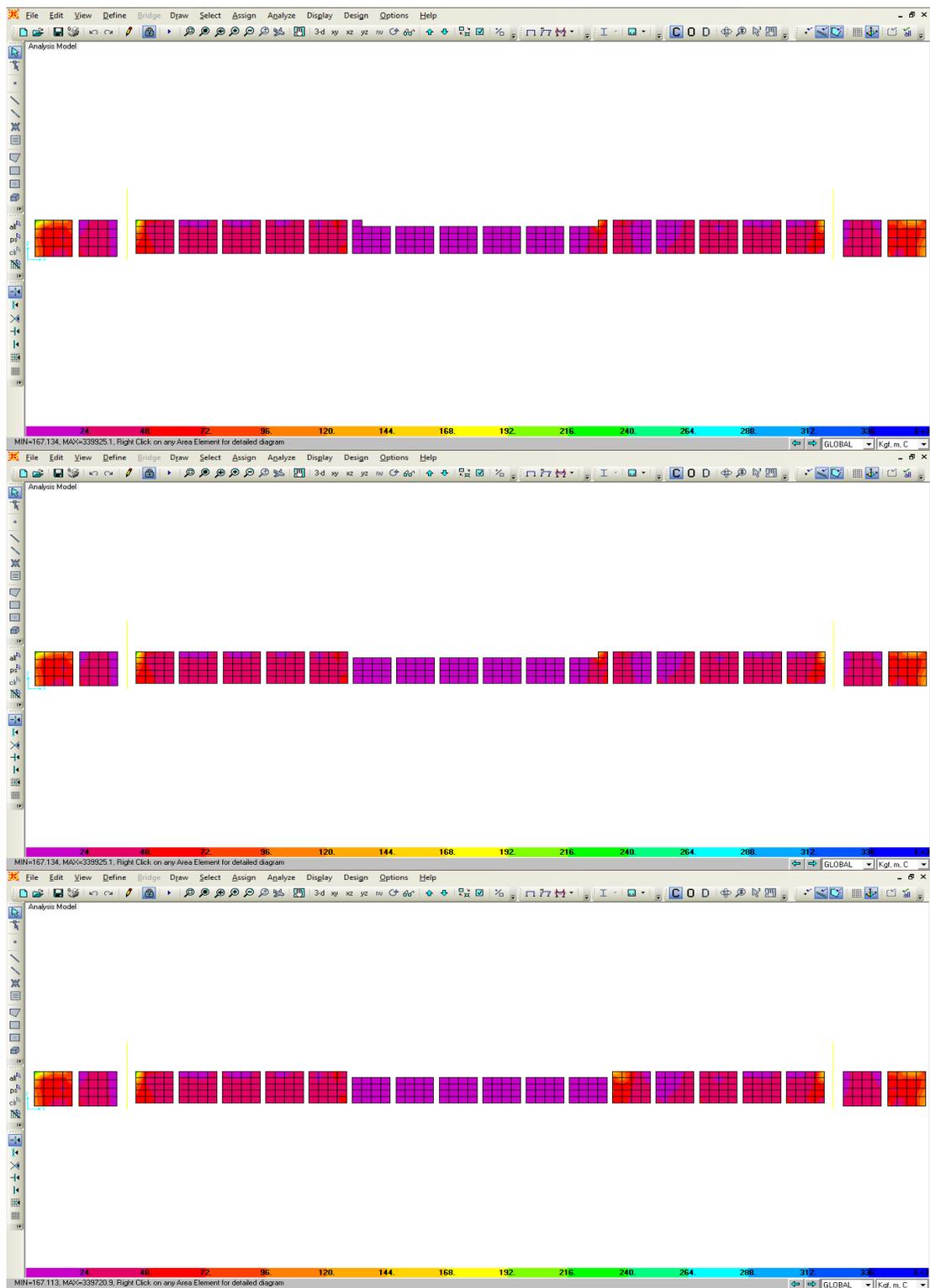
**Figura 124.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



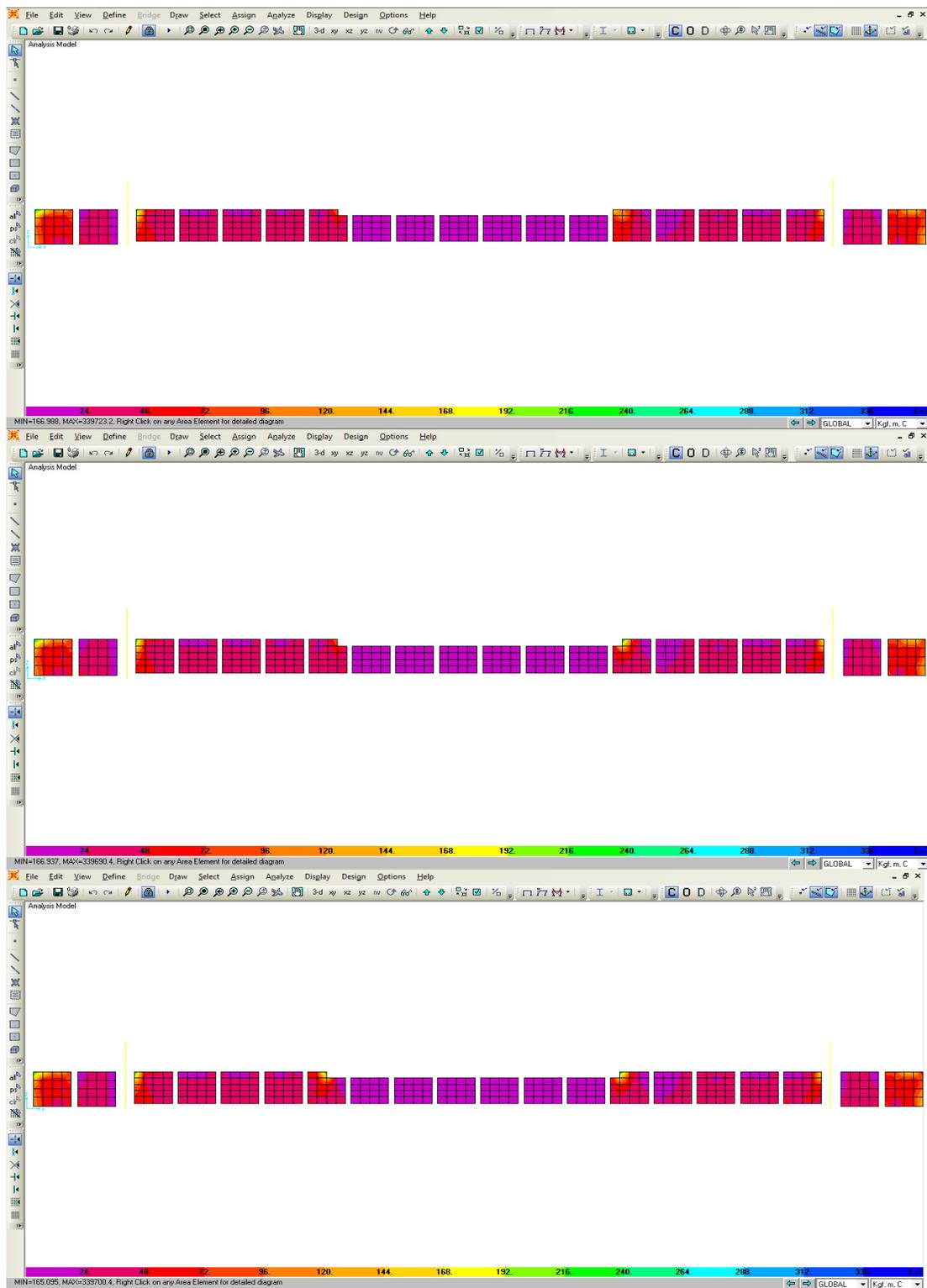
**Figura 125.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



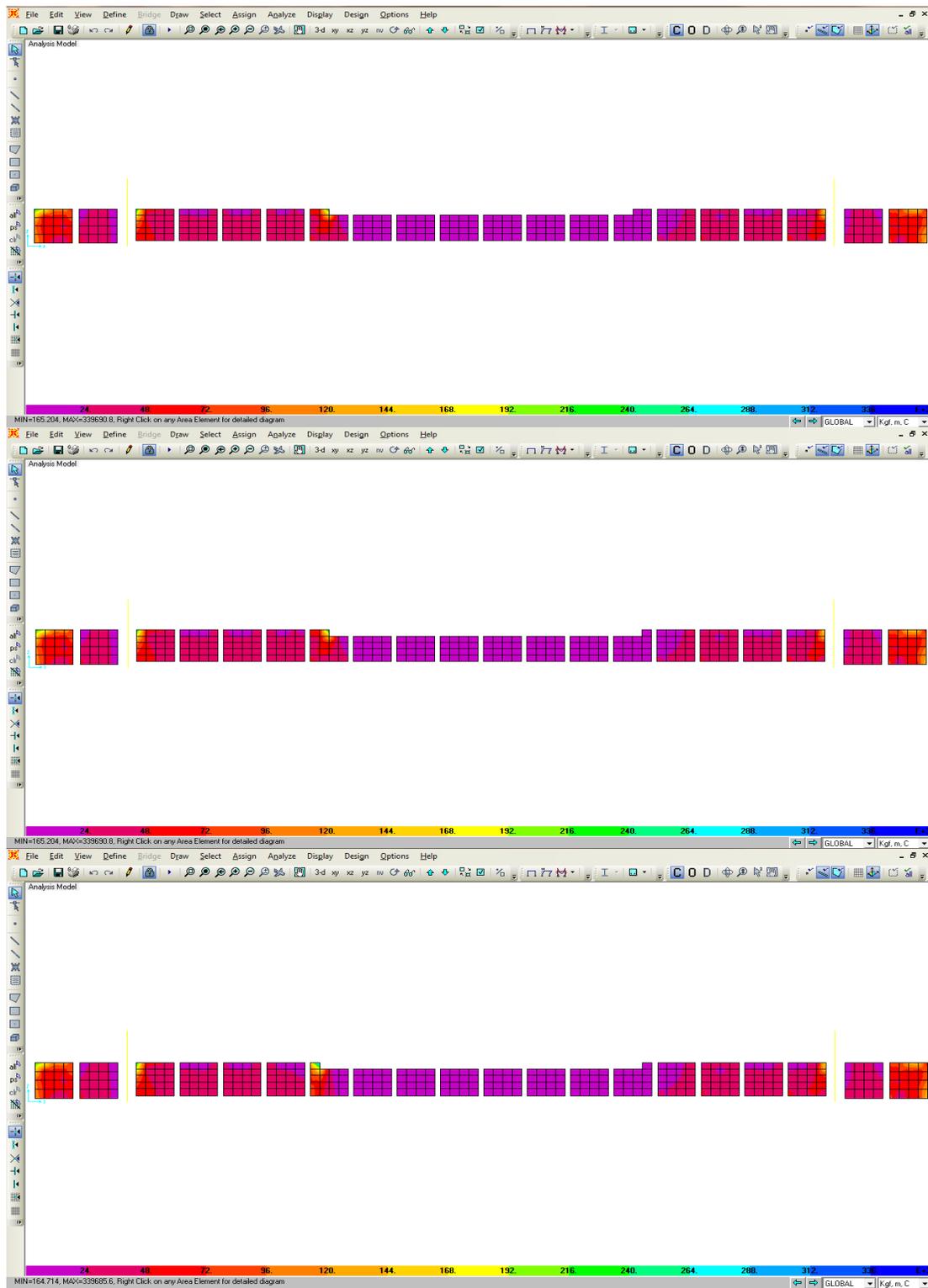
**Figura 126.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



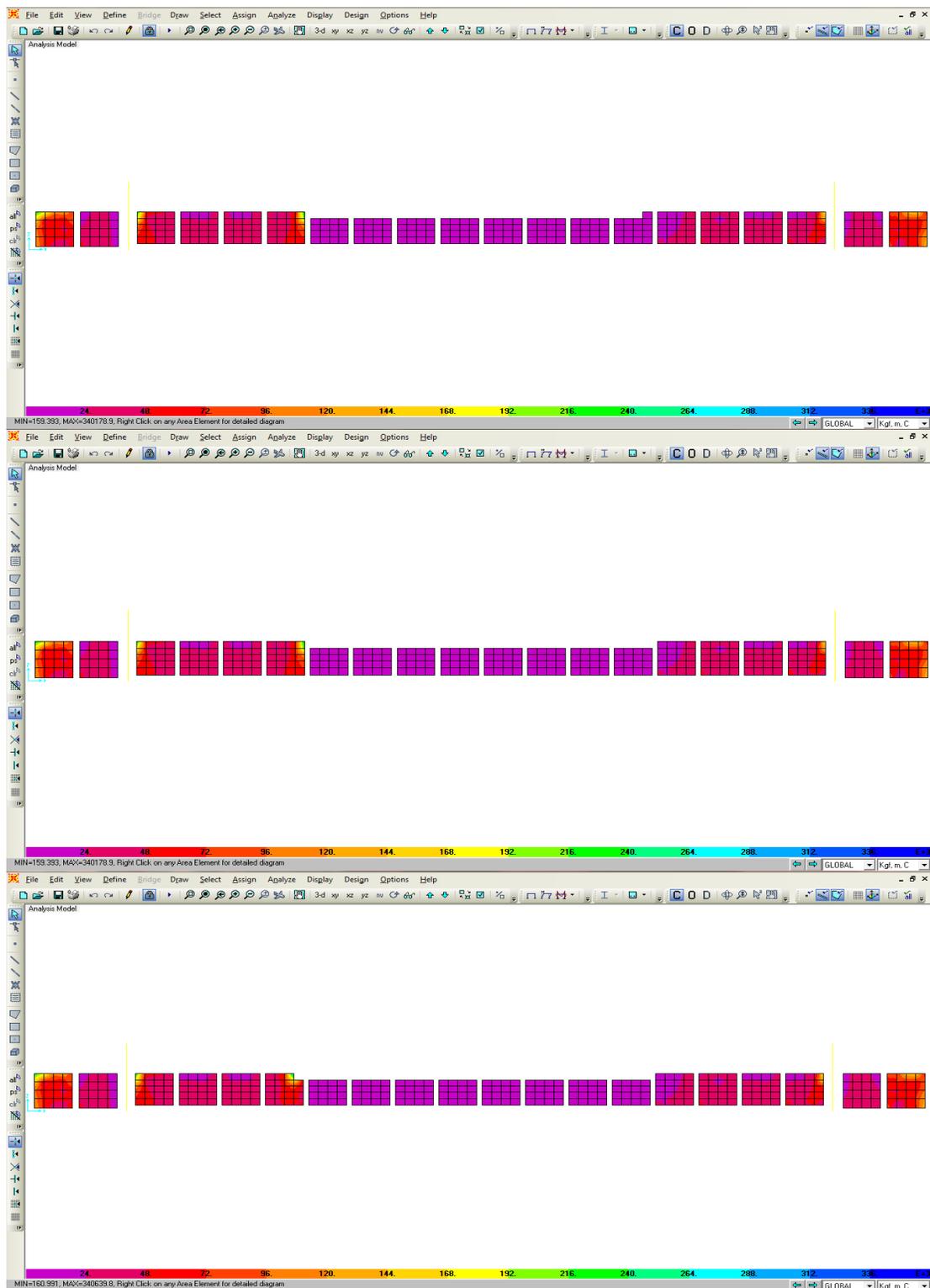
**Figura 127.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



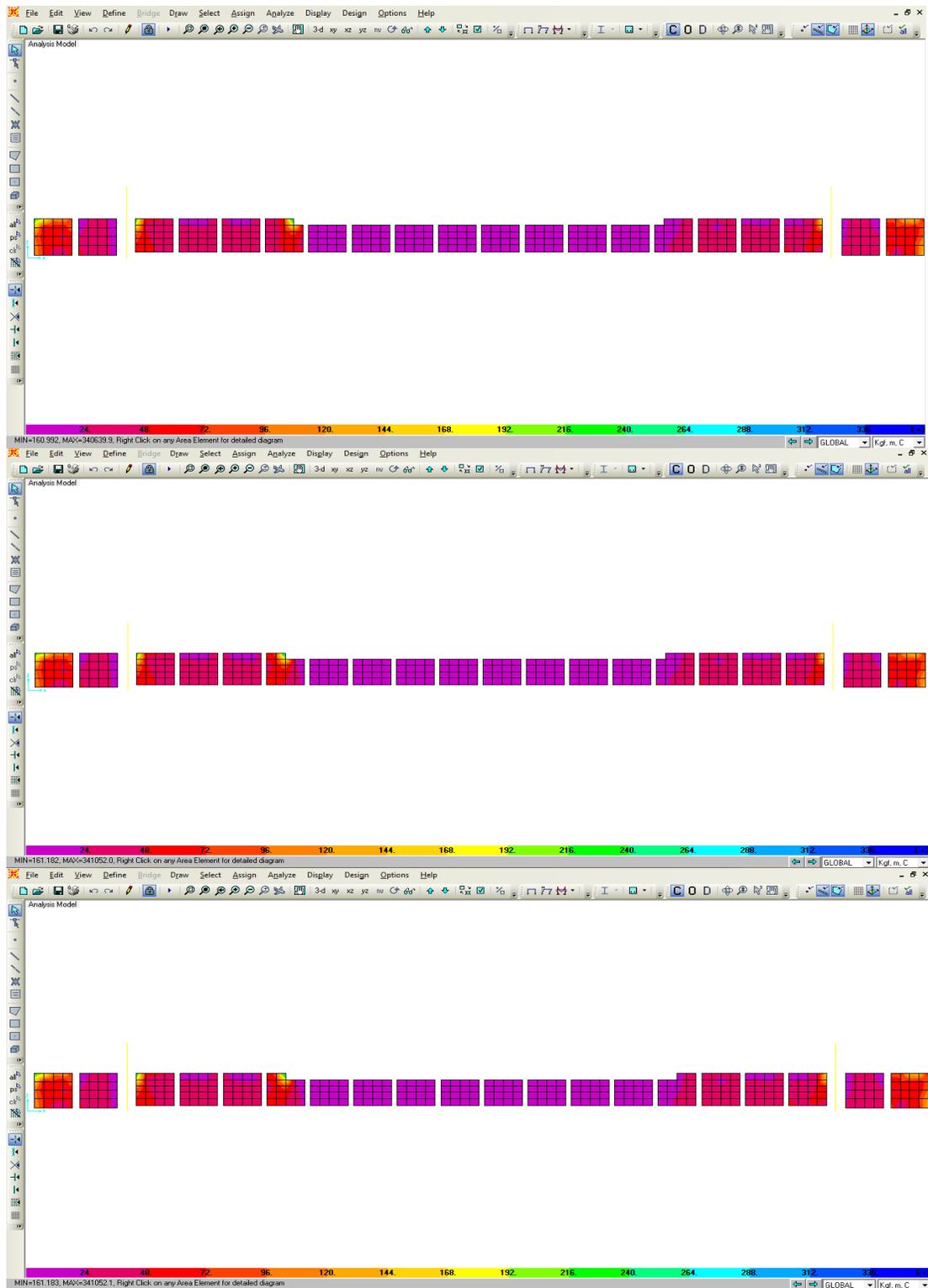
**Figura 128.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



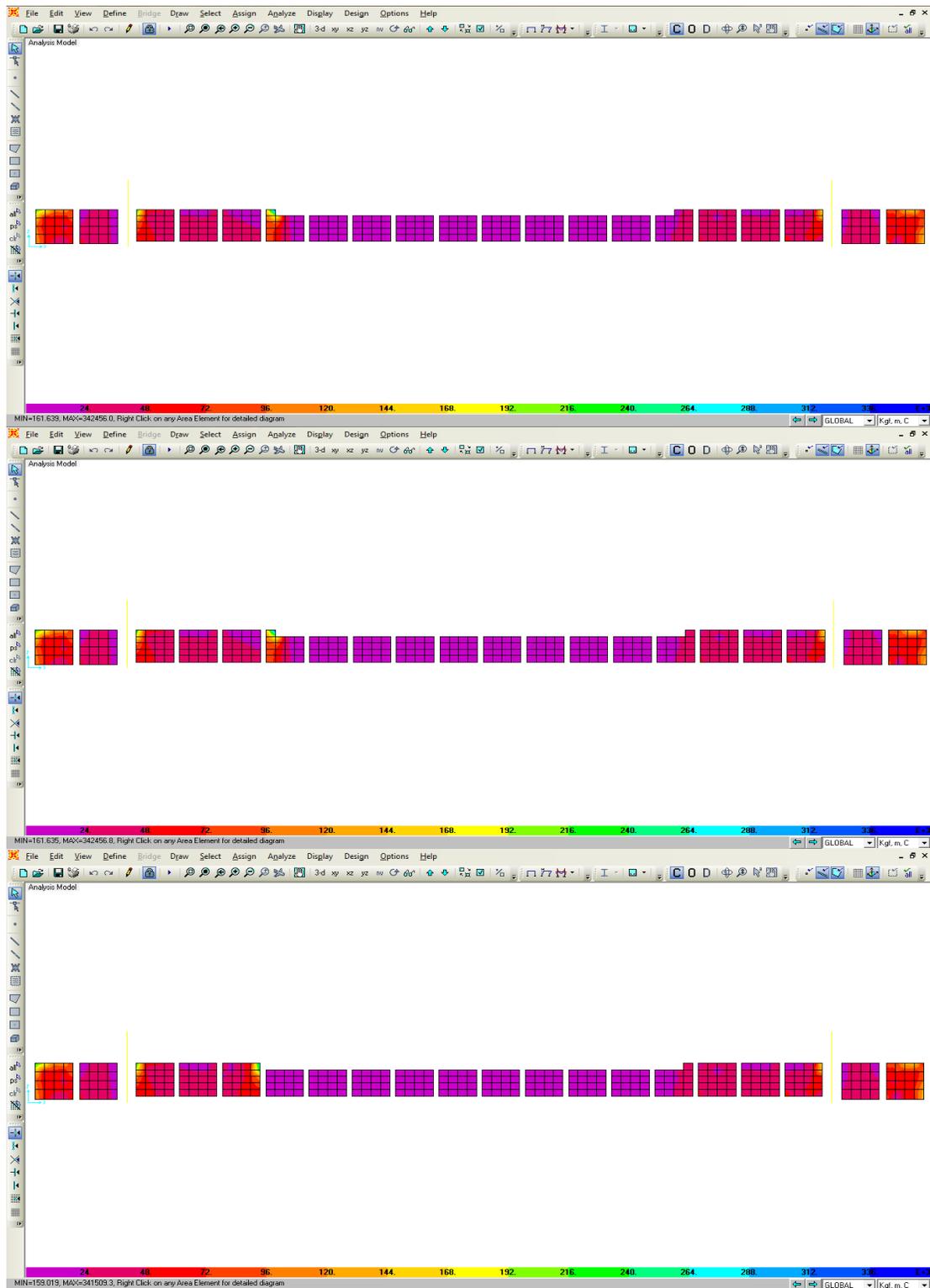
**Figura 129.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



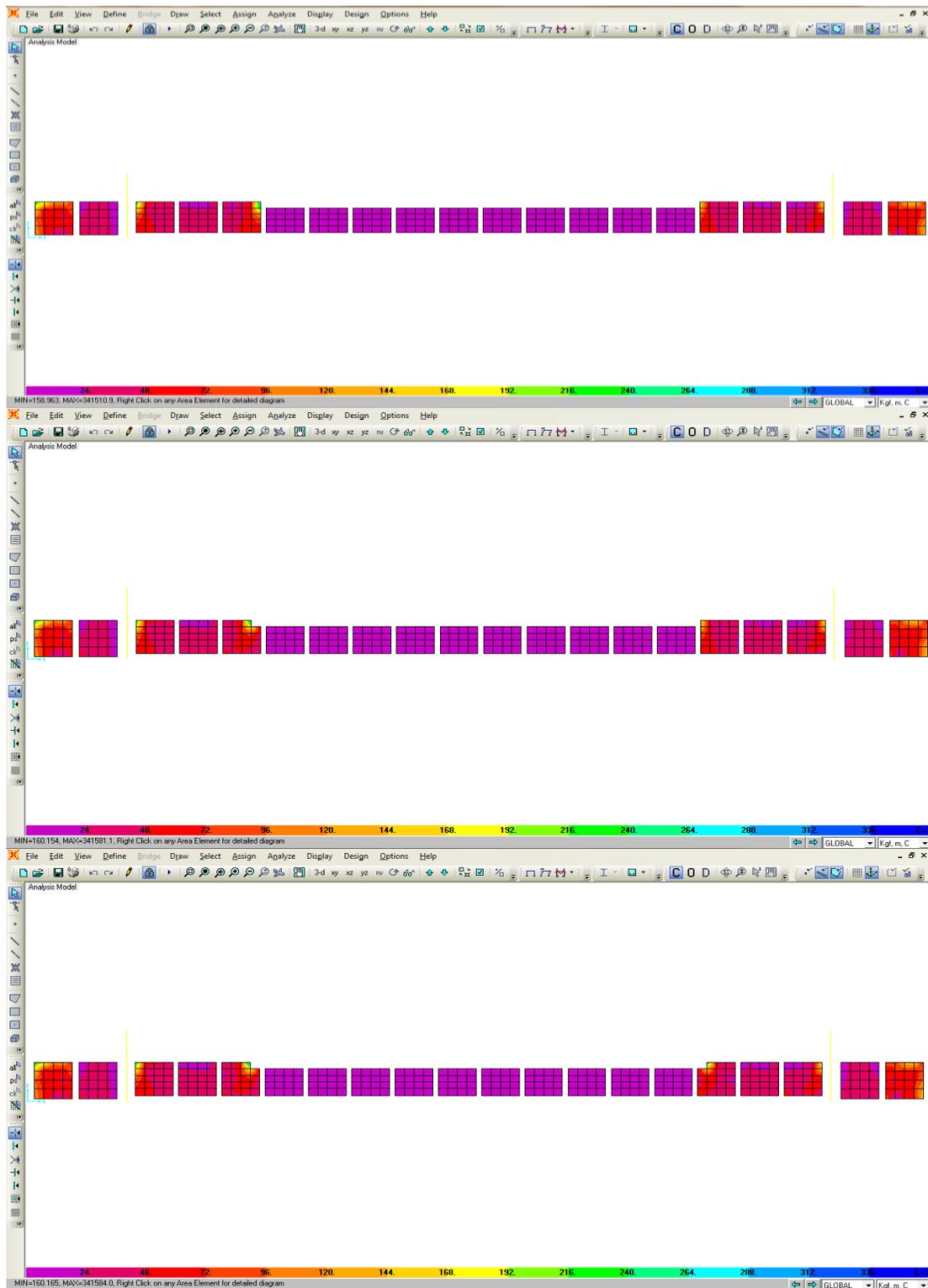
**Figura 130.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



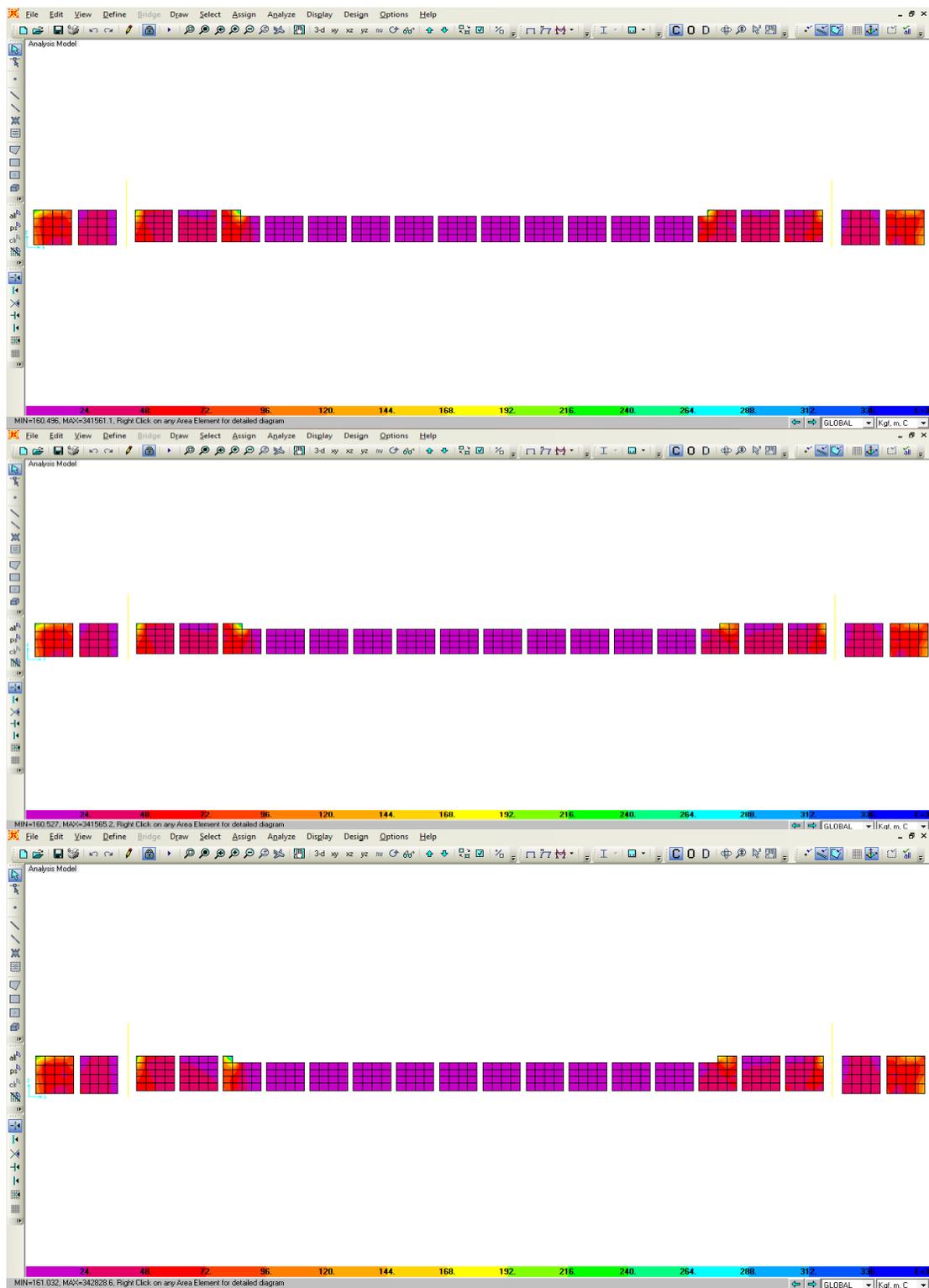
**Figura 131.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



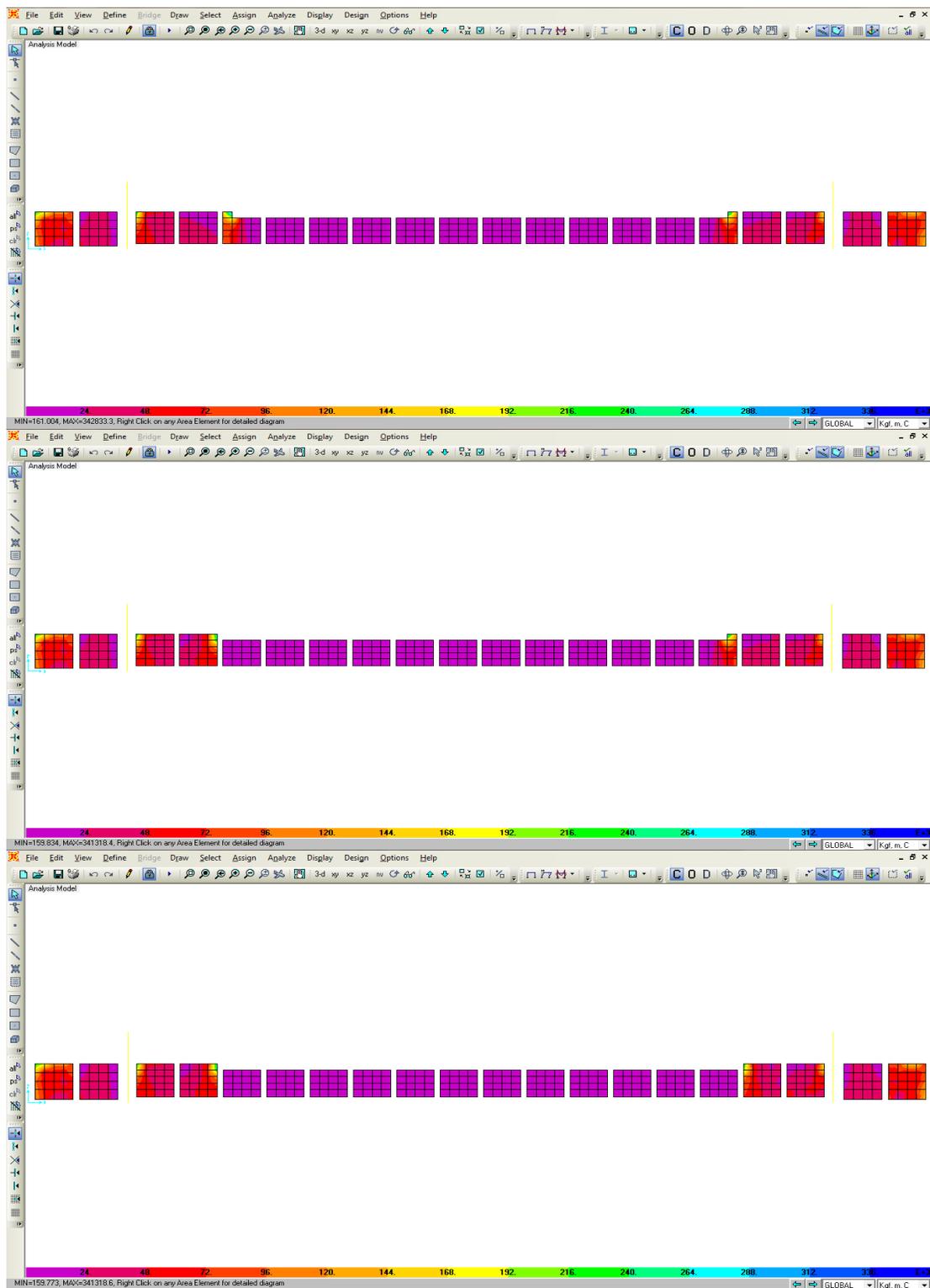
**Figura 132.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



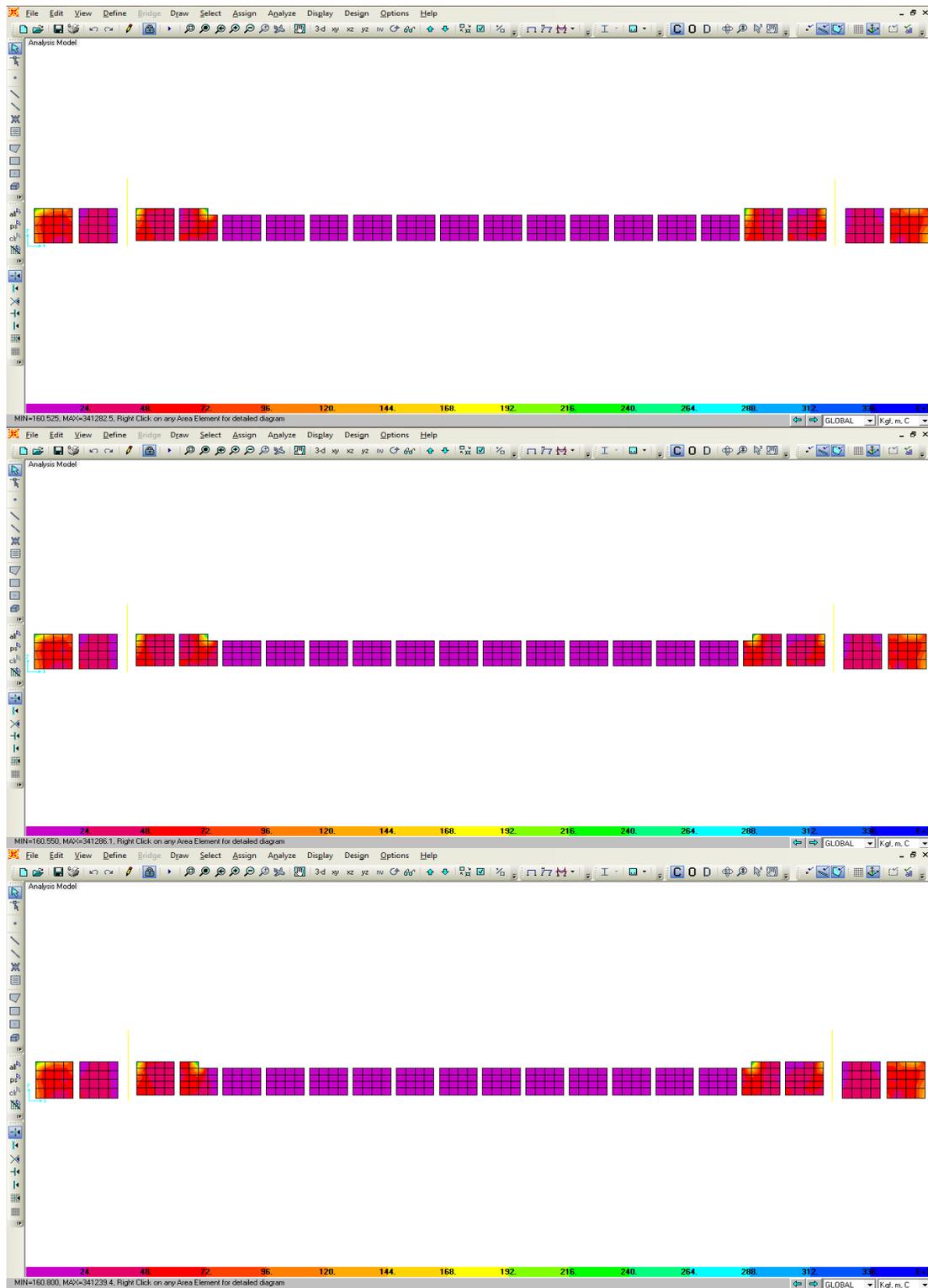
**Figura 133.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



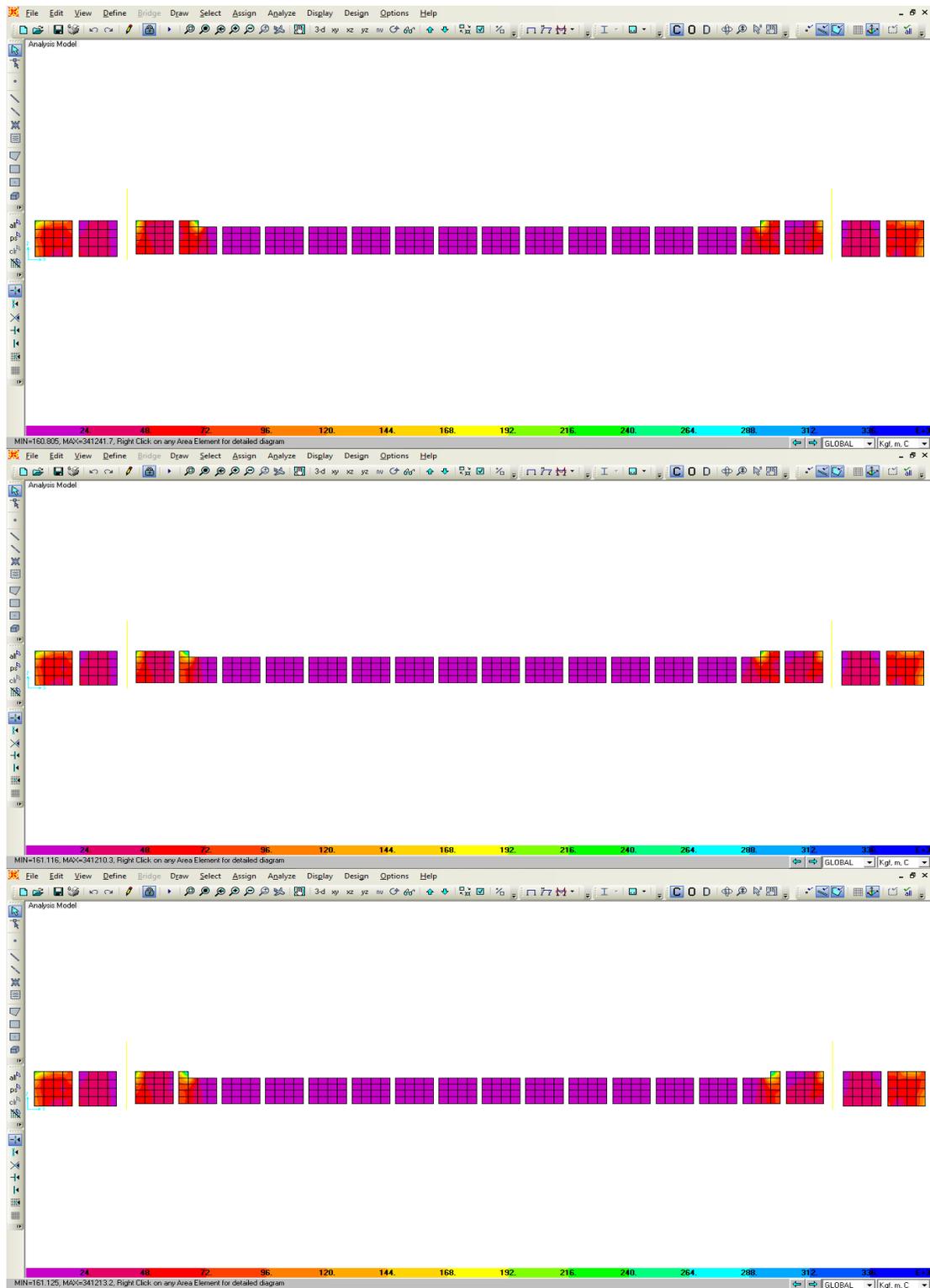
**Figura 134.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



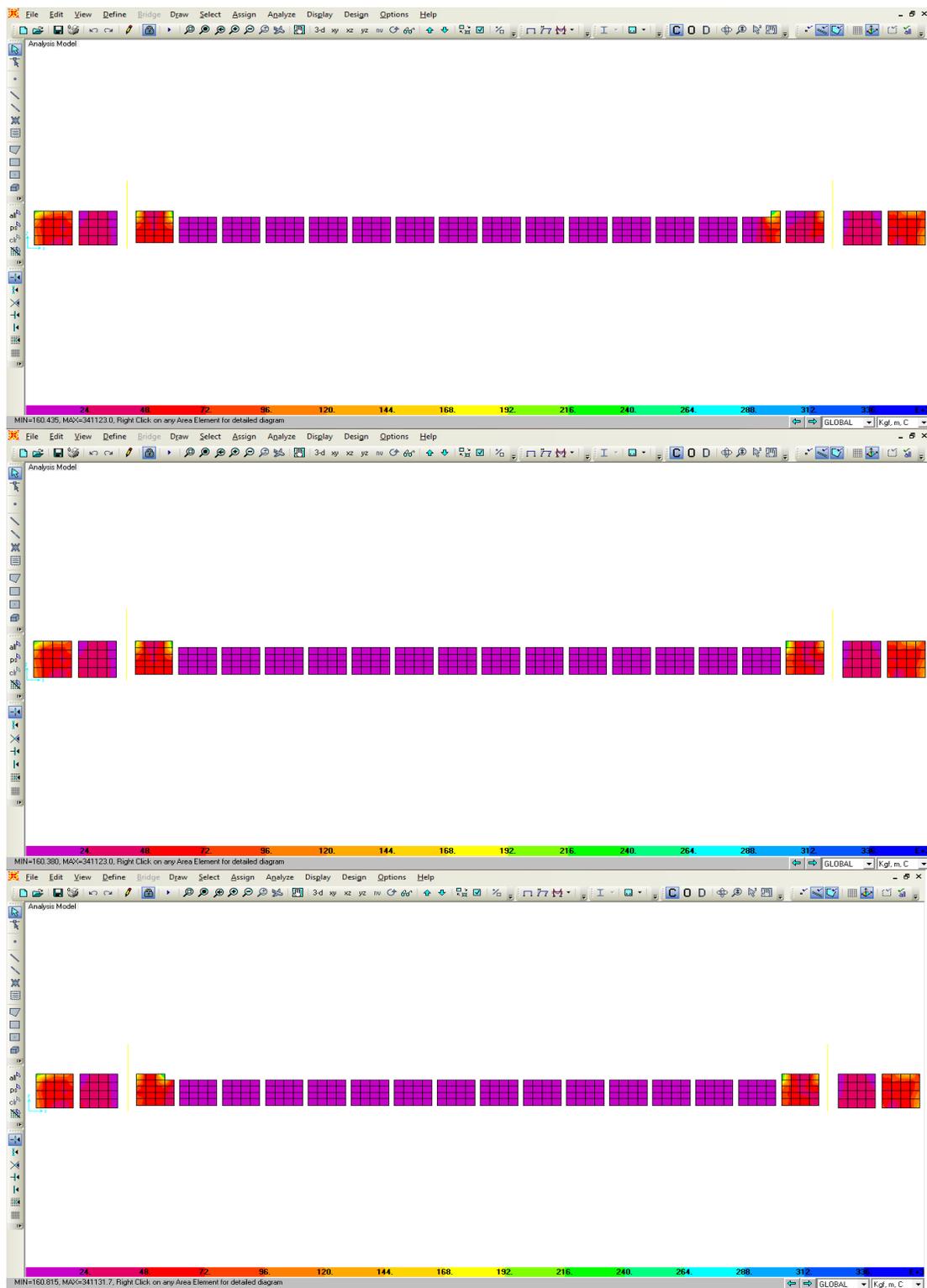
**Figura 135.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



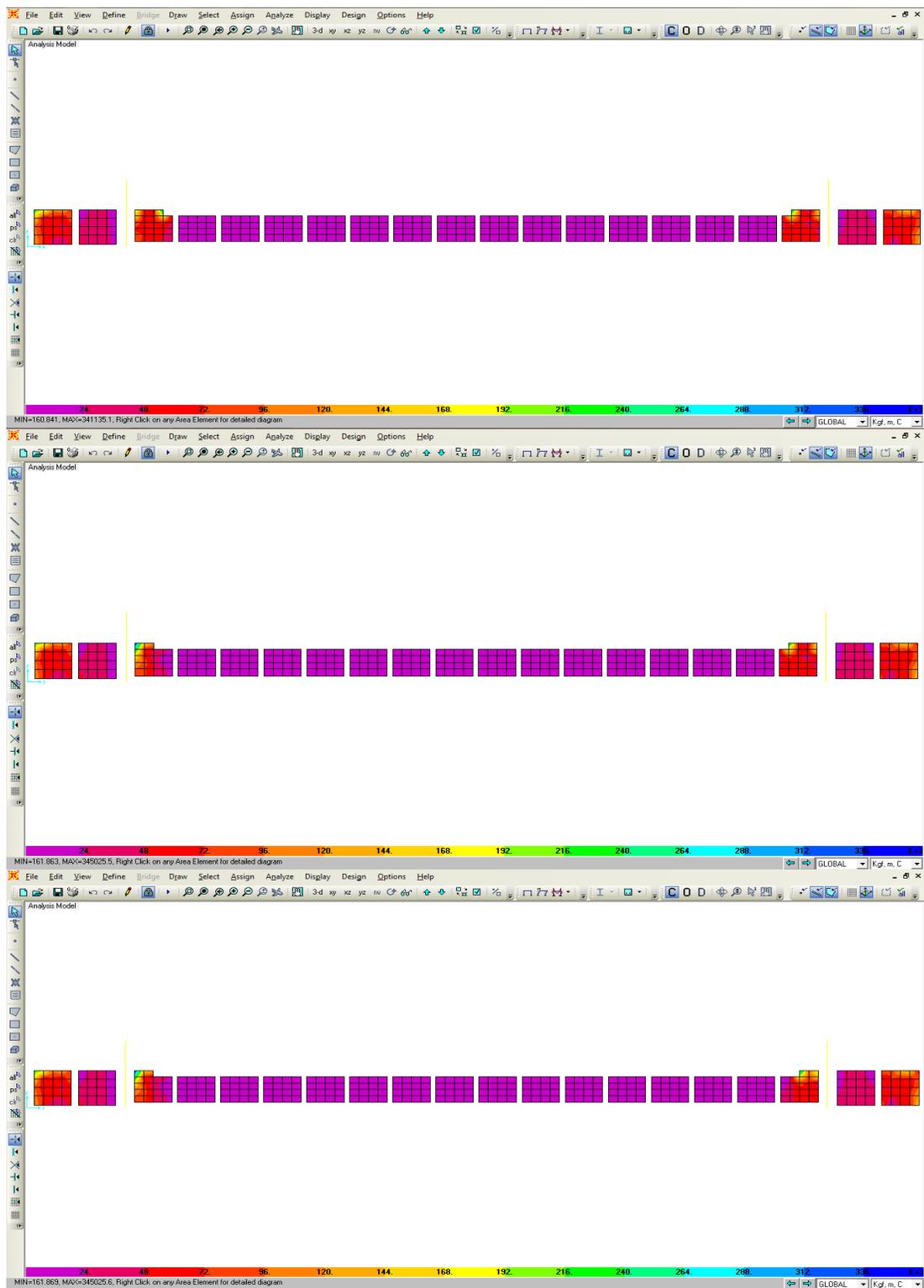
**Figura 136.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



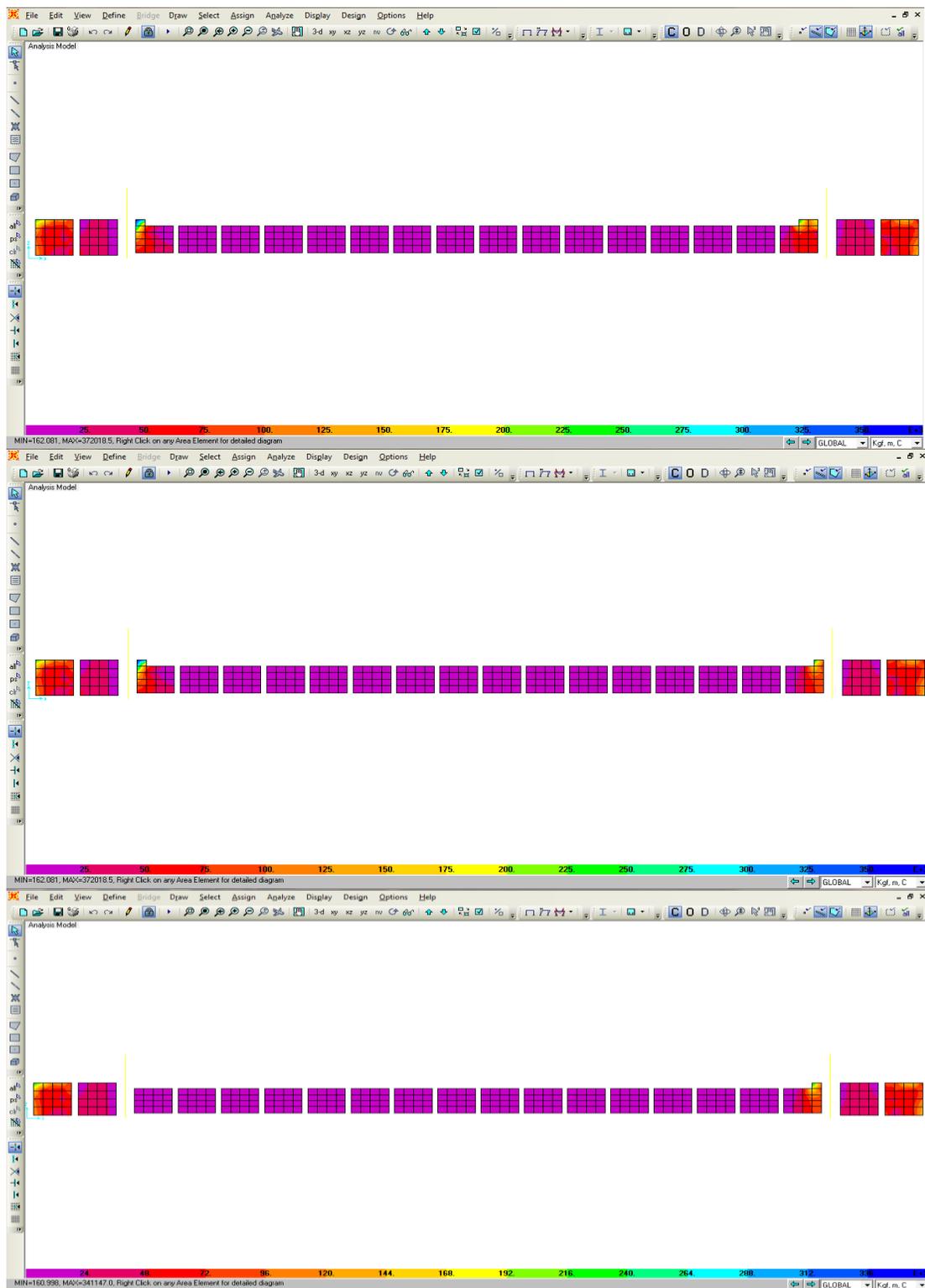
**Figura 137.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



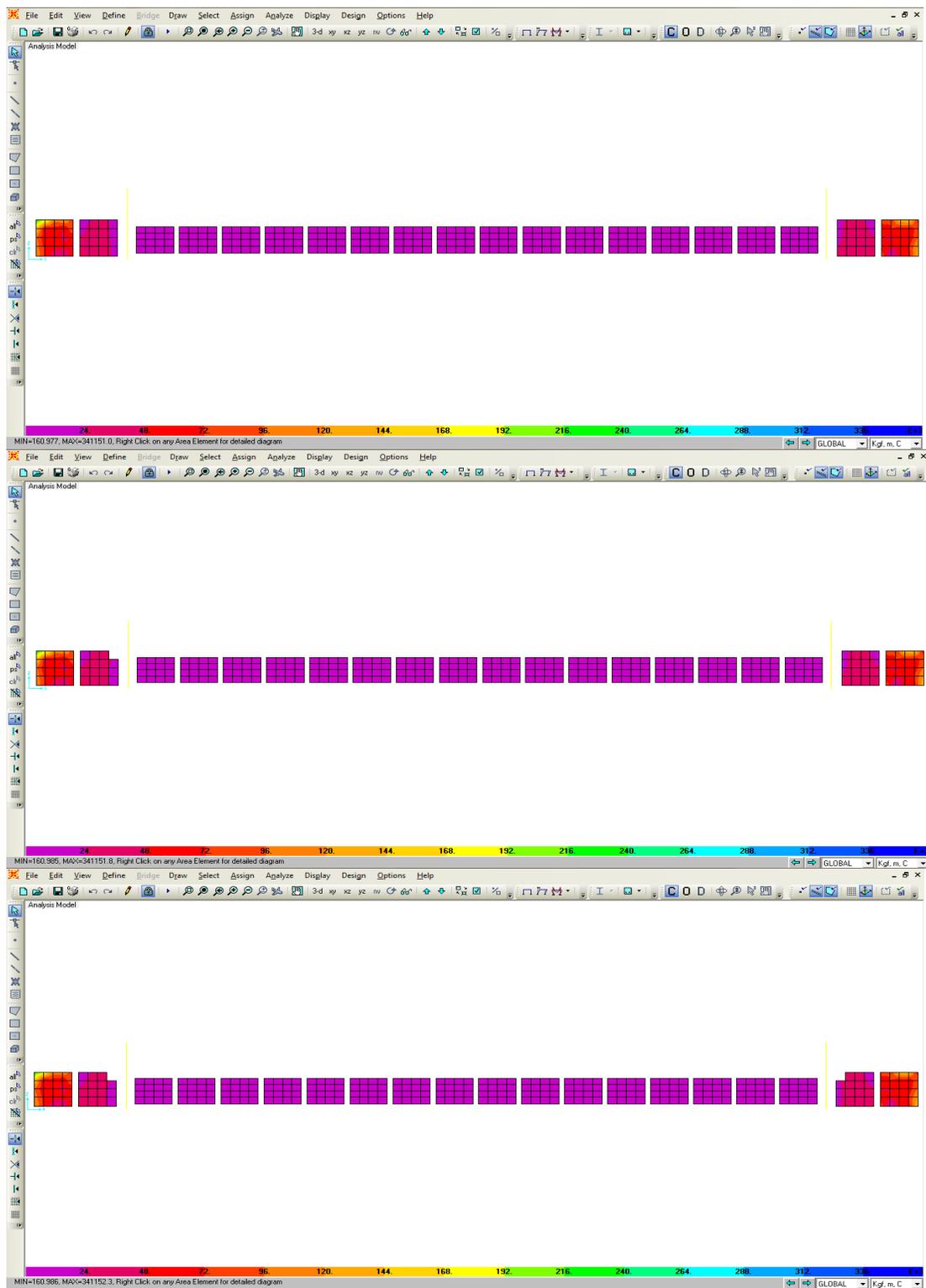
**Figura 138.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



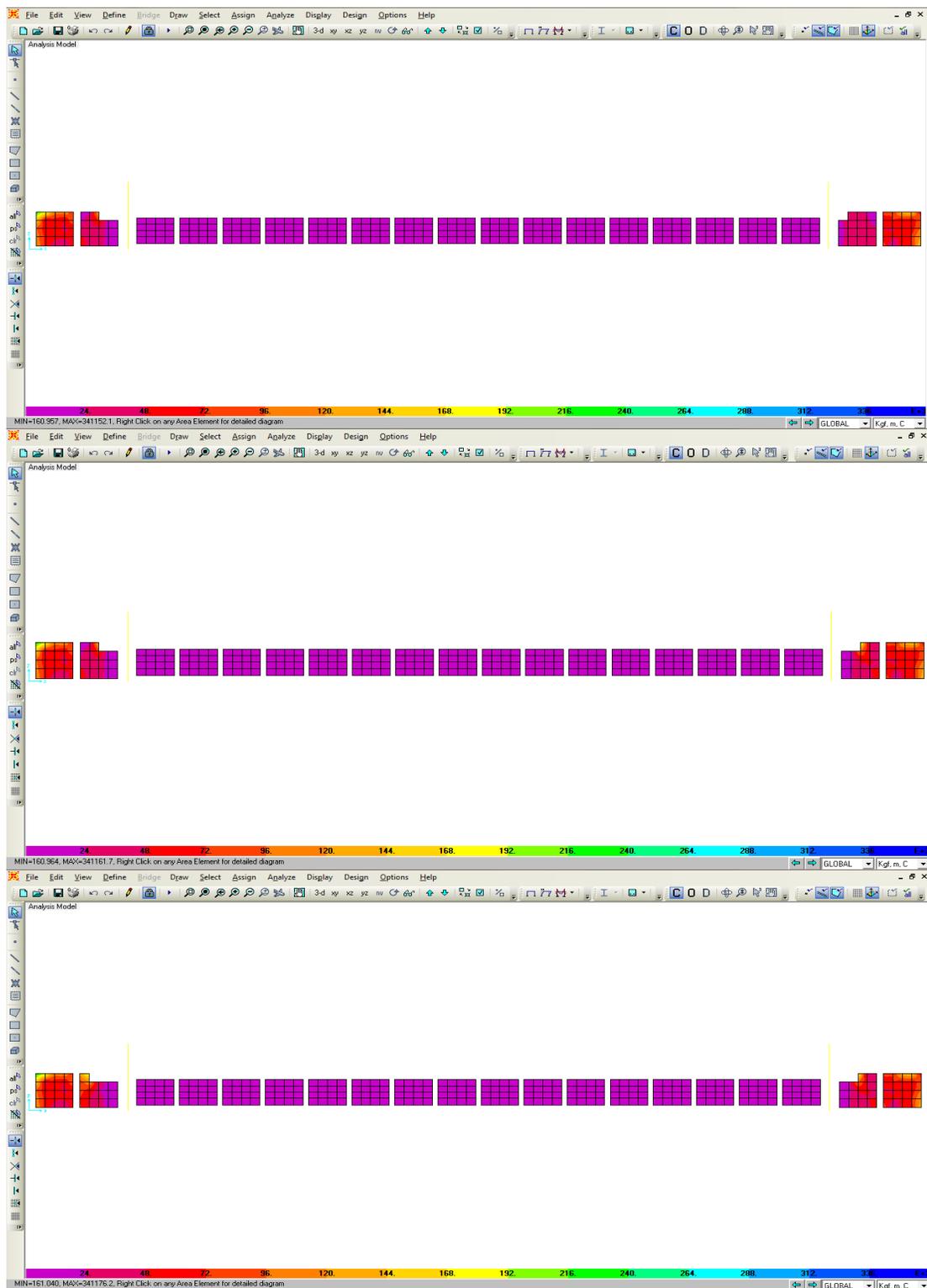
**Figura 139.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



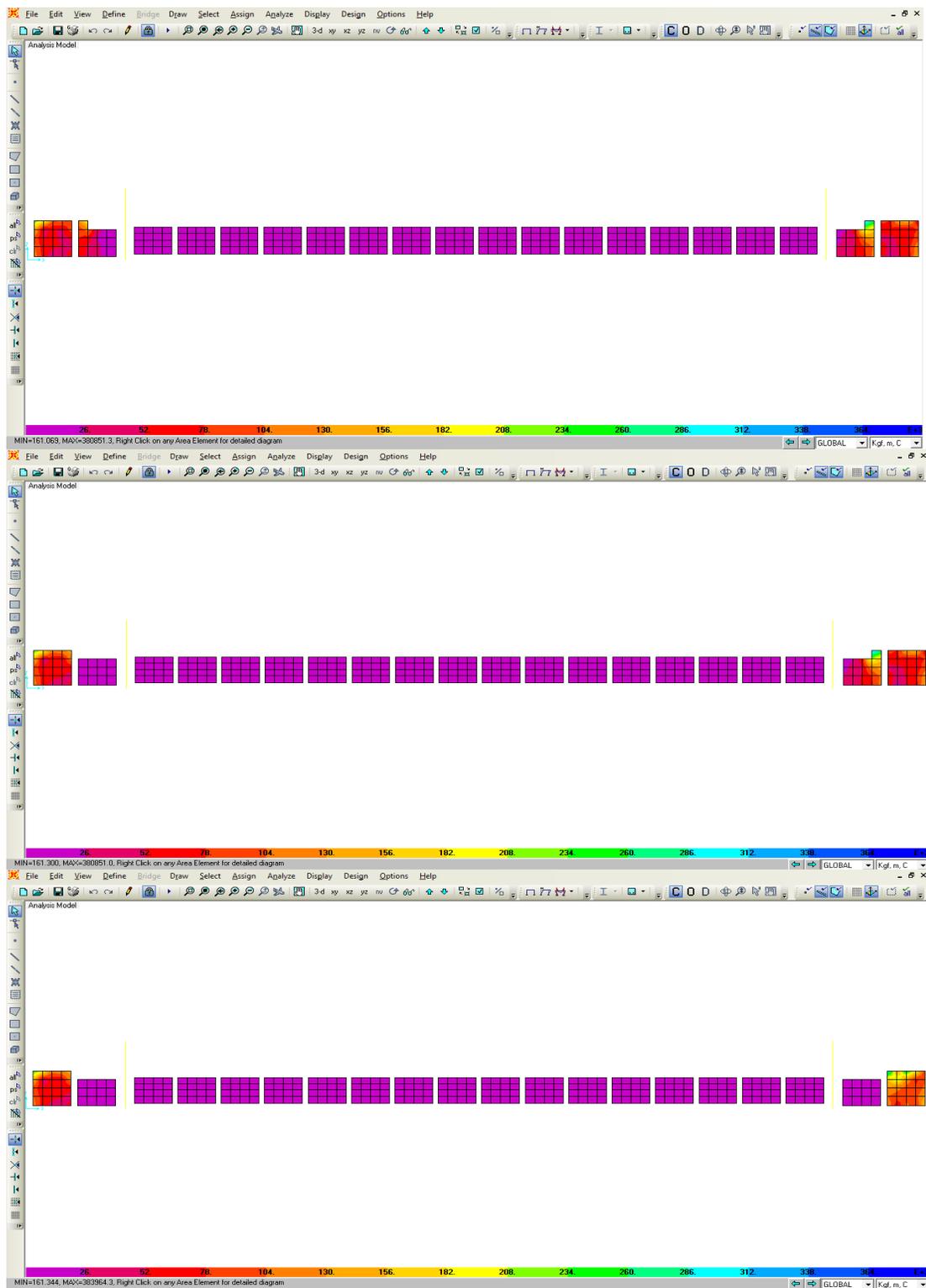
**Figura 140.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



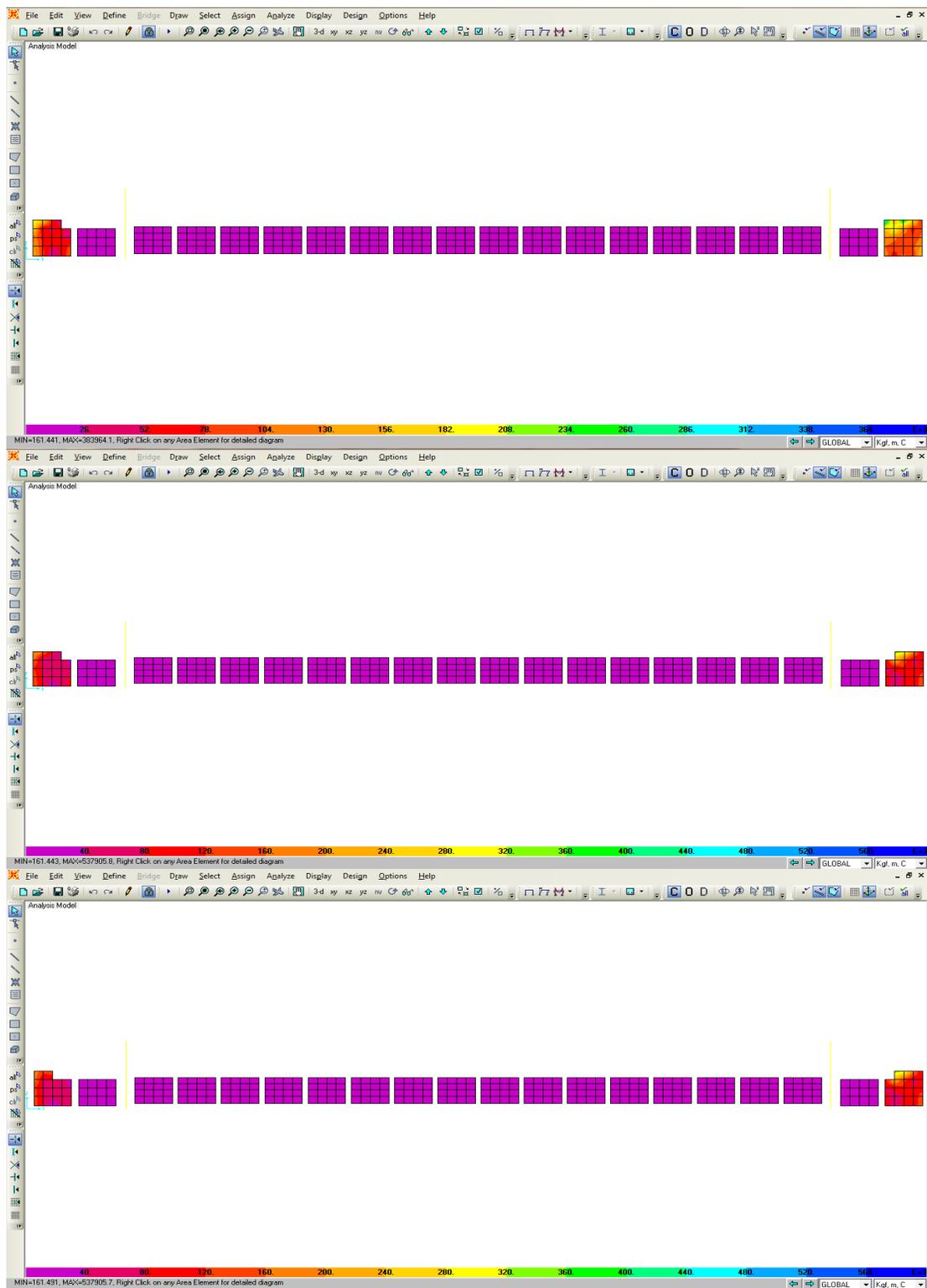
**Figura 141.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



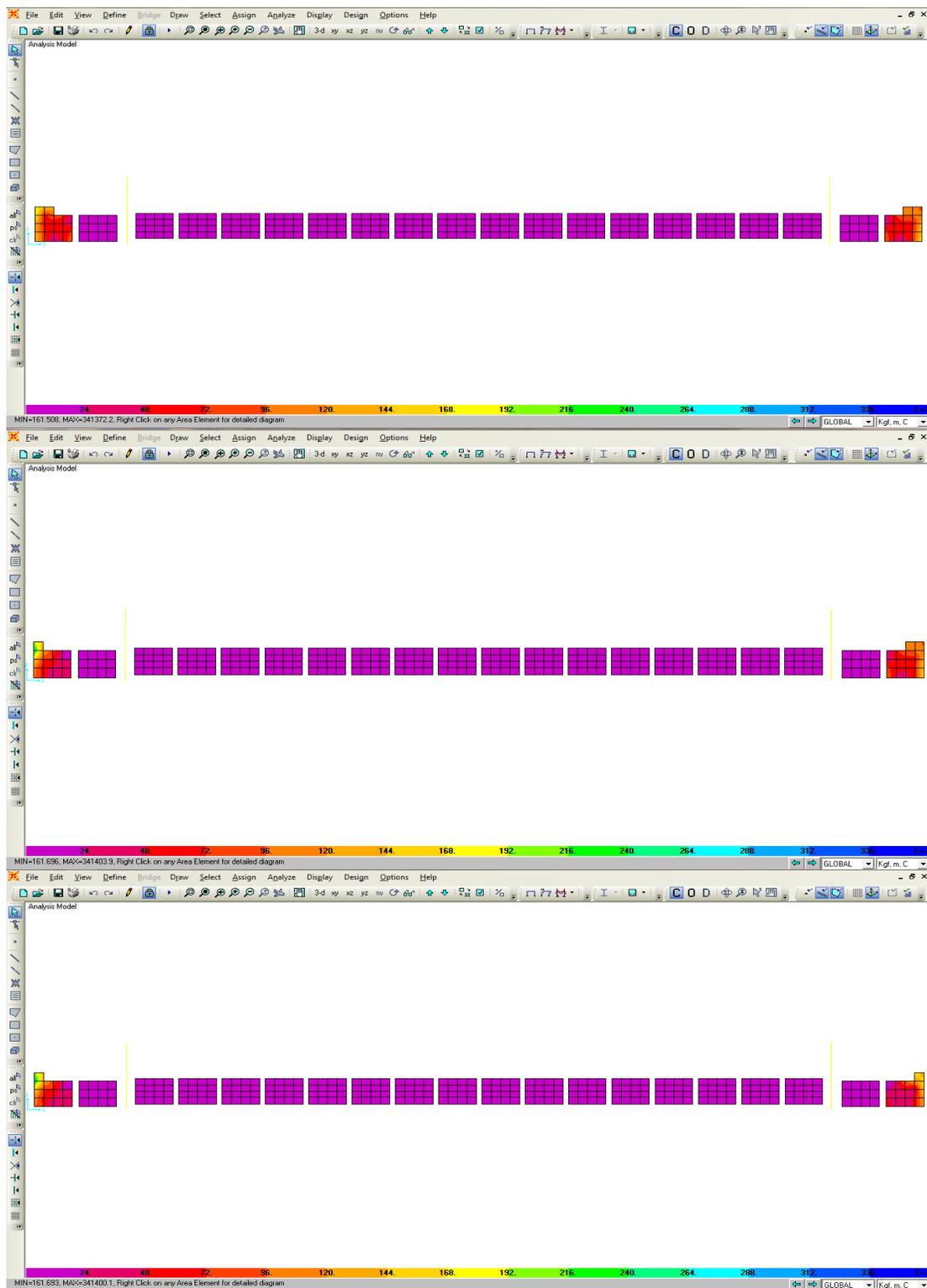
**Figura 142.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



**Figura 143.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



**Figura 144.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.



**Figura 145.** Secuencia Real de Extracción del Muro Colado

**Fuente:** Cálculos realizados por el investigador mediante el Programa SAP 2000.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **9. CONCLUSIONES**

En este trabajo de investigación se ha desarrollado una alternativa, mediante el método de demolición controlada, que como bien se sabe, la demolición es el proceso de deshacer una obra hasta conseguir su total remoción sin que se pretenda recuperar material alguno (caso de derribo). En las demoliciones, el proceso de destrucción está basado en los medios mecanizados más que en los manuales, más propios de derribos y rehabilitaciones.

Dentro de este orden de ideas, se puede significar que uno de los métodos más difundidos del cálculo de estructuras complejas es el Método de los Elementos Finitos (FEM), su particularidad consiste en que una construcción que es un continuo, se cambia por un análogo, que esta compuesto de pequeños elementos tridimensionales, de un número finito de bloques - Elementos, el comportamiento de los cuales es posible modelar y simular. La interacción entre elementos da la posibilidad de representar la cortina común del sistema deformado.

El MEF, está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas.

Cabe destacar, además, que este tipo de método, se ha vuelto una solución para la tarea de predecir los fallos debidos a tensiones desconocidas enseñando los problemas de la distribución de tensiones en el material y permitiendo a los diseñadores ver todas las tensiones involucradas. Este método de diseño y prueba del producto es mejor al ensayo y error en donde hay que mantener costos de manufactura asociados a la construcción de cada ejemplar para las pruebas.

Desde este punto de vista, se pueden mencionar las grandes ventajas del cálculo por ordenador y que resumen en los siguientes aspectos:

- Hace posible el cálculo de estructuras que, bien por el gran número de operaciones que su resolución presenta (entramados de muchos pisos, por ejemplo) o por lo tedioso de las mismas (entramados espaciales, por ejemplo) las cuales eran, en la práctica, inabordables mediante el cálculo manual.
- En la mayoría de los casos reduce a límites despreciables el riesgo de errores operativos.

Una vez conocido a grosso modo los aspectos teóricos del estudio, el investigador procedió a concluir una vez que analizó toda la información de su estudio que:

En primer lugar, es importante resaltar que, la utilización del método invertido en su versión de túneles gemelos como técnica constructiva lleva a la búsqueda de un procedimiento de demolición del muro colado central que es utilizado durante la primera etapa de construcción de la estación como muro de contención.

De esta manera, la operación del tren en conjunto con la ejecución de la demolición conlleva a la creación de un método que permita la demolición controlada del muro colado central sin afectar la continuidad del funcionamiento del sistema.

Cabe considerar, por otra parte que, el estudio previo de la geometría y el espacio libre que contiene la estructura a demoler restringen el tipo de maquinaria utilizada para el corte y extracción que permitieron ejecutar la demolición con mayor facilidad.

Debe señalarse, además que los recesos dejados en las losas para la extracción de material de excavación y demolición juegan un papel determinante debido a que son utilizados como canal de transición tanto para la extracción de material como para el transporte de equipos que lleven a cabo la excavación y demolición. Tomando en consideración la estimación de las dimensiones de corte y el peso del bloque están condicionados a las dimensiones y potencia que tenga el equipo utilizado para la excavación y demolición.

Desde este punto de vista, es importante resaltar que la cuadrícula de corte fue la misma tanto en la secuencia teórica como en la ejecución real de la demolición del muro colado central.

De igual manera; se puede decir, que el peso de la losa mezzanina transmitido al muro colado central, el cual funciona como punto de apoyo dificulta su extracción.

Así mismo, el equipo utilizado para el corte limita el diseño de la cuadrícula a realizar sólo cortes horizontales y verticales, debido a que el realizar cortes en ángulo puede generar irregularidades en la superficie de

corte que dificulten la extracción de los bloques cortados y/o comprometan la condición de estabilidad al momento de realizar la extracción.

Por lo que se consideró necesaria la utilización del método de cálculo (MEF) a través del software (SAP 2000), para estudiar la distribución y el comportamiento de las tensiones en el material en la medida que se realiza la secuencia de extracción ayuda a predecir el comportamiento de la estructura a demoler y anticiparse a las posibles fallas evitando así errores que puedan afectar a la estructura, elevar los costos y el tiempo de ejecución de la obra.

De igual manera, se consideró una de las hipótesis del modelo de cálculo para poder realizar su representación dentro del programa, la cual transmite los momentos a través del empotramiento de los muros colados perimetrales y la losa de mezzanina, debido a la geometría de la estructura los momentos transmitidos no deben afectar su comportamiento.

Cabe destacar además, que la concentración de esfuerzos en los elementos en contacto con la losa mezzanina, en la medida que se extraen los elementos cortados, supera los esfuerzos admisibles del concreto a compresión que para el caso es de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , esto puede causar daños a la estructura, por lo que fue necesario, la incorporación de un perfil de acero estructural que funcione como puntal para realizar una redistribución de cargas y los esfuerzos concentrados, que facilitó el proceso de extracción de los elementos cortados y evita el daño a las estructuras permanentes de la estación.

Visto de esta forma, lo anterior permite señalar que el corte horizontal debe ser realizado en forma conjunta con la extracción de los bloques cortados para evitar un efecto de vuelco en dos bloques sobre puestos y comprometer la estabilidad del muro colado central al momento de su

demolición. De igual manera, se debe señalar que, la extracción de la línea de bloques en contacto con la losa mezzanina debe ser ejecutada según la secuencia simulada para realizar el menor esfuerzo al momento de su extracción.

Una vez extraída la línea de contacto se pudo realizar la secuencia de extracción de los bloques restantes, de acuerdo a como sea más conveniente siempre respetando el principio de estabilidad del muro con el menor riesgo.

### **Recomendaciones**

Después de haber culminado la investigación y presentadas las conclusiones finales el investigador consideró necesario plantear las siguientes recomendaciones, considerándolas como correctivos para eliminar las deficiencias que vienen presentando en la Demolición Controlada del Muro Colado Central de una estación de la Línea 3 del Metro de Caracas, entre las Estaciones Coche y Jardines.

- Las hipótesis del modelo de cálculo, sólo debe ser aplicada en estaciones donde la geometría sea simétrica y favorezca el comportamiento de la estructura.
- Los recesos deben ser dejados lo suficientemente amplios de tal forma que se pueda bajar los equipos con la capacidad adecuada para realizar los trabajos de excavación y extracción de elementos demolidos.
- Colocar cuñas hechas con barras de acero de 3/8 pulgada y 5 cm de longitud durante la realización de los cortes horizontales para facilitar la ejecución del corte y la extracción del elemento.

- Colocar un encofrado de menor resistencia al concreto al momento de vaciar la sección de la losa mezzanina en contacto con el muro colado central.
- Evitar que queden elementos pertenecientes al armado del muro colado central sobre la cota inferior de la losa mezzanina al momento de ser vaciada, esto puede generar anclajes parciales entre la losa y el muro y dificultar el proceso de extracción.
- Ejecutar los trabajos de acabados y mampostería posterior a la demolición del muro debido a que los asentamientos en la losa mezzanina al retirar el muro colado central pueden afectarlos.
- Nivelar las poleas al momento de realizar el corte horizontal para evitar la formación de cuñas que impidan la extracción del bloque cortado.
- Evaluar periódicamente el proceso, sin dejar de mencionar que se deben inspeccionar simultáneamente todas las acciones y medidas de higiene y seguridad para protección no sólo de los trabajadores, sino del proceso de demolición controlada del muro colado central que es objeto de esta investigación para reducir el riesgo en su mínima expresión.

## REFERENCIAS

- Álvarez, R. (2000). *Calculo de Estructuras*. (Tomos I y II). Madrid: Editorial ETSIM.
- Álvarez. (1986). *Uso de la simulación numérica donde se transforman las ecuaciones a una forma integral y se discretizan*.
- American Instituto of Steel Construcción, INC. (2005). *Specificación of Structural Steel Building*. USA.
- Ander – Egg, E. (2000). *Técnicas de Investigación Social*. Argentina. Editorial Arce Montereal.
- Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación*. (5ta.ed). Caracas- Venezuela: Episteme.
- Atlas. CopCo. (2008). *Escombros y Demoliciones*. España.
- Balestrini, M. (2003). *Como Hacer un Proyecto de Investigación*. Caracas: Consultores C & S.
- Burbano de E, S. (2003). *Física general*. Editorial Tebar.
- Calavera. J. (1985). *Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado para Edificios*. Tomo II. Madrid: INTEMAC.
- Cervera, R y Blanco, E (2006). *Mecánica de estructuras 2. Métodos de análisis*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Chávez. (2006). *Simulación y Optimización en Ingeniería Civil*.
- Flames, P. (2000). *Métodos de Investigación*. Madrid: Ediciones Andaluza.
- Fornons, J. (1989). *Método de los Elementos Finitos en la ingeniería*.
- González, M. (2000). *Métodos de Investigación y Procesamiento de Información*. México: Editorial Mc Graw – Hill. Interamericana, S.A.
- Guardiola, L. (2008). *Propuesta de Mejoras del Proceso de Envasado en Cervecería Regional ubicada en Cagua Estado Aragua*. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Industrial. Maracay.

- Hernández, R. Fernández, J. y Baptista, P. (2003). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill. Hispanoamericana, S.A.
- HILTI. (2010). *Hilti América Latina*. (Fabricante de Maquinarias para Perforaciones y Demoliciones).
- Lepe y Martínez. (2007). *Reciclaje de los residuos de demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas*.
- Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo. (2005). *República Bolivariana de Venezuela Gaceta Oficial N° 38.236*. Martes 26 de Julio de 2005. Caracas.
- Ley Orgánica del Ambiente. (2006). *República Bolivariana de Venezuela Gaceta Oficial N° 5.833*. Extraordinario del 22 de diciembre de 2006. Deroga la Gaceta Oficial N° 31.004 de fecha 16 de junio de 1976. Caracas.
- Martínez, R. (2006). *Mejoras a los Procesos de Fabricación en Serviacero*. C.A. Para optar al título de Ingeniero Industrial de la Universidad de Carabobo. Valencia.
- Méndez, C. (2001) *Metodología. Guía para elaborar diseños de investigación en ciencias Económicas, Contables y Administrativas*. Colombia. Editorial Mc Graw – Hill. Interamericana, S.A.
- Muñoz, F. (2000). *Una Contribución a la Modelización y Virtualización Numérica de Estructuras Arquitectónicas*. Tesis Doctoral para Optar al Grado de Doctor Arquitecto. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona – España.
- Normas de Calidad (2007). *Normas de Calidad de la Comunidad Europea aplicada a las Lavadoras de Botellas*. España.
- Norma COVENIN. (2002). *Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones*. España.
- Normas COVENIN 2246-90. *Demolición y Remoción. Especificaciones y Acciones para Demolición y Remoción de Escombros*
- Parella, S y Maritns, F. (2003). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. Caracas-Venezuela. Fondo Editorial UPEL.
- Perri, J. (1997). *Método numérico para el diseño técnico de muros colados anclados utilizando elementos finitos*.

- Perri y otros. (1981). *Método de elementos finitos y la simulación en el campo de la ingeniería y estructuras*. México: Editorial Mc Graw – Hill. Interamericana, S.A.
- Rivero, A. (2004). *Origen de un medio gráfico y un arte. (Tres dimensiones en la historia de la fotografía)*. España: Editorial Miramar.
- Sabino, C. (2001). *El Proceso de la Investigación*. Caracas Venezuela: Editorial Panapo.
- SAP2000. SAFE. Computer. Software for. Structural & Earthquake Engineerine. Devolped and Wrillering. USA.
- Timoshenko, S. J. (1974). *Mecánica de Materiales*. México: Editorial Uteha.
- Timoshenko, S Y Goodier, G. (1974). *Teorías de Elasticidad*. 3ra. Ed. New York: Editorial Mc Graw – Hill. Interamericana, S.A.
- Timoshenko, S. y Gere, J. (2002). *Resistencia de materiales*. Madrid: Editorial.
- Timoshenko, S y Young, D.H. (1983). *Teoría de las Estructuras*. Bilbao: Editorial Urmo.
- Torroja, E. (1898). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Tralci, I. (2006). *Sistema de contención para la ejecución del método invertido en la estación de coche de la línea tres del metro de caracas*. Universidad Metropolitana. Caracas.
- Tamayo y Tamayo, M. (2001). *El Proceso de la Investigación Científica*. México. Editorial Limusa.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (UPEL, 2006). *Manual de Trabajo de Grado, de Especialización, Maestrías y Tesis Doctorales*. Caracas - Venezuela. Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (Ediciones FEDUPEL).
- Walton, D. (2000). *Manual Práctico de Construcción*. España: AMV Ediciones.
- Zorrilla y Torres. (2000). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. México. Editorial Océano.
- Zienkiewicz, T. (2003). *El Método de los Elementos Finitos. (MEF)*. España. Editorial Cimne.

## **ANEXOS**

**ANEXO A1**

**PLANO MÉTODO CONSTRUCTIVO DEMOLICIÓN MURO  
COLADO CENTRAL  
(Plano: MC-411-01-R0)**



**ANEXO A1**  
**GEOMETRÍA PLANTA - TECHO**

Plano (ES-401-03-R0)



**ANEXO A2**  
**GEOMETRÍA PLANTA MEZZANINA**

Plano (ES-401-04-R0)



**ANEXO A3**

**GEOMETRÍA DE PLANTA MURO COLADO Y MURO GUÍA**

Plano (ES-401-00-R5)



**ANEXO A4**  
**GEOMETRÍA SECCIÓN B-B**

Plano (ES-401-10-R0)



**ANEXO B**

**GUÍA DE DISEÑO DE ESTRUCTURA DE ACERO POR ESTADO LÍMITE.  
(UCV-1999)**



**ANEXO C**  
**ESPECIFICACIONES DE MAQUINARIAS**

**Motor**

Potencia neta al volante

138 hp

Potencia neta - ISO 9249

138 hp

Potencia neta - SAE J1349

138 hp

Potencia neta - EEC 80/1269

138 hp

Calibre

4.02 pulg

Carrera

5.12 pulg

Cilindrada

389 pulg<sup>3</sup>**Pesos**

Peso en orden de trabajo

44820 lb

Peso en orden de trabajo - Estándar Tren de rodaje

44820 lb

**Mando**

Tracción máxima en la barra de tiro

46311 lb

Velocidad de desplazamiento máxima

3.5 millas/h

**Sistema hidráulico**

Sistema del implemento principal - Caudal máx. (2x)

54 gal/min

Presión máx. - Equipo

	5076 lb/pulg <sup>2</sup>
Presión máxima - levantamiento pesado	
	5221 lb/pulg <sup>2</sup>
Presión máx. - Desplazamiento	
	5076 lb/pulg <sup>2</sup>
Presión máx. - Giro	
	3626 lb/pulg <sup>2</sup>
Sistema piloto - Caudal máximo	
	9 gal/min
Sistema piloto - Presión máxima	
	566 lb/pulg <sup>2</sup>
Cilindro de la pluma - Calibre	
	4.7 pulg
Cilindro de la pluma - Carrera	
	49.6 pulg
Cilindro del brazo de excavación de gran volumen - Calibre	
	5.5 pulg
Cilindro del cucharón de la Familia B1 - Calibre	
	4.7 pulg
Cilindro del brazo de excavación de gran volumen - Carrera	
	59.2 pulg
Cilindro del cucharón de la Familia B1 - Carrera	
	43.5 pulg
Cilindro del cucharón de la Familia CB2 - Calibre	
	5.3 pulg
Cilindro del cucharón de la Familia CB2 - Carrera	
	45.5 pulg

---

**Capacidades de llenado**

Capacidad del tanque de combustible

108 gal

Sistema de enfriamiento	6.6 gal
Aceite de motor	8 gal
Mando de giro	2.1 gal
Mando final (cada lado)	2.1 gal
Sistema hidráulico (incluido el tanque)	69 gal
Tanque hidráulico (incluyendo la tubería de succión)	36 gal

---

### Mecanismo de rotación

Velocidad de giro	11.5 RPM
Par de giro	45612 lb-pie

### Dimensiones

Ancho para el transporte	125.2 pulg
--------------------------	------------

---

### 1. Cargador Caterpillar mediano 953D

#### Motor

Potencia en el volante	148 hp
Modelo de motor	Motor C6.6 ACERT™ Cat®
Potencia neta - Caterpillar	148 hp

Potencia neta - ISO 9249

148 hp

Potencia neta - SAE J1349

148 hp

Potencia neta EEC 80/1269

148 hp

Calibre

4.13 pulg

Carrera

5 pulg

Cilindrada

402.76 pulg<sup>3</sup>

---

## Pesos

Peso en orden de trabajo

34381 lb

---

## Cucharones

Capacidad - Uso general

2.42 yd<sup>3</sup>

Capacidad - Uso múltiple

2.09 yd<sup>3</sup>

Ancho del cucharón - Uso general

97.8 pulg

Ancho del cucharón - Uso múltiple

97.3 pulg

---

## Tren de rodaje

Tipo de zapata de cadena

Garra doble

Ancho de la zapata de cadena - Estándar

18.9 pulg

Ancho de la zapata de cadena - Optativa	15 pulg
Rodillos inferiores - Cada lado	6,0
Número de zapatas - Cada lado	37,0
Cadena sobre el suelo	91.4 pulg
Área de contacto con el suelo - Zapata estándar	3565 pulg <sup>2</sup>
Área de contacto con el suelo - Zapata optativa	2790 pulg <sup>2</sup>
Presión sobre el suelo - Zapata estándar	9.5 lb/pulg <sup>2</sup>
Presión sobre el suelo - Zapata optativa	12.3 lb/pulg <sup>2</sup>
Altura de la garra - Garra doble	1.4 pulg
Entrevía	71 pulg

### Sistema de mando

Tipo	Mando hidrostático con velocidades infinitas de la máquina de hasta 10,0 km/h (6,2 millas/h)
Bomba de mando	Dos bombas de pistones axiales deslizantes de caudal variable
Motor de la cadena	Dos motores de eje descentrado de caudal variable
Ajuste de la válvula de alivio	6527 lb/pulg <sup>2</sup>

## Sistema hidráulico - Piloto

Tiempo de ciclo - Subida

5.9 Segundos

Tiempo de ciclo - Descarga

1.5 Segundos

## Capacidades de llenado

Tanque de combustible

83.5 gal

Sistema de enfriamiento

8 gal

Cárter (con filtro)

4.4 gal

Mandos finales (cada lado)

2.8 gal

Tanque hidráulico

18.5 gal

Eje de articulación

0.18 gal

## Especificaciones de operación

Velocidad de desplazamiento máxima

6.2 millas/h

## Especificaciones del desgarrador

Tipo

Radial

Número de cavidades

3

Ancho total/Viga

81.4 pulg

Sección transversal del vástago

50 x 109 mm 50 x 4,2 pulg

	Espacio libre sobre el suelo	22.32 pulg
	Penetración	13.78 pulg
	Ancho de desgarramiento	70.8 pulg
	Cilindros - Calibre	4 pulg
	Cilindros - Carrera	10.63 pulg
	Longitud adicional de la máquina debido al desgarrador (en posición de transporte)	17.83 pulg

## Normas

	Estructuras ROPS/FOPS
	Estructuras ROPS / FOPS
	Frenos
	Frenos
	Cabina
	Cabina

## Sistema eléctrico

	Tipo	24 VCC
	Capacidad de la batería	950 CCA
	Voltaje de la batería	12
	Cantidad de baterías	

2

Alternador

95 amperios, sin escobillas y de servicio pesado

---

**Sistema hidráulico - Implemento**

---

Tiempo de ciclo - Total

6.5 Segundos

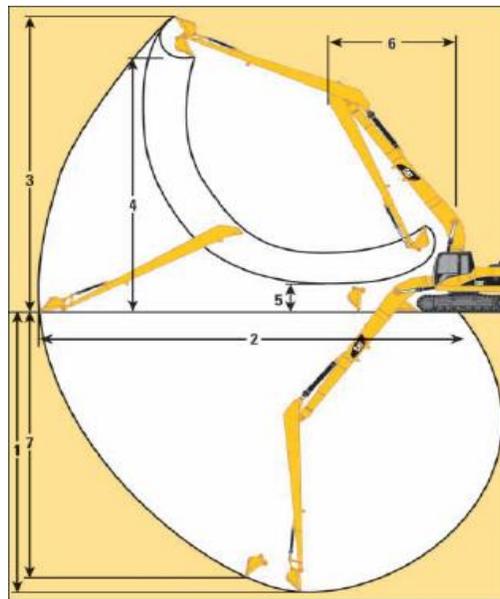
---

**ANEXO D**  
**EQUIPOS DE EXTRACCIÓN**

### Máquina 320D-L

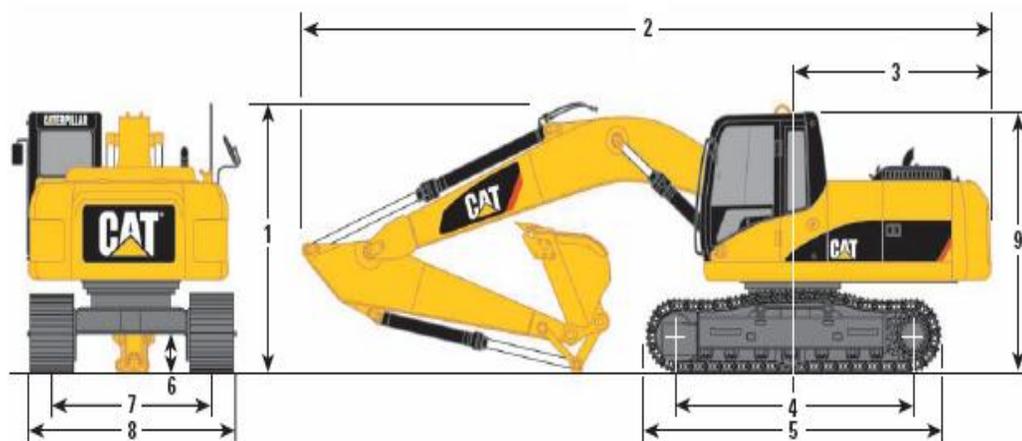


### Gráfico de Radio de Giro del Brazo Hidráulico de la Máquina



### Dimensiones de la Máquina para el Transporte

<b>Opciones de pluma</b>	<b>De alcance superlargo</b>
	8,85 m (29 pies 0 pulg)
<b>Opciones de brazo</b>	<b>6,28 m (20 pies 7 pulg)</b>
<b>Cucharón</b>	<b>0,46 m<sup>3</sup> (0,80 yd<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b> Profundidad máxima de excavación	11.740 mm (38 pies 6 pulg)
<b>2</b> Alcance máximo a nivel del suelo	15.590 mm (51 pies 2 pulg)
<b>3</b> Altura máxima de corte	13.240 mm (43 pies 5 pulg)
<b>4</b> Máxima altura de carga	11.150 mm (36 pies 7 pulg)
<b>5</b> Altura mínima de carga	2.100 mm (6 pies 11 pulg)
<b>6</b> Radio mínimo de giro frontal	5.280 mm (17 pies 4 pulg)
<b>7</b> Máxima profundidad de excavación de pared vertical	11.300 mm (37 pies 1 pulg)



**ANEXO E**

**GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS**

## Glosario de Términos Básicos

**Ángulo de Corte.** La inclinación mutua entre dos líneas de corte

**Bloques o Piezas.** es un fragmento del muro colado central de concreto armado pero que está suelto, de modo que puede ser movido por procesos mecánicos

**Cinchas de Acero Reforzado.** Faja de acero de alta resistencia utilizada para movilizar elementos pesados.

**Control.** Es la posibilidad de manejar algunas de las condiciones especiales que determinan que un proceso se produzca o no.

**Cuadrícula de Corte.** Conjunto de los cuadrados que resultan de cortarse perpendicularmente una serie de líneas de corte

**Demolición.** Las demoliciones se realizaran con el objeto de desmontar o deshacer una estructura o parte de ella, seleccionado y estibando los materiales aprovechables y retirando los escombros, de acuerdo con lo fijado en el proyecto u ordenado por la dependencia.

**Eficiencia.** Es el grado en el cual el sistema utiliza correctamente los recursos.

**Elemento Estructural.** Cada una de las piezas que forman parte de una estructura, posee un carácter unitario y se muestra de la misma manera bajo la acción de una carga aplicada. También llamada miembro estructural, pieza estructural.

**Elementos Cortados.** Es una pieza que forma parte de una estructura a la cual se le realizan seccionamientos para dar forma un nuevo sistema estructural.

**Elementos Unifilares.**

**Empuje Activo.**

**Empuje Pasivo.**

**Estructura.** Es la disposición de los elementos portantes de un objeto, ya sea edificio, puente, barco, avión o mueble.

**Extracción.** Es un procedimiento de separación de partes en determinada estructura.

**Frame.** Es un elemento de tipo unifilar que se utiliza para el diseño dentro del programa de cálculo estructural SAP 2000.

**Geometría de Corte.** Es una distribución espacial del perfil de una estructura que se puede observar en un corte transversal.

**Línea del Metro.** Ruta o servicio de transporte ferroviario.

**Losas.** Es un elemento estructuras de concreto armado que sirve de soporte para el transito de personas, maquinarias y demás elementos que se encuentran en el espacio, bien sea temporal o permanente.

**Método.** Conjunto de procedimientos sistemáticos para lograr el desarrollo de una ciencia o parte de ella.

**Método Numérico.** Son técnicas mediante las cuales es posible formular problemas de tal forma que sean resueltas con operaciones matemáticas.

**Modelo Matemático.** Es la descripción matemática de una situación real donde se analizan todos los comportamientos y se plantean las hipótesis necesarias para obtener los resultados a la realidad estudiada.

**Modelización.** Es una representación simplificada de la realidad que recogen los aspectos fundamentales de la misma que tiene interés para los objetivos del analista en la construcción.

**Muro Colado de Concreto.** Es un elemento estructural de concreto armado que sirve como mecanismo de contención ante el empuje del suelo.

**Objetivos.** Metas hacia donde se deben enfocar los recursos y metas de la empresa.

**Plan.** Programa de acción para implementación de una empresa.

**Planificación.** Son una serie de pasos sucesivos y complementarios que se utilizan para llevar a cabo los objetivos planteados por la organización.

**Proceso.** Es una serie de pasos ininterrumpidos de actos, pasos o eventos.

**Receso.** Es un espacio libre dejado durante el vaciado de las losas, el cual es utilizado durante el proceso de excavación y demolición de la obra.

**Secuencia de Extracción.** Son cada uno de los pasos que permiten visualizar como se va a ejecutar la obra.

**Simulación.** Es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos para el funcionamiento del mismo.

**Shell.** Es un elemento de tipo membrana que se utilizan para el diseño dentro del programa de cálculo estructural SAP 2000.

**Tipología.** Es la repetición de ciertas características estructurales dadas en distintas obras, las cuales parcialmente definen la morfología de la obra.

**Unidad Hidráulica.** Es una medida establecida que representa una porción de un fluido.

**Vectorial de Fuerzas.** Es un conjunto de fuerzas capaz de producir movimiento, parar, deformar o cambiar la dirección de un cuerpo.