



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**ANÁLISIS DEL GRADO DE ENERGÍA DE LAS ONDAS
SÍSMICAS QUE SE TRANSFIERE A LA CIMENTACIÓN
DE UNA EDIFICACIÓN – MOQUEGUA 2019**

PRESENTADA POR

BACHILLER ANTONIO RENATO SOTO CHACÓN

ASESOR:

Mgr. FREDY JAIME CALSÍN ADCO

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA - PERÚ

2021

CONTENIDO

pág.

Página de jurado	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
CONTENIDO	iv
CONTENIDO DE TABLAS	x
CONTENIDO DE FIGURAS	xviii
CONTENIDO DE ECUACIONES	xxiii
CONTENIDO DE APÉNDICES	xxvi
CONTENIDO DE ANEXOS	xxvii
RESUMEN	xxix
ABSTRACT	xxx
INTRODUCCIÓN	xxxii

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la Realidad Problemática	1
1.2. Definición del Problema	4
1.2.1. Problema General	4
1.2.2. Problemas Específicos	5
1.3. Objetivos de la Investigación	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivo Específicos	5
1.4. Justificación	6
1.5. Alcances y Limitaciones	8
1.5.1. Alcances	8
1.5.2. Limitaciones	9
1.6. Variables	10
1.6.1. Operacionalización de Variables	11
1.7. Hipótesis de la Investigación	11
1.7.1. Hipótesis General	11
1.7.2. Hipótesis Especificas	11

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	12
2.2. Bases Teóricas.....	17
2.2.1. Ondas Sísmicas	17
2.2.1.1. Origen de los Sismos	17
2.2.1.2. La onda sísmica y sus tipos	19
2.2.1.3. Instrumentación Sísmica	25
2.2.1.4. Análisis de los Sismogramas	30
2.2.1.4.1. Ondas de cambio	31
2.2.1.4.2. Ondas transversales	33
2.2.1.4.3. Ondas superficiales	36
2.2.1.4.3.1. Ondas Rayleigh.....	36
2.2.1.4.3.2. Ondas Love	39
2.2.1.5. Registros en el campo próximo	41
2.2.1.5.1. Acelerógrafos y acelerogramas	41
2.2.1.5.2. Parámetros de los acelerogramas.....	46
2.2.1.5.3. Espectros de respuesta	48
2.2.1.5.4. Espectros reales, escalados y de diseño.....	59
2.2.1.5.5. Nuevos parámetros de tamaño	59
2.2.2. Suelos.....	62
2.2.2.1. Mecánica de los suelos.....	62
2.2.2.2. El terreno y la ingeniería civil	63
2.2.2.3. Historia de la mecánica de suelos.....	64
2.2.2.4. Origen formación y constitución del suelo	66
2.2.2.4.1. Generalidades	66
2.2.2.4.2. Etapas y procesos en la formación del suelo (I) y de las arcillas (II).....	67
2.2.2.4.3. Factores de Formación y Evolución del Suelo (F.F.E.S.):.....	67
2.2.2.4.4. Depósitos	68
2.2.2.4.5. Alteración de las rocas	69
2.2.2.4.6. Vertiente de montaña	71
2.2.2.4.7. Componentes del suelo	72
2.2.2.4.7.1. Arcilla	72
2.2.2.4.7.1.1. Caolinitas	73
2.2.2.4.7.1.2. Illita	74

2.2.2.4.7.1.3. Montmorillonita	75
2.2.2.5. Propiedades del suelo	76
2.2.2.5.1. MTC E 117 - Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo insitu mediante el método del cono de arena	76
2.2.2.5.1.1. Objeto	76
2.2.2.5.1.2. Finalidad y alcance	76
2.2.2.5.1.3. Referencias normativas	79
2.2.2.5.2. MTC E 108 - Determinación del contenido de humedad de un suelo	79
2.2.2.5.2.1. Objeto	79
2.2.2.5.2.2. Finalidad y alcance	79
2.2.2.5.2.3. Referencias normativas	80
2.2.2.5.3. MTC E 107 - Análisis granulométrico de suelos por tamizado	80
2.2.2.5.3.1. Objeto	80
2.2.2.5.3.2. Finalidad y alcance	80
2.2.2.5.3.3. Referencias normativas	81
2.2.2.5.4. MTC E 205 - Gravedad específica y absorción de agregados finos	81
2.2.2.5.4.1. Objeto	81
2.2.2.5.4.2. Finalidad y alcance	82
2.2.2.5.4.3. Referencias normativas	83
2.2.2.5.5. MTC E 206 - Peso específico y absorción de agregados gruesos	83
2.2.2.5.5.1. Objeto	83
2.2.2.5.5.2. Finalidad y alcance	84
2.2.2.5.5.3. Referencias normativas	84
2.2.2.5.6. MTC E 110 - Determinación del límite líquido de los suelos	85
2.2.2.5.6.1. Objeto	85
2.2.2.5.6.2. Finalidad y alcance	85
2.2.2.5.6.3. Referencias normativas	87
2.2.2.5.7. MTC E 111 - Determinación del límite plástico (I.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)	87
2.2.2.5.7.1. Objeto	87
2.2.2.5.7.2. Finalidad y alcance	87
2.2.2.5.7.3. Referencias normativas	88
2.2.3. Cimentaciones.....	89
2.2.3.1. Tipos de cimentación.....	99
2.2.3.1.1. Cimentaciones superficiales.....	99
2.2.3.1.2. Cimentaciones profundas	101
2.2.3.2. Criterios para Cimentar	103

2.2.4. Dinámica Estructural.....	105
2.2.4.1. Introducción.....	105
2.2.4.2. Modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov	106
2.3. Definición de términos	113

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación.....	120
3.2. Diseño de investigación.	120
3.3. Población y muestra.	121
3.3.1. Población.....	121
3.3.2. Muestra.	121
3.4. Descripción de instrumentos de recolección de datos.	121

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados	123
4.1.1. Trámite administrativo	123
4.1.2. Trabajo de Campo	125
4.1.2.1. Ubicación de puntos con GPS.....	125
4.1.2.2. Ensayo de Refraction Mircrotremor	127
4.1.2.3. Apertura de Calicatas para exploración de suelos	131
4.1.3. Trabajo de Laboratorio.....	133
4.1.3.1. Ensayo de Cono de Arena	134
4.1.3.2. Ensayo de Contenido de Humedad	138
4.1.3.3. Ensayo de Análisis Granulométrico.....	140
4.1.3.4. Ensayo de Peso Específico de la Arena.....	150
4.1.3.5. Ensayo Peso Específico de la Grava.....	152
4.1.3.6. Ensayo de Limite Liquido.....	156
4.1.3.7. Ensayo de Limite Plástico	160
4.1.4. Trabajo de Gabinete	164
4.1.4.1. Arquitectura de la Edificación	164
4.1.4.2. Peso de la Edificación.....	169
4.1.4.3. Calculo de la Capacidad Portante.....	170

4.1.4.4. Dimensiones de las Zapatas	173
4.1.4.5. Fuerza Sísmica	177
4.1.4.6. Modelamiento de la Estructura	178
4.1.5. Análisis de la comparación de efectos	185
4.1.5.1. Respuesta Sísmica	185
4.1.5.2. Propiedades Físico - Mecánicas	188
4.1.5.3. Fuerzas y Momentos	191
4.2. Contrastación de hipótesis	236
4.2.1. Hipótesis Específica a)	236
4.2.1.1. Selección de la Prueba Estadística	236
4.2.1.1.1. Matriz de Datos	238
4.2.1.1.2. Alfa de Crombach	242
4.2.1.1.3. Normalidad	244
4.2.1.1.4. Descriptivos	247
4.2.1.1.5. Prueba Estadística	257
4.2.1.2. H Kruskal – Wallis	258
4.2.2. Hipótesis Específica b)	267
4.2.2.1. Selección de la Prueba Estadística	267
4.2.2.1.1. Matriz de Datos	269
4.2.2.1.2. Alfa de Crombach	270
4.2.2.1.3. Normalidad	271
4.2.2.1.4. Descriptivos	272
4.2.2.1.5. Prueba Estadística	274
4.2.2.2. Anova de un factor	275
4.2.3. Hipótesis Específica c)	278
4.2.3.1. Selección de la Prueba Estadística	278
4.2.3.1.1. Matriz de Datos	280
4.2.3.1.2. Alfa de Crombach	283
4.2.3.1.3. Normalidad	284
4.2.3.1.4. Descriptivos	286
4.2.3.1.5. Prueba Estadística	291
4.2.3.2. U Mann – Withney	292
4.3. Discusión de resultados	297
4.3.1. Resultados de la Respuesta Sísmica	297
4.3.2. Resultados de las Propiedades Físico - Mecánicas	299
4.3.3. Resultados de la comparación del Modelo D.D. Barkan – O.A. Savinov y el modelo teórico de apoyo empotrado	301

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	304
5.2. Recomendaciones	307
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	310
APÉNDICES	313
MATRIZ DE CONSISTENCIA	335
ANEXOS	336
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	588
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN	603

CONTENIDO DE TABLAS

Contenido de tablas	Pág.
TABLA 1 : OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	11
TABLA 2 : PESOS MÍNIMOS PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD.....	80
TABLA 3 : TAMICES DE MALLA CUADRADA.....	81
TABLA 4 : ESTIMACIONES DE PRECISIÓN DE ESTE MÉTODO DE ENSAYO.....	83
TABLA 5 : PESO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO.....	84
TABLA 6 : TABLA DE ESTIMADOS DE PRECISIÓN.....	88
TABLA 7 : TIPOS DE SUELO DE LA BASE DE FUNDACIÓN.....	112
TABLA 8 : CALICATAS.....	121
TABLA 9 : UBICACIÓN – CRUZ DEL SIGLO II.....	126
TABLA 10 : UBICACIÓN – BARRIOS ALTOS.....	126
TABLA 11 : UBICACIÓN – CENTRO DE RED SISMOLÓGICA.....	126
TABLA 12 : GEOFÍSICA – VALOR PROMEDIO / RS C-01.....	130
TABLA 13 : GEOFÍSICA – VALOR PROMEDIO / RS C-02.....	130
TABLA 14 : GEOFÍSICA – VALOR PROMEDIO / RS C-03.....	130
TABLA 15 : DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CALICATAS.....	132
TABLA 16 : ENSAYO DE DENSIDAD IN - SITU / EDIC C-01.....	135
TABLA 17 : ENSAYO DENSIDAD IN - SITU / EDIC C-02.....	136
TABLA 18 : ENSAYO DENSIDAD IN - SITU / EDIC C-03.....	137
TABLA 19 : ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD / ECH C-01.....	139
TABLA 20 : ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD / ECH C-02.....	139
TABLA 21 : ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD / ECH C-03.....	139
TABLA 22 : ENSAYO DE GRANULOMETRÍA / EG C-01.....	141
TABLA 23 : GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA / EG C-01.....	141
TABLA 24 : GRANULOMETRÍA DE LA ARENA / EG C-01.....	142
TABLA 25 : ENSAYO DE GRANULOMETRÍA / EG C-02.....	144
TABLA 26 : GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA / EG C-02.....	144

TABLA 27 : GRANULOMETRÍA DE LA ARENA / EG C-02.....	145
TABLA 28 : ENSAYO DE GRANULOMETRÍA / EG C-03.....	147
TABLA 29 : GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA / EG C-03	147
TABLA 30 : GRANULOMETRÍA DE LA ARENA / EG C-03.....	148
TABLA 31 : ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA / EPEA C-01.....	151
TABLA 32 : ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA / EPEA C-02.....	151
TABLA 33 : ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA / EPEA C-03.....	151
TABLA 34 : ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA / EPEG C-01	153
TABLA 35 : ABSORCIÓN DE LA GRAVA / EPEG C-01	153
TABLA 36 : ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA / EPEG C-02	154
TABLA 37 : ABSORCIÓN DE LA GRAVA / EPEG C-02	154
TABLA 38 : ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA / EPEG C-03	155
TABLA 39 : ABSORCIÓN DE LA GRAVA / EPEG C-03.....	155
TABLA 40 : ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DEL SUELO / ELL C-01	157
TABLA 41 : ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DEL SUELO / ELL C-02.....	158
TABLA 42 : ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DEL SUELO / ELL C-03.....	159
TABLA 43 : ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO DEL SUELO / ELP C-01	161
TABLA 44 : ÍNDICE DE PLASTICIDAD / ELP C-01	161
TABLA 45 : ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO DEL SUELO / ELP C-02	162
TABLA 46 : ÍNDICE DE PLASTICIDAD / ELP C-02	162
TABLA 47 : ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO DEL SUELO / ELP C-03	163
TABLA 48 : ÍNDICE DE PLASTICIDAD / ELP C-03	163
TABLA 49 : PESO TOTAL DE LA EDIFICACIÓN	169
TABLA 50 : CENTRO DE MASA POR NIVELES.....	169
TABLA 51 : PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS / C-01	171
TABLA 52 : PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS / C-02	171
TABLA 53 : PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS / C-03	172
TABLA 54 : CARACTERÍSTICAS DE LAS ZAPATAS_C01	174
TABLA 55 : CARACTERÍSTICAS DE LAS ZAPATAS_C02	175

TABLA 56 : CARACTERÍSTICAS DE LAS ZAPATAS_C03	176
TABLA 57 : FUERZA SÍSMICA EN LOS EJES X-Y	177
TABLA 58 : REACCIONES - APOYOS EMPOTRADOS / CAE.....	179
TABLA 59 : REACCIONES - CRUZ DEL SIGLO II - DINÁMICA ESTRUCTURAL / CDCSII	180
TABLA 60 : REACCIONES - CENTRO SISMOLÓGICO - DINÁMICA ESTRUCTURAL / CDCS.....	181
TABLA 61 : REACCIONES - BARRIOS ALTOS - DINÁMICA ESTRUCTURAL / CDBA	183
TABLA 62 : EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN (D O I) – ZONA DE ESTUDIO / RSZE C-TA.....	186
TABLA 63 : PROMEDIO DE LA RELACIÓN – ZONA DE ESTUDIO / RSZE C-TA	187
TABLA 64 : EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN (D O I) – ZONA DE ESTUDIO / RSZE C-TA.....	189
TABLA 65 : PROMEDIO DE LA RELACIÓN – ZONA DE ESTUDIO / RSZE C-TA	190
TABLA 66 : ZAPATA A - 1 / REACCIONES MÍNIMAS.....	192
TABLA 67 : ZAPATA A - 1 / REACCIONES MÁXIMAS	193
TABLA 68 : ZAPATA A - 2 / REACCIONES MÍNIMAS.....	194
TABLA 69 : ZAPATA A - 2 / REACCIONES MÁXIMAS	195
TABLA 70 : ZAPATA A - 3 / REACCIONES MÍNIMAS.....	196
TABLA 71 : ZAPATA A - 3 / REACCIONES MÁXIMAS	197
TABLA 72 : ZAPATA A - 4 / REACCIONES MÍNIMAS.....	198
TABLA 73 : ZAPATA A - 4 / REACCIONES MÁXIMAS	199
TABLA 74 : ZAPATA A - 5 / REACCIONES MÍNIMAS.....	200
TABLA 75 : ZAPATA A - 5 / REACCIONES MÁXIMAS	201
TABLA 76 : ZAPATA B - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	202
TABLA 77 : ZAPATA B - 1 / REACCIONES MÁXIMAS.....	203
TABLA 78 : ZAPATA B - 3 / REACCIONES MÍNIMAS	204
TABLA 79 : ZAPATA B - 3 / REACCIONES MÁXIMAS.....	205
TABLA 80 : ZAPATA B - 4 / REACCIONES MÍNIMAS	206
TABLA 81 : ZAPATA B - 4 / REACCIONES MÁXIMAS.....	207
TABLA 82 : ZAPATA B - 5 / REACCIONES MÍNIMAS	208
TABLA 83 : ZAPATA B - 5 / REACCIONES MÁXIMAS.....	209
TABLA 84 : ZAPATA C - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	210

TABLA 85 : ZAPATA C - 1 / REACCIONES MÁXIMAS.....	211
TABLA 86 : ZAPATA C - 3 / REACCIONES MÍNIMAS	212
TABLA 87 : ZAPATA C - 3 / REACCIONES MÁXIMAS.....	213
TABLA 88 : ZAPATA C - 4 / REACCIONES MÍNIMAS	214
TABLA 89 : ZAPATA C - 4 / REACCIONES MÁXIMAS.....	215
TABLA 90 : ZAPATA C - 5 / REACCIONES MÍNIMAS	216
TABLA 91 : ZAPATA C - 5 / REACCIONES MÁXIMAS.....	217
TABLA 92 : ZAPATA D - 1 / REACCIONES MÍNIMAS.....	218
TABLA 93 : ZAPATA D - 1 / REACCIONES MÁXIMAS	219
TABLA 94 : ZAPATA D' - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	220
TABLA 95 : ZAPATA D' - 1 / REACCIONES MÁXIMAS	221
TABLA 96 : ZAPATA D - 3 / REACCIONES MÍNIMAS.....	222
TABLA 97 : ZAPATA D - 3 / REACCIONES MÁXIMAS	223
TABLA 98 : ZAPATA D - 4 / REACCIONES MÍNIMAS.....	224
TABLA 99 : ZAPATA D - 4 / REACCIONES MÁXIMAS	225
TABLA 100 : ZAPATA E - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	226
TABLA 101 : ZAPATA E - 1 / REACCIONES MÁXIMAS.....	227
TABLA 102 : ZAPATA E - 3 / REACCIONES MÍNIMAS	228
TABLA 103 : ZAPATA E - 3 / REACCIONES MÁXIMAS.....	229
TABLA 104 : ZAPATA E - 4 / REACCIONES MÍNIMAS	230
TABLA 105 : ZAPATA E - 4 / REACCIONES MÁXIMAS.....	231
TABLA 106 : PRUEBAS ESTADÍSTICAS - SELECCIÓN.....	237
TABLA 107 : MATRIZ DE DATOS – ANÁLISIS ESTADÍSTICO / PARTE 1_A.....	238
TABLA 108 : MATRIZ DE DATOS – ANÁLISIS ESTADÍSTICO / PARTE 1_B.....	239
TABLA 109 : MATRIZ DE DATOS – ANÁLISIS ESTADÍSTICO / PARTE 2_A.....	240
TABLA 110 : MATRIZ DE DATOS – ANÁLISIS ESTADÍSTICO / PARTE 2_B.....	241
TABLA 111 : FIABILIDAD – AMPLITUD / ZONDA DE ESTUDIO.....	242
TABLA 112 : FIABILIDAD – FRECUENCIA / ZONDA DE ESTUDIO	242
TABLA 113 : FIABILIDAD – PERIODO / ZONDA DE ESTUDIO	242

TABLA 114 : FIABILIDAD – VELOCIDAD ANGULAR / ZONDA DE ESTUDIO.....	242
TABLA 115 : FIABILIDAD – VELOCIDAD MÁXIMA / ZONDA DE ESTUDIO.....	242
TABLA 116 : FIABILIDAD – LONGITUD / ZONDA DE ESTUDIO.....	243
TABLA 117 : FIABILIDAD – VELOCIDAD PROMEDIO / ZONDA DE ESTUDIO.....	243
TABLA 118 : NORMALIDAD – AMPLITUD / ZONDA DE ESTUDIO	244
TABLA 119 : NORMALIDAD – FRECUENCIA / ZONDA DE ESTUDIO.....	244
TABLA 120 : NORMALIDAD – PERIODO / ZONDA DE ESTUDIO	245
TABLA 121 : NORMALIDAD – VELOCIDAD ANGULAR / ZONDA DE ESTUDIO	245
TABLA 122 : NORMALIDAD – VELOCIDAD MÁXIMA / ZONDA DE ESTUDIO.....	245
TABLA 123 : NORMALIDAD – LONGITUD / ZONDA DE ESTUDIO	246
TABLA 124 : NORMALIDAD – VELOCIDAD PROMEDIO / ZONDA DE ESTUDIO	246
TABLA 125 : NORMALIDAD – DESCRIPTIVOS - AMPLITUD / ZONDA DE ESTUDIO – RESPUESTA SÍSMICA	250
TABLA 126 : DESCRIPTIVOS - FRECUENCIA / ZONDA DE ESTUDIO – RESPUESTA SÍSMICA.....	251
TABLA 127 : DESCRIPTIVOS - PERIODO / ZONDA DE ESTUDIO – RESPUESTA SÍSMICA.....	252
TABLA 128 : DESCRIPTIVOS - VELOCIDAD ANGULAR / ZONDA DE ESTUDIO – RESPUESTA SÍSMICA	253
TABLA 129 : DESCRIPTIVOS - VELOCIDAD MÁXIMA / ZONDA DE ESTUDIO – RESPUESTA SÍSMICA	254
TABLA 130 : DESCRIPTIVOS - LONGITUD / ZONDA DE ESTUDIO – RESPUESTA SÍSMICA	255
TABLA 131 : DESCRIPTIVOS - VELOCIDAD PROMEDIO / ZONDA DE ESTUDIO – RESPUESTA SÍSMICA	256
TABLA 132 : H KRUSKAL – WALLIS – ESTADÍSTICOS / AMPLITUD - ZONDA DE ESTUDIO	258
TABLA 133 : H KRUSKAL – WALLIS – RANGOS / AMPLITUD - ZONDA DE ESTUDIO	259
TABLA 134 : H KRUSKAL – WALLIS – CONTRASTE / AMPLITUD - ZONDA DE ESTUDIO.....	259
TABLA 135 : H KRUSKAL – WALLIS – ESTADÍSTICOS / FRECUENCIA - ZONDA DE ESTUDIO.....	260
TABLA 136 : H KRUSKAL – WALLIS – RANGOS / FRECUENCIA - ZONDA DE ESTUDIO	260
TABLA 137 : H KRUSKAL – WALLIS – CONTRASTE / FRECUENCIA - ZONDA DE ESTUDIO	260
TABLA 138 : H KRUSKAL – WALLIS – ESTADÍSTICOS / PERIODO - ZONDA DE ESTUDIO.....	261
TABLA 139 : H KRUSKAL – WALLIS – RANGOS / PERIODO - ZONDA DE ESTUDIO	261

TABLA 140 : H KRUSKAL – WALLIS – CONTRASTE / PERIODO - ZONDA DE ESTUDIO	261
TABLA 141 : H KRUSKAL – WALLIS – ESTADÍSTICOS / VELOCIDAD ANGULAR - ZONDA DE ESTUDIO.....	262
TABLA 142 : H KRUSKAL – WALLIS – RANGOS / VELOCIDAD ANGULAR - ZONDA DE ESTUDIO	262
TABLA 143 : H KRUSKAL – WALLIS – CONTRASTE / VELOCIDAD ANGULAR - ZONDA DE ESTUDIO.....	262
TABLA 144 : H KRUSKAL – WALLIS – ESTADÍSTICOS / VELOCIDAD MÁXIMA - ZONDA DE ESTUDIO.....	263
TABLA 145 : H KRUSKAL – WALLIS – RANGOS / VELOCIDAD MÁXIMA - ZONDA DE ESTUDIO	263
TABLA 146 : H KRUSKAL – WALLIS – CONTRASTE / VELOCIDAD MÁXIMA - ZONDA DE ESTUDIO	263
TABLA 147 : H KRUSKAL – WALLIS – ESTADÍSTICOS / LONGITUD - ZONDA DE ESTUDIO	264
TABLA 148 : H KRUSKAL – WALLIS – RANGOS / LONGITUD - ZONDA DE ESTUDIO	264
TABLA 149 : H KRUSKAL – WALLIS – CONTRASTE / LONGITUD - ZONDA DE ESTUDIO	264
TABLA 150 : H KRUSKAL – WALLIS – ESTADÍSTICOS / VELOCIDAD PROMEDIO - ZONDA DE ESTUDIO.....	265
TABLA 151 : H KRUSKAL – WALLIS – RANGOS / VELOCIDAD PROMEDIO - ZONDA DE ESTUDIO ...	265
TABLA 152 : H KRUSKAL – WALLIS – CONTRASTE / VELOCIDAD PROMEDIO - ZONDA DE ESTUDIO.....	265
TABLA 153 : <i>P_valor</i> SIGNIFICANCIA – H1	266
TABLA 154 : PRUEBAS ESTADÍSTICAS - SELECCIÓN	268
TABLA 155 : MATRIZ DE DATOS – ANÁLISIS ESTADÍSTICO	269
TABLA 156 : FIABILIDAD – GEOTECNIA / ZONDA DE ESTUDIO	270
TABLA 157 : NORMALIDAD – GEOTECNIA / ZONDA DE ESTUDIO	271
TABLA 158 : DESCRIPTIVOS / ZONDA DE ESTUDIO – PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS.....	273
TABLA 159 : ANOVA DE UN FACTOR – DESCRIPTIVOS / GEOTECNIA - ZONDA DE ESTUDIO	275
TABLA 160 : PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS / GEOTECNIA - ZONDA DE ESTUDIO.....	276
TABLA 161 : ANOVA DE UN FACTOR / GEOTECNIA - ZONDA DE ESTUDIO	276
TABLA 162 : PRUEBA POST HOC – COMPARACIONES MÚLTIPLES / GEOTECNIA - ZONDA DE ESTUDIO.....	276

TABLA 163 : ANOVA DE UN FACTOR – SUBCONJUNTOS HOMOGÉNEOS / GEOTECNIA - ZONDA DE ESTUDIO.....	277
TABLA 164 : <i>P_valor</i> SIGNIFICANCIA – H2.....	277
TABLA 165 : PRUEBAS ESTADÍSTICAS - SELECCIÓN	279
TABLA 166 : MATRIZ DE DATOS – ANÁLISIS ESTADÍSTICO_H3 / PARTE 1.....	280
TABLA 167 : MATRIZ DE DATOS – ANÁLISIS ESTADÍSTICO_H3 / PARTE 2.....	281
TABLA 168 : MATRIZ DE DATOS – ANÁLISIS ESTADÍSTICO_H3 / PARTE 3.....	282
TABLA 169 : FIABILIDAD - APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C01	283
TABLA 170 : FIABILIDAD - APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C02	283
TABLA 171 : FIABILIDAD - APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C03	283
TABLA 172 : NORMALIDAD - APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C01	284
TABLA 173 : NORMALIDAD - APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C02	284
TABLA 174 : NORMALIDAD - APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C03	285
TABLA 175 : DESCRIPTIVOS - REACCIONES / APOYO EMPOTRADO VS CRUS DEL SIGLO II	288
TABLA 176 : DESCRIPTIVOS - REACCIONES / APOYO EMPOTRADO VS CENTRO SISMOLÓGICO.....	288
TABLA 177 : DESCRIPTIVOS - REACCIONES / APOYO EMPOTRADO VS BARRIOS ALTOS.....	289
TABLA 178 : DESCRIPTIVOS - REACCIONES / ZONAS DE ESTUDIO	290
TABLA 179 : U MANN – WHITNEY – ESTADÍSTICOS / APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C01	293
TABLA 180 : U MANN – WHITNEY – RANGOS / APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C01	293
TABLA 181 : U MANN – WHITNEY – CONTRASTE /APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C01	293
TABLA 182 : U MANN – WHITNEY – ESTADÍSTICOS / APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C02	294
TABLA 183 : U MANN – WHITNEY – RANGOS / APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C02	294
TABLA 184 : U MANN – WHITNEY – CONTRASTE /APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C02	294

TABLA 185 : U MANN – WHITNEY – ESTADÍSTICOS / APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C03	295
TABLA 186 : U MANN – WHITNEY – RANGOS / APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C03	295
TABLA 187 : U MANN – WHITNEY – CONTRASTE /APOYO EMPOTRADO VS DINÁMICA ESTRUCTURAL C03	295
TABLA 188 : <i>P_valor</i> SIGNIFICANCIA – H3.....	296
TABLA 189 : MATRIZ DE CONSISTENCIA	335

CONTENIDO DE FIGURAS

Contenido de figuras	Pág.
FIGURA 1 : MODELO DEL REBOTE ELÁSTICO (REID, 1911).....	19
FIGURA 2 : COMPONENTES DE LA ONDA S.	20
FIGURA 3 : TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS.....	20
FIGURA 4 : TIPOS DE ONDAS SÍSMICAS. VELETA DE TERREMOTOS DISEÑADA POR CHANG HENG	25
FIGURA 5 : ESQUEMA DE UN SISMÓGRAFO MECÁNICO DE COMPONENTE HORIZONTAL.	27
FIGURA 6 : ESQUEMA DE UN SISMÓGRAFO MECÁNICO DE COMPONENTE VERTICAL.	27
FIGURA 7 : ESQUEMA DE UN SISMÓGRAFO ELECTROMAGNÉTICO.	29
FIGURA 8 : ONDA DIRECTA.....	30
FIGURA 9 : ONDAS REFRACTADAS MONOTÍPICA Y DE CAMBIO	31
FIGURA 10 : ONDAS REFRACTADAS DE CAMBIO Y RAYLEIGH.....	31
FIGURA 11 : MÁXIMA DIRECCIÓN DE VIBRACIÓN DE LAS ONDAS P, SV, SH.....	33
FIGURA 12 : TRAZAS SÍSMICAS PARA TIROS DE POLARIDAD INVERTIDA	34
FIGURA 13 : SUMA DE LAS TRAZAS DE POLARIDAD INVERTIDA	34
FIGURA 14 : RESTA DE LAS TRAZAS CON POLARIDAD INVERTIDA.....	34
FIGURA 15 : EJEMPLO TÍPICO DE DOS TRAZAS CON DIFERENTE POLARIDAD.....	35
FIGURA 16 : DETECCIÓN DEL NIVEL FREÁTICO.....	36
FIGURA 17 : RELACIONES DE LAS VELOCIDADES DE ONDAS RAYLEIGH, S Y P EN FUNCIÓN DEL COEFICIENTE DE POISSON	37
FIGURA 18 : RED DE ACELERÓGRAFOS ESTABLECIDA POR EL CISMID EN EL PERÚ	42
FIGURA 19 : REGISTRO DE ACELERACIONES NO CORREGIDO	45
FIGURA 20 : REGISTRO DE DESPLAZAMIENTOS NO CORREGIDO	45
FIGURA 21 : REGISTRO DE ACELERACIONES CORREGIDO.....	46
FIGURA 22 : ESPECTROS DE RESPUESTA ELASTICA	56
FIGURA 23 : ESQUEMA DE LA OBTENCIÓN DEL ESPECTRO ELÁSTICO DE RESPUESTA (BENITO, 1993).....	57

FIGURA 24 : DISTRIBUCIÓN DE LA AMPLITUD DE FOURIER FA (IZQUIERDA) Y DE LA RESPUESTA DE ACELERACIÓN SA (DERECHA), PARA LA FRECUENCIA DE 1 HZ EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA HIPOCENTRAL Y EL TIPO DE SUELO. (HERRÁIZ Y BENITO, 1992).....	58
FIGURA 25 : PERFIL DEL SUELO (EN GEOTECNIA). EL PERFIL GEOTÉCNICO SE DESCRIBE CON SEIS HORIZONTES, DEL I EN LA BASE AL VI EN LA SUPERFICIE, PUDIENDO EN OCASIONES ESTAR EL PERFIL INCOMPLETO, POR FALTAR EN EL ALGÚN HORIZONTE.	67
FIGURA 26 : ETAPAS Y PROCESOS EN LA FORMACIÓN DEL SUELO.....	67
FIGURA 27 ETAPAS Y FACTORES DE FORMACIÓN DE LAS ARCILLAS	68
FIGURA 28 DISTINTOS TIPOS DE FORMACIONES DE SUELO.....	71
FIGURA 29 TRES UNIDADES ESTRUCTURALES BÁSICAS Y RADIOS IÓNICOS.....	73
FIGURA 30 ESTRUCTURAS BÁSICAS Y RADIOS IÓNICOS	74
FIGURA 31 ESTRUCTURA DE LA ILLITA	74
FIGURA 32 GRUPO DE LA MONTMORILLONITA (PUEDE TENER BRUCITA).....	75
FIGURA 33 APARATO DE DENSIDAD	78
FIGURA 34 APARATO MANUAL PARA LIMITE LIQUIDO.....	86
FIGURA 35 ZAPATAS EN LÍMITE DE PROPIEDAD.....	89
FIGURA 36 DISTANCIA ENTRE ZAPATAS	90
FIGURA 37 CONEXIÓN MEDIANTE VIGA DE CIMENTACIÓN	91
FIGURA 38 VIGA DE CIMENTACIÓN ISOSTÁTICA.....	91
FIGURA 39 VIGA DE CIMENTACIÓN HIPERESTÁTICA	92
FIGURA 40 RIGIDEZ AXIAL.....	93
FIGURA 41 SENTIDO DE LAS FUERZAS	94
FIGURA 42 ZAPATA COMBINADA Y FLEXIBLE	94
FIGURA 43 SOLADO O PLATEA DE CIMENTACIÓN	95
FIGURA 44 CIMENTACIÓN EMPLEANDO PILOTES DE PUNTA.....	97
FIGURA 45 CASO DE PILOTE Y CIMENTACIÓN SUPERFICIAL	98
FIGURA 46 SOLUCIÓN A ZONA DE HINCHAMIENTO CON ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES	98
FIGURA 47 COMPARACIÓN DE LOS TRES CASOS: SIN ISE, MODELO DINÁMICO D.D. BARKAN – O.A. SAVINOV Y MODELO DINÁMICO V.A. ILICHEV	107

FIGURA 48: CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA GRAVA / EG C-01	142
FIGURA 49: CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA / EG C-01	143
FIGURA 50: CURVA GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA / EG C-02.....	145
FIGURA 51: CURVA GRANULOMETRÍA DE LA ARENA / EG C-02.....	146
FIGURA 52: CURVA GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA / EG C-03.....	148
FIGURA 53: CURVA GRANULOMETRÍA DE LA ARENA / EG C-03.....	149
FIGURA 54: CONTENIDO DE HUMEDAD VS NÚMERO DE GOLPES / ELL C-01	157
FIGURA 55: CONTENIDO DE HUMEDAD VS NÚMERO DE GOLPES / ELL C-02.....	158
FIGURA 56: CONTENIDO DE HUMEDAD VS NÚMERO DE GOLPES / ELL C-03.....	159
FIGURA 57: PRIMER NIVEL DE LA EDIFICACIÓN	165
FIGURA 58: SEGUNDO NIVEL DE LA EDIFICACIÓN	166
FIGURA 59: TERCER NIVEL DE LA EDIFICACIÓN	167
FIGURA 60: CUARTO NIVEL DE LA EDIFICACIÓN.....	168
FIGURA 61 : Z_A - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	192
FIGURA 62 : Z_A - 1 / REACCIONES MÁXIMAS.....	193
FIGURA 63 : Z_A - 2 / REACCIONES MÍNIMAS.....	194
FIGURA 64 : Z_A - 2 / REACCIONES MÁXIMAS.....	195
FIGURA 65 : Z_A - 3 / REACCIONES MÍNIMAS.....	196
FIGURA 66 : Z_A - 3 / REACCIONES MÁXIMAS.....	197
FIGURA 67 : Z_A - 4 / REACCIONES MÍNIMAS.....	198
FIGURA 68 : Z_A - 4 / REACCIONES MÁXIMAS.....	199
FIGURA 69 : Z_A - 5 / REACCIONES MÍNIMAS.....	200
FIGURA 70 : Z_A - 5 / REACCIONES MÁXIMAS.....	201
FIGURA 71 : Z_B - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	202
FIGURA 72 : Z_B - 1 / REACCIONES MÁXIMAS.....	203
FIGURA 73 : Z_B - 3 / REACCIONES MÍNIMAS	204
FIGURA 74 : Z_B - 3 / REACCIONES MÁXIMAS.....	205
FIGURA 75 : Z_B - 4 / REACCIONES MÍNIMAS	206
FIGURA 76 : Z_B - 4 / REACCIONES MÁXIMAS.....	207

FIGURA 77 : Z_B - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	208
FIGURA 78 : Z_B - 5 / REACCIONES MÁXIMAS	209
FIGURA 79 : Z_C - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	210
FIGURA 80 : Z_C - 1 / REACCIONES MÁXIMAS	211
FIGURA 81 : Z_C - 3 / REACCIONES MÍNIMAS	212
FIGURA 82 : Z_C - 3 / REACCIONES MÁXIMAS	213
FIGURA 83 : Z_C - 4 / REACCIONES MÍNIMAS	214
FIGURA 84 : Z_C - 4 / REACCIONES MÁXIMAS	215
FIGURA 85 : Z_C - 5 / REACCIONES MÍNIMAS	216
FIGURA 86 : Z_C - 5 / REACCIONES MÁXIMAS	217
FIGURA 87 : Z_D - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	218
FIGURA 88 : Z_D - 1 / REACCIONES MÁXIMAS	219
FIGURA 89 : Z_D' - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	220
FIGURA 90 : Z_D' - 1 / REACCIONES MÁXIMAS	221
FIGURA 91 : Z_D - 3 / REACCIONES MÍNIMAS	222
FIGURA 92 : Z_D - 3 / REACCIONES MÁXIMAS	223
FIGURA 93 : Z_D - 4 / REACCIONES MÍNIMAS	224
FIGURA 94 : Z_D - 4 / REACCIONES MÁXIMAS	225
FIGURA 95 : Z_E - 1 / REACCIONES MÍNIMAS	226
FIGURA 96 : Z_E - 1 / REACCIONES MÁXIMAS	227
FIGURA 97 : Z_E - 3 / REACCIONES MÍNIMAS	228
FIGURA 98 : Z_E - 3 / REACCIONES MÁXIMAS	229
FIGURA 99 : Z_E - 4 / REACCIONES MÍNIMAS	230
FIGURA 100 : Z_E - 4 / REACCIONES MÁXIMAS	231
FIGURA 101 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÍNIMAS_F1	232
FIGURA 102 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÍNIMAS_F2	232
FIGURA 103 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÍNIMAS_F3	232
FIGURA 104 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÍNIMAS_M1	233
FIGURA 105 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÍNIMAS_M2	233

FIGURA 106 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÍNIMAS_M3	233
FIGURA 107 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÁXIMAS_F1	234
FIGURA 108 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÁXIMAS_F2	234
FIGURA 109 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÁXIMAS_F3	234
FIGURA 110 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÁXIMAS_M1	235
FIGURA 111 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÁXIMAS_M2	235
FIGURA 112 : ZAPS_ % REACCIONES PROMEDIO MÁXIMAS_M3	235
FIGURA 113 : AMPLITUD NORMALIDAD Z. E.	247
FIGURA 114 : FRECUENCIA NORMALIDAD Z. E.	247
FIGURA 115 : PERIODO NORMALIDAD Z. E.	248
FIGURA 116 : VELOCIDAD ANGULAR NORMALIDAD Z. E.	248
FIGURA 117 : VELOCIDAD MÁXIMA NORMALIDAD Z. E.	248
FIGURA 118 : LONGITUD NORMALIDAD Z. E.	249
FIGURA 119 : VELOCIDAD PROMEDIO NORMALIDAD Z. E.	249
FIGURA 120 : GEOTECNIA NORMALIDAD Z. E.	272
FIGURA 121 : NORMALIDAD – REACCIONES / AEVSDEC1.....	286
FIGURA 122 : NORMALIDAD – REACCIONES / AEVSDEC2.....	286
FIGURA 123 : NORMALIDAD – REACCIONES / AEVSDEC3.....	287
FIGURA 124 : NORMALIDAD – REACCIONES / AEVSDEC3.....	287

CONTENIDO DE ECUACIONES

Contenido de ecuaciones	Pág.
ECUACIÓN 1	21
ECUACIÓN 2	21
ECUACIÓN 3	22
ECUACIÓN 4	32
ECUACIÓN 5	32
ECUACIÓN 6	32
ECUACIÓN 7	32
ECUACIÓN 8	33
ECUACIÓN 9	37
ECUACIÓN 10	38
ECUACIÓN 11	38
ECUACIÓN 12	38
ECUACIÓN 13	38
ECUACIÓN 14	39
ECUACIÓN 15	40
ECUACIÓN 16	40
ECUACIÓN 17	43
ECUACIÓN 18	43
ECUACIÓN 19	49
ECUACIÓN 20	49
ECUACIÓN 21	49
ECUACIÓN 22	49
ECUACIÓN 23	49
ECUACIÓN 24	50
ECUACIÓN 25	50
ECUACIÓN 26	50

ECUACIÓN 27	50
ECUACIÓN 28	50
ECUACIÓN 29	51
ECUACIÓN 30	51
ECUACIÓN 31	51
ECUACIÓN 32	51
ECUACIÓN 33	51
ECUACIÓN 34	51
ECUACIÓN 35	52
ECUACIÓN 36	52
ECUACIÓN 37	52
ECUACIÓN 38	52
ECUACIÓN 39	52
ECUACIÓN 40	53
ECUACIÓN 41	53
ECUACIÓN 42	53
ECUACIÓN 43	53
ECUACIÓN 44	53
ECUACIÓN 45	53
ECUACIÓN 46	54
ECUACIÓN 47	54
ECUACIÓN 48	60
ECUACIÓN 49	61
ECUACIÓN 50	69
ECUACIÓN 51	69
ECUACIÓN 52	92
ECUACIÓN 53	96
ECUACIÓN 54	108
ECUACIÓN 55	108

ECUACIÓN 56.....	108
ECUACIÓN 57.....	109
ECUACIÓN 58.....	109
ECUACIÓN 59.....	109
ECUACIÓN 60.....	110
ECUACIÓN 61.....	110
ECUACIÓN 62.....	110
ECUACIÓN 63.....	111
ECUACIÓN 64.....	111
ECUACIÓN 65.....	111

CONTENIDO DE APÉNDICES

Contenido de ecuaciones	Pág.
APÉNDICE A.....	313
APÉNDICE B.....	315
APÉNDICE C.....	316
APÉNDICE D.....	317
APÉNDICE E.....	322
APÉNDICE F.....	324
APÉNDICE G.....	325
APÉNDICE H.....	327
APÉNDICE I.....	329
APÉNDICE J.....	330
APÉNDICE K.....	332
APÉNDICE L.....	333
APÉNDICE M.....	334

CONTENIDO DE ANEXOS

Contenido de anexos	Pág
ANEXO 1: UBICACIÓN CRUZ DEL SIGLO II	351
ANEXO 2: UBICACIÓN BARRIOS ALTOS	352
ANEXO 3: UBICACIÓN CENTRO SISMOLÓGICO	353
ANEXO 4: DIA N° 01_REFRACTION MICROTREMOR_C01	354
ANEXO 5: DIA N° 02_REFRACTION MICROTREMOR_C01	360
ANEXO 6: DIA N° 03_REFRACTION MICROTREMOR_C01	369
ANEXO 7: DIA N° 01_REFRACTION MICROTREMOR_C02	378
ANEXO 8: DIA N° 02_REFRACTION MICROTREMOR_C02	387
ANEXO 9: DIA N° 03_REFRACTION MICROTREMOR_C02	393
ANEXO 10: DIA N° 01_REFRACTION MICROTREMOR_C03	398
ANEXO 11: DIA N° 02_REFRACTION MICROTREMOR_C03	407
ANEXO 12: DIA N° 03_REFRACTION MICROTREMOR_C03	416
ANEXO 13: CALICATA CRUZ DEL SIGLO II_C01	425
ANEXO 14: CALICATA CENTRO SISMOLOGICO_C02	429
ANEXO 15: CALICATA BARRIOS ALTOS_C03	431
ANEXO 16: ENSAYO DE CONO DE ARENA	433
ANEXO 17: ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD_C01	438
ANEXO 18: ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD_C02	440
ANEXO 19: ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD_C03	442
ANEXO 20: ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO_C01	444
ANEXO 21: ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO_C02	460
ANEXO 22: ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO_C03	470
ANEXO 23: ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA_C01	480
ANEXO 24: ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA_C02	484
ANEXO 25: ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA_C03	486
ANEXO 26: ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA_C01	488

ANEXO 27: ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA_C02.....	493
ANEXO 28: ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA_C03.....	495
ANEXO 29: ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO_C01.....	497
ANEXO 30: ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO_C02.....	505
ANEXO 31: ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO_C03.....	509
ANEXO 32: ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO_C01.....	513
ANEXO 33: ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO_C02.....	520
ANEXO 34: ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO_C03.....	524
ANEXO 35: METRADO DE CARGAS DE LA EDIFICACIÓN.....	528
ANEXO 36: CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE.....	539
ANEXO 37: MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.....	548
ANEXO 38: CARACTERÍSTICAS DE LA RESPUESTA SÍSMICA – ZONAS_ESTUDIO.....	556
ANEXO 39: PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS / ZONA_ESTUDIO.....	558
ANEXO 40: COMPARACION DE EFECTOS DE LAS FUERZAS.....	560
ANEXO 41: COMPARACIÓN DE EFECTOS DE LOS MOMENTOS.....	573
ANEXO 42: COMPARACIÓN DE MEDIAS ESTADÍSTICAS.....	586

RESUMEN

En la presente investigación se abordó el problema que sufren las edificaciones ante los efectos de la energía sísmica, siendo una fuerza externa impredecible, que causa daños severos en la estructura según la intensidad del sismo; en el epicentro deja un panorama devastador que afecta la economía y deja lamentables pérdidas humanas.

Por ende, se sometió a la estructura a los efectos del sismo y a las propiedades físico – mecánicas del suelo, realizando la comparación de un modelo teórico de apoyo empotrado con el modelo de dinámica estructural de D.D. Barkan – O.A. Savinov, en el programa Sap2000, corroborando los argumentos de la información existente recopilada de investigaciones, artículos científicos y libros; que indican que el modelo de dinámica estructural, presenta un parámetro superior en los efectos causados por la fuerza sísmica en las edificaciones. Se evaluó la relación entre la respuesta sísmica de los suelos con respecto a las reacciones (fuerzas y momentos) de la edificación y la relación entre las propiedades físico – mecánicas de los estratos del terreno con respecto a la respuesta sísmica del suelo, determinando las características que logran aminorar los efectos de la energía de un movimiento telúrico de mediana y gran magnitud.

Se concluye que el modelo de dinámica estructural de D.D. Barkan – O.A. Savino, presenta un parámetro superior en las reacciones producidas ante las fuerzas sísmicas y la relación en ambos casos se asevera que es indirectamente proporcional respecto a las características indicadas.

Palabras clave: Interacción Suelo Estructura, dinámica estructural, sísmica somera, medio de propagación, masas, rigidez, ensayos de laboratorio, vibraciones internas.

ABSTRACT

In the present investigation the problem suffered by buildings from the effects of seismic energy was addressed, being an unpredictable external force, which causes severe damage to the structure according to the intensity of the earthquake; at the epicenter it leaves a devastating panorama that affects the economy and leaves regrettable human losses.

Therefore, the structure was subjected to the effects of the earthquake and the physical-mechanical properties of the soil, comparing a theoretical model of embedded support with the structural dynamics model of D.D. Barkan - O.A. Savinov, in the Sap2000 program, corroborating the arguments of the existing information gathered from research, scientific articles and books; which indicate that the structural dynamics model presents a higher parameter in the effects caused by the seismic force in the buildings. The relationship between the seismic response of the soils with respect to the reactions (forces and moments) of the building and the relationship between the physical-mechanical properties of the ground strata with respect to the seismic response of the soil was evaluated, determining the characteristics that manage to lessen the effects of the energy of a telluric movement of medium and large magnitude.

It is concluded that the structural dynamics model of D.D. Barkan - O.A. Savino presents a higher parameter in the reactions produced before seismic forces and the relationship in both cases is asserted to be indirectly proportional to the indicated characteristics.

Key words: Soil Structure Interaction, structural dynamics, shallow seismic, propagation medium, masses, rigidity, laboratory tests, internal vibrations.

INTRODUCCIÓN

El impacto generado en las edificaciones a causa de los desastres naturales, es un problema constante que generan daños perjudiciales y a veces irreparables en las estructuras; en el escenario más crítico deja a su paso un perjuicio incalculable en la economía y lamentables pérdidas humanas. La fuerza sísmica es el fenómeno natural que más afecta a las edificaciones en el Perú, siendo una zona altamente sísmica; este efecto es desfavorable para el comportamiento de las estructuras, porque provoca graves consecuencias al suscitarse eventos sísmicos de mediana y gran magnitud; los sucesos ocurridos a lo largo del tiempo dejaron a su paso un panorama trágico y catastrófico, que nos enseñan que debemos prestar mayor atención a los fenómenos naturales impredecibles.

En la presente investigación denominada “Análisis del grado de energía de las ondas sísmicas que se transfiere a la cimentación de una edificación”, fundamentada en el estudio de las propiedades físico – mecánicas de los estratos del terreno y el estudio de la respuesta sísmica del suelo, logrando resultados que nos llevaron a diferentes conclusiones para aumentar la seguridad y mejorar el comportamiento ante este tipo de eventos sísmicos, permitiendo brindar al usuario un panorama más alentador, generando la posibilidad de tener mayor confianza en su edificación. La investigación está enmarcada en los parámetros estipulados por la unidad de investigación de la facultad de ingeniería y arquitectura de la Universidad José Carlos Mariátegui; conteniendo diferentes capítulos.

El capítulo I, contiene lo siguiente: realidad problemática, se estudió el problema de manera general y específico; objetivos, se detallaron las metas que se alcanzaran de manera general y específica; justificación, se sustentó porque es

importante realizar la investigación; alcance y limitaciones, se mencionan los aspectos que se incluyeron o no en la investigación; variables, se identificaron las variables de estudio definiendo sus características; hipótesis, se formularon supuestas soluciones de manera general y específica respecto a la investigación.

El capítulo II, contiene lo siguiente: antecedentes de la investigación, se mencionan las tesis que contienen temas de investigación similares a la presente; bases teóricas, se desarrolló los temas de estudio a profundidad; definición de términos, se incluyeron conceptos de términos que sean claves para el entendimiento de la investigación.

El capítulo III, contiene lo siguiente: tipo de investigación, diseño de investigación, población y muestra, descripción de instrumento; en donde se desarrolló la parte metodológica de la investigación, indicando las herramientas necesarias para el procesamiento de datos y para las unidades de estudio.

El capítulo IV, contiene lo siguiente: presentación de resultados, se presentaron los cálculos, procedimientos y procesos de los que se obtuvieron los resultados esperados; contrastación de hipótesis, se realizó el proceso estadístico donde se afirma o se niega el planteamiento hipotético; discusión de resultados, se interpretaron los resultados obtenidos, describiendo de manera concisa el producto del procedimiento operativo.

El capítulo V, contiene lo siguiente: conclusiones, se formularon diferentes conclusiones mediante la interpretación de los resultados, respecto a cada hipótesis planteada; recomendaciones, se señalaron diferentes pautas e indicaciones sobre el desarrollo de la tesis, que mejoraran el proceso de las futuras investigaciones.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la Realidad Problemática.

Como afirma Añazco & Tavera (2016) “Desde que el hombre comprendió que la Tierra era esférica, mostro interés por conocer su interior (...) la sismología, ya no, sería suficiente para comprender los procesos que generan un sismo, ahora se requería conocer el origen de las anomalías” (pág. 1).

Tanto es así, que cuando ocurre un sismo, inmediatamente comienzan a suscitarse una serie de consecuencias causando daños estructurales de diferentes magnitudes, que estarán directamente relacionadas con las características del movimiento telúrico.

En este sentido, posterior a la ocurrencia de un evento sísmico de gran intensidad, deja consigo un panorama devastador, por los daños inevitables que provoca en las edificaciones, las estructuras que cumplen la función de vivienda, en el peor de los casos, tienden a desplomarse generando una pérdida económica difícil de superar. Cuando las estructuras cumplen la función de centros de trabajo y son afectadas por el movimiento telúrico, se produce un impacto económico local que genera desesperación e incertidumbre, ya que, al afectar un pilar importante

del movimiento económico local, tiende a generar pobreza por un periodo de tiempo incalculable.

En este aspecto, según el instituto Centro Sismológico Nacional (2018), en el país de Chile, específicamente en la ciudad de Valdivia en el año 1960, se originó un megaterromoto, lo que provoco en la Gran parte del sur de Chile una destrucción por los dos terremotos y el maremoto; el periódico La Cruz del Sur informaba el 28 de mayo de 1960 la existencia preliminar de 962 muertos, 1410 desaparecidos y 160 heridos de diversa consideración.

Sobre este hecho específico, nuestro país no es ajeno a esta realidad, ya que, nos encontramos en el cinturón de fuego del pacífico y según Talavera, “es un arco compuesto por 40,000.00 kilómetros en el océano Pacífico, donde se registra el 85% de sismos en el mundo. Las zonas que están más cerca al Cinturón de Fuego son las que más riesgo corren de sufrir terremotos, pues descansan sobre las placas tectónicas que siempre están en fricción. Dejando a su vez una serie de problemas sociales, cuando el movimiento telúrico afecta de manera notoria a la localidad, sumergiéndolos en un nivel de pobreza que será difícil de superar, a su vez trae consigo otro tipo de consecuencias, como son la falta de calidad de vida por la interrupción de los servicios básicos, generando un ambiente de insalubridad que provoca en la mayoría de casos enfermedades. Los habitantes de la localidad afectada al ver que la economía está en decadencia y empiezan a agotarse los insumos primarios, tienden a desplazarse a otras ciudades donde les permita ejercer algún tipo de actividad económica, para lograr cubrir sus necesidades básicas como son la alimentación, vivienda, salud y educación, provocando un decrecimiento en

la cantidad de población existente en la zona afectada y un aumento en las ciudades más cercanas, que genera una consecuencia en su sociedad.

Se tiene de conocimiento, que la región de Moquegua ya se ha visto afectado por este tipo de oscilaciones sísmicas, según el INDECI (2001) ocurrió un sismo que afecto a todo el Perú, este movimiento telúrico del año 2001, de magnitud 6.9 en la escala de Richter, trajo consigo un total de 219,420 damnificados, 83 fallecidos, 66 desaparecidos, 2,812 heridos, 37,576 viviendas afectadas y 22,052 viviendas destruidas; el Gobierno estimo en \$500.00 millones de dólares los costos de recuperación. Adicionalmente, 237 establecimientos de salud precisaron de obras de rehabilitación o de reconstrucción, (7 hospitales, 80 centros de salud y 150 puestos de salud).

La presente investigación, basa su teoría en evaluar la interacción del sismo con la estructura de la edificación (ISE), la que es transmitida por los cimientos estructurales, sufriendo alteraciones en su sistema estructural, a veces el daño es mínimo, pero en su análisis estructural el cambio si es importante, ya que, logra alterar el diseño del cimiento estructural inicial y varia las condiciones del comportamiento determinado. *Columnas*: Cuando un suceso sísmico está en proceso, se producen movimientos que son proporcionales a la intensidad del sismo, lo que genera que el peso de la edificación que soportaba cada columna varié según el movimiento que se produzca en ese instante, presentando momentos en que el área tributaria de una columna se vea más afectada por el peso que otras, alterando el comportamiento de la columna, llegando a producirse fallas leves o graves según la magnitud del movimiento telúrico. Cuando las fallas son graves producen el colapso de toda la estructura. *Vigas*: Cuando son sometidas al efecto de un sismo

que genera oscilaciones en la estructura que superen el límite de su desplazamiento, se producen fallas que alteran su sistema provocando que en el peor de los casos se produzca su colapso y, por lo tanto, suprimiendo uno de los elementos estructurales, que generara una situación crítica para la estructura, atentando contra la función primordial de las edificaciones que es resguardar a las personas que se encuentran en su interior. *Tabiquería*: Cuando son sometidas al efecto de un sismo se provocarán fallas en toda su área, si tiene una intensidad elevada y constante provocará que el muro o tabiquería tienda a agrietarse y en el peor de los casos se tendrá un colapso inminente. *Losas*: Cuando las fuerzas sísmicas superan el límite de desplazamiento de la estructura de la losa, se generan fallas y grietas en su estructura afectando su sistema, si el movimiento sísmico aumenta o se mantiene constante se producirá un colapso por partes de la estructura o en el peor de los casos en su totalidad.

Por lo antes mencionado, la finalidad de este estudio es evaluar el comportamiento de los suelos ante la presencia de una onda sísmica, específicamente en la zona de Cruz del Siglo II, Centro Sismológico y Barrios Altos, las que son consideradas zonas de expansión urbana dentro del distrito de Mariscal Nieto, cuya característica similar es que se encuentran próximos a la falla geológica El Siglo.

1.2. Definición del Problema.

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el análisis del grado de energía de las ondas sísmicas que se transfiere a la cimentación de una edificación en la ciudad de Moquegua?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿Qué características de la respuesta sísmica se detectan en los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua?
- b) ¿Qué características físico – mecánicas presentan los suelos en las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua?
- c) ¿Cuál es el resultado de las fuerzas y momentos, al aplicar la interacción suelo estructura en los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua?

1.3. Objetivos de la Investigación.

1.3.1. Objetivo General

Determinar el análisis del grado de energía de las ondas sísmicas que se transfiere a la cimentación de una edificación de la ciudad de Moquegua.

1.3.2. Objetivo Específicos

- a) Identificar las características de la respuesta sísmica, en los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua, mediante el ensayo de Refraction Microtremor.
- b) Analizar las características que presentan los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua, mediante ensayos.
- c) Analizar las fuerzas y momentos del modelo de interacción suelo estructura de D.D. Barkan – O.A. Savinov, en los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua, mediante el programa Sap2000.

1.4. Justificación.

Relevancia Técnica:

Este trabajo de investigación se justificó por la necesidad de hacer una evaluación de los diferentes tipos de suelos y diseños de cimientos estructurales con respecto a la propagación de las ondas sísmicas, ya que, nos muestra un panorama más específico para poder contrarrestar los daños producidos en las edificaciones por los eventos sísmicos.

Así mismo, se analizó los componentes de los diferentes tipos de suelo, determinando su composición química, y se diagnosticó si ese suelo va generar que las ondas sísmicas de propagación tiendan a aumentar o por lo contrario tiendan a atenuar su intensidad.

Logrando obtener, un diseño de cimiento estructural que se adecue más al comportamiento de la clasificación antes indicada, para esto se utilizó como base el cálculo y el comportamiento propio del cimiento estructural.

Aspecto Social

Desde el punto de vista social, la adecuada elección del diseño de una cimentación que disminuya los efectos causados por el sismo en la estructura de una edificación, generara en la población más confianza y seguridad en el momento que ocurra un movimiento sísmico de alta intensidad.

Aspecto Económico

Desde el punto de vista económico, los sismos de alta intensidad provocan que las estructuras se agrieten o en el peor de los casos se desplome, lo que ocasiona cuantiosas pérdidas económicas y en la mayoría de los casos un problema financiero. Al diseñar el cimiento de una estructura se consideran los factores de comportamiento del suelo mediante la interacción de la onda sísmica, aumentando la seguridad de la estructura y manteniendo su funcionalidad después de haber interactuado con un sismo, ya que, no solo depende del diseño de la cimentación también del diseño de toda la estructura.

Relevancia Práctica

La relevancia practica de esta investigación permitió al tesista verter el conocimiento en el análisis del grado de energía de las ondas sísmicas que se transfiere a la cimentación de una edificación; requirió de cálculos e iteraciones donde se obtuvo los valores más próximos de los factores que utilizaremos en el diseño estructural. Llegando a calcular un diseño que sea funcional con las fuerzas sísmicas idealizadas en los ejes X - Y, en donde se evaluaron todos los factores que afectan a los cimientos de una estructura, los factores se determinaron realizando los siguientes estudios: analices de las propiedades físico-mecánicas y un análisis de la respuesta sísmica de los suelos. Se evaluó el diseño del cimiento estructural en donde se consideró los valores obtenidos y se determinó el tipo de diseño que se adjudicó en las estructuras proyectadas.

1.5. Alcances y Limitaciones

1.5.1. Alcances

- a) Se identificaron las características de la respuesta sísmica que ocurran durante la aplicación del ensayo Refraction Microtremor; para el cual se hicieron tres pruebas como mínimo para tener una aproximación de qué tipo de características se detectaron.

Solo las características que se detectaron por el anterior ensayo mencionado, se usaron para la aplicación de la siguiente investigación, teniendo en cuenta que antes de realizar el procedimiento, se confirmo la calibración y operatividad optima del equipo que se usó; cabe indicar, que, a pesar que no se logró detectar todas las particularidades sísmicas descubiertas hasta la actualidad; se procedió a realizar los cálculos con los valores obtenidos y que han sido perceptibles por el equipo usado en el ensayo.

- b) Se analizaron las características de los suelos presentes en las zonas de expansión urbana, procediendo a realizar los ensayos estándares enmarcados en el estudio de suelos; para el siguiente ensayo se realizó como mínimo tres pruebas por cada muestra del material, para disminuir el error y aumentar la precisión de los valores de cada ensayo aplicado en una muestra.

Las características de las muestras fueron determinadas por el anterior ensayo; no se aceptó la inclusión de características comunes o deducibles que no se apreciaron en la aplicación; teniendo en cuenta que antes de realizar el procedimiento, se confirmó la calibración y operatividad optima del equipo que se usó; cabe indicar, que, a pesar que no se logró detectar todas las características de la muestra; se determinó los demás valores para la presente

investigación con las características o valores obtenidos por los equipos usados en el ensayo.

- c) Se realizó la modelación de una estructura de 4 niveles que cumpla las condiciones de desplazamiento mínimo de entre piso, evaluando el modelo de dinámica estructural de D.D. Barkan – O.A. Savinov y el modelo de apoyo empotrado, efectuando un análisis comparativo de los resultados obtenidos con respecto a las fuerzas y momentos.

Se realizó el análisis en el programa estructural Sap2000 V.16, en el cual se ejecutó la modelación de la estructura siguiendo los parámetros definidos en los planos, revisando tres (03) veces cada paso realizado para evitar errores en los resultados; se consideró la precisión decimal de la compatibilidad de las medidas que evito que la edificación diseñada para fines de esta investigación, no se le incluyera ningún desfase en la geometría de planta y altura.

1.5.2. Limitaciones

- a) La falta de control en los efectos perturbadores provocados por variables extrañas (naturales y artificiales), durante la ejecución del ensayo Refraction Microtremor, que afectó las lecturas obtenidas y, por ende, los resultados obtenidos presentaron en sus valores un porcentaje de error.
- b) La falta de precisión que se presentó por la manipulación y por los factores externos durante la ejecución de los ensayos, se observó al determinar los resultados del análisis de las propiedades físico-mecánicas del suelo, ya que, a pesar de que se realizó un total de tres (03) ensayos por muestra, no se logró asegurar que este parámetro de valores obtenidos abarque todos los efectos.

c) En el análisis, diseño y modelamiento estructural para la presente investigación se definieron parámetros teóricos en base a características reales, por ende, se respetó el contexto de analizar una edificación de cuatro (04) niveles sin irregularidades presentes en planta y altura, con respecto al diseño de una zapata aislada, se conservó la característica principal de ser elementos estructurales que trabajan como un sistema independiente y en relación al modelamiento, se realizó en base a los parámetros mínimos para lograr obtener las reacciones (fuerzas y momentos) para el desarrollo de la presente investigación.

1.6. Variables

Variable Independiente

Grado de energía de las ondas sísmicas.

Se define como:

Las ondas sísmicas, son las que transmiten parte de la energía que se libera en el foco al producirse el terremoto (Herraiz, 1997)

Variable Dependiente

Cimentación de una edificación.

Se define como:

El objeto de una cimentación es proporcionar el medio para que las cargas de una estructura, concentradas en columnas o en muros, se transmitan al terreno produciendo en este un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos, o con asentamientos tolerables, ya sean estos uniformes o diferenciales. (Crespo, 2004)

1.6.1. Operacionalización de Variables

Tabla 1 : Operacionalización de Variables

VARIABLES DE CARACTERIZACIÓN	RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	TIPO DE VARIABLES
Grado de energía de las ondas sísmicas.	Independiente	Amplitud	m	Numérica Continua
		Frecuencia	Hz	
Cimentación de una edificación.	Dependiente	Fuerzas	Tn	Numérica Continua
		Momentos	Tn - m	

Fuente: Elaboración propia (2019)

1.7. Hipótesis de la Investigación.

1.7.1. Hipótesis General.

El aumento del grado de energía de las ondas sísmicas es desfavorable para la cimentación de una edificación de la ciudad de Moquegua.

1.7.2. Hipótesis Específicas.

- a) Los efectos negativos causados en las edificaciones planteadas son indirectamente proporcionales, a el incremento de las características de la respuesta sísmica que se detectan en los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua.
- b) Las características que presentan los estratos de los terrenos, es directamente proporcional al incremento de las características de la respuesta sísmica de los suelos en las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua.
- c) El modelo de D.D. Barkan – O.A. Savinov presenta un parámetro superior de fuerzas y momentos, a el modelo teórico de apoyo empotrado, que simulan una cimentación aplicada en los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

Internacional

Gonzales, F (2015). Sustento la tesis “Estimación de velocidades de onda de corte: registro de ondas superficiales love v/s refracciones de ondas internas sh”. (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica de Chile. Cuyo **objetivo** principal fue aplicar una metodología completa para ondas superficiales Love, la cual contempla obtener de manera experimental y teórica las curvas de dispersión y la modelación directa para la determinación de una estructura de velocidad de onda de corte unidimensional en las primeras decenas de metros de profundidad. **Conclusiones:**

- a) Dentro de los procedimientos geofísicos empleados para la caracterización geotécnica de suelos, el uso de ondas superficiales ha logrado incorporarse como un método bien evaluado debido a su eficiencia y simpleza con respecto a la adquisición y procesamiento de datos. Sin embargo, la teoría y desarrollo que está detrás no es trivial y requiere de un buen entendimiento para su correcta aplicación.
- b) Se comprobó que, al menos para los registros sísmicos utilizados, se obtiene buena resolución en los primeros metros de profundidad a expensas de baja resolución y menor alcance a profundidades mayores, cuya característica es explicada por la ausencia de datos en frecuencias menores a 10 Hz.

Gonzales, D (2017). Sustento la tesis “Generación de espectros de respuesta con sismos chilenos para suelos en función de su período fundamental y nivel de amplificación”. (Grado Académico). Pontificia Universidad Católica de Chile. Cuyo **objetivo** principal fue generar una metodología de espectros de respuesta de aceleraciones para los diferentes tipos de suelos, utilizando un espectro de referencia que puede ser de un registro de una estación sísmica en un suelo duro o afloramiento rocoso cercano, a menos de 20 kilómetros de distancia entre estaciones. **Conclusiones:** a) Se realiza un estudio empírico para la generación de espectros de respuesta de aceleraciones para suelos con sismos en Chile, con registros de aceleraciones disponibles entregados por el CSN y RENADIC, utilizando registros de eventos con magnitud mayor o igual a 5.5 Mw. b) De estos dos modelos el que tiene mejor capacidad predictiva es el modelo 2 pues tiene menor desviación estándar para el rango de períodos hasta los diez segundos y errores más cercanos a cero que los otros modelos. Además, el modelo 3 tiene una restricción de períodos, solo se considera válida en un rango de períodos para el peak de 0.01 hasta 1.5 segundos y necesita adicionalmente mediciones de Vs30, en comparación con el modelo 2 que sólo requiere mediciones con la técnica de Nakamura (HVSR).

Pinilla, C (2012). Sustento la tesis “Correlación entre el perfil de velocidad de propagación de ondas de corte y el espectro de respuesta en suelos”. (Tesis de Grado). Pontificia Universidad Católica de Chile. Cuyo **objetivo** principal fue el analizar la respuesta sísmica que tuvieron nueve sitios con estaciones de monitoreo sísmico durante el terremoto del Maule del 2010, correlacionando la respuesta con el perfil de velocidad de ondas de corte, el parámetro VS30 y la clasificación sísmica correspondiente a cada sitio. **Conclusiones:** a) En suelos con una distribución de rigidez no monótonamente creciente en profundidad se observó más de un período con altos valores de pseudo-aceleración, lo que se debería traducir en un espectro de diseño con un plateau más extendido para lograr una cobertura adecuada del espectro de respuesta; b) No se observó en los sitios estudiados una única correlación entre el VS30 y la pseudo-aceleración en superficie, lo que significa que este parámetro por sí solo no es suficiente para la clasificación sísmica de los suelos; y en la cuenca de Santiago si se observó una disminución de la

pseudo-aceleración con el aumento de VS30 sugiriendo una buena correlación en estos sitios.

Nacionales

Arredondo, L (2016). Sustento la tesis “Aplicación de la norma técnica e-030 “diseño sismorresistente” en la clasificación de los suelos en el área urbana del distrito de santa rosa – lima”. (Tesis de Grado). Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa. Cuyo **objetivo** principal fue de acuerdo a la Norma Técnica E-030 “Diseño Sismorresistente”, en el área urbana del distrito de Santa Rosa se han identificado 3 zonas sísmica geotécnicas, las mismas que corresponden a los suelos de Tipo I, Tipo II y Tipo III; lo que permite proponer el Mapa de Zonificación Sísmica-Geotécnica para el área de estudio. **Conclusiones:** a) Los estudios geotécnicos han permitido identificar en el área urbana del distrito de Santa Rosa la presencia de tres tipos de suelos (SM, ML y GP) caracterizada de acuerdo a la clasificación SUCS. b) El Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) han permitido identificar la presencia de capas compuestas por suelos con velocidades de ondas de corte (Vs) en un rango de 280 a 317 m/s correspondiente a suelos duros. La superficie de contacto alcanza velocidades mayores a 545 m/s correspondiente a suelo muy duro o roca blanda.

Castro, D (2015). Sustento la tesis “Vulnerabilidad Sísmica del Centro Histórico de la ciudad de Jauja - Junín”. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Cuyo **objetivo** principal fue Contribuir a la reducción de la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Jauja aportando herramientas para la toma de decisión sobre los criterios de intervención. **Conclusiones:** a) El método del índice de vulnerabilidad es el adecuado para ser implementado y adaptado en grandes ciudades (aplicación a centros urbanos), debido a que permite evaluar aspectos técnicos de una manera rápida, bastante aproximada y de bajo costo en su aplicación. b) Para la evaluación del daño en las edificaciones del área en estudio, es necesario elaborar funciones de vulnerabilidad adecuadas a las topologías estructurales existentes en la zona de análisis, debido a que estas funciones plasmarán resultados más confiables y reales en el ámbito de estudio.

Valderrama, Ch & Meza, J (2014). Sustentaron la tesis “Influencia de la interacción suelo estructura en la reducción de esfuerzos de una edificación aporticada con zapatas aisladas”. (Tesis de Grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Cuyo **objetivo** principal fue Realizar una serie de análisis sísmicos que no consideren la Interacción Suelo-Estructura (base empotrada) y otra que sí la considere con el fin de demostrar que con esta última se obtienen menores esfuerzos en los elementos estructurales de la edificación. **Conclusiones:** a) Se comprobó que en los análisis que consideren la Interacción Suelo-Estructura, los desplazamientos de los entresijos y las fuerzas internas están en función de los coeficientes de rigidez y estos están a su vez en función a las características del edificio, suelo de fundación y de las características geométricas de las zapatas. b) Se concluye que estos menores esfuerzos internos obtenidos al implementar la Interacción Suelo-Estructura suceden debido a que parte de la energía generada por el sismo en la estructura es absorbida por el suelo de fundación, ya que éste trabaja como un resorte en las bases.

Locales

Salas, M (2013). Sustento la tesis “Aplicación de microtremores para la elaboración de planos de microzonificación sísmica del distrito de Samegua – provincia mariscal nieta – región Moquegua - 2012”. (Tesis de Grado). Universidad José Carlos Mariátegui. Cuyo **objetivo** principal fue Aplicar la técnica de Microtremores para lograr la elaboración de Planos de Microzonificación Sísmica en el distrito de Samegua y de esta manera brindar al distrito mayor información sobre las condiciones de sitio. **Conclusiones:** a) Con la aplicación de la técnica de microtremores se logró la elaboración de planos de microzonificación sísmica en el distrito de Samegua con dicha información se brindó al distrito de Samegua mayor información sobre sus condiciones de sitio. b) El análisis por medio de la técnica de Nakamura logró determinar el período fundamental de vibración en cada punto de medición. La zona A, Samegua antigua o Samegua tradicional, posee períodos predominantes que varían desde 0,10 a 0,15 segundos y según el artículo 6.2.a en el RNE – E030, corresponden a un suelo Roca o suelos muy rígidos (perfil tipo 1). La zona B, Samegua Joven, presenta periodos predominantes que varían entre 0,10

a 0,17 segundos, y según el artículo 6.2.a en el RNE – E030, corresponden a un suelo Roca o suelos muy rígidos (perfil tipo 1). La zona C, expansión urbana Samegua Nueva, con períodos predominantes que varían entre 0,15 a 0,16 segundos y según el artículo 6.2.a en el RNE – E030, corresponden a un suelo Roca o suelos muy rígidos (perfil tipo 1), esta zona está expuesta a peligros pluviales por estar ubicada en una quebrada, que sigue la dirección de este a oeste.

Calizaya, G (2018). Sustento la tesis “análisis estructural y diseño sísmico comparativo por capacidad y resistencia, de un edificio para oficinas en el centro poblado de los ángeles - Moquegua 2017”. (Tesis de Grado). Universidad José Carlos Mariátegui. Cuyo **objetivo** principal fue analizar y comparar el diseño sísmico por capacidad y resistencia, en un edificio para oficinas, en el Centro Poblado de los Ángeles-Moquegua, mediante la aplicación de ambas metodologías de diseño. **Conclusiones:** a) Se ha analizado y comparado en diseño sísmico por capacidad y resistencia, en el modelo de edificio para oficinas, mediante la aplicación de ambas metodologías de diseño sísmico en concreto armado; y los resultados numéricos y de diseño se muestra de manera explícita para cada caso en el capítulo IV. b) Se demuestra que los criterios adoptados para realizar el análisis estructural influyen de manera significativa, encontrándose luego de aplicar el análisis estadístico (prueba de t de student) un valor de $t=4,705$ y un valor de $P=4,76e-06$ con un nivel de confianza del 95 %.

Flores, R (2019). Sustento la tesis “Evaluación de riesgo sísmico de la infraestructura del primer pabellón del colegio emblemático José Carlos Mariátegui – Ilave - Puno”. (Tesis de Grado). Universidad José Carlos Mariátegui. Cuyo **objetivo** principal fue determinar el nivel del riesgo sísmico de la infraestructura del primer pabellón del C.E. José Carlos Mariátegui – Ilave – Puno. **Conclusiones:** a) Como resultado de la investigación del análisis del riesgo sísmico de la infraestructura del primer pabellón de la institución educativa José Carlos Mariátegui – Ilave tiene un riesgo sísmico alto. Porque la zona donde se ubica la edificación tiene peligro sísmico medio, pero con una vulnerabilidad sísmica alta debido al deterioro por antigüedad de la misma infraestructura. b) Como resultado de la investigación la estructura presenta vulnerabilidad sísmica estructural alta debido a que la configuración no es la adecuada y presenta desplazamientos

laterales excesivos, así como distorsión exagerada del periodo de vibración, y por tiempo de vida útil que ha cumplido.

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. Ondas Sísmicas

Herráiz, M. (1997); respecto a las ondas sísmicas indico lo siguiente:

2.2.1.1. Origen de los Sismos

El origen de los terremotos ha sido asignado a causas muy diferentes a lo largo de la Historia. En muchos casos, estas explicaciones han estado estrechamente vinculadas a las costumbres o las creencias religiosas de los diferentes pueblos y han sido atribuidas a la acción de los dioses (como, por ejemplo, a Poseidón en la Teogonía griega), o a la lucha entre deidades maléficas y protectoras. Tampoco han faltado intentos de explicación más científica como los debidos a algunos filósofos presocráticos (S. V a.C.) y a Aristóteles (S. IV a.C.), quienes consideraban que los terremotos eran producidos por masas de aire caliente que intentaban escapar del interior de la Tierra.

Si bien la consideración de un terremoto como una respuesta elástica a fenómenos geológicos ya fue anunciada por Hooke en su "Discurso sobre Terremotos" (1668), se puede considerar que el planteamiento moderno se inicia a principios del siglo XX, cuando los terremotos comienzan a vincularse con fallas geológicas observables en el terreno. Von Humboldt parece ser uno de los primeros defensores de este punto de vista que, sin embargo, no es compartido por Robert Mallet en su estudio del terremoto de Nápoles de 1857, "trabajo considerado el inicio de la sismología moderna", ni por Lyell (1868), quien describió el fallamiento y la deformación producidos por terremotos. Para este

autor, y en continuidad con las teorías del S XVII, los terremotos tenían un origen térmico, como manifestación de un proceso volcánico o como resultado de la contracción y expansión térmicas. De todas formas, la relación entre los terremotos y las fallas fue abriéndose camino con los años, “en buena medida gracias a los trabajos de Gilbert (1884)”, de manera que a finales del siglo XIX ya era comúnmente aceptado que los sismos se originaban por el movimiento relativo de las dos partes de una fractura de la corteza terrestre. El primer modelo mecánico para explicar este proceso fue establecido por Reid en 1911, a partir del estudio de los movimientos de la falla de S. Andrés (California) ocurridos, durante el terremoto de S. Francisco de 1906. De acuerdo con esta teoría, conocida como "modelo del rebote elástico", los sismos son el resultado de un proceso de deformación elástica y acumulación de esfuerzos en una zona de la corteza que se mantiene hasta que se supera la resistencia del material, lo que sucede cuando los esfuerzos de cizalla alcanzan valores próximos a 1,000.00 bares. En este momento la falla experimenta una dislocación, los esfuerzos se relajan total o parcialmente de forma súbita y la energía elástica acumulada se libera bruscamente. Las rocas deformadas por el esfuerzo "rebotan" a ambos lados de la falla y la deformación elástica desaparece. El terreno próximo a la falla sufre un desplazamiento, que, en el caso de la falla de San Andrés y el terremoto de 1906, alcanzó en algunas zonas un valor de 6 metros. Parte de la energía liberada se disipa en fenómenos no elásticos en la zona de ruptura y parte se propaga en forma de ondas sísmicas que hacen vibrar el terreno. La generación de un sismo consta, por tanto, de dos etapas: una de acumulación lenta de la energía elástica y otra de relajación súbita. Mientras que la primera puede prolongarse muchos años, la segunda dura

únicamente decenas de segundos. Es importante señalar que Reid incluyó en su modelo la interrupción y el reinicio de la ruptura, marcados por la generación de vibraciones que se propagan como ondas sísmicas. Como veremos, la existencia de diversas fases en el proceso de ruptura y su reflejo en la creación de ondas de diferente frecuencia, son una de las aportaciones más importantes de los modelos modernos que explican el mecanismo sísmico. También conviene poner de manifiesto que la hipótesis, asumida generalmente en la estimación de la peligrosidad sísmica, de que la ocurrencia de terremotos sigue una distribución de Poisson en el tiempo (es decir, que los sismos son temporalmente independientes), discrepa de los supuestos básicos del modelo de Reid.

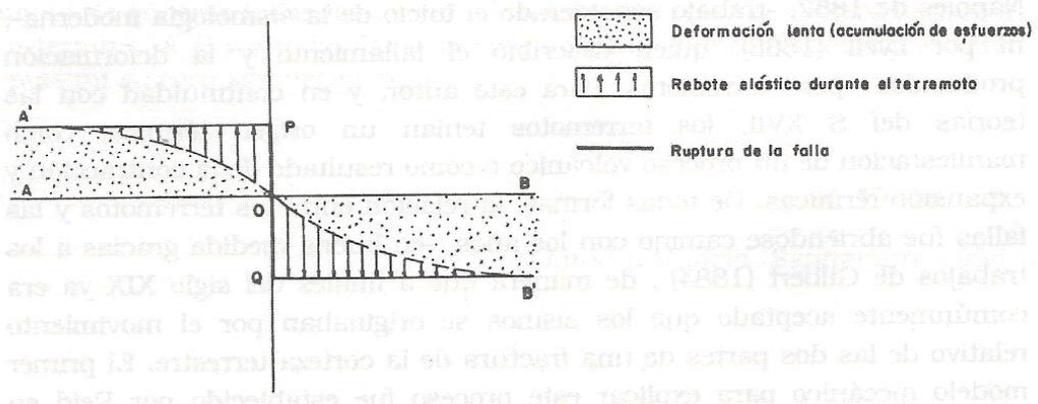


Figura 1 : Modelo del Rebote elástico (Reid, 1911)

Fuente: Herráiz Fuente: Herráiz Sarachaga, M. (1997)

2.2.1.2. La onda sísmica y sus tipos

Las ondas sísmicas, que transmiten parte de la energía que se libera en el foco al producirse el terremoto, son básicamente de dos tipos: ondas internas o de volumen y ondas superficiales. Las primeras se pueden propagar por las zonas profundas de la tierra y son de dos clases: ondas P (Primarias) y ondas S (Secundarias), llamadas así por ser, respectivamente, las primeras y las segundas

en llegar a una estación dada. Las ondas P son longitudinales y corresponden a modificaciones de volumen sin cambio de forma. A su vez, las S son transversales y se relacionan con cambios de forma sin cambios de volumen. En estas ondas se distinguen las componentes SV y SH correspondientes, respectivamente, a las proyecciones sobre los planos vertical y horizontal. El ángulo de polarización, definido como la tangente de SV/SH, constituye un dato básico en algunos métodos modernos para la determinación del mecanismo focal.

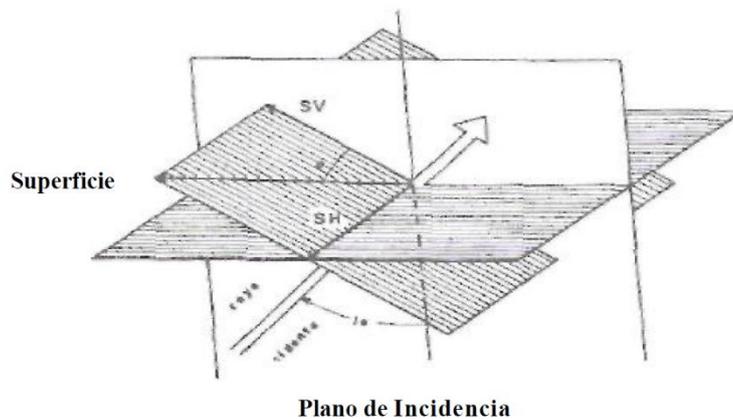


Figura 2 : Componentes de la onda S.

Fuente: *Herráiz Sarachaga, M. (1997)*

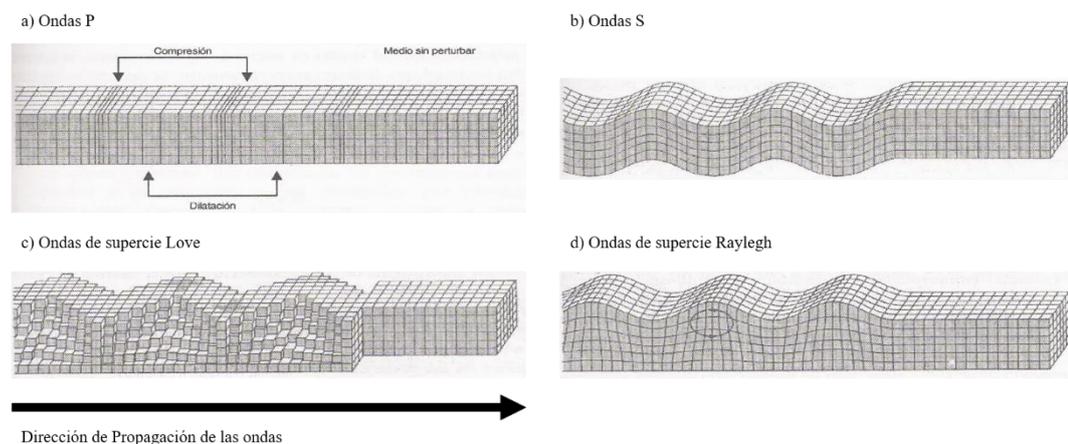


Figura 3 : Tipos de ondas sísmicas.

Fuente: *Herráiz Sarachaga, M. (1997)*

Matemáticamente, la existencia de las ondas internas se deduce a partir de las ecuaciones de Cauchy que relacionan los esfuerzos con las aceleraciones en un medio elástico.

Aceptando que se pueden despreciar las fuerzas de volumen y que el medio es isótropo, se obtiene una ecuación escalar y otra vectorial que indican, respectivamente, la presencia de una perturbación irrotacional y otra rotacional. Estas perturbaciones corresponden, a su vez, a las ondas P y S cuyas velocidades vienen dadas por las expresiones:

$$\text{Onda P:} \quad \Rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2 * \mu}{\rho}}$$

Ecuación 1

$$\text{Onda S:} \quad \Rightarrow \beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Ecuación 2

Siendo λ y μ los parámetros de Lamé y ρ la densidad. Como es bien sabido, λ se relaciona con el coeficiente de compresibilidad y μ es el módulo de cizalla.

Las ondas S no se transmiten a través de medios fluidos, como el núcleo externo de la Tierra, en los que el coeficiente de rigidez se aproxima a cero. Esta propiedad origina la zona de sombra para la recepción de ondas S telesísmicas en las distancias epicentrales situadas, aproximadamente, entre 105° y 180° . Sin embargo, conviene tener en cuenta que las ondas S pueden propagarse a través de todo el interior de nuestro planeta tras convertirse en ondas compresionales en la frontera manto-núcleo externo. La atenuación o desaparición de las ondas S al

atravesar medios fluidos se puede manifestar, también, en los sismogramas de terremotos volcánicos correspondientes a trayectorias que han atravesado depósitos magmáticos.

Una relación importante en el caso de prospección sísmica aplicada a la microzonificación es:

$$\alpha = \sqrt{\frac{E}{\rho} * \frac{(1 - \sigma)}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}}$$

Ecuación 3

donde E y σ representan respectivamente el módulo de Young y la relación de Poisson del medio. El registro de fases sísmicas en puntos situados a distancias conocidas de la fuente generadora de la perturbación, permite medir la velocidad de las ondas y deducir las propiedades elásticas de las capas más superficiales. En particular, el suelo clasificado como "roca" en Ingeniería Sísmica se caracteriza por una velocidad de cizalla superior a 765 m/s.

Además de las ondas P y S, características de un medio elástico homogéneo e isótropo, hay que señalar las conversiones producidas por la reflexión y la refracción en las superficies que separan capas con propiedades diferentes. Para sismos locales y regionales son particularmente importantes las ondas refractadas críticas. Estas se originan cuando una onda que se mueve en un medio con velocidad α , incide con el ángulo crítico ic , ($ic = \text{sen}^{-1}(\alpha/\alpha')$), sobre una superficie horizontal que lo separa de otro medio en el que la velocidad de transmisión, α' es mayor. Entonces, la onda refractada se propaga por el medio de mayor velocidad y paralela a la superficie de separación. Esta onda refractada

crítica es observable a partir de una distancia también llamada crítica. A partir de una separación foco-estación mayor, conocida como distancia de cruce (crossover distance), se convierte en la primera llegada del registro.

Además de las ondas internas P y S, si el medio tiene una superficie libre o una estructura de capas, puede transmitir ondas de otro tipo, que, por ser apreciables únicamente cerca de la superficie, se denominan superficiales. Las más importantes son las ondas Rayleigh y las ondas Love, así llamadas en honor de los investigadores que en 1887 y 1911, respectivamente, explicaron su formación. En ambos casos la velocidad de propagación es menor que la de las ondas S; la amplitud decrece con la profundidad, y los desplazamientos que se generan se encuentran en el plano de incidencia. Ambas pueden experimentar dispersión por lo que es necesario distinguir entre la velocidad de fase (con la que viajan los máximos y los mínimos) y la velocidad de grupo (con la que se transporta la energía y es función de la frecuencia). Para las ondas Rayleigh las partículas se mueven en planos verticales paralelos a la dirección de movimiento, describiendo una elipse con el eje mayor vertical. En cambio, las ondas Love son ondas polarizadas horizontalmente (como las SH) que han sido atrapadas en una capa superficial y se propagan por reflexiones totales múltiples. Aparecen cuando, como es habitual, la velocidad de las ondas S aumenta con la profundidad y se trasladan con una velocidad comprendida entre los valores de β en las capas superior e inferior.

Las ondas superficiales ganan importancia a grandes distancias porque su amplitud depende de $R^{-1/2}$ siendo R la distancia, mientras que para las ondas

internas la variación es con R^{-1} (Gibowicz y Kijko, 1994). Por eso constituyen la principal componente del movimiento del suelo originado por sismos lejanos, y sus efectos sobre determinadas estructuras pueden ser importantes. Por ejemplo, las ondas Rayleigh son particularmente peligrosas para las tuberías enterradas a profundidades pequeñas por lo que, junto con las S, deben ser tomadas muy en cuenta en el diseño sismorresistente de conducciones subterráneas de gas, petróleo, etc.

Debido a su influencia sobre las estructuras, el predominio de uno u otro tipo de ondas en el movimiento sísmico juega un papel decisivo en los efectos de un terremoto. Así, los daños causados por el terremoto de Loma Prieta (octubre, 1989) en el área de San Francisco y Oakland, a 100 km de distancia epicentral, se vieron agravados por la coincidencia en su llegada a la zona de las ondas S directas y las reflejadas en la discontinuidad de Mohorovicic. En el caso del sismo de Michoacán (septiembre, 1985), el campo de ondas incidente en el valle de México D.F. consistió en los modos fundamentales de las ondas Love y Rayleigh entre 7 y 10 segundos y en modos superiores entre 3 y 6 segundos (Chávez, 1994). Por ello, las edificaciones que por su altura o diseño tenían periodos propios próximos a esos valores, estuvieron particularmente expuestas a la sacudida sísmica.

Giner, J & Molina, S (2001); respecto a las ondas sísmicas indico lo siguiente:

2.2.1.3. Instrumentación Sísmica

El primer aparato del que se tiene conocimiento como registrador de las ocurrencias de un terremoto fue inventado por el astrónomo y matemático chino Chang Heng en el año 132, y él lo bautizó como una *veleta de terremotos*.



Figura 4 : Tipos de ondas sísmicas. Veleta de terremotos diseñada por Chang Heng

Fuente: Giner, J & Molina, S (2001)

Cada uno de los ocho dragones tenía una bola de bronce en su boca en equilibrio inestable. En cualquier momento en que se produjera el más leve temblor, un mecanismo dentro del dragón abriría una de las bocas dejando caer la bola de bronce, haciendo además ruido para alertar de que se había producido un terremoto. La persona encargada de esta vigilancia podía decir, sin más que mirar

que boca del dragón estaba vacía, cuál era la dirección de la que provenía el terremoto. Se trataba, por tanto, de un sismoscopio.

A mediados del siglo XIX empezaron a diseñarse los primeros sismógrafos mecánicos de registro continuo, con señales de tiempo sobre un tambor de papel ahumado. El esquema básico de todos los sismógrafos se basa en el principio de inercia y en función de este podemos resumir sus componentes en: una masa, relativamente grande, de aproximadamente 1 kg, suspendida de un muelle que se encuentra unido a un bastidor homogéneo, fijado al suelo, y un sistema de amortiguamiento del péndulo para separar los pulsos sísmicos. Cuando se produce un terremoto, el suelo se desplaza respecto de la masa debido a su inercia. De esta forma, se puede medir el movimiento relativo del suelo respecto a la masa. Estos movimientos detectados mediante transductores y convenientemente amplificadas se registran en función del tiempo. Por tanto, lo que queda registrado no es el movimiento real del suelo sino el movimiento relativo del suelo respecto de la masa. El movimiento real puede restituirse a partir del relativo una vez que se conozcan las características físicas del péndulo (sismógrafo), la constante elástica del muelle y la constante de amortiguación. Dependiendo del tipo de movimiento al que es sensible el péndulo (desplazamiento, velocidad y aceleración) se tienen los tres tipos principales de instrumentos sísmicos.

Con el avance de la tecnología se trató de buscar sistemas que logaran una amplificación tal que permitiera registrar la mayor parte del movimiento sísmico. Los primeros sistemas diseñados con este fin eran complejos conjuntos de varillas con los que se logró una amplificación de la señal de hasta 200 veces la inicial o por sistemas de sucesivas reflexiones de un rayo de luz, como el sismómetro de

Wood-Anderson, construido en 1922 y que logró una amplificación de la señal de hasta 2800 veces.

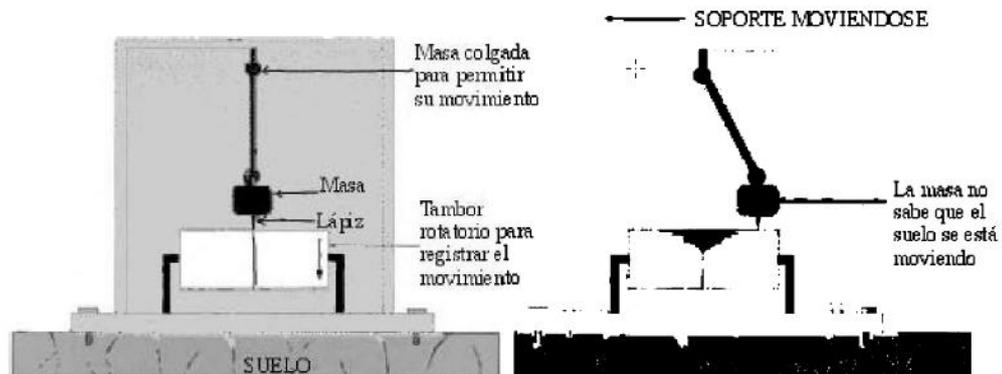


Figura 5 : Esquema de un sismógrafo mecánico de componente horizontal.

Fuente: Giner, J & Molina, S (2001)

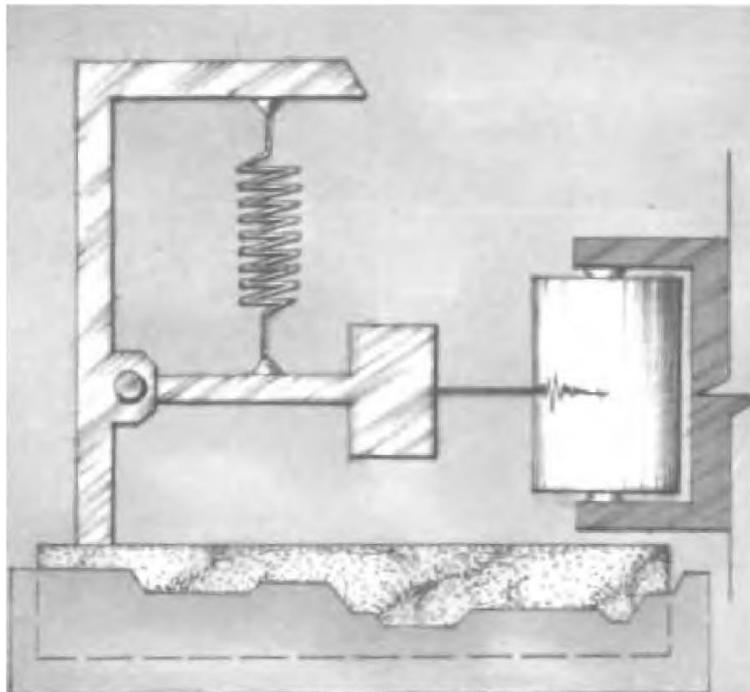


Figura 6 : Esquema de un sismógrafo mecánico de componente vertical.

Fuente: Giner, J & Molina, S (2001)

El avance en la Física del electromagnetismo hizo que este tipo de fenómenos se pudieran utilizar en la construcción de sismógrafos. En esencia, el sismógrafo electromagnético consiste en añadir a la masa de inercia una bobina dentro de un campo magnético creado por un imán. El movimiento del suelo hará que la bobina se mueva con respecto al imán y por tanto se genere una fuerza electromotriz. Esta señal electromagnética lleva recogida toda la información del evento en sus correspondientes voltajes. La señal una vez amplificada puede ser modulada para que pueda enviarse vía radio o teléfono a la central de registro. En la actualidad también se utiliza un convertidor analógico/digital antes del amplificador para poder disponer del registro sísmico en forma digital. Hoy en día es posible amplificar la señal del suelo hasta millones de veces, dependiendo de las condiciones de ruido cultural de la zona donde el sensor se encuentre instalado.

Finalmente, la tecnología más avanzada son los registradores de 24 bits reales, combinados con sensores electrónicos, denominados registradores VBB (Very Broad Band). Este tipo de instrumentos equivale a una estación sísmica completa, es decir con sensores de periodo largo para sismos globales y regionales (lejanos a la estación) y de periodo corto para sismos locales (próximos a la estación).

Otros instrumentos muy utilizados hoy en día son los acelerógrafos. Estos instrumentos se utilizan para registrar movimientos fuertes cerca del epicentro del terremoto y no registran en continuo, sino que sólo disparan cuando el movimiento de terreno es fuerte. Su principal característica es su periodo natural (0.05 - 0.1 segundos) con amortiguamiento que oscilan entre 50 - 100 del amortiguamiento crítico. Esto permite que se registren todas las altas frecuencias, lo cual no es

posible con los sismógrafos convencionales cuyo periodo natural es 1 segundo (periodo corto) o 20 segundos (periodo largo). La gran ventaja que tienen estos equipos es que una vez obtenido el acelerograma (curvas aceleración-tiempo) se puede obtener por sucesiva integración la velocidad y el desplazamiento, mientras que con los sismogramas (curvas velocidad-tiempo) sólo podríamos obtener el desplazamiento puesto que la aceleración que se obtendría por diferenciación nos da un resultado muy poco preciso.

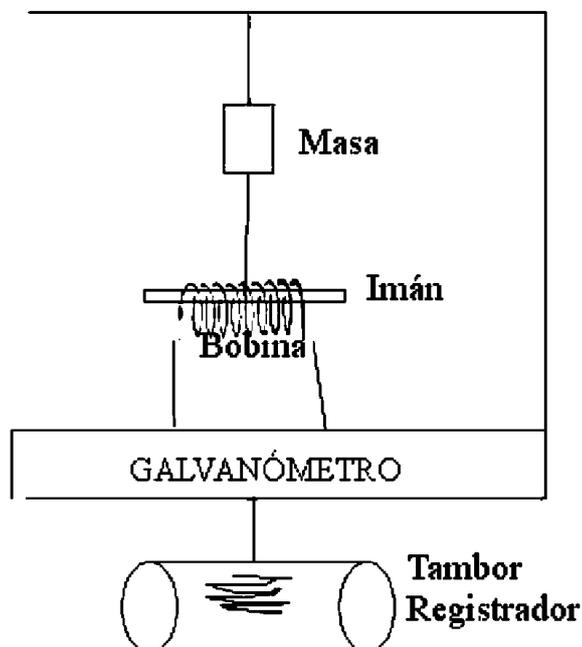


Figura 7 : Esquema de un sismógrafo electromagnético.

Fuente: Giner, J & Molina, S (2001)

Finalmente, para la interpretación sismológica es necesario llevar un control muy riguroso del tiempo por lo que todas las estaciones suelen llevar relojes de cuarzo de una precisión de 10^{-4} segundos por día y para evitar posibles fallos se actualizan con las señales horarias proporcionadas por el sistema de navegación GPS.

Sacasas, C (2019); respecto a las ondas sísmicas indico lo siguiente:

2.2.1.4. Análisis de los Sismogramas

Como ya se conoce, el sistema más utilizado es el sistema ZZ. En ese caso, dependiendo de las características del corte sísmico y de la distancia fuente-receptor, la primera entrada puede ser onda directa o refractada las cuales pueden ser con más de una fase. Las ondas directas se observan generalmente en los tiros con la fuente en los extremos de la puesta y pueden ser observados en uno o en varios canales hasta que la onda refractada, por recorrer parte de su trayectoria a velocidades mayores que la onda directa, arriba en primer lugar y la onda directa pasa a ser un evento que es fuertemente interferido por otras ondas de mayor amplitud.

Si analizamos una traza sísmica en un canal donde la onda refractada es primera entrada, pueden observarse las ondas de cambio y finalmente se observan varias fases de las ondas superficiales de Rayleigh. En la siguiente figura se pueden apreciar las secuencias lógicas de aparición de estas ondas, atendiendo a la posición del receptor, así como las características principales de los hodógrafos que se pueden obtener si se utiliza un sistema ZZ.

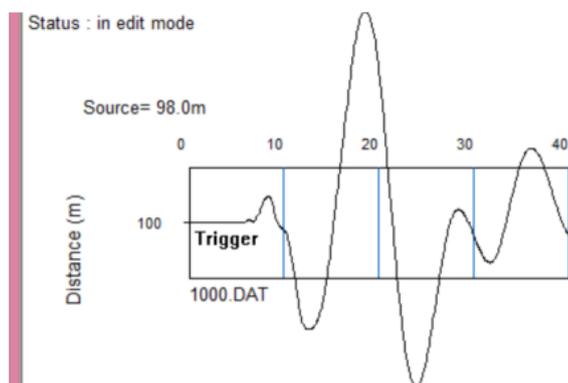


Figura 8 : Onda directa

Fuente: Sacasas, C (2019)

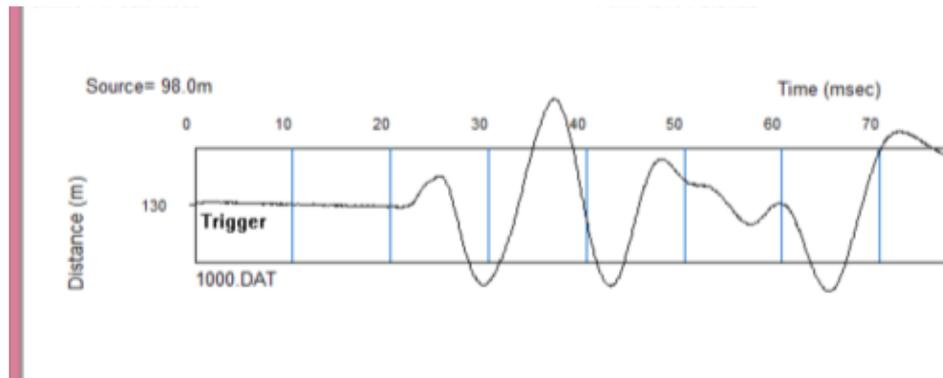


Figura 9 : Ondas refractadas monotípica y de cambio

Fuente: Sacasas, C (2019)

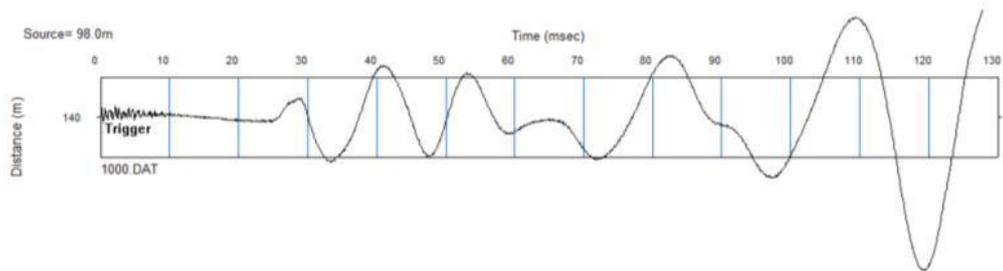


Figura 10 : Ondas refractadas de cambio y Rayleigh

Fuente: Sacasas, C (2019)

2.2.1.4.1. Ondas de cambio

Son aquellas ondas que en parte de su recorrido se comportan como ondas P o S respectivamente son: PSP, PSS, SPP, SSP.

De todas ellas en la práctica la más importante es la onda de cambio PSP por ser la de menor tiempo (y por tanto mejor para identificar) y por contener la información de la velocidad de la onda transversal en el horizonte refractor.

Las ondas P y SV se generan con sistemas ZZ o XX y sus características fundamentales son las siguientes:

$$\frac{A_{psp}}{A_{ppp}} = (3 - 10)$$

Ecuación 4

$$\frac{T_{psp}}{T_{ppp}} > 1$$

Ecuación 5

Para recibir con claridad las ondas de cambio se realiza un registro adicional con este propósito disminuyendo las amplificaciones.

Interesan las ondas PSP con el fin de extraer la información de la onda transversal correspondiente al horizonte refractor. Así, el hodógrafo de la onda PSO tendrá igual pendiente que el de la onda S proveniente del mismo horizonte, aunque diferente intercepto. Si la frontera es horizontal:

$$T_{psp} = \frac{x}{V_{s2}} + \frac{2 * h * \cos(is - p)}{V_{1p}}$$

Ecuación 6

$$T_s = \frac{x}{V_{s2}} + \frac{2 * h * \cos(is)}{V_{1s}}$$

Ecuación 7

Donde

$$isp = \text{sen}^{-1} \left(\frac{V_{1p}}{V_{2s}} \right) \text{ y } is = \text{sen}^{-1} \left(\frac{V_{1s}}{V_{2s}} \right) \text{ siendo } V_{1p} > V_{1s}$$

Ecuación 8

El dispositivo de observación es según el sistema ZZ y se obtiene la onda SV.

2.2.1.4.2. Ondas transversales

Como sabemos, atendiendo al sentido de vibración de las partículas excitadas por las ondas transversales podemos distinguir las ondas SV (polarizadas en el plano vertical) y las SH (polarizadas en el plano horizontal). Las ondas SH son siempre monotípicas lo cual implica que no generan, ni pueden ser generadas como ondas de cambio, esta característica hace que sea la onda SH la que mejores posibilidades tenga de ser identificada en un sismograma, en este caso correspondiente al sistema YY.

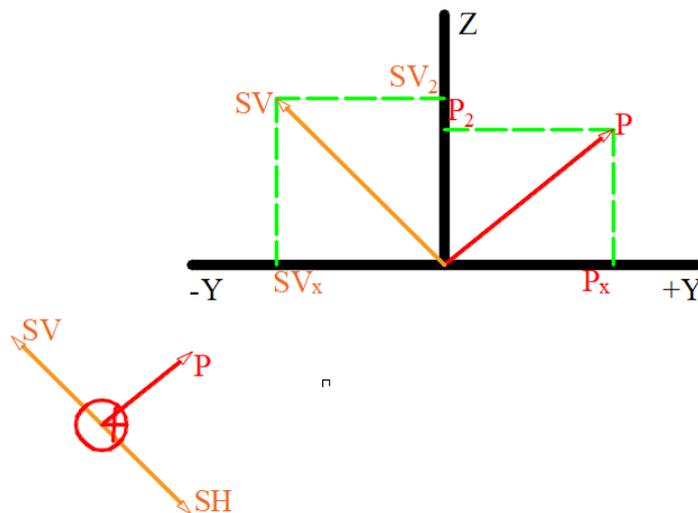


Figura 11 : Máxima dirección de vibración de las ondas P, SV, SH

Fuente: Sacasas, C (2019)

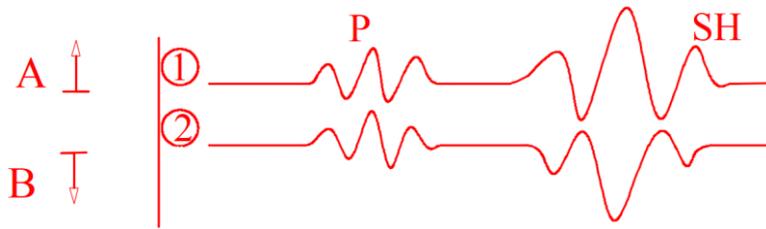


Figura 12 : Trazas sísmicas para tiros de polaridad invertida

Fuente: Sacasas, C (2019)

Si obtenemos el registro suma en este caso eliminamos la onda SH.

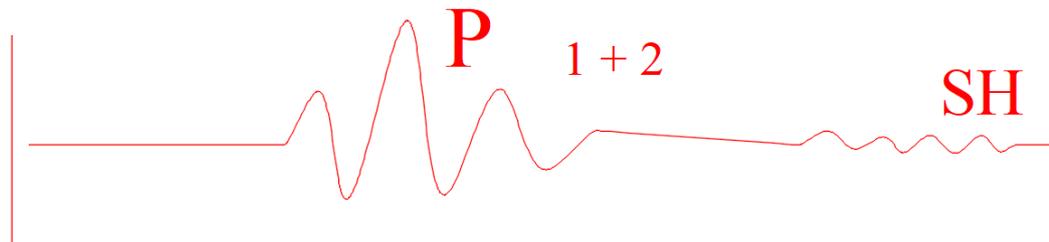


Figura 13 : Suma de las trazas de polaridad invertida

Fuente: Sacasas, C (2019)

Por otra parte, si hacemos 1-2 tendremos un reforzamiento en la onda SH y la disminución de la P.

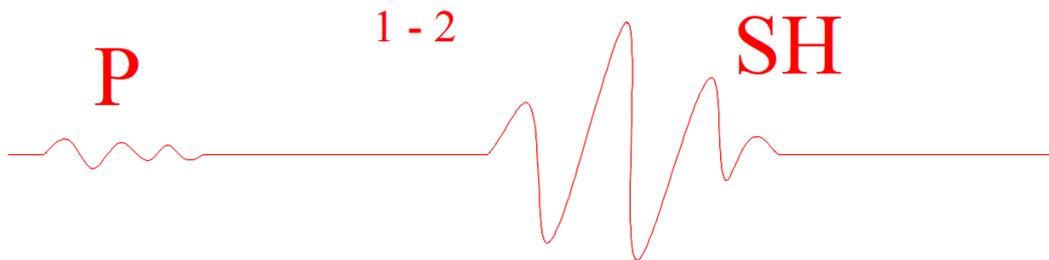


Figura 14 : Resta de las trazas con polaridad invertida

Fuente: Sacasas, C (2019)

En forma digital podemos realizar estas operaciones o incluso con la utilización de un equipo con memoria mediante el cual podemos lograr 1+2 acumulando los tiros en dirección A y B respectivamente. Para lograr 1-2 debe

“guardarse” 1 en memoria y entonces, cambiando la polaridad de la línea se realiza la suma del tiro B de polaridad invertida $1 + (2) = 1 - 2$ que es el efecto deseado. En la siguiente figura mostramos un ejemplo típico de dos trazas correspondientes a tiros con diferente polaridad.

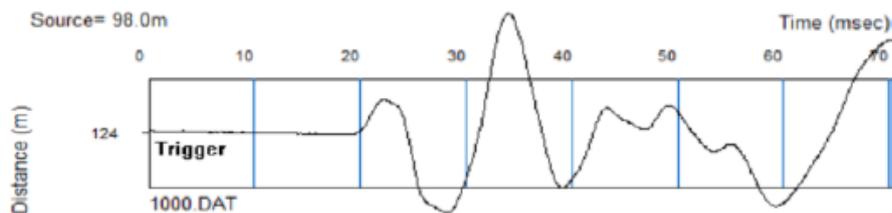
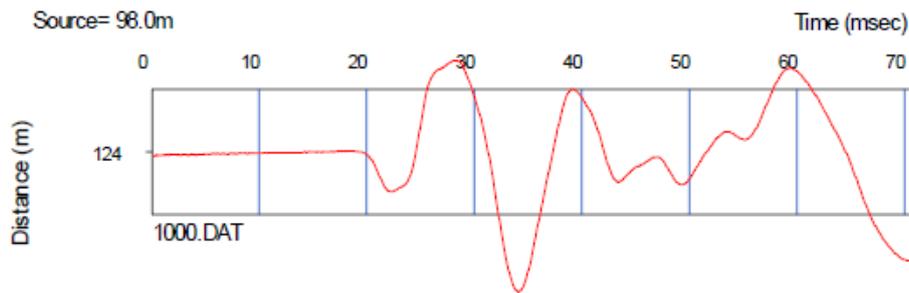


Figura 15 : Ejemplo típico de dos trazas con diferente polaridad

Fuente: Sacasas, C (2019)

Finalmente, diremos que las ondas transversales no se propagan a través de líquidos y gases, realizándolo solo por la matriz o esqueleto, es por ello que la velocidad de las ondas S no se ve afectada por los cambios de humedad ocurriendo que ante la presencia del nivel freático no se producen refracciones de ondas S y si de ondas P por lo que es útil la realización combinada de trabajos con ondas P y SH con el fin de determinar este horizonte. En resumen, si en los trabajos

convencionales con ondas P a cierta profundidad aparece una capa y en trabajos de refracción, pero usando las ondas S no aparece, es porque el horizonte detectado es el nivel freático.

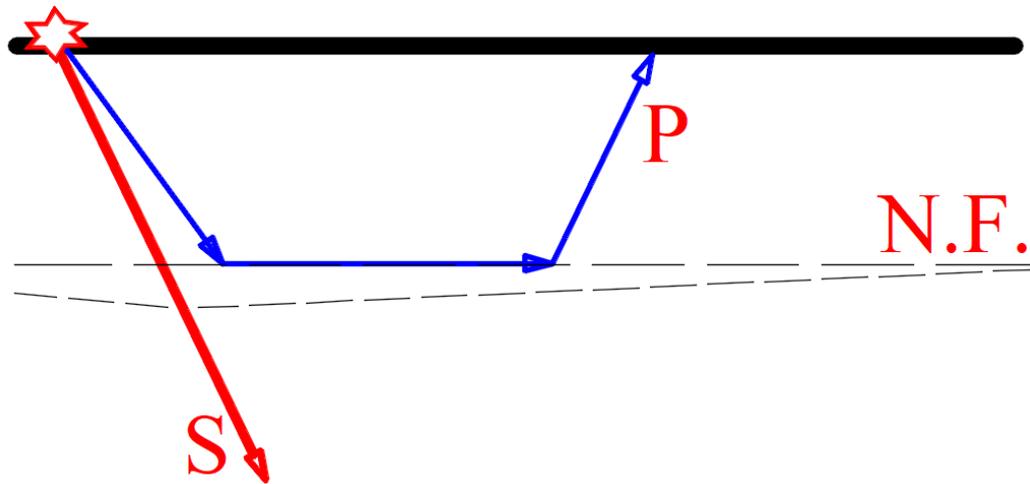


Figura 16 : Detección del nivel freático

Fuente: Sacasas, C (2019)

2.2.1.4.3. Ondas superficiales

Se presentan dos tipos, las de Rayleigh y las de Love.

2.2.1.4.3.1. Ondas Rayleigh

Sus características principales son:

1. Las partículas del medio tienen movimiento elíptico retrógrado (componentes P y SV) hasta la profundidad modal en que es elíptico progresivo (el movimiento horizontal va disminuyendo su amplitud).
2. Presentan gran amplitud al compararse con las refractadas. Su periodo es alto (1.5 a 2 veces). Se observa en varias fases y puede ser bien correlacionada;

varia su amplitud según la ley $f * \left(\frac{1}{r^2}\right)$ es decir, con menor rapidez que las ondas P y S que es según $f \left(\frac{1}{r}\right)$.

3. El sistema ZZ es el mejor para observarlas apareciendo al final del registro. Debe obtenerse en registros con puntos de explosión alejados con el fin de separarlas bien del resto de las ondas. Pueden verse también en el sistema XX y serviría esto como una comprobación.
4. En el semiespacio homogéneo se propaga solo un modo de la onda cuya velocidad de fase V_r está dada por:

$$\left(\frac{V_r}{V_s}\right)^6 - 8 * \left(\frac{V_r}{V_s}\right)^4 + \left[24 - 16 * \left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2\right] * \left(\frac{V_r}{V_s}\right)^2 - 16 * \left[1 - \left(\frac{V_r}{V_p}\right)^2\right] = 0$$

Ecuación 9

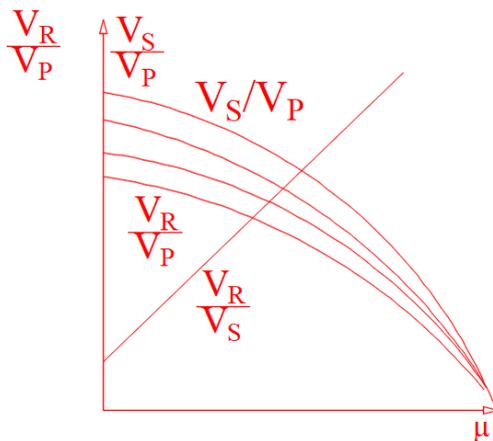


Figura 17 : Relaciones de las velocidades de ondas Rayleigh, S y P en función del coeficiente de Poisson

Fuente: Sacasas, C (2019)

La imagen anterior permite para medios homogéneos determinar el coeficiente de Poisson y, además, dado el conocimiento de dos velocidades determinar una tercera entre las tres que intervienen en el nomograma y que son

V_s , V_p y V_r con una precisión de $\pm 1.5\%$. Para el entorno $0 < \mu < 0.1$ se cumple la relación

$$V_s = 1.1 * V_r$$

Ecuación 10

con una aproximación mayor del 95%.

5. La penetración o profundidad afectada por la onda Rayleigh viene dada por

$$z = 0.6 * (1 + \mu) * \lambda$$

Ecuación 11

siendo λ longitud de onda.

6. Regularmente se observan varios armónicos. El armónico inicial (fundamental) puede utilizarse para el pronóstico de la profundidad a la que se estiman los valores de velocidad de onda transversales en el caso de una corte gradiente. Experimentalmente se han determinado las siguientes expresiones:

✓ Para cortes saturados de agua

$$Z_0 = 0.45 * V_r * T_r$$

Ecuación 12

✓ Para cortes no saturados

$$Z_0 = 0.35 * V_r * T_r$$

Ecuación 13

Donde V_r y T_r son las velocidades de fase y periodo superior visible de la onda Rayleigh.

Finalmente se debe puntualizar que el propósito de determinarla está dado por la necesidad de encontrar por una vía indirecta de la velocidad de las ondas transversales, en este caso correspondiente a la primera capa.

2.2.1.4.3.2. Ondas Love

Son reflexiones múltiples de ondas SH en una guía de onda de baja velocidad. Se observan en la parte final de los registros en el sistema YY. Se destacan con mayor claridad en los tiros alejados. Tienen gran amplitud y periodo siendo altamente dispersivas. Pueden estudiarse y obtenerse provecho de ellas con el estudio de esta característica dispersiva en las curvas de dispersión al igual que ocurrirá con las ondas de Rayleigh. Para ello son calculadas las familias de curvas teóricas de dispersión (variación de las velocidades de fase y grupo con la frecuencia) las cuales son comparadas con las dependencias prácticas de dispersión calculadas a partir de la información obtenida en el sismograma donde mediante la aplicación de la Transformada de Fourier es posible determinar su espectro de fase en dos puntos de recepción y entonces se calcula la velocidad de fase como:

$$V(\omega) = \frac{\omega * \Delta x}{\varphi_2(\omega) - \varphi_1(\omega)}$$

Ecuación 14

Donde:

$V(\omega)$: velocidad de fase de la onda superficial para la frecuencia ω .

ω : frecuencia angular

$\varphi(\omega)$: espectro de fase

Δx : distancia entre dos canales o puntos de recepción.

Para el caso de la onda Love su expresión teórica es:

$$\frac{\omega * h}{V(\omega)} * \sqrt{\left(\frac{V(\omega)}{V_{s1}}\right)^2 - 1} = \tan^{-1} \left[\frac{G_2 * \sqrt{1 - \left(\frac{V(\omega)}{V_{s2}}\right)^2}}{G_1 * \sqrt{\left(\frac{V(\omega)}{V_{s1}}\right)^2 - 1}} \right]$$

Ecuación 15

Donde:

h : espesor de la capa de baja velocidad (guía de onda).

$V_{s1,2}$: velocidad de las ondas S en el primer y segundo medio.

$G_{1,2}$: rigidez en el primer y segundo medio.

Cuando se encuentre el ajuste correcto, se determinan los parámetros correspondientes: h , V_{s1} , V_{s2} , G_1 y G_2 .

Si utilizamos la expresión

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{P}}$$

Ecuación 16

podemos determinar también la densidad ρ_1 y ρ_2 .

Herráiz, M. (1997); respecto a las ondas sísmicas indico lo siguiente:

2.2.1.5. Registros en el campo próximo

2.2.1.5.1. Acelerógrafos y acelerogramas

La vibración del suelo o de una estructura puede caracterizarse analizando la evolución temporal de los desplazamientos, las velocidades o las aceleraciones. Mientras que para las estaciones en campo lejano (sismógrafos) registran velocidades o desplazamientos, los equipos que estudian los movimientos en el campo próximo generalmente registran aceleraciones y por ello se llaman acelerógrafos. La elección de este parámetro, que se expresa en gales (cm/s^2) o en valores de la aceleración de la gravedad (m/s^2), se debe a que los desplazamientos en campo próximo pueden alcanzar amplitudes muy grandes que imposibilitan su registro. Por otra parte, es más fácil obtener velocidades y desplazamientos a partir de registros de aceleración por integración numérica simple o doble, que realizar el proceso contrario (diferenciación) para obtener aceleraciones a partir de desplazamientos o velocidades. Además, la aceleración es un concepto de mayor utilidad para los ingenieros por relacionarse directamente con la fuerza. Ello ha motivado la instalación de redes de acelerógrafos en muchos de los países con sismicidad alta o moderada. La siguiente figura representa la red de acelerógrafos establecida por el CISMID en el Perú.

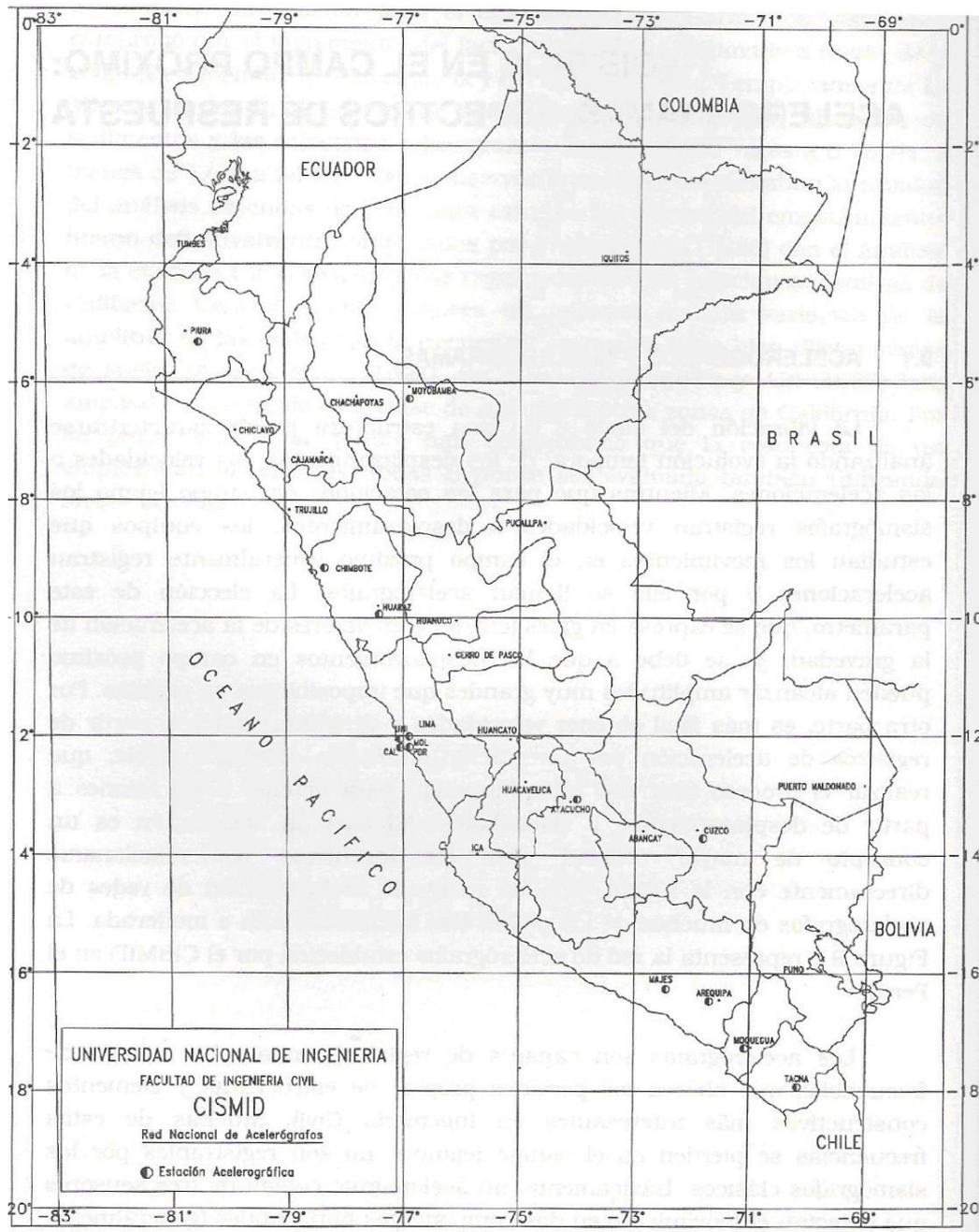


Figura 18 : Red de acelerógrafos establecida por el CISMID en el Perú

Fuente: Herráiz, M. (1997)

Los acelerógrafos son capaces de registrar un amplio margen de frecuencias que abarca los periodos propios de estructuras y elementos constructivos más interesantes en Ingeniería Civil. Muchas de estas frecuencias se pierden en el

campo lejano o no son registrables por los sismógrafos clásicos. Básicamente, un acelerógrafo consta de tres sensores que detectan el movimiento en dos componentes horizontales (generalmente en las direcciones N-S y E-W) y una vertical; un sistema de discriminación de señales y un equipo de registro. El movimiento del suelo es transformado en impulsos eléctricos de discriminación. Si la señal recibida reúne las condiciones programadas previamente, el sistema se activa generando un acelerograma analógico o digital. Dado que en este proceso se ha perturbado la señal original, es necesario corregir el acelerograma eliminando los errores introducidos en las bajas frecuencias durante la conversión de la señal en digital y las distorsiones en las altas frecuencias debidas a la respuesta del transductor. Los primeros se agravan cuando se integra la señal para conseguir la historia temporal de la velocidad y el desplazamiento (Hudson, 1979). Para comprobarlo es suficiente considerar si la línea de base del acelerograma se desplaza un valor $a_0 = 0.15 \frac{cm}{s^2}$, su traslado por integración al diagrama $V(t)$ hace que, para $t = 40 s$, la desviación sea igual a $6 \frac{cm}{s}$

$$v = a_0 * t$$

Ecuación 17

Al pasar a desplazamientos, la desviación es de $120 cm$

$$d = a_0 * \frac{t^2}{2}$$

Ecuación 18

Este ejemplo demuestra la necesidad de acotar los largos períodos en el procesado de la señal de manera que se asegure la fiabilidad de los datos. Por su

parte, los procesos de diferenciación involucrados en la corrección del transductor para extender su respuesta a altas frecuencias de interés en ingeniería, incrementan los errores asociados a estas frecuencias. Por ello es preciso acotar también los bajos períodos. Esta corrección suele conseguirse con un filtro de pasa-banda que incluye uno de paso alta que elimina las bajas frecuencias sin interés y otro paso baja, que realiza una acción similar con las altas. Para evitar el efecto de Gibbs es habitual introducir unas zonas de transición que definen unas frecuencias de roll-off. Este es el caso de la corrección de los acelerogramas en la que se utiliza el filtro de Ormsby. La selección de las frecuencias de corte de este filtro es crítica y puede hacerse con más fiabilidad analizando la relación señal-ruido del registro. Igualmente, la corrección de la línea de base que habitualmente se realiza introduciendo una señal parabólica, puede mejorarse comparando la transformada de Fourier de la señal y de la línea fija que se desea eliminar. De esta manera se puede elegir mejor el rango de frecuencias que deben ser suprimidas.

La siguiente figura representa el acelerograma corregido correspondiente a la componente N-S del sismo ocurrido el 18 de abril de 1993 y registrado en el equipo instalado en el CISMID. Este terremoto se localizó al Sur de Canta, a unos 50 km de Lima, y tuvo una profundidad hipocentral de 94 ± 6 km. La magnitud de ondas internas se estimó en 5.7 y las intensidades evaluadas fueron VI para la zona norte de Lima y V para el área Metropolitana.

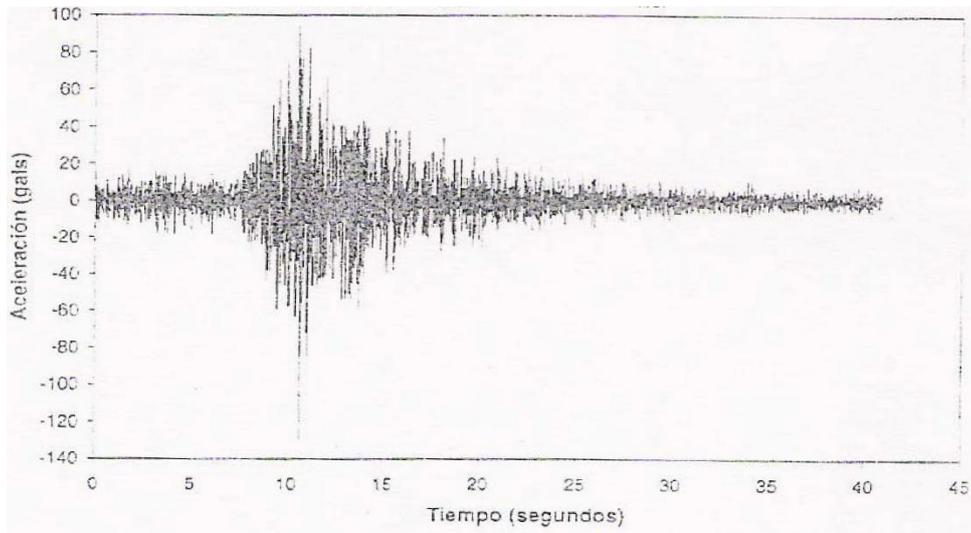


Figura 19 : Registro de aceleraciones no corregido
 Sismo del 18 de abril de 1993, estacion UNI-CISMID
 $A_{MAX} = -128.90$ gals $V_{MAX} = 5.74$ kines $D_{MAX} = 118.80$ cm
 Fuente: Herráiz, M. (1997)

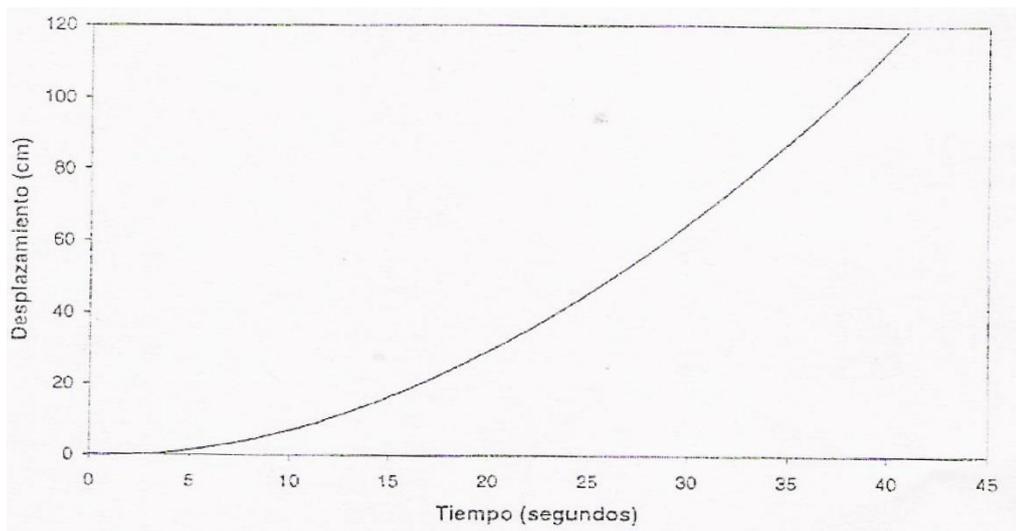


Figura 20 : Registro de desplazamientos no corregido
 Sismo del 18 de abril de 1993, estacion UNI-CISMID
 $A_{MAX} = -128.90$ gals $V_{MAX} = 5.74$ kines $D_{MAX} = 118.80$ cm

Fuente: Herráiz, M. (1997)

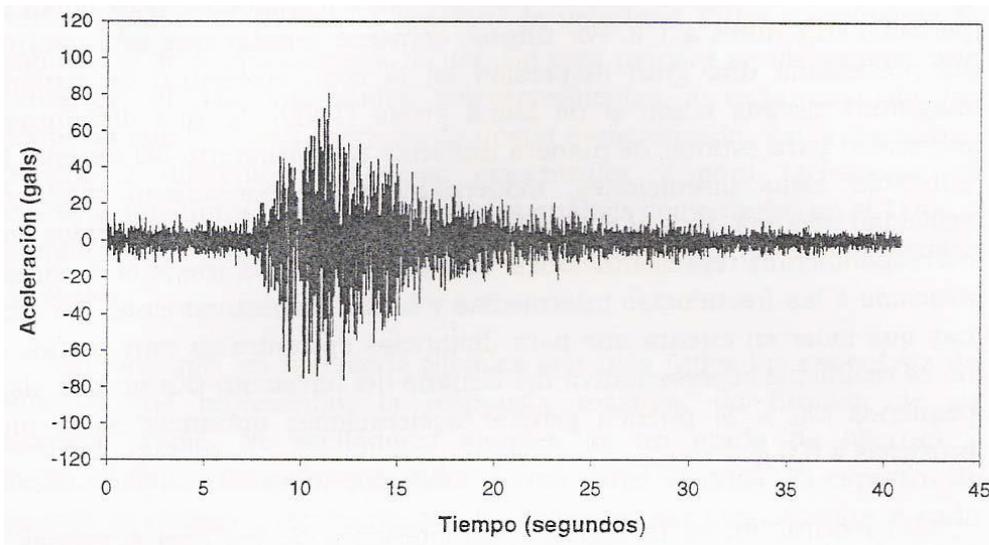


Figura 21 : Registro de aceleraciones corregido
 Sismo del 18 de abril de 1993, estación UNI-CISMID
 $A_{MAX} = -80.57$ gals $V_{MAX} = 1.40$ kines $D_{MAX} = -0.06$ cm

Fuente: Herráiz, M. (1997)

2.2.1.5.2. Parámetros de los acelerogramas

El acelerograma corregido encierra información de gran interés tanto para el sismólogo como para el ingeniero. El primero orienta su atención preferentemente a estudiar el proceso en el foco y el segundo a analizar las características del movimiento en un emplazamiento concreto. Con este objetivo, en Ingeniería Sísmica se ha prestado particular atención a dos características de los acelerogramas: el valor máximo registrado y la duración del movimiento. El primero se denomina aceleración máxima a_{max} , generalmente tiene lugar en una de las componentes horizontales. Si es así, la aceleración máxima vertical suele equipararse a $2/3$ del valor máximo horizontal. Sin embargo, en algunos casos importantes el valor máximo se ha obtenido en la componente vertical.

La aceleración máxima ha sido muy utilizada en Ingeniería Sísmica sirviendo para establecer el límite de las altas frecuencias en los espectros de

respuesta o definir el sismo de parada segura para una instalación nuclear. Sin embargo, este parámetro debe ser utilizado con precaución por diversos motivos (Bolt, 1985). En primer lugar, no refleja realmente las aceleraciones presentes en la sacudida sísmica sino tan sólo las asociadas a uno o dos impulsos. Además, la aceleración máxima está asociada a frecuencias muy elevadas por lo que los espectros de respuesta diseñados a partir de ella tienden a ajustar bien las altas frecuencias, pero fallan para períodos superiores a 1 s. Por último, conviene señalar que este parámetro ha presentado una gran dispersión en la zona epicentral de sismos de magnitud elevada como el de Loma Prieta (1989), lo que disminuye su capacidad para estimar de manera uniforme el movimiento del terreno. Para subsanar estas limitaciones, modernamente se consideran también la velocidad máxima, v_{max} , y el desplazamiento máximo, d_{max} , obtenidos en las correspondientes representaciones. Con ellos se evalúa mejor el movimiento asociado a las frecuencias intermedias y bajas, respectivamente. Por último, hay que tener en cuenta que, para distancias epicentrales muy cortas, a_{max} no es realmente representativa del tamaño del terremoto puesto que sismos pequeños ($M_L < 5$) pueden generar aceleraciones máximas en la fuente próximas a $0,6 g$.

La duración es la segunda característica de los acelerogramas que tiene un gran interés en Ingeniería. Suele definirse como el tiempo transcurrido entre el primero y el último de los pulsos del registro que superan un valor de $0,05 g$ (duración acotada) y se relaciona directamente con el tamaño de la fuente, la energía total liberada y las características del medio. La duración aumenta con la magnitud y con los suelos blandos. También puede crecer si el terremoto se genera en fases distintas, separadas temporalmente (ruptura múltiple).

La duración puede ser un factor más importante que la aceleración máxima en la generación de daños, ya que el tiempo al que una estructura está sometida a una carga sísmica puede afectarla más que el valor máximo de la aceleración. Una larga duración es capaz de alterar la rigidez en edificios de hormigón armado de manera que durante la sacudida sísmica se modifiquen el periodo fundamental y los armónicos cercanos. La duración puede causar también presiones de poros acumulativas que generan licuefacción en suelos granulares saturados o pérdidas de consistencia en suelos arcillosos.

2.2.1.5.3. Espectros de respuesta

El acelerograma corregido se somete al análisis de Fourier para obtener el correspondiente espectro de aceleración $FA(\omega)$. A partir de éste, dividiendo por ω se obtiene el espectro de velocidad $FV(\omega)$ y repitiendo la operación, el de desplazamiento $FD(\omega)$. De esta manera se dispone de una información de las amplitudes correspondientes a cada una de las frecuencias con lo que el movimiento queda caracterizado. Estos espectros, obtenidos a diferentes distancias epicentrales y para terremotos de mecanismos distintos, permiten a los sismólogos mejorar la comprensión del fenómeno sísmico en el foco.

Sin embargo, en Ingeniería Sísmica son más útiles los espectros de respuesta que representan la respuesta máxima, en función de su frecuencia propia, de osciladores simples de un grado de libertad y amortiguamiento conocido, sometidos a una carga sísmica. El espectro de respuesta se consigue representando los máximos correspondientes a cada una de las frecuencias. Según se utilicen aceleraciones, velocidades o desplazamientos, se obtendrán los espectros SA, SV

o SD. Inicialmente se considerará los espectros elásticos que suponen que la estructura va a responder elásticamente ante una carga sísmica.

Físicamente, el punto de partida es un sistema lineal simple, es decir con un grado de libertad y parámetros constantes. Si se considera que tiene una masa m y se ve sometido a una carga externa $P_{(t)}$, el Principio de D'Alambert permite escribir:

$$P_{(t)} = F_I + F_D + F_S,$$

Ecuación 19

Donde:

$$F_I = m * \ddot{x} \Rightarrow \text{la fuerza de inercia}$$

Ecuación 20

$$F_D = c * \dot{x} \Rightarrow \text{la fuerza del amortiguador}$$

Ecuación 21

$$F_S = k * x \Rightarrow \text{la fuerza elástica}$$

Ecuación 22

Como en el caso sísmico la excitación es producida por el movimiento del suelo, la fuerza de inercia depende de la aceleración total de la masa \ddot{x} que comprende la componente del movimiento relativa a la base, $\ddot{x}(t)$, más la aceleración absoluta de la base causada por la excitación sísmica $a(t)$. Como además no hay fuerza externa, la ecuación del movimiento resulta:

$$0 = m * \ddot{x} + m * a + c * \dot{x} + k * x$$

Ecuación 23

El producto $m * a$ (masa de la estructura por la aceleración absoluta del suelo) representa la carga introducida por la agitación sísmica ϑ_s ,

$$-\vartheta_s = m * \ddot{x} + m * a + c * \dot{x} + k * x$$

Ecuación 24

Dividiendo esta ecuación por m queda

$$-\frac{\vartheta_s}{m} = \ddot{x} + 2 * \delta * \omega_n * \dot{x} + \omega_n^2 * x$$

Ecuación 25

$$\delta * \omega_n = \frac{c}{2 * m}$$

Ecuación 26

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m}$$

Ecuación 27

Donde

ω_n representa la frecuencia natural del oscilador sin amortiguamiento y δ el factor de amortiguamiento crítico. La ecuación final es:

$$\omega_n^2 * x(t) + 2 * \delta * \omega_n * \dot{x}(t) + \ddot{x}(t) = a(t)$$

Ecuación 28

La solución para $x(t)$ puede obtenerse aplicando la integral de Duhamel (Meneses, 1985):

$$x(t) = \frac{1}{\omega_D} * \int_0^t a(\tau) * e^{-\delta * \omega_n(t-\tau)} * \text{sen}[\omega_D(t - \tau)] d\tau$$

Ecuación 29

en la que

$$\omega_D = \omega_n * \sqrt{1 - \delta^2}$$

Ecuación 30

es la frecuencia natural del sistema con amortiguamiento.

Haciendo

$$S = \int_0^t a(\tau) * e^{-\delta * \omega_n(t-\tau)} * \text{sen}[\omega_D(t - \tau)] d\tau$$

Ecuación 31

$$C = \int_0^t a(\tau) * e^{-\delta * \omega_n(t-\tau)} * \text{cos}[\omega_D(t - \tau)] d\tau$$

Ecuación 32

el desplazamiento relativo queda expresado como:

$$x(t) = \frac{1}{\omega_n * \sqrt{1 - \delta^2}} * S$$

Ecuación 33

y la velocidad relativa;

$$\dot{x}(t) = \frac{1}{\omega_n * \sqrt{1 - \delta^2}} * S$$

Ecuación 34

Recordando que

$$\frac{d}{dt} \int_{a(t)}^{b(t)} f(t, \tau) d\tau = \int_{a(t)}^{b(t)} \frac{df}{dt} d\tau + f\left(t, b(t) \frac{d}{dt} b(t)\right) - f\left(t, a(t) \frac{d}{dt} a(t)\right)$$

Ecuación 35

Y utilizando expresiones anteriores, se deduce

$$\dot{x}(t) = \frac{\delta}{\sqrt{1 - \delta^2}} * S - C$$

Ecuación 36

Y

$$\ddot{x}(t) = \frac{\delta}{\sqrt{1 - \delta^2}} * \dot{S} - \dot{C}$$

Ecuación 37

O también

$$\dot{x}(t) = \frac{(1 - 2 * \delta^2)}{\sqrt{1 - \delta^2}} * \omega_n * S + 2 * \delta * \omega_n * C - a(t)$$

Ecuación 38

Con lo que la aceleración total o efectiva de la masa queda:

$$\ddot{x}_t(t) = \ddot{x}_t(t) + a(t) = \frac{(1 - 2 * \delta^2)}{\sqrt{1 - \delta^2}} * \omega_n * S + 2 * \delta * \omega_n * C$$

Ecuación 39

Estas ecuaciones constituyen la historia temporal del desplazamiento, la velocidad y la aceleración. Los correspondientes espectros de respuesta SD, SV y SA se definen como:

$$SD(\omega_n, \delta) = \max|x(t)|$$

Ecuación 40

$$SV(\omega_n, \delta) = \max|\dot{x}(t)|$$

Ecuación 41

$$SA(\omega_n, \delta) = \max|\ddot{x}_t(t)|$$

Ecuación 42

Obsérvese que SA se define a partir de la aceleración total mientras que SD y SV se definen respectivamente a partir del desplazamiento y la velocidad relativas. Para un valor dado del amortiguamiento crítico, δ son funciones de la frecuencia natural. Se trata, de resolver las expresiones definidas anteriormente particularizando para un amortiguamiento dado. El método puede encontrarse detallado en Sarria (1990).

Si el amortiguamiento δ es pequeño ($\delta < 0,2$), lo que sucede en la mayoría de las estructuras características en Ingeniería Civil, a partir de las expresiones anteriores para los valores de $x(t)$ y sus derivadas se obtiene:

$$|x(t)| = \frac{S}{\omega_n}$$

Ecuación 43

$$|\dot{x}(t)| = C$$

Ecuación 44

$$|\ddot{x}_t(t)| = \omega_n * S$$

Ecuación 45

Y al considerar los valores máximos:

$$SA \cong \omega_n^2 * SD$$

Ecuación 46

$$SV \cong \omega_n * SD$$

Ecuación 47

Estos valores, que son aproximados, reciben el nombre de pseudo aceleración, PSA, y pseudo velocidad, PSV. El pseudo desplazamiento, PSD, coincide con SD para $\delta = 0$. Matemáticamente esta aproximación permite expresar los tres parámetros en función de $\text{sen}(\omega_D(t - \tau))$ lo que simplifica los procesos de cálculo. Además, hace posible la construcción de relaciones de aceleración a partir de registros de desplazamiento o velocidad, permitiendo suplir la carencia de acelerogramas reales.

Usualmente los pseudo-espectros se representan con un diagrama logarítmico tripartito en el que en abscisas se sitúa la frecuencia natural del sistema y en ordenadas los valores de PSV estimados. La pseudo aceleración absoluta, PSA, y el desplazamiento relativo se representan en ejes perpendiculares entre sí y que forman ángulos de 45° y -45° con el eje de abscisas. Es muy importante recordar que estos diagramas son una aproximación de los espectros de respuesta que resulta menos precisa cuando los acelerogramas son de corta duración y las aceleraciones elevadas (Sarria, 1990).

En los espectros de respuesta se define la máxima influencia sobre una estructura representada como un sistema de 1 grado de libertad. Si se conoce su periodo y su amortiguamiento, el espectro SA da la aceleración absoluta máxima que experimenta la estructura. A su vez, SV representa la energía máxima

aportada al oscilador por el sismo y SD indica el valor de la deformación que se relaciona con los esfuerzos en la estructura.

En la práctica, la obtención de un espectro de respuesta para estructuras con comportamiento elástico (espectro elástico) requiere la determinación de las frecuencias de control (f_1 y f_2) y de los factores de amplificación (Δd , Δv y Δa). Las frecuencias de control dividen el espectro en tres zonas correspondientes a frecuencias bajas, intermedias y altas en las que el desplazamiento, la velocidad y la aceleración, respectivamente, tienen respuesta plana. Los factores de amplificación miden el incremento de cada uno de los valores máximos de desplazamiento, velocidad y aceleración en las zonas en las que estos parámetros tienen un comportamiento lineal. Estos factores se han obtenido a partir de muchos espectros de sismos diferentes (Mohraz, 1976; Newmark y Hall, 1978) y son un dato fundamental en la elaboración de los Códigos Sismorresistentes.

Finalmente, los límites espectrales que señalan los márgenes del espectro vienen dados por los productos: $d_{max} * \Delta d$; $v_{max} * \Delta v$, y $a_{max} * \Delta a$ que se obtienen a partir del ajuste de factores de amplificación de acelerogramas reales.

Hasta aquí se ha considerado únicamente el problema elástico. Para tener en cuenta el comportamiento no elástico de la estructura y los fenómenos de histéresis es preciso utilizar espectros inelásticos, que se deducen a partir de consideraciones más realistas y tienen en cuenta la ductilidad de la estructura. Para frecuencias inferiores a 2 Hz, la modificación consiste en dividir por el factor de ductilidad μ las ordenadas del espectro elástico de aceleración. En el rango 2 – 8 Hz, el divisor es $(2\mu - 1)^{1/2}$. El factor de ductilidad se puede definir como el

cociente entre el máximo desplazamiento que puede resistir la estructura y el máximo desplazamiento a la primera cedencia del acero o del acero de refuerzo en cualquier parte de la estructura (deformación en el límite elástico) (Sarria, 1990).

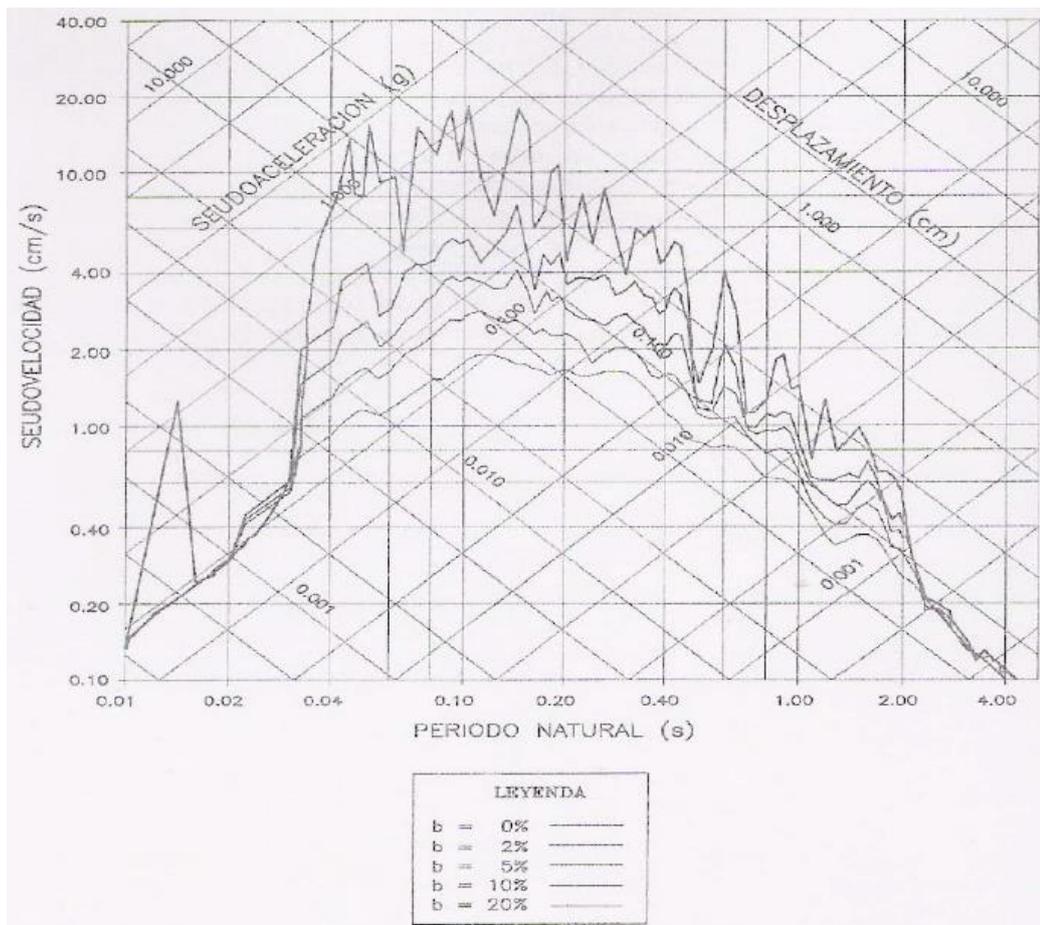


Figura 22 : Espectros de respuesta elástica
Sismo del 18/04/93, estación UNI-CISMID, COMP. N-S
Amortiguamientos de 0, 2, 5, 10 y 20%

Fuente: Herráiz, M. (1997)

Igualmente, y con objeto de incluir en los espectros de respuesta la influencia local del suelo, se han desarrollado los espectros dependientes del emplazamiento. Estos espectros aparecen claramente diferenciados según el tipo de suelo (roca, suelo intermedio y suelo blando) que se considere. El cociente

entre los valores máximos de la velocidad y la aceleración, que en primera aproximación determina el período predominante del movimiento, depende estrechamente de las características del suelo pudiendo variar en un factor de 2 al pasar de roca a depósitos aluviales profundos (Seed, 1976).

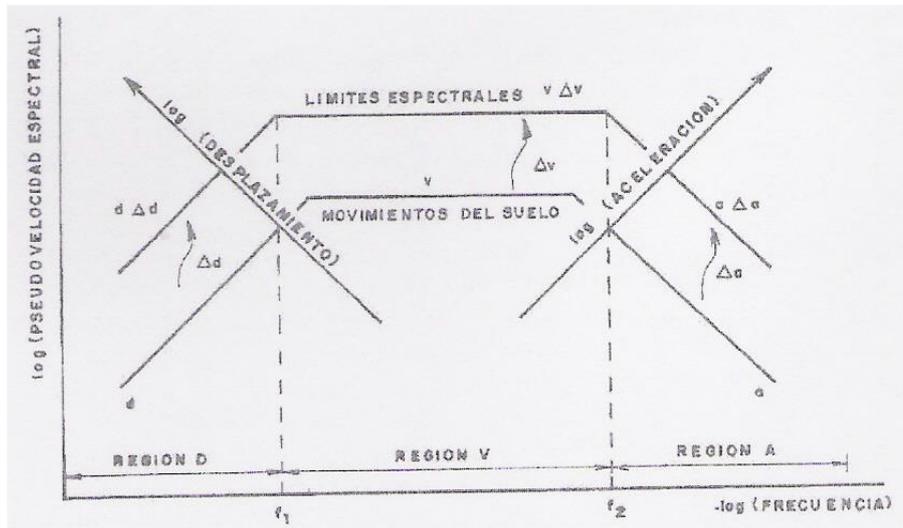


Figura 23 : Esquema de la obtención del espectro elástico de respuesta (Benito, 1993).

Fuente: Herráiz, M. (1997)

Por ello una aplicación realista de los espectros requiere considerar la influencia de las características locales (Benito, 1993). Tomada de Herráiz y Benito (1992), en donde se representa la distribución de la amplitud de Fourier, FA, y de la respuesta de aceleración, SA, en función de la distancia hipocentral y el tipo de suelo, para la frecuencia de 5 Hz. Los datos corresponden al terremoto de San Fernando (California) de 1971. Puede apreciarse fácilmente la presencia de una migración de los máximos con la distancia, según el tipo de suelo considerado. Análogo efecto (no representado aquí) se observa para las frecuencias de 0,5, 1 y 10 Hz, lo que manifiesta la necesidad de considerar

numerosos parámetros al evaluar la respuesta de un emplazamiento. En este sentido, el proyecto de la Norma Sismorresistente de uso obligatorio en todo el ámbito de la Unión Europea, consideran tres formas espectrales correspondientes a tres tipos de suelo (A, B y C) que abarcan desde la roca dura hasta los suelos arcillosos y limos. Este mismo proyecto incluye un espectro elástico con un amortiguamiento viscoso del 5%. Por su parte, la actual Norma de Construcción Sismorresistente de España (NCS-94) considera un espectro elástico dividido en tres tramos de acuerdo con el periodo, y obtenido para un amortiguamiento del 5%. También contempla los tres tipos de suelo habituales e introduce un "coeficiente de contribución", K, que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos considerados en la peligrosidad sísmica. En particular, este coeficiente pretende evaluar mejor la influencia de la zona sísmica Azores - Gibraltar causante de grandes terremotos capaces de producir en la Península Ibérica movimientos con periodos elevados.

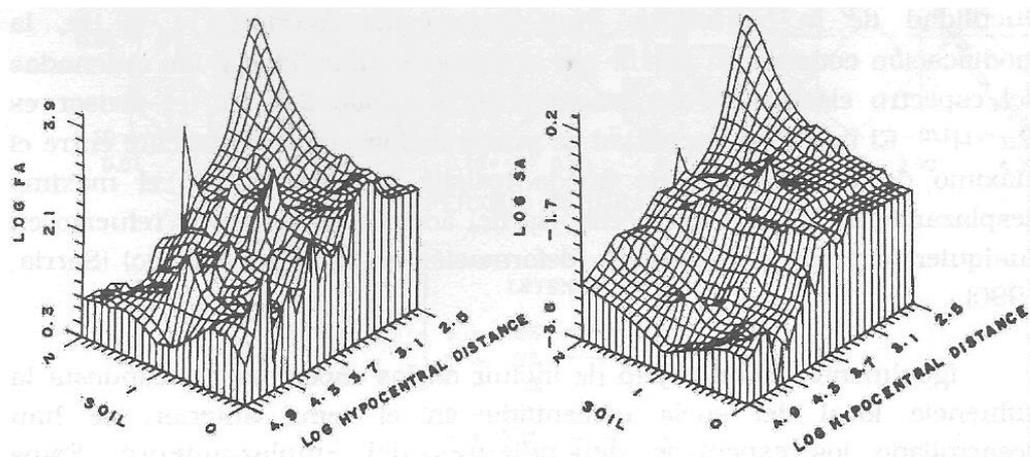


Figura 24 : Distribución de la amplitud de Fourier FA (izquierda) y de la respuesta de aceleración SA (derecha), para la frecuencia de 1 Hz en función de la distancia hipocentral y el tipo de suelo. (Herráiz y Benito, 1992).

Fuente: Herráiz, M. (1997)

2.2.1.5.4. Espectros reales, escalados y de diseño

En las etapas anteriores se ha razonado utilizando un solo acelerograma real. En la práctica es necesario disponer de suficientes registros que reflejen las distintas variaciones de magnitud, tipo de fuente, distancia epicentral y características de suelo que pueden afectar al emplazamiento para el que se calcula el espectro de respuesta. Así se obtienen espectros reales a partir de los cuales se puede deducir un espectro medio (resultante de promediar las amplitudes espectrales para cada frecuencia) o elegir uno de ellos como espectro de diseño para una estructura dada. Este deberá reflejar la aceleración máxima esperada con los márgenes de probabilidad y seguridad requeridos para ese tipo de edificación por la Norma Sismorresistente en uso.

Cuando no es posible disponer de acelerogramas obtenidos en la zona de estudio, es necesario seleccionar espectros reales de otras áreas de características sismotectónicas similares, o calcular el acelerograma teórico para un sismo patrón. En el primer caso es necesario tener en cuenta la magnitud máxima esperada en la zona de aplicación, los suelos predominantes en ésta, las distancias focales más frecuentes, etc. Además, siempre hay que recordar las limitaciones inherentes al empleo de la aceleración máxima.

2.2.1.5.5. Nuevos parámetros de tamaño

Agrupamos con este nombre un conjunto de parámetros extraídos de los acelerogramas o de los espectros de respuesta que permiten estimar la importancia de la vibración que ha dado lugar al acelerograma. Los más importantes son la Intensidad Espectral, I_h , (Housner, 1952), la aceleración cuadrática media $a(t)$, (Husid, 1970) y la Intensidad Arias (Arias, 1969). La primera se define para un

amortiguamiento dado, como el área encerrada bajo el gráfico del espectro de pseudo-velocidades entre los periodos de 0,10 y 2,5 s. Tiene dimensiones de longitud y por utilizar pseudo-velocidades es directamente proporcional a los esfuerzos producidos en una estructura.

Su relación con los parámetros que evalúan el tamaño del sismo no es muy clara. Por ello, y también para superar las limitaciones de la a_{max} , Husid (1970) propuso utilizar la aceleración cuadrática media correspondiente a la duración total del sismo y a cada componente. Este parámetro depende por ello críticamente de la forma de medir la duración, “aspecto sobre el que no existe unanimidad”, pero el análisis de su evolución temporal ha recibido un gran interés en el estudio del comportamiento de las estructuras. Por su parte la Intensidad de Arias busca ofrecer una medida sencilla de la Intensidad sísmica fundamentada en la capacidad de daño de un sismo, sin considerar la existencia o las características de las estructuras. La Intensidad se convierte en un tensor simétrico cuya traza se relaciona con las aceleraciones registradas en tres acelerógrafos perpendiculares entre sí, a través de la expresión:

$$I = I_{xx} + I_{yy} + I_{zz} = \frac{\pi}{2 * g} * \int_t^{t_0} (a_x^2 + a_y^2 + a_z^2) dt$$

Ecuación 48

Siendo t_0 la duración total del acelerograma. Esta nueva forma de definir la Intensidad elimina las referencias a daños, difíciles de evaluar objetivamente, al tiempo que considera simultáneamente la amplitud del movimiento y su duración.

Otro parámetro que está recibiendo creciente atención en los estudios de vulnerabilidad es la Velocidad Absoluta Acumulada (Cumulative Absolute Velocity, CAV), que se define como:

$$CAV = \int_t^{t_0} |a(t)| dt$$

Ecuación 49

donde $|a(t)|$ es el valor absoluto de la aceleración (Cabañas, 1996).

Duque, G & Potes, C (2014); respecto a los suelos indico lo siguiente:

2.2.2. Suelos

2.2.2.1. Mecánica de los suelos.

Terzaghi dice: La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica.

La mecánica de suelos incluye:

- a. Teorías sobre el comportamiento de los suelos sujetas a cargas, basadas en simplificaciones necesarias dado el estado actual de la teoría.
- b. Investigación de las propiedades físicas de los suelos.
- c. Aplicación del conocimiento teórico y empírico de los problemas prácticos.

Los métodos de investigación de laboratorio figuran en la rutina de la mecánica de suelos. En los suelos se tiene no solo los problemas que se presentan en el acero y concreto (módulo de elasticidad y resistencia a la ruptura), y exagerados por la mayor complejidad del material, sino otros como su tremenda variabilidad y que los procesos naturales formadores de suelos están fuera del control del ingeniero.

En la mecánica de suelos es importante el tratamiento de las muestras (inalteradas – alteradas). La mecánica de suelos desarrolló los sistemas de clasificación de suelos – color, olor, texturas, distribución de tamaños, plasticidad (A. Casagrande).

El muestreo y la clasificación de los suelos son dos requisitos previos indispensables para la aplicación de la mecánica de suelos a los problemas de diseño.

2.2.2.2. El terreno y la ingeniería civil

En su trabajo práctico el ingeniero civil ha de enfrentarse con muy diversos e importantes problemas planteados por el terreno. Prácticamente todas las estructuras de ingeniería civil, edificios, puentes, carreteras, túneles, muros, torres, canales o presas, deben cimentarse sobre la superficie de la tierra o dentro de ella. Para que una estructura se comporte satisfactoriamente debe poseer una cimentación adecuada.

Cuando el terreno firme está próximo a la superficie, una forma viable de transmitir al terreno las cargas concentradas de los muros o pilares de un edificio es mediante zapatas. Un sistema de zapatas se denomina cimentación superficial. Cuando el terreno firme no está próximo a la superficie, un sistema habitual para transmitir el peso de una estructura al terreno es mediante elementos verticales como pilotes o caissons.

El suelo es el material de construcción más abundante del mundo y en muchas zonas constituye, de hecho, el único material disponible localmente. Cuando el ingeniero emplea el suelo como material de construcción debe seleccionar el tipo adecuado de suelo, así como el método de colocación y, luego, controlar su colocación en obra. Ejemplos de suelo como material de construcción son las presas en tierra, rellenos para urbanizaciones o vías.

Otro problema común es cuando la superficie del terreno no es horizontal y existe una componente del peso que tiende a provocar el deslizamiento del suelo. Si a lo largo de una superficie potencial de deslizamiento, los esfuerzos tangenciales debidos al peso o cualquier otra causa (como agua de filtración, peso de una estructura o de un terremoto) superan la resistencia al corte del suelo, se produce el deslizamiento de una parte del terreno.

Las otras estructuras muy ligadas a la mecánica de suelos son aquellas construidas bajo la superficie del terreno como las alcantarillas y túneles, entre otros, y que está sometida a las fuerzas que ejerce el suelo en contacto con la misma. Las estructuras de contención son otro problema a resolver con el apoyo de la mecánica de suelo entre las más comunes están los muros de gravedad, los tablestacados, las pantallas ancladas y los muros en tierra armada.

2.2.2.3. Historia de la mecánica de suelos

En la dinastía Chou, 1000 A. C, se dan recomendaciones para construir los caminos y puentes. El siglo XVII trae las primeras contribuciones literarias sobre ingeniería de suelos y el siglo XVIII marca el comienzo de la Ingeniería Civil, cuando la ciencia se toma como fundamento del diseño estructural.

Bullet, 1691, (francés), presenta la primera teoría sobre empuje de tierras y a ella contribuyen los franceses Couplet (1726), Coulomb (1773), Rondelet (1802), Navier (1839), Poncelet (1840) y Collin (1846). Más adelante el escocés Rankine (1857) y el suizo Culman (1866).

En 1773, Coulomb (francés), relaciona la resistencia al corte con la cohesión y fricción del suelo. En 1857, Rankine (escocés), presenta su teoría del empuje de

tierras. En 1856, se presenta la "Ley de Darcy" (Francia) y la "Ley de Stokes" (Inglaterra), relacionadas con la permeabilidad del suelo y la velocidad de caída de partículas sólidas en fluidos.

Culman (1866) aplica gráficamente la teoría de Coulomb a muros de contención. En 1871, Mohr (Berlín) desarrolla el cálculo de esfuerzos (una representación gráfica) en un punto del suelo dado.

1873, Bauman (Chicago) afirma que el área de la zapata depende de la carga de la columna y recomienda valores de carga en arcillas.

En 1885 Boussinesq (Francia) presenta su teoría de distribución de esfuerzos y deformaciones por cargas estructurales sobre el terreno.

En 1890, Hazen (USA) mide propiedades de arenas y cascajo para filtros.

En 1906, Strahan (USA) estudia la granulometría para mezclas en vía.

En 1906, Müller, experimenta modelos de muros de contención en Alemania.

En 1908, Warston (USA), investiga las cargas en tuberías enterradas.

En 1911, Atterberg (Suecia), establece los límites de Atterberg para suelos finos.

En 1913, Fellenius (Suecia), desarrolla métodos de muestreo y ensayos para conocer la resistencia al corte de los suelos y otras propiedades. Además, desarrolla el método sueco del círculo para calcular la falla en suelos cohesivos.

En 1925, Terzagui, presenta en Viena el tratado ERDBAUMECHANIK que hace de la Mecánica de Suelos sea una rama autónoma de la Ingeniería. El científico de Praga, Karl Terzagui, es el padre de la Mecánica de Suelos.

En la Sede de Manizales cuando la entonces Facultad de Ingeniería creada en 1948, hacia 1952 se dictó por primera vez el curso de Mecánica de Suelos por el Ingeniero Civil Julio Robledo Isaza.

2.2.2.4. Origen formación y constitución del suelo

El geotecnista debe conocer el contexto geológico del suelo, e incluso el climatológico y agrológico. Sin ese entendimiento, su trabajo estará lleno de incertidumbres que pueden traducirse en pérdidas de oportunidades al desconocer propiedades inherentes y sobre todo, se podrán incorporar elementos de riesgo para el diseño, por omitir circunstancias fundamentales intrínsecas y ambientales.

2.2.2.4.1. Generalidades

Suelo, en Ingeniería Civil, son los sedimentos no consolidados de partículas sólidas, fruto de la alteración de las rocas, o suelos transportados por agentes como el agua, hielo o viento con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, y que pueden tener materia orgánica. El suelo es un cuerpo natural heterogéneo.

La mecánica de suelos es la aplicación de la mecánica a los problemas geotécnicos. Ella estudia las propiedades, comportamiento y utilización del suelo como material estructural, de tal modo que las deformaciones y resistencia del suelo ofrezcan seguridad, durabilidad y estabilidad de las estructuras.

La estructura del suelo puede ser natural (la del suelo “in situ”), como un talud, canal en tierra o artificial (suelo como material de construcción), como un terraplén o un relleno.

MECÁNICA DE SUELOS		VI Suelo con humus	Fábrica textural heredada. Zona de lixiviación susceptible a la erosión.
		V Suelo sin humus	
IV Completamente descompuesto		Fábrica textural y estructural. Zona de acumulación. Inicia el control estructural.	
III Altamente descompuesto			
II Parcialmente descompuesto		Fábrica estructural heredada.	
I Roca sana		Falla planar, en cuña o por caída.	
MECÁNICA DE GRANOS GRUESOS			
MECÁNICA DE ROCAS			

Figura 25 : Perfil del suelo (en geotecnia). El perfil geotécnico se describe con seis horizontes, del I en la base al VI en la superficie, pudiendo en ocasiones estar el perfil incompleto, por faltar en el algún horizonte.

Fuente: Duque, G & Potes, C (2014)

2.2.2.4.2. Etapas y procesos en la formación del suelo (I) y de las arcillas (II)

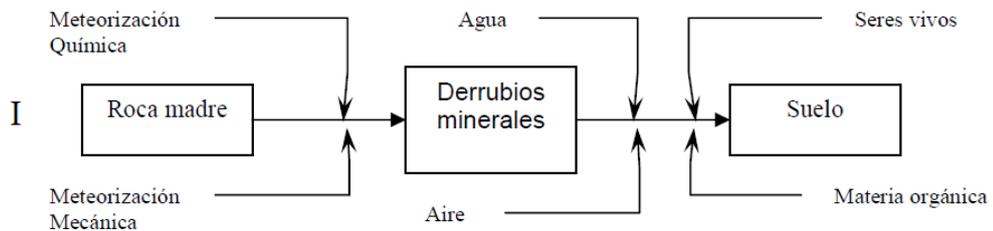


Figura 26 : Etapas y procesos en la formación del suelo

Fuente: Duque, G & Potes, C (2014)

2.2.2.4.3. Factores de formación y evolución del suelo (F.F.E.S.):

Los factores de formación y evolución del suelo son cinco:

- ✓ Material Parental: Permeabilidad y constituyentes minerales de la roca madre.
- ✓ Tiempo: El clímax puede ser de decenas a miles de años. Por ejemplo, siglos.

- ✓ Topografía: Pendientes, drenaje; orientación de la ladera y barreras topográficas.
- ✓ Formadores biológicos: Micro y macro fauna como fuente de humus.
- ✓ Clima: Temperatura, balance hídrico, intensidad de acción y velocidad de procesos.

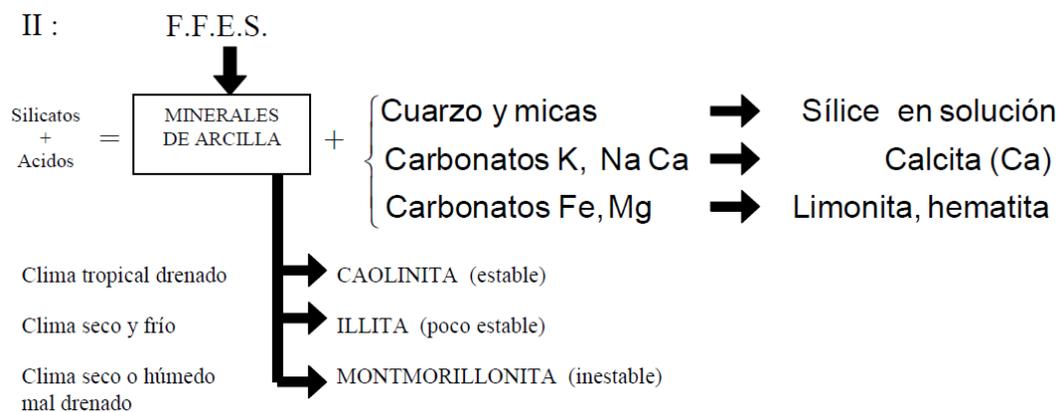


Figura 27 Etapas y factores de formación de las arcillas

Fuente: Duque, G & Potes, C (2014)

2.2.2.4.4. Depósitos

El nombre de los depósitos depende del agente, el lugar y su estructura. El geotecnista debe reconocer y advertir las propiedades ingenieriles de un depósito, como su densidad, resistencia, permeabilidad, naturaleza, etc., recurriendo al análisis de su génesis y a los materiales y procesos que lo explican.

- ✓ Por el agente: Coluvial (gravedad), eólico (viento), aluvial (agua), glaciar (hielo).
- ✓ Por el lugar: Palustre (pantanos), marino (mar), lacustre (lagos), terrígenos (continentes).
- ✓ Por la estructura: clástico (fragmentos), no clástico (masivo).

2.2.2.4.5. Alteración de las rocas

Existe un equilibrio dinámico entre las tasas de alteración y denudación, TA y TD, respectivamente.

$$TA > TD$$

Ecuación 50

predominio de material residual; ejemplo, zona tórrida.

$$TD > TA$$

Ecuación 51

predominio de la roca fresca y los sedimentos; ejemplo, zona templada.

Los suelos tropicales son fundamentalmente suelos residuales, mientras los de zonas templadas son fundamentalmente suelos transportados; así, la Mecánica de Rocas se ha hecho para latitudes diferentes a las nuestras, donde las capas de suelo son horizontales, sin relictos caóticos e impredecibles, como los que afectan nuestros macizos y suelos.

Las alteraciones tectónica e hidrotermal, no son formas de meteorización; ambas formas de meteorización son típicas de los ambientes andinos, donde el clima también es intenso y hace su aporte.

No son la humedad y la temperatura, sino las variaciones de ambas las que hacen intensa y rápida la meteorización o intemperismo.

Alteración física: Incluye la desintegración por meteorización mecánica, ejemplo:

- ✓ Tectónica.
- ✓ Climática.
- ✓ Biológica.
- ✓ Hidrotermal.

Alteración química: Incluye la descomposición por meteorización química, ejemplo:

- ✓ Por agua (hidratación, hidrólisis, solución).
- ✓ Por CO₂ (Carbonatación).
- ✓ Por O₂ (Oxidación, reducción).

Los coluviones son por lo general depósitos heterogéneos, sueltos y con bloques angulosos. Los aluviones son depósitos conformados por materiales gruesos y matriz de finos en los tramos de ambiente montañosos y por materiales finos en los valles amplios. La gradación está ligada a la velocidad de la corriente, por lo general baja en los valles amplios. Los depósitos lacustres generalmente son de grano fino. Los depósitos marinos suelen ser estratificados. En los lacustres el medio es tranquilo y la potencia menor.

Los depósitos glaciares son heterogéneos, los till no presentan estratificación clara, los fluvio glaciares sí. Los primeros por el efecto aplanadora del hielo y los segundos por formarse a partir de las aguas de fusión.

Los depósitos eólicos son homogéneos, los loes son de limos y las dunas son de arena; los loes no son transportados y las dunas sí (emigran).

Los principales minerales que constituyen suelos gruesos son: Silicato principalmente feldespato (K, Na, Ca), micas (moscovita y biotita), olivino y serpentina. Óxidos, en especial el cuarzo (SiO_2), limonita, magnetita y corindón. Carbonatos, principalmente calcita y dolomita, y sulfatos como yeso y anhidrita.

En los suelos gruesos el comportamiento mecánico e hidráulico depende de su compacidad y orientación de partículas, y poco de la composición mineralógica.

Roca Vs Suelo: Depende de la resistencia a la compresión

- ✓ Roca dura si $\sigma_c > 300 \text{ Kg/cm}^2$.
- ✓ Roca blanda si $200 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_c < 300 \text{ Kg/cm}^2$
- ✓ Suelo si $\sigma_c \approx 10 \text{ Kg/cm}^2$

(El concreto normalmente es de $\sigma_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$)

2.2.2.4.6. Vertiente de montaña

Los talus y los coluviones son depósitos de ladera; el talus es clastosoportado y el coluvión es matriz soportado. Ambos están en la ladera de acumulación. La infiltración se da en la ladera convexa donde se da la reptación. La ladera rectilínea es denotativa y exhibe los horizontes I y II.

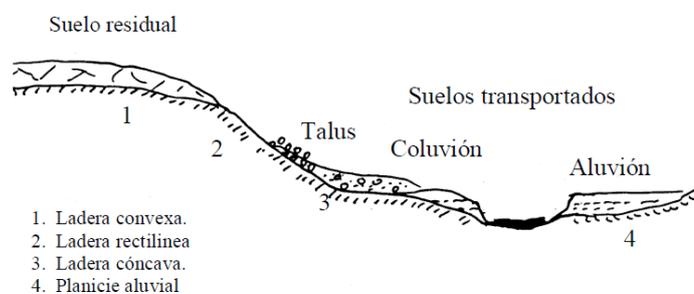


Figura 28 Distintos tipos de formaciones de suelo

Fuente: Duque, G & Potes, C (2014)

2.2.2.4.7. Componentes del suelo

El aire y el agua son elementos constitutivos, además de los sólidos y gases. Los guijarros son fragmentos de roca con diámetros $\varphi > 2 \text{ cm}$. Las gravas tienen dimensiones de 2 cm a 2 mm . La arena gruesa desde $0,2 \text{ cm} < \varphi < 0,2 \text{ mm}$; la arena fina, entre $0,2 \text{ mm} < \varphi < 0,005 \text{ mm}$. Llamamos limo a las partículas con diámetro aparente entre $0,05 \text{ mm}$ y $0,005 \text{ mm}$.

Con los análisis granulométricos, arcilla son los constituyentes de diámetro aparente inferior a $0,002 \text{ mm}$ (o 2μ), pero el término arcilla tiene otro sentido, adicionalmente, no granulométrico.

2.2.2.4.7.1. Arcilla

Son grupos minerales definidos, como caolinita, illita y montmorillonita, donde participan estructuras octaédricas y tetraédricas. La arcilla, como el humus, posee propiedades coloidales. Las arcillas, en el sentido mineralógico, son cristales microscópicos cuyos átomos están dispuestos en planos.

Al interior de una trama de átomos de oxígeno, cuyas esferas iónicas son voluminosas, se encuentran cationes de sílice (Si) y aluminio (Al). Si el volumen lo permite, cationes de hierro (Fe), magnesio (Mg), calcio (Ca) o potasio (K) reemplazan a la sílice (Si) y al aluminio (Al).

Las arcillas tienen una capacidad de intercambio iónico grande. Otros iones diferentes a los enunciados pueden completar las capas y unir las, y también, las cargas eléctricas libres pueden ser equilibradas por iones intercambiables.

- ✓ Gibsita: (G) Lámina de alúmina, fruto de la combinación de octaedros de aluminio (Al).
- ✓ Brucita: (B) Lámina hidratada, fruto de combinar octaedros de magnesio (Mg).
- ✓ Láminas de sílice: Tetraedros (SiO₄) de sílice dispuestos en lámina.
- ✓ Las arcillas 1:1 son arreglos de octaedro G o B (rectángulo) y T de Silicio (trapecio)
- ✓ Las arcillas 2:1 son 2 tetraedros de silicio y en medio de ellos un octaedro G o B.

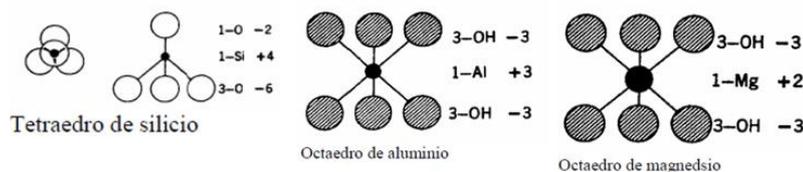


Figura 29 Tres unidades estructurales básicas y radios iónicos

Fuente: Duque, G & Potes, C (2014)

2.2.2.4.7.1.1. Caolinitas

Principal grupo de arcillas que presenta baja capacidad de intercambio, 10 – 12 me (miliequivalentes) cada 100 gr, y con dos capas de cationes, las llamadas arcillas 1:1 (capa tetraédrica más capa octaédrica de alúmina hidratada). El arreglo, que se repite indefinidamente da una carga eléctrica neutra de la mineral caolinita, cuya estructura no es expansiva, por no admitir agua en sus retículos. Estas arcillas son moderadamente plásticas, de mayor permeabilidad y mayor fricción interna. Del grupo son: HALOISITA, CAOLINITA (por definición), ENDELLITA, DICKITA, ALOFANO, NACRITA Y ANAUXITA. La haloisita, aunque tiene la misma fórmula del caolín, contiene moléculas extra dentro de su

estructura. En la figura = Gibsita = SiO_4 (En la “Carta de Plasticidad” las caolinitas están bajo la línea A = limos).

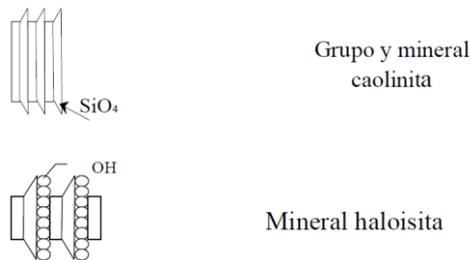


Figura 30 Estructuras básicas y radios iónicos

Fuente: Duque, G & Potes, C (2014)

2.2.2.4.7.1.2. Illita

Es una arcilla 2:1, cuya capacidad de intercambio es de unos 40 me/100gr, lo que las hace algo expansivas. Las láminas de alúmina están entre dos láminas de SiO_4 , y estas se ligan por iones de potasio, que le dan cierta estabilidad al conjunto. La actividad de la illita es 0.9, de la caolinita es de 0.38. El coeficiente de fricción interno y la permeabilidad son menores que en la caolinita y mayores que en la montmorillonita.

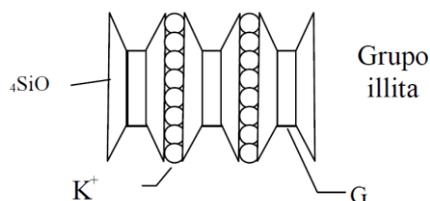


Figura 31 Estructura de la Illita

Fuente: Duque, G & Potes, C (2014)

2.2.2.4.7.1.3. Montmorillonita

Arcilla 2:1 cuya capacidad de intercambio es de unos 120 me/100gr, lo que las hace muy expansivas. Entre las dos láminas de sílice se encuentra una brucita o una gibsita, y este arreglo se repite indefinidamente. La unión entre minerales individuales es débil, por lo cual el agua se inserta, introduciendo n moléculas para producir el hinchamiento del suelo. Además de ser expansiva, la montmorillonita es muy plástica y se contrae al secarse, mejorando su resistencia y haciéndose impermeable. La actividad de la montmorillonita es de 7.2. Entre las montmorillonitas tenemos: La montmorillonita (por definición), hectorita, saponita, beidellita, sauconita, talco, porfilita y nontronita. Bentonitas: Suelos montmorilloníticos altamente plásticos y altamente expansivos, de grano tan fino que al tacto es jabonoso (sí es húmedo). Se utilizan para sellar fugas en depósitos y canales. Vermiculita, clorita, sericita, etc., son otros minerales arcillosos no clasificados en los anteriores tres grupos.

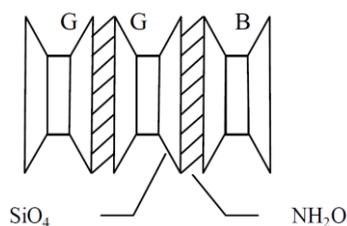


Figura 32 Grupo de la montmorillonita (puede tener brucita)

Fuente: Duque, G & Potes, C (2014)

Este parámetro lo ha expresado Skempton (1953) como la pendiente de la línea que relaciona el Índice Plástico de un suelo con su contenido de minerales de tamaño arcilloso. Una actividad normal es de 0,75 a 1,25. Más de 1,25 es alta y menos de 0,75 es inactiva. Actividad supone cohesión, expansividad y plasticidad.

Lozada, C (2016); respecto a los suelos indico lo siguiente:

2.2.2.5. Propiedades del suelo

2.2.2.5.1. MTC E 117 - Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del suelo insitu mediante el método del cono de arena

2.2.2.5.1.1. Objeto

Establecer el método de ensayo estándar para determinar la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena.

2.2.2.5.1.2. Finalidad y alcance

Este método es usado para determinar la densidad de suelos compactados que se encuentran en el lugar durante la construcción de terraplenes de tierra, capas de rodadura, rellenos de carreteras y estructuras de contención. Es comúnmente utilizado como base de aceptación para suelos compactados a una densidad específica o a un porcentaje de densidad máxima determinada por un método de ensayo normado.

Este método puede ser usado para determinar la densidad in-situ de depósitos de suelos naturales, agregados, mezcla de suelos u otro material similar.

Este método de ensayo se aplica a suelos que no contengan una cantidad excesiva de roca o materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg (38 mm).

Esta norma también puede utilizarse para determinar la densidad y el peso unitario de suelos inalterados o suelos in-situ, que contengan vacíos naturales o cuando los poros sean lo suficientemente pequeños para prevenir que la arena usada en el ensayo penetre en los vacíos naturales. El suelo u otro material que esté sometido a la prueba deberá tener la suficiente cohesión o atracción entre

partículas para mantener estables los lados de un pequeño hoyo o excavación y debe estar lo suficientemente firme como para soportar la mínima presión ejercida al momento de cavar el orificio y colocar el equipo sobre él, sin que se deforme o caiga.

Cuando los materiales que se van a someter a prueba contengan cantidades considerables de partículas mayores a 1 ½ pulg (38 mm), o cuando los volúmenes de los orificios de ensayo son mayores a 0,1 pie³ (2830 cm³), se aplica el Método de Ensayo ASTM D 4914 o ASTM D 5030.

Es práctica común en la profesión de ingeniería utilizar corrientemente unidades de medida para representar tanto unidades de masa como unidades de fuerza. Esto implícitamente combina dos sistemas de unidades diferentes, esto es, el sistema absoluto y el sistema gravitacional. Científicamente, no es recomendable combinar el uso de dos clases diferentes de unidades dentro de una norma simple. Este método de ensayo ha sido elaborado utilizando el sistema gravitacional de unidades cuando se tratan las unidades en el sistema de centímetros y gramos. En este sistema, el gramo (gf) representa una unidad de fuerza (peso). Sin embargo, el uso de balanzas o escalas para registrar medidas de masa (gm) o para registrar la densidad en gm/cm³ puede establecerse como conforme a este método de ensayo.

El uso de este método está limitado generalmente a suelos en una condición de no saturados. Este método no es recomendable para suelos que sean suaves o desmenuzables (que se desmoronan fácilmente), o estén en una condición de humedad tal que el agua filtre dentro del hoyo excavado a mano. La precisión de

este ensayo puede ser afectada por suelos que se deforman fácilmente o que sufran cambios volumétricos en el hoyo excavado debido a que el personal camine o se detenga cerca del hoyo durante el ensayo.

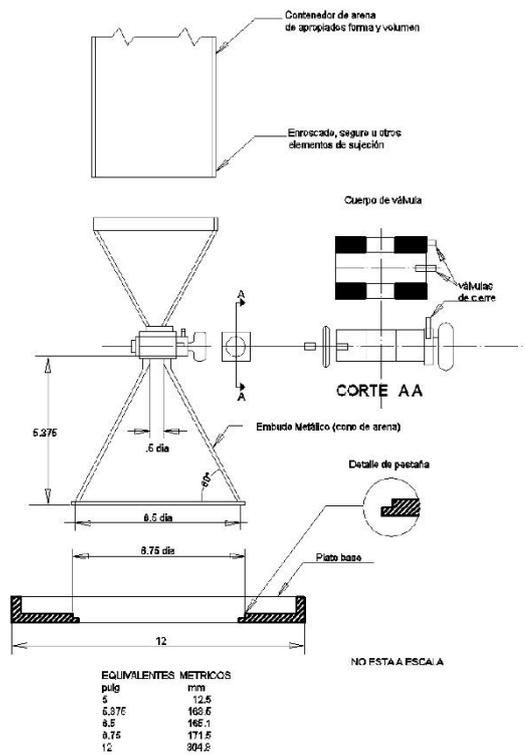


Figura 33 Aparato de densidad

Fuente: Lozada, C (2016)

Nota 1. Cuando se efectúa la prueba en suelos blandos condiciones suaves o en suelos que se acercan a la saturación. Pueden ocurrir cambios de volumen en el orificio excavado, como un resultado de la carga superficial debido al personal que se encuentra realizando la prueba o similares. Muchas veces esto se puede evitar utilizando una plataforma que debe estar apoyada a cierta distancia del orificio. Como no siempre es posible detectar cuando tiene lugar un cambio de volumen, los resultados de la prueba siempre deben compararse con la densidad de saturación teórica o la línea de cero vacíos de aire sobre la curva de densidad

seca versus el contenido de humedad. Cualquier prueba de densidad in situ en suelos compactados cuya saturación excede el 95% es un indicio de que se ha cometido un error, o que el volumen del orificio ha variado durante la prueba.

2.2.2.5.1.3. Referencias normativas

NTP 339.143: Suelos. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.

2.2.2.5.2. MTC E 108 - Determinación del contenido de humedad de un suelo

2.2.2.5.2.1. Objeto

Establecer el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

2.2.2.5.2.2. Finalidad y alcance

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Este Modo Operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}^*$. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua.

Nota 1. (*) El secado en horno siguiendo en método (a $110 \text{ }^\circ\text{C}$) no da resultados confiables cuando el suelo contiene yeso u otros minerales que contienen gran cantidad de agua de hidratación o cuando los suelos contienen cantidades significativas de material orgánico. Se pueden obtener valores

confiables del contenido de humedad para los suelos, secándose en un horno a una temperatura de 60 °C o en un desecador a temperatura ambiente.

2.2.2.5.2.3. Referencias normativas

ASTM D 2216: Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.

Tabla 2 : Pesos mínimos para el contenido de humedad

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a ± 0,1%	a ± 1%
2 mm o menos	2,00 mm (N° 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (N° 4)	100 g	20 g *
9,5 mm	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm 3/4")	2,5 kg	250 g
37,5 mm	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

Fuente: Lozada, C (2016)

2.2.2.5.3. MTC E 107 - Análisis granulométrico de suelos por tamizado

2.2.2.5.3.1. Objeto

Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

2.2.2.5.3.2. Finalidad y alcance

Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200).

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

2.2.2.5.3.3. Referencias normativas

ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

Tabla 3 : Tamices de malla cuadrada

TAMICES	ABERTURA (mm)
3 "	75.000
2 "	50.800
1 1/2 "	38.100
1 "	25.400
3/4 "	19.000
3/8 "	9.500
N° 4	4.760
N° 10	2.000
N° 20	0.840
N° 40	0.425
N° 60	0.260
N° 140	0.106
N° 200	0.075

Fuente: Lozada, C (2016)

2.2.2.5.4. MTC E 205 - Gravedad específica y absorción de agregados finos

2.2.2.5.4.1. Objeto

Determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

2.2.2.5.4.2. Finalidad y alcance

El peso específico (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas y analizadas en base al volumen. También es usado en el cálculo de vacíos en el agregado del ensayo MTC E 203.

El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida entre los espacios de los poros entre las partículas constituyentes, comparado a la condición seca, cuando es estimado que el agregado ha estado en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor absorción potencial.

Se aplica para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agregado fino, a fin de usar estos valores tanto en el cálculo y corrección de diseños de mezclas, como en control de uniformidad de las características físicas.

No es aplicable para agregados ligeros por cuanto la inmersión en agua por 24 horas no asegura que los poros se llenen completamente, lo cual es un requisito necesario para poder aplicar el ensayo eficientemente.

2.2.2.5.4.3. Referencias normativas

NTP 400.022: Peso Específico y absorción del agregado Fino.

Tabla 4 : Estimaciones de precisión de este método de ensayo

	Desviación estándar (1s)^H	Rango aceptable de dos resultados (d2s)
Precisión de un solo operador		
Densidad (OD) kg/m ³	11.0000	13.0000
Densidad (SSD) kg/m ³	9.5000	27.0000
Densidad aparente, kg/m ³	9.5000	27.0000
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0.0110	0.0320
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0.0095	0.0270
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.0095	0.3100
Absorción ^I , %	0.1100	0.3100
Precisión Multilaboratorio		
Densidad (OD) kg/m ³	23.0000	64.0000
Densidad (SSD) kg/m ³	20.0000	56.0000
Densidad aparente, kg/m ³	20.0000	56.0000
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0.0230	0.0660
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0.0200	0.0560
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.0200	0.0560
Absorción ^C , %	0.0230	0.5600

Fuente: Lozada, C (2016)

2.2.2.5.5. MTC E 206 - Peso específico y absorción de agregados gruesos

2.2.2.5.5.1. Objeto

Establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) del agregado grueso. El peso específico saturado con

superficie seca y la absorción están basadas en agregados remojados en agua después de 24 horas. Este modo operativo no es aplicable para agregados ligeros.

2.2.2.5.5.2. Finalidad y alcance

Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción.

2.2.2.5.5.3. Referencias normativas

NTP 400.021: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.

Tabla 5 : Peso mínimo de la muestra de ensayo

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: Lozada, C (2016)

2.2.2.5.6. MTC E 110 - Determinación del límite líquido de los suelos

2.2.2.5.6.1. Objeto

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

Discusión: Se considera que la resistencia al corte no drenado del suelo en el límite líquido es de 2 kPa (0,28 psi).

El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

2.2.2.5.6.2. Finalidad y alcance

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción. El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos son extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los límites líquido y plástico de un suelo pueden utilizar el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de

liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad.

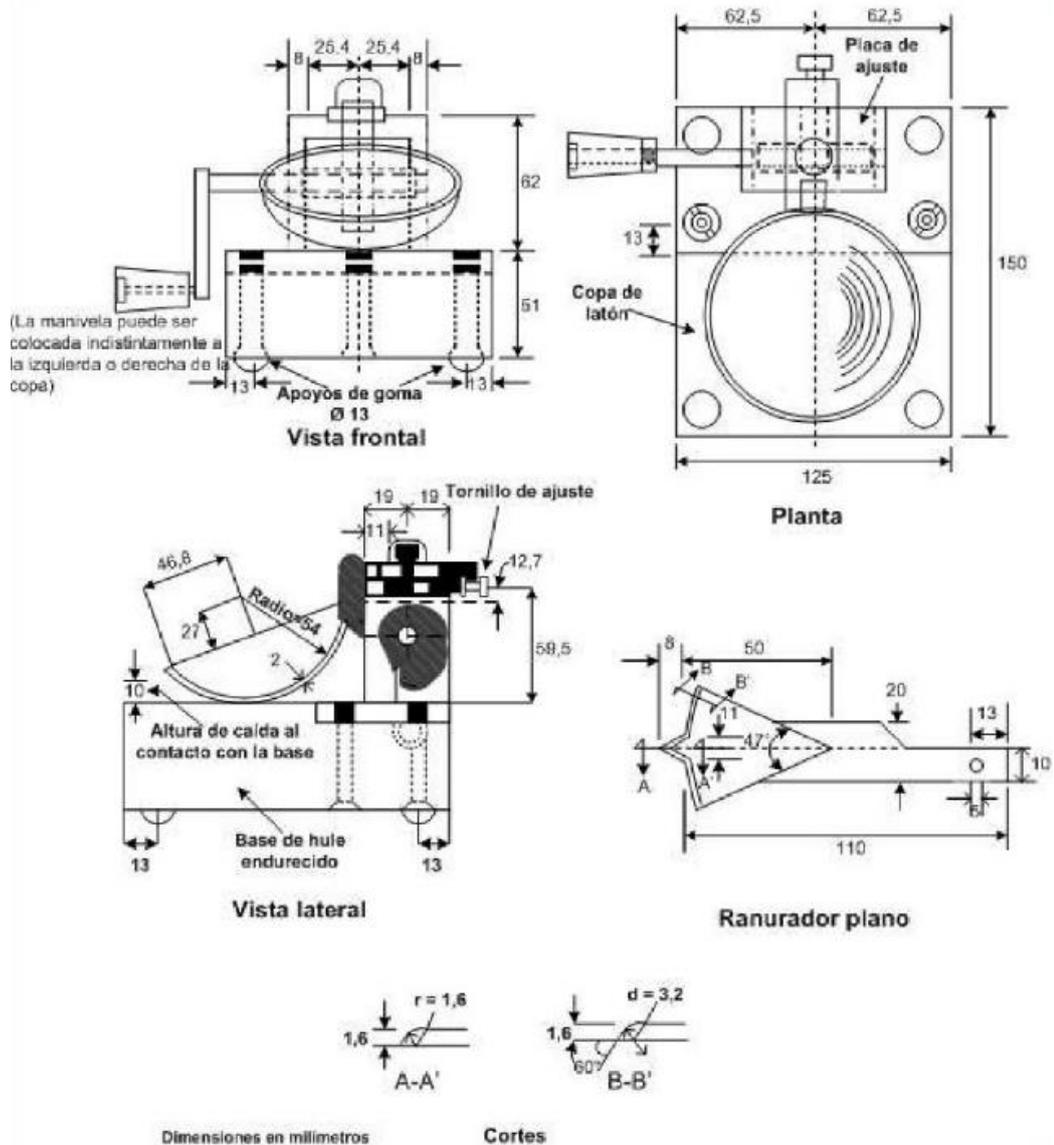


Figura 34 Aparato manual para limite liquido

Fuente: Lozada, C (2016)

Frecuentemente se utilizan tres métodos para evaluar las características de intemperización de materiales compuestos por arcilla-lutita. Cuando se someten a ciclos repetidos de humedecimiento y secado, los límites de estos materiales

tienden a incrementarse. La magnitud del incremento se considera una medida de la susceptibilidad de la lutitas a la intemperización.

El límite líquido de un suelo que contiene cantidades significativas de materia orgánica decrece dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes de ser ensayado. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después del secado al horno puede por consiguiente ser usada como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica de un suelo.

2.2.2.5.6.3. Referencias normativas

NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

2.2.2.5.7. MTC E 111 - Determinación del límite plástico (l.p.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)

2.2.2.5.7.1. Objeto

Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo

2.2.2.5.7.2. Finalidad y alcance

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos y para especificar la fracción de grano de materiales de

construcción. El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos son extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

Los plásticos de un suelo pueden utilizarse con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que $2\mu\text{m}$ para determinar su número de actividad.

2.2.2.5.7.3. Referencias normativas

NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Tabla 6 : Tabla de estimados de precisión

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple		
Límite Plástico	0.9	2.6
Precisión Multilaboratorio		
Límite Plástico	3.7	10.6

Fuente: Lozada, C (2016)

Bartolomé, A (1998); respecto a las cimentaciones indico lo siguiente:

2.2.3. Cimentaciones.

La estructuración que debe darse a la cimentación de un edificio, depende del tipo de suelo sobre el cual éste se ubique.

Para el caso que se realice una cimentación sobre suelo duro, las zapatas pueden ser superficiales, aisladas y no necesitan vigas que las enlacen, ya que al ser rígido el suelo, ellas vibrarán en fase ante los sismos.

Sin embargo, los problemas surgen cuando esas zapatas están ubicadas en el límite de propiedad, en cuyo caso, la carga axial (P) puede caer fuera del núcleo central de la zapata, generándose tracciones en el suelo, por lo que la distribución de presiones será del tipo triangular. En este caso, si el esfuerzo máximo en el suelo (σ_m) supera al admisible, deberá emplearse otras soluciones como son las zapatas combinadas o las conectadas con una viga de cimentación.

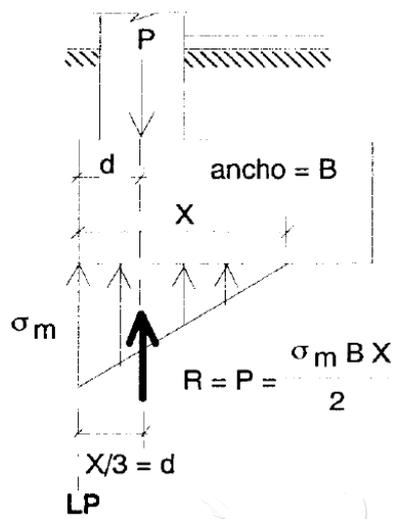


Figura 35 Zapatas en límite de propiedad

Fuente: Bartolomé, A (1998)

Estas soluciones dependen de cuán alejadas estén las columnas vecinas. Cuando esta distancia es menor que 5 m, la solución es una zapata combinada (una sola zapata para las 2 columnas) es la más económica, mientras que cuando las columnas están muy distanciadas (por ejemplo, en fábricas, almacenes, etc.), se recurre a conectar la zapata ubicada en el límite de propiedad a un contrapeso (dado de concreto), a través de una viga de cimentación, capaz de absorber el momento originado por la excentricidad de la carga axial (e).

Esta viga de cimentación deberá estar libre en su base (o con un material blando) para que pueda deformarse.

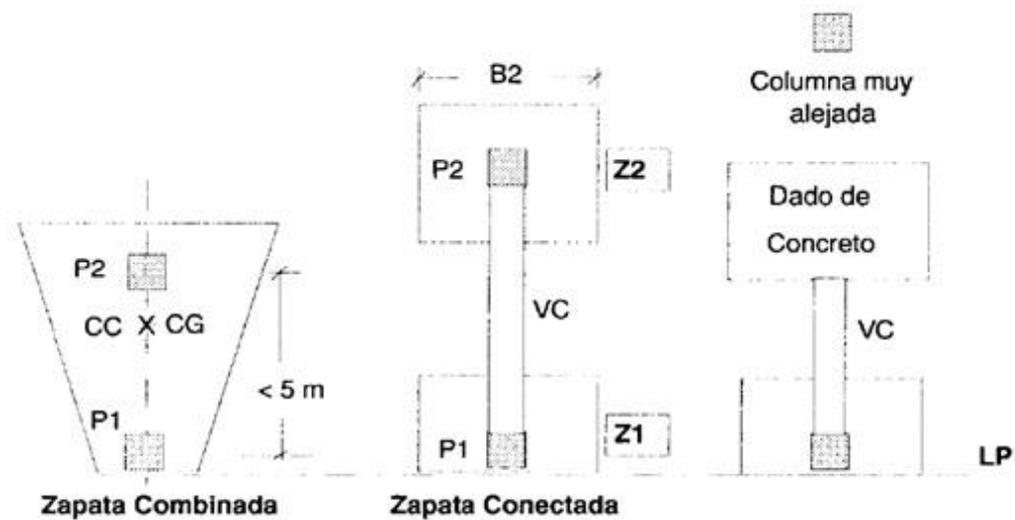


Figura 36 Distancia entre zapatas

Fuente: Bartolomé, A (1998)

La forma que adopta la zapata combinada (o las dos conectadas), debe ser tal que su centro de gravedad (CG) coincida con el punto de paso (CC) de la carga resultante ($P1 + P2$), para que de esta manera exista una distribución uniforme de

la reacción del suelo (o la misma presión o en las dos zapatas conectadas), con lo cual, se trata de evitar los asentamientos diferenciales.

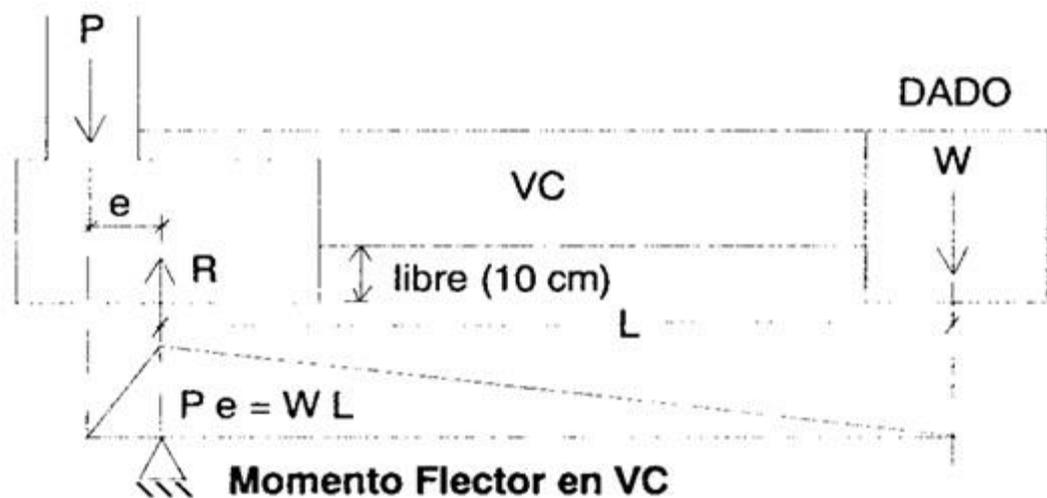


Figura 37 Conexión mediante viga de cimentación

Fuente: Bartolomé, A (1998)

Usualmente, se analiza la viga de cimentación despreciando el efecto hiperestático de las columnas (como si la viga estuviese simplemente apoyada en las columnas); a continuación, se muestran mejores modelos.

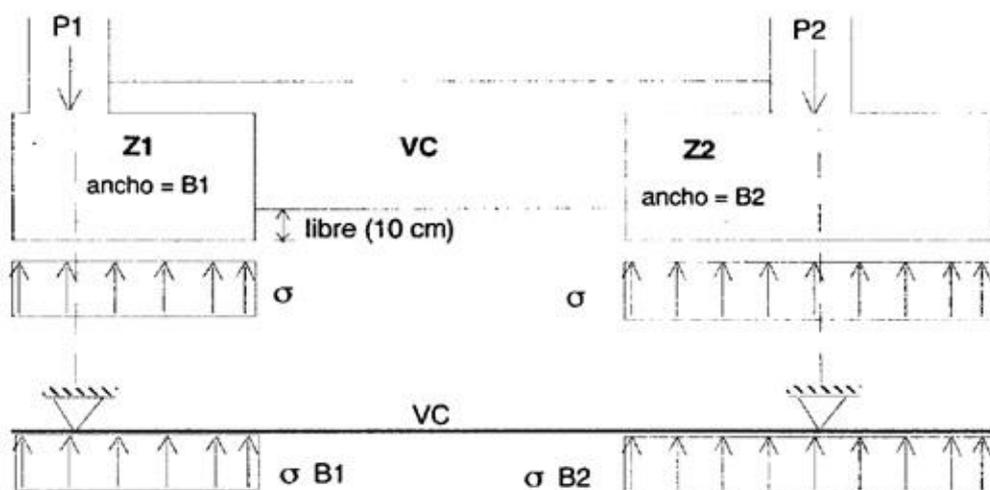


Figura 38 Viga de cimentación Isostática

Fuente: Bartolomé, A (1998)

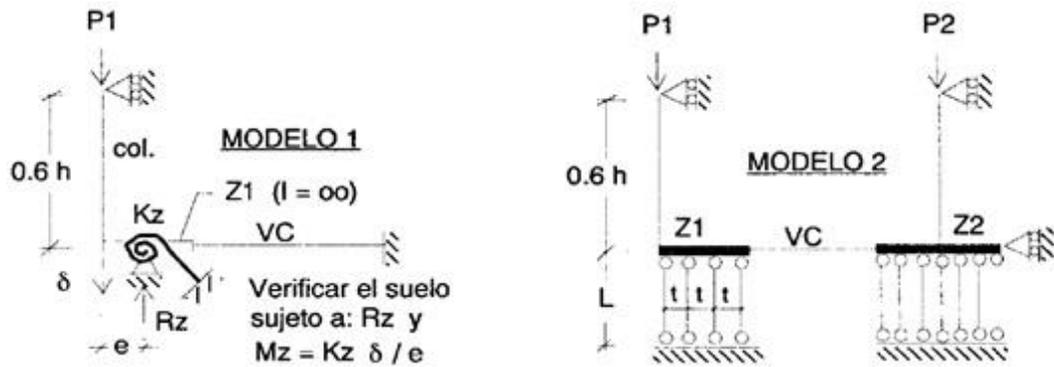


Figura 39 Viga de cimentación Hiperestática

Fuente: Bartolomé, A (1998)

En ambos modelos, se ha supuesto que el punto de inflexión en la columna está localizado a $0.6 h$, siendo "h" la altura del primer entrepiso.

En el Modelo 1, para fines de un análisis manual, se ha supuesto que la zapata Z 1 es rígida y tiene como grado de libertad traslacional al desplazamiento δ .

En el Modelo 2, las zapatas son flexibles y las bielas, que están espaciadas a una distancia constante igual a "t", representan al suelo. Este modelo debe ser analizado por computadora y el área axial de cada biela (A) puede calcularse suponiendo que el suelo y la biela equivalente (con módulo de elasticidad igual a E), tienen la misma rigidez axial; en este caso, después de calcular δ , la presión en el suelo se obtiene como:

$$\sigma = k * s * \delta$$

Ecuación 52

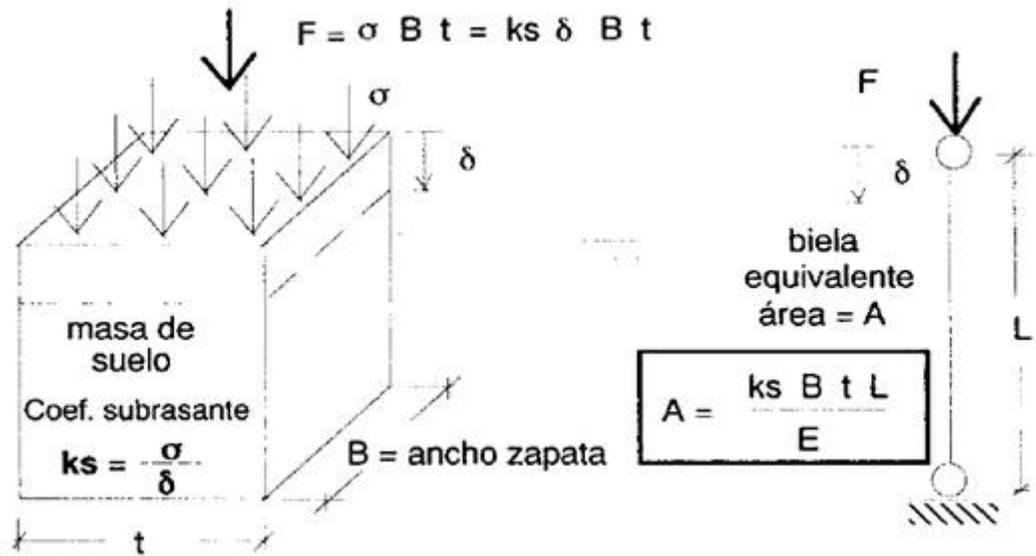


Figura 40 Rigidez axial

Fuente: Bartolomé, A (1998)

Por otro lado, es usual que las placas tengan un elevado momento flector en su base, por lo que para reducir el momento que se transmite al suelo (M_s , con el cual se dimensiona la zapata), puede adicionarse vigas de cimentación, dándose su sección transversal y el refuerzo respectivo, lo que permite evaluar el momento plástico de la viga (M_p) y por equilibrio puede obtenerse la fuerza cortante correspondiente (V_p). Como la cimentación se dimensiona en el rango elástico, M_p y V_p deben reducirse dividiéndolas por el factor de amplificación de carga sísmica 1.25 y multiplicándolas por el factor de reducción de resistencia por flexión ($\Phi = 0.91$), para así obtener M y V en la viga. Al actuar M y V en sentido contrario sobre la zapata, contrarrestarán al momento basal proveniente de la placa; luego, por equilibrio, puede evaluarse el momento que se transmite hacia el suelo (M_s). Si " M_s " resulta elevado, puede incrementarse tanto la sección transversal de la viga como su refuerzo respectivo.

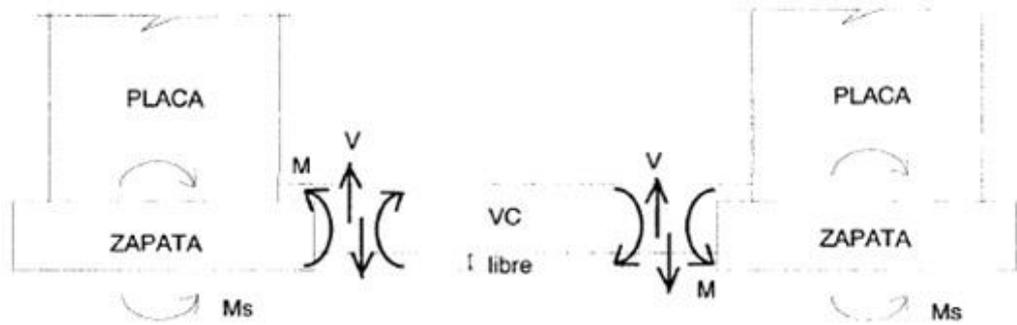


Figura 41 Sentido de las fuerzas

Fuente: Bartolomé, A (1998)

Otra situación que puede ocurrir es que una placa y la columna vecina tengan una zapata combinada. Usualmente, se supone que la zapata es rígida, con lo cual, al ser elevado el momento en la base de la placa (M_p), la reacción del suelo tendrá una distribución triangular, presentándose tracciones en el suelo en la zona donde está ubicada la columna.

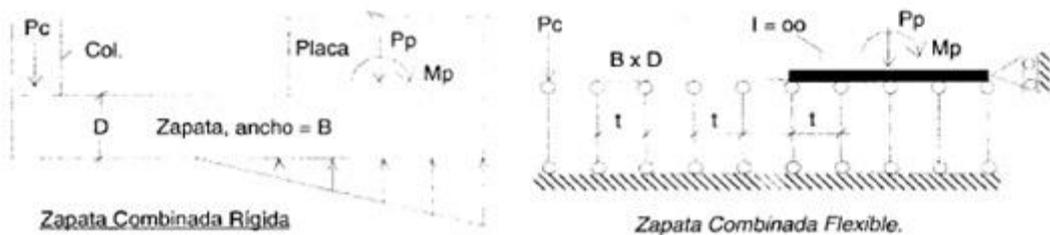


Figura 42 Zapata combinada y flexible

Fuente: Bartolomé, A (1998)

Esto querrá decir que la zapata deberá absorber una fuerza cortante igual a la carga axial que baja por la columna (P_c), requiriendo un gran peralte (D); esto no es cierto debido a que la zapata se deforma, por lo que es mejor trabajar con un modelo matemático similar al número 2 mostrado, donde la zapata es flexible

(excepto en la zona donde está ubicada la placa, puesto que su gran altura la rigidiza), mientras que el suelo es modelado como un conjunto de bielas equivalentes que trabajan a compresión. Si alguna biela resulta traccionada, deberá volverse a analizar el sistema eliminando esa biela, ya que el suelo no trabaja a tracción.

Cuando el suelo de cimentación es relativamente blando y ocurriese que la suma de las áreas de las zapatas aisladas es mayor que el 50% del área en planta del edificio, o que las zapatas se traslapan, se usa otro sistema de cimentación denominado: Solado (o Platea) de Cimentación, el cuál puede ser rígido o flexible.

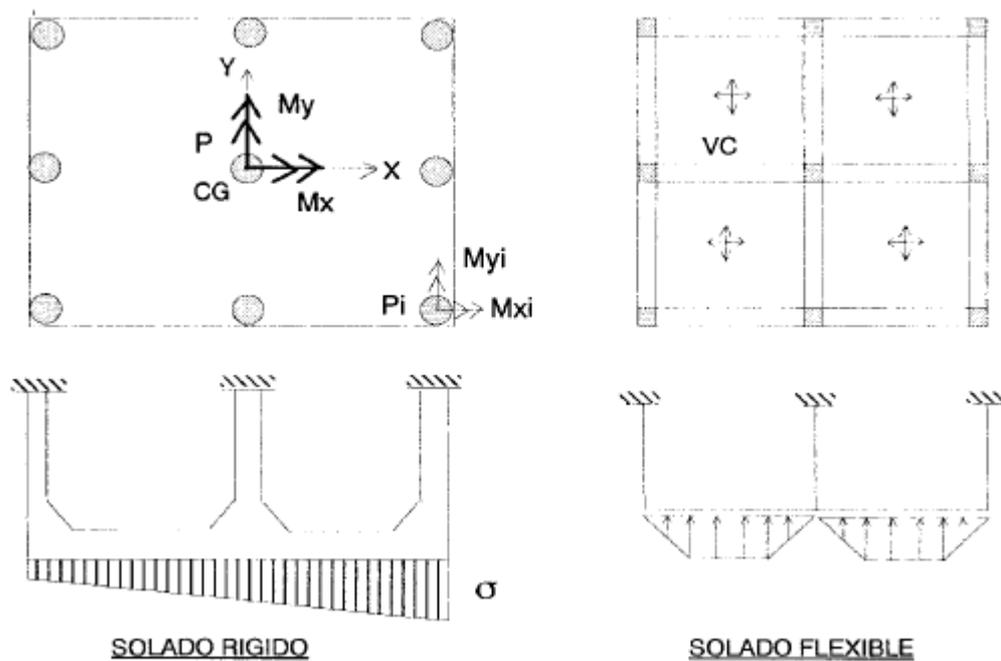


Figura 43 Solado o Platea de Cimentación

Fuente: Bartolomé, A (1998)

El solado rígido es una losa de cimentación de gran espesor, mientras que el solado flexible es una losa de menor espesor que se apoya sobre vigas peraltadas. En ambos casos, la losa es de concreto armado en los dos sentidos y se asume que

se comporta como una gran zapata aislada y rígida, sujeta a cargas axiales (P_i) y momentos bidireccionales (M_{xi} , M_{yi}) provenientes de las columnas o placas.

La carga axial (P) y los momentos (M_x , M_y) resultantes en el centro de gravedad del solado (incluyendo el peso del solado y las sobrecargas respectivas), producen esfuerzos sobre el suelo de cimentación (σ) que pueden calcularse aplicando la teoría de flexión biaxial compuesta:

$$\sigma = P/A + M_x Y / I_x + M_y X / I_y$$

Ecuación 53

; donde: X, Y son los ejes centrales principales, A es el área en planta del solado, e I_x , I_y son los momentos principales de inercia del solado. Esta teoría es válida siempre y cuando el suelo trabaje a compresión; de lo contrario, debe aplicarse las ecuaciones de equilibrio para calcular σ .

Después de calcular, deberá revisarse que el suelo no falle por compresión; asimismo, con la presión del suelo, podrá determinarse los esfuerzos internos en la losa.

Especial cuidado deberá tenerse cuando la losa se apoya directamente sobre columnas (solado rígido), debido a la posibilidad de una falla por punzonamiento del solado (similar a los flat slabs), en cuyo caso, deberá colocarse capiteles en la base de las columnas.

En el caso de suelos muy blandos se recurre a la solución de pilotes de punta (si el estrato blando es muy profundo se utiliza pilotes de fricción), donde las zapatas se conectan a través de vigas de cimentación (VC) que les permiten vibrar

en forma ordenada (en fase) ante las acciones sísmicas, asimismo, estas vigas sirven para arriostrar la gran longitud que usualmente tienen los pilotes.

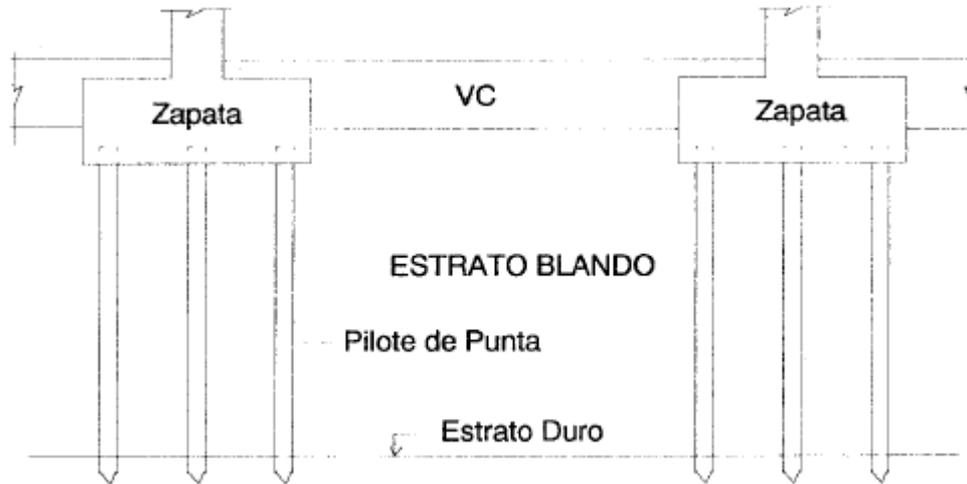


Figura 44 Cimentación empleando Pilotes de Punta

Fuente: Bartolomé, A (1998)

Cabe indicar que los pilotes rigidizan la cimentación y se ha observado casos donde en uno de los ejes del edificio existía pilotes, mientras que, en el eje paralelo, la cimentación era superficial; esto produjo que las columnas cuyas zapatas apoyaban sobre pilotes fuesen más rígidas lateralmente que las que apoyaban sobre zapatas aisladas, presentándose problemas de torsión en la planta del edificio.

En líneas generales, debe evitarse cimentar sobre arenas sueltas, porque se pueden compactar (densificar) por las vibraciones sísmicas, causando asentamientos diferenciales en la superestructura; más aún, cuando este suelo tiene una napa freática elevada, puede producirse problemas de licuefacción, perdiendo la arena su capacidad portante, convirtiéndose prácticamente en "arena movediza", esto ha ocurrido en Chimbote ante el sismo del 31 de Mayo de 1970.

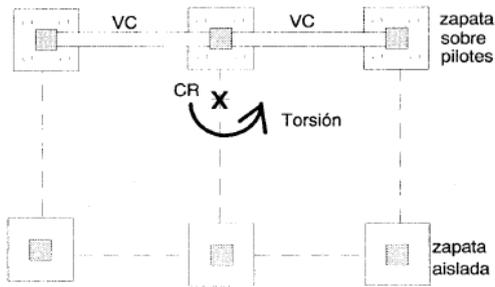


Figura 45 Caso de Pilote y cimentación superficial

Fuente: Bartolomé, A (1998)

En Talara (1983) ocurrieron daños severos en viviendas de albañilería, cuya cimentación apoyaba sobre arcilla expansiva, ésta al entrar en contacto con el agua se hinchó originando asentamientos diferenciales y enormes grietas en los muros. Una solución al problema mencionado, puede realizarse profundizando la cimentación, por debajo de la zona de hinchamiento y separando con material granular la columna de la arcilla expansiva, para de esta manera atenuar la fuerza de fricción que desarrolla la arcilla al expandirse; en este caso, el primer piso funcionará como un nivel adicional, cuya base no debe entrar en contacto con el suelo a fin de que la arcilla pueda expandirse.

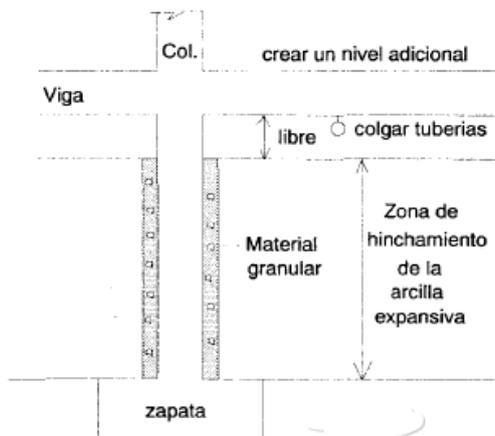


Figura 46 Solución a zona de hinchamiento con asentamientos diferenciales

Fuente: Bartolomé, A (1998)

Garza, L (2000); respecto a las cimentaciones indico lo siguiente:

2.2.3.1. Tipos de cimentación

Se entiende por cimentación a la parte de la estructura que transmite las cargas al suelo. Cada edificación demanda la necesidad de resolver un problema de cimentación. En la práctica se usan cimentaciones superficiales o cimentaciones profundas, las cuales presentan importantes diferencias en cuanto a su geometría, al comportamiento del suelo, a su funcionalidad estructural y a sus sistemas constructivos.

2.2.3.1.1. Cimentaciones superficiales

Una cimentación superficial es un elemento estructural cuya sección transversal es de dimensiones grandes con respecto a la altura y cuya función es trasladar las cargas de una edificación a profundidades relativamente cortas, menores de 4 m aproximadamente con respecto al nivel de la superficie natural de un terreno o de un sótano.

En una cimentación superficial la reacción del suelo equilibra la fuerza transmitida por la estructura. Esta reacción de fuerzas, que no tiene un patrón determinado de distribución, se realiza en la interface entre el suelo y la sección transversal de la cimentación que está en contacto con él. En este caso, el estado de esfuerzos laterales no reviste mayor importancia. En consecuencia, el comportamiento estructural, de una cimentación superficial tiene las características de una viga o de una placa.

Las cimentaciones superficiales, cuyos sistemas constructivos generalmente no presentan mayores dificultades pueden ser de varios tipos, según su función: zapata aislada, zapata combinada, zapata corrida o losa de cimentación.

En una estructura, una zapata aislada, que puede ser concéntrica, medianera o esquinera se caracteriza por soportar y trasladar al suelo la carga de un apoyo individual; una zapata combinada, por soportar y trasladar al suelo la carga de varios apoyos y una losa de cimentación o placa, por sostener y transferir al suelo la carga de todos los apoyos.

Las zapatas individuales se plantean como solución en casos sencillos, en suelos de poca compresibilidad, suelos duros, con cargas de la estructura moderadas: edificios hasta de 7 pisos.

Con el fin de darle rigidez lateral al sistema de cimentación, las zapatas aisladas siempre deben interconectarse en ambos sentidos por medio de vigas de amarre.

Las zapatas combinadas se plantean en casos intermedios, esto es, suelos de mediana compresibilidad y cargas no muy altas. Con esta solución se busca una reducción de esfuerzos, dándole cierta rigidez a la estructura, de modo que se restrinjan algunos movimientos relativos.

La losa de cimentación por lo general ocupa toda el área de la edificación. Mediante esta solución se disminuyen los esfuerzos en el suelo y se minimizan los asentamientos diferenciales.

Cuando se trata de atender y transmitir al suelo las fuerzas de un muro de carga, se usa una zapata continua o corrida, cuyo comportamiento es similar al de una viga.

2.2.3.1.2. Cimentaciones profundas

Una cimentación profunda es una estructura cuya sección transversal es pequeña con respecto a la altura y cuya función es trasladar las cargas de una edificación a profundidades comprendidas aproximadamente entre 4 m y 40 m.

A diferencia de las cimentaciones superficiales, en una cimentación profunda, no solamente se presentan reacciones de compresión en el extremo inferior del elemento sino también laterales. En efecto, la cimentación profunda puede estar sometida a momentos y fuerzas horizontales, en cuyo caso, no solo se desarrollará una distribución de esfuerzos en el extremo inferior del elemento, sino también lateralmente, de modo que se equilibren las fuerzas aplicadas. En consecuencia, el comportamiento estructural de una cimentación profunda se asimila al de una columna.

Las cimentaciones profundas pueden ser de dos tipos: Pilotes o pilas.

Los pilotes, que tienen máximo un diámetro del orden de 0.80 m, son comparativamente más flexibles que las pilas cuyo diámetro es superior a los 0.80 m. La respuesta frente a sollicitaciones tipo sismo o carga vertical es diferente en cada una de estas dos estructuras.

Por las limitaciones de carga de un pilote individual, frecuentemente es necesario utilizar varios elementos para un mismo apoyo de la estructura, este es caso de una zapata aislada apoyada en varios pilotes.

En otros casos, la situación puede ser aún más compleja: zapatas combinadas o losas de cimentación apoyadas en varios pilotes. Cuando se utilizan pilas como sistema de cimentación, generalmente se emplea un elemento por apoyo. Las pilas están asociadas a cargas muy altas, a condiciones del suelo superficialmente desfavorables y a condiciones aceptables en los estratos profundos del suelo, a donde se transmitirán las cargas de la estructura.

Cuando se utilizan pilas como sistema de cimentación, generalmente se emplea un elemento por apoyo. Las pilas están asociadas a cargas muy altas, a condiciones del suelo superficialmente desfavorables y a condiciones aceptables en los estratos profundos del suelo, a donde se transmitirán las cargas de la estructura.

En cuanto a los sistemas constructivos, los pilotes pueden ser preexcavados y vaciados en el sitio o hincados o prefabricados e instalados a golpes o mediante vibración o presión mecánica.

Cuando un pilote se hinca, a medida que se clava se está compactando el suelo, y por ende mejorando sus condiciones, en cambio, cuando el pilote se vacía, las características del suelo pueden relajarse.

Generalmente los elementos hincados son reforzados.

Las pilas siempre son preexcavadas y vaciadas en el sitio. El sistema constructivo empleado, tendrá incidencia en el diseño.

Las pilas pueden o no ser reforzadas. En las zonas con riesgo sísmico importante conviene reforzarlas, al menos nominalmente.

Garza, L (2000); respecto a las cimentaciones indico lo siguiente:

2.2.3.2. Criterios para Cimentar

Para la selección del tipo de cimentación más conveniente de acuerdo con las características mecánicas del suelo de desplante, y para que los asentamientos tanto totales como diferenciales queden dentro de los límites permitidos según el tipo de estructura, se pueden seguir estos lineamientos:

- a) Usar zapatas aisladas en suelos de baja compresibilidad (C_c menor a 0.20) y donde los asentamientos diferenciales entre columnas puedan ser controlados, empleando el método de asentamiento iguales; incluyendo juntas en la estructura, o cuando se tenga una estructura con cierta flexibilidad en su comportamiento.
- b) Cuando se encuentren suelos con compresibilidad media (C_c entre 0.20 y 0.4), para mantener los asentamientos dentro de ciertos límites, conviene emplear zapatas continuas rigidizadas con vigas de cimentación. La intensidad de las cargas indicara si se unen las zapatas en una o más direcciones.
- c) Cuando las cargas sean bastantes pesadas y al emplear zapatas continuas ocupen cerca del 50% del área del edificio en planta, es más económico usar una sola losa de cimentación.
- d) En aquellos suelos que presenten una compresibilidad mediana, alta o muy alta, y que además tengan baja capacidad de carga, es recomendable el uso de cimentaciones compensadas. Estos suelos pueden presentar un índice de compresión (C_c desde 0.2 hasta más de 0.4).

- e) Cuando la cimentación por compensación no sea económicamente adecuada para soportar las cargas pueden combinarse la compensación parcial y pilotes de fricción.
- f) Cuando las cargas sean demasiado elevadas conviene, para el caso de suelos de baja capacidad de carga, usar pilotes de punta apoyados en un estrato resistente.

Fierro, E & García, L (2005); respecto a dinámica estructural indico lo siguiente:

2.2.4. Dinámica Estructural.

2.2.4.1. Introducción

La dinámica, dentro del contexto de la mecánica, es el estudio de los cuerpos, o conjuntos de partículas, en movimiento. La dinámica se divide en dos campos: la *cinemática*, la cual estudia la geometría del movimiento, relacionando el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y el tiempo, sin hacer referencia a las causas del movimiento; y la *cinética*, la cual estudia la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, la masa del cuerpo y su movimiento, permitiendo predecir los movimientos que causan las fuerzas, o determinar las fuerzas necesarias para producir un movimiento dado.

Cuando un cuerpo se desplaza de una posición de equilibrio estable, el cuerpo tiende a volver a esta posición al verse afectado por la acción de fuerzas que tienden a restablecer la situación de equilibrio. En general en el instante que el cuerpo vuelve a su posición de equilibrio tiene alguna velocidad que lo lleva más allá de esa posición, presentándose una oscilación alrededor del punto de equilibrio. Estas oscilaciones en el campo de la mecánica se denominan *vibraciones mecánicas*.

Si el cuerpo se considera como una unidad y se desprecian las deformaciones relativas entre sus diferentes partes se aplican los principios de la *dinámica de cuerpos rígidos*. Cuando es apropiado tener en cuenta los desplazamientos relativos entre las diferentes partes del cuerpo, se aplican los principios de la *dinámica de cuerpos flexibles*.

La *dinámica estructural* estudia las vibraciones de cuerpos flexibles, aunque en muchos casos las deformaciones relativas entre algunas partes de la estructura son de un orden de magnitud tan pequeño, que pueden aplicarse los principios de la dinámica de cuerpos rígidos en algunas porciones de la estructura.

“La dinámica estructural investiga el comportamiento de las estructuras ante cargas dinámicas. Para determinar los desplazamientos, las fuerzas internas, el efecto de resonancia, la resistencia y la rigidez del sistema estructural.”

(Villarreal, 2016. p.3)

Villarreal, G (2009); respecto a dinámica estructural indico lo siguiente:

2.2.4.2. Modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov

Podemos concluir que todas las edificaciones durante un sismo trabajan sobre un suelo elástico y que los esfuerzos máximos en las columnas se encuentran cerca de su intersección con las vigas, recomendándose el uso del modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov por ser el de menor flexibilidad y en el cual no se presenta el grado de destrucción mostrado por el modelo dinámico V.A. Ilichev. Cabe indicar que el comportamiento del modelo dinámico de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87 será muy parecido al de D.D. Barkan – O.A. Savinov y el modelo dinámico A.E. Sargsian tendrá un comportamiento parecido al de V.A. Ilichev.

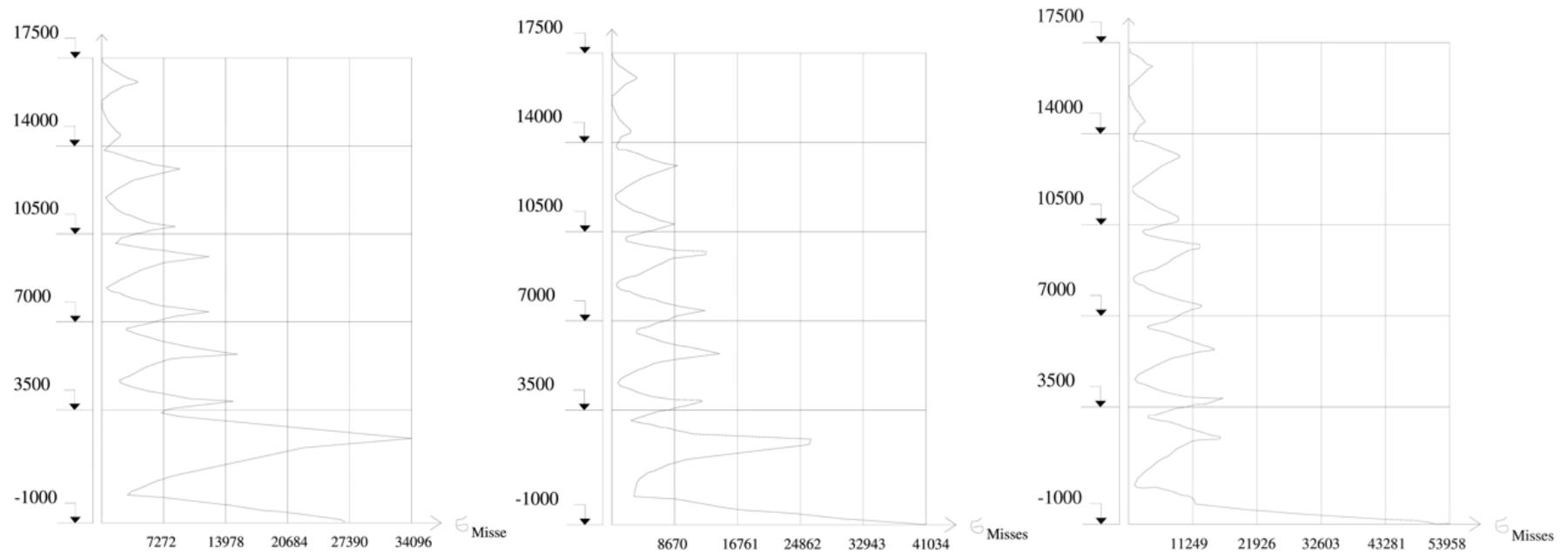


Figura 47 Comparación de los tres casos: Sin ISE, modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov y modelo dinámico V.A. Ilichev

Fuente: Villarreal, G (2009)

Como resultado de muchas investigaciones experimentales para determinar los coeficientes de rigidez de las cimentaciones, el científico ruso D.D. Barkan en el año 1948 propuso utilizar las siguientes expresiones:

$$K_z = C_z * A$$

Ecuación 54

$$K_x = C_x * A$$

Ecuación 55

$$K_\varphi = C_\varphi * I$$

Ecuación 56

Donde:

C_z, C_φ = coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme

C_x = coeficiente de desplazamiento elástico uniforme;

A = área de la base de la cimentación;

I = *momento de inercia de la base de la cimentación respecto al eje principal, perpendicular al plano de vibración.*

Por cuanto los coeficientes C_z, C_x, C_φ , dependen no solo de las propiedades elásticas del suelo, sino de otros factores, es necesario analizarlos como ciertas características generalizadas de la base de fundación.

Con el propósito de obtener las fórmulas de cálculo para los coeficientes $\phi, C, C_z, C_x, C_\varphi$, analizamos dos modelos: modelo del semiespacio elástico isotrópico con poco peso y el modelo M.M. Filonenko-Borodich.

Como resultado de la investigación se obtuvieron las siguientes expresiones:

$$C_z = X_z * \frac{E}{1 - \mu^2} * \frac{1}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 57

$$C_x = X_x * \frac{E}{(1 + X_x * \mu)(1 + \mu)} * \frac{1}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 58

$$C_\varphi = X_\varphi * \frac{E}{1 - \mu^2} * \frac{1}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 59

Donde

X_z, X_x, X_φ = coeficientes, dependientes de la relación de las dimensiones de la base de la cimentación;

μ = coeficiente de Poisson.

Los experimentos realizados por diversos investigadores, nos mostraron, que las fórmulas nos llevan a ciertos errores, aunque estas dependencias en sentido general son cercanas a la realidad.

Las principales deficiencias de este modelo, consiste en que no describe la dependencia entre los coeficientes C_z, C_x, C_φ , con las dimensiones de la base de la cimentación, y lo que es mucho más importante, no considera las propiedades inerciales de los suelos.

Las siguientes precisiones de tal modelo se realizaron en base a las investigaciones teóricas, efectuadas por el científico O.A. Shejter para el problema

de vibraciones forzadas de un cuño circular muy pesado, apoyado sobre un semiespacio elástico isotrópico pesado. Aunque la concepción de masa “adherida” del suelo, introducida por O.A. Shejter, no tuvo una repercusión directa, las investigaciones teóricas y experimentales permitieron identificar la dependencia de los coeficientes C_z, C_x, C_φ , con la presión estática ρ , que transmite la cimentación a la base.

La forma final para determinar los coeficientes de compresión y desplazamiento de la base en el modelo D.D. Barkan-O.A. Savinov es:

$$C_z = C_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta * A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

Ecuación 60

$$C_x = D_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta * A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

Ecuación 61

$$C_\varphi = C_0 \left[1 + \frac{2(a+3*b)}{\Delta * A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

Ecuación 62

Donde:

C_0, D_0 = coeficientes determinados a través de experimentos realizados para $\rho =$

ρ_0 ;

a, b = dimensiones de la cimentación en el plano;

Δ = coeficiente empírico, asumido para cálculos prácticos igual a $\Delta = 1m^{-1}$.

Para el coeficiente D_0 , como se mostraron en los experimentos, se puede utilizar la dependencia empírica:

$$D_0 = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5 * \mu} * C_0$$

Ecuación 63

Para cálculos prácticos se recomienda utilizar las siguientes fórmulas:

$$C_0 = 1.7 * \frac{E_0}{1 - \mu^2} * 10^{-3} * \left(\frac{kg}{cm^3} \right)$$

Ecuación 64

$$D_0 = 1.7 * \frac{E_0}{(1 + \mu)(1 - 0.5 * \mu)} * 10^{-3} * \left(\frac{kg}{cm^3} \right)$$

Ecuación 65

Donde:

E_0 = módulo de elasticidad, calculado experimentalmente para presión estática del suelo de $0.1 - 0.2 \text{ kg/cm}^2$.

También se pueden usar los valores del coeficiente C_0 cuando $\rho_0 = 0.2 \text{ kg/cm}^2$, elegidos de acuerdo al tipo de suelo de la base de fundación, a través de la siguiente tabla.

Tabla 7 : Tipos de Suelo de la base de fundación

Tipo de perfil	Característica de la base de fundación	Suelo	$C_0 \left(\frac{kg}{cm^3} \right)$
S1	Roca o suelos muy rígidos	Arcilla y arena arcillosa dura ($I_L < 0$)	3.0
		Arena compacta ($I_L < 0$)	2.2
		Cascajo, grava, canto rodado, arena densa	2.6
		Arcilla y arena arcillosa plástica ($0,25 < I_L \leq 0,5$)	2.0
		Arena plástica ($0 < I_L \leq 0,5$)	1.6
S2	Suelos intermedios	Arena polvorosa medio densa y densa ($e \leq 0,80$)	1.4
		Arenas de grano fino, mediano y grueso, independientes de su densidad y humedad	1.8
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad ($0,5 < I_L \leq 0,75$)	0.8
		Arena plástica ($0,5 < I_L \leq 1$)	1.0
		Arenas polvorosa, saturada, porosa ($e > 0,80$)	1.2
S4	Condiciones excepcionales	Arcilla y arena arcillosa muy blanda ($I_L > 0,5$)	0.6
		Arena movediza ($I_L > 1$)	0.6

Fuente: Villarreal, G (2009)

Se puede indicar que el modelo dinámico analizado D.D. Barkan - O.A. Savinov es teórico-experimental, basado en la interacción de la cimentación con la base de fundación en forma de proceso establecido de vibraciones forzadas. Esta suposición permitió diversas críticas fundamentadas científicamente, tratándose de su aplicación del determinado modelo en el cálculo sísmico de edificaciones considerando la interacción suelo-estructura. Esto es mucho más claro, porque es conocido que el sistema suelo-estructura ante sismos se analiza como un proceso ondulatorio no estacionario.

2.3. Definición de términos

Grado de energía. Es la energía gradual que se libera según la intensidad del sismo; una parte de la energía se libera en forma de calor y la mayor parte irradia en forma de ondas sísmicas. (Herráiz M. eat al., 1997)¹

Onda sísmica. Se libera al suscitarse un movimiento telúrico en forma de onda y se propagan por el medio que este en su radio. (Herráiz M. eat al., 1997)²

Cimentación. Base de fundación en la que se edifican las estructuras; se diseña en base a parámetros y características del suelo en interacción con la estructura. (Bartolomé A. eat al., 1998)³

Equipo de análisis sísmico. Instrumento utilizado para el registro de los datos o lecturas producidas por un movimiento telúrico. (Giner J. & Molina S. eat al., 2001)⁴

Exploración. Actividad que se ejecuta para conocer las características del suelo y obtener las muestras necesarias para ensayarlas en el laboratorio. (Duque G. & Potes C. eat al., 2014)⁵

Densidad in-situ. Este método es usado para determinar la densidad de suelos compactados que se encuentran en el lugar durante la construcción de terraplenes de tierra, capas de rodadura, rellenos de carreteras y estructuras de contención. (Lozada C. eat al., 2016)⁶

Contenido de humedad. La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. (Lozada C. eat al., 2016)⁷

Análisis granulométrico. Describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (Nº 200). (Lozada C. eat al., 2016)⁸

Peso específico de la arena. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basadas en agregados remojados en agua después de 24 horas. (Lozada C. eat al., 2016)⁹

Peso específico de la grava. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basadas en agregados remojados en agua después de 24 horas. (Lozada C. eat al., 2016)¹⁰

Límite líquido. Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. (Lozada C. eat al., 2016)¹¹

Límite plástico. Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen. (Lozada C. eat al., 2016)¹²

Corte directo. Determinación rápida de las propiedades de resistencia de materiales drenados y consolidados. Debido a que las trayectorias de drenaje a través de la muestra son cortas, se permite que el exceso de presión en los poros sea disipado más rápidamente que con otros ensayos drenados. (Lozada C. eat al., 2016)¹³

Consolidación. Este método de ensayo comprende los procedimientos para determinar la magnitud y velocidad de consolidación del suelo cuando está

confinado lateralmente y drenado axialmente mientras está sujeto a carga de esfuerzos controlados, aplicados crecientemente. (Lozada C. eat al., 2016)¹⁴

Interacción con la estructura. Proceso por el cual el comportamiento de la estructura entra en contacto con otras fuerzas externas, teniendo que adecuarse a su sistema. (Fierro E. & García L. eat al., 2016)¹⁵

Modelamiento de la estructura. Proceso mediante el cual se plasma la estructura diseñada en un programa de análisis estructural. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006)¹⁶

Modelos de dinámica estructural. Proceso donde se representa la Interacción Sísmica Estructural (ISE), mediante un modelo práctico de coeficientes instaurado por un investigador. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)¹⁷

Impacto. Reacción generada por una acción o fuerza de igual o mayor magnitud, que en la mayoría de los casos causa daños o sucesos negativos. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)¹⁸

Desastres naturales. Fuerzas externas impredecibles que causan daños a las edificaciones. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)¹⁹

Zona altamente sísmica. Formación geológica que por características físicas se generan movimientos telúricos constantes. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)²⁰

Cálculo Sismoresistente. Diseño estructural donde se considera las fuerzas y características sísmicas en el diseño de los elementos estructurales. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)²¹

Eventos catastróficos. Sucesos acontecidos después de ocurrido un desastre natural donde las consecuencias son negativas y perjudiciales tanto para las

estructuras como para la economía de la sociedad. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)²²

Fuerzas sísmicas. Reacción generada después de la liberación de energía producida por la fricción de las placas tectónicas. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)²³

Anomalías. Registros o lecturas fuera de lo normal que mayormente son precedentes o antecedentes de sucesos que son tema de investigación para lograr explicar lo sucedido. (Herráiz M. eat al., 1997)²⁴

Daños estructurales. Alteración en su sistema de forma negativa que genera cambios en las propiedades del elemento estructural que fueron calculadas inicialmente. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)²⁵

Características del movimiento telúrico. Son las propiedades que generan al inicio, desenlace y final del suceso ocurrido, pueden ser entre características físicas, forma, magnitud y entre otras. (Herráiz M. eat al., 1997)²⁶

Evento sísmico. Suceso ocurrido en un periodo de tiempo y lugar que genera incertidumbre por los antecedentes del mismo tipo presentados. (Herráiz M. eat al., 1997)²⁷

Megaterromoto. Liberación de energía que supera los registros históricos ocasionando daños severos en las edificaciones sin posibilidad de recuperación. (Herráiz M. eat al., 1997)²⁸

Riesgo. Posibilidad de que ocurra un evento negativo, teniendo como referencia datos o eventualidades de la misma índole. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)²⁹

Calidad de vida. Brindar las condiciones adecuadas para la subsistencia de la población permitiendo su desarrollo en el tiempo. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)³⁰

Decadencia. Estado de perturbación negativa donde se proyecta un futuro desfavorable generando caos o una secuencia de desesperación en los afectados directa e indirectamente. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)³¹

Oscilaciones sísmicas. Característica de forma y física de la liberación de energía producto de la interacción de las placas tectónicas. (Herráiz M. eat al., 1997)³²

Interacción del sismo con la estructura. Proceso en el cual la energía sísmica genera deformaciones o altera su comportamiento de la estructura en un periodo de tiempo determinado. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)³³

Límite de desplazamiento. Parámetros numéricos que enmarcan un mínimo y un máximo de desplazamiento permitido. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)³⁴

Zonas de expansión urbana: Lugares que cuentan con las características mínimas para el crecimiento poblacional, que incluye principalmente la posibilidad de construir sus edificaciones. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)³⁵

Características físico – mecánicas. Son las propiedades que se estudian del suelo para obtener los datos necesarios para realizar un diseño estructural. (Duque G. & Potes C. eat al., 2014)³⁶

Amplitud de onda. Característica física que se mide desde el eje de las abscisas hasta el pico o punto extremo registrado. (Sacasas C. eat al., 2019)³⁷

Longitud de onda. Característica física que se mide de los puntos registrados que chocan de las ondas con el eje de las abscisas, para determinar la longitud de onda se necesita mínimo dos ondas consecutivas. (Sacasas C. eat al., 2019)³⁸

Propagación de onda sísmica. Propiedad física de las ondas sísmicas para trasladarse de un lugar a otro por un medio, que mayormente es el suelo. (Sacasas C. eat al., 2019)³⁹

Estudio sísmico de tiempo historia. Registros sísmicos de eventos suscitados en una zona o lugar que permiten estudiar sus particularidades de los acontecimientos ocurridos. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)⁴⁰

Estructuras proyectadas. Diseño de estructuras para un periodo de tiempo determinado en base a datos históricos de eventualidades de poca ocurrencia. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)⁴¹

Ondas detectadas. Registros de datos por instrumentos o equipos sismológicos en un periodo de tiempo determinado. (Sacasas C. eat al., 2019)⁴²

Calibración. Proceso por el cual se garantiza que el equipo este en óptimas condiciones y se obtengan resultados sin mucha dispersión o error. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)⁴³

Operatividad. Funcionamiento adecuado de un equipo o instrumento que sigue el comportamiento por el cual fue fabricado. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)⁴⁴

Origen térmico. Suceso o característica física de las placas tectónicas donde hipotéticamente se generaban los eventos sísmicos. (Herráiz M. eat al., 1997)⁴⁵

Movimiento relativo. Característica física de un cuerpo de cambiar su posición con respecto a un plano de referencia. (Fierro E. & García L. eat al., 2005)⁴⁶

Fractura de la corteza terrestre. Punto crítico de la corteza que al llegar al límite de la propiedad elástica se genera una fractura o ruptura en su sistema. (Herráiz M. eat al., 1997)⁴⁷

Deformación elástica. Propiedad física de los elementos que les permite deformarse según su propiedad y limite elástico. (Fierro E. & García L. eat al., 2005)⁴⁸

Acumulación de esfuerzos. Característica física que se genera al inhibir la liberación de cualquier tipo energía, produciendo una sumatoria de fuerzas graduales. (Herráiz M. eat al., 1997)⁴⁹

Esfuerzos de cizalla. Característica física de los cuerpos para repeler fuerzas externas en dirección tangencial a la fuerza aplicada. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)⁵⁰

Dislocación. Los esfuerzos se relajan total o parcialmente de forma súbita y la energía elástica acumulada se libera bruscamente. (Reglamento Nacional de Edificaciones eat al., 2006)⁵¹

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación.

Aplicada:

La presente investigación es de tipo Aplicada (Ñaupas Paitan, Mejía Mejía, Novoa Ramírez, & Villagómez Paucar, 2013), puesto que la finalidad primordial es la resolución de problemas prácticos inmediatos en orden a transformar las condiciones del acto didáctico, en esta ocasión consistirá en el análisis del grado de energía de las ondas sísmicas que se transfiere a la cimentación de una edificación en la ciudad de Moquegua.

3.2. Diseño de investigación.

Cuasi Experimental:

Este trabajo de investigación tendrá un diseño Cuasi Experimental (Domenech Massons & Delgado Rodriguez, 2019), debido a que los sujetos no se asignan aleatoriamente a los grupos, y se busca encontrar una relación causal entre el grado de energía de las ondas sísmicas y la cimentación de una edificación en zonas de expansión urbana, en la ciudad de Moquegua.

3.3. Población y muestra.

3.3.1. Población.

En esta investigación la población la constituyen los suelos que han sido afectados por una falla sísmológica, presentes en la ciudad de Moquegua.

3.3.2. Muestra.

Para la siguiente investigación la muestra la constituyen los siguientes asentamientos humanos: Cruz del Siglo II, Centro Sismológico y Barrios Altos, en los cuales se ejecutarán inspecciones de campo (in situ) a través de calicatas.

Tabla 8 : Calicatas

<i>N° Ensayo</i>	<i>Ubicación de Calicatas</i>			
	<i>Lugar</i>	<i>Altitud</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>
01	<i>Cruz del Siglo II</i>	<i>1646.00 m.s.n.m.</i>	<i>294763.00 m</i>	<i>8096818.00 m</i>
02	<i>Barrios Altos</i>	<i>1487.00 m.s.n.m.</i>	<i>294991.00 m</i>	<i>8097000.00 m</i>
03	<i>Centro de Red Sismológica</i>	<i>1501.00 m.s.n.m.</i>	<i>294883.00 m</i>	<i>8097059.00 m</i>

Fuente: Elaboración propia (2019)

3.4. Descripción de instrumentos de recolección de datos.

Para la obtención de los datos necesarios para la elaboración de la siguiente investigación se contemplaron los siguientes instrumentos:

El ensayo de Refraction Microtremor, el presente instrumento permitirá obtener las características sísmicas del suelo necesarias para los diferentes cálculos

empleados en la investigación; se realizará como mínimo tres veces para proceder a realizar el promedio de los valores obtenidos, este método aumentará la precisión de los datos a utilizar.

Ensayos de laboratorio estándar para un estudio de suelos, los presentes permitirán obtener las características del suelo necesarias para los diferentes cálculos empleados en la investigación; se realizará como mínimo tres veces para proceder a realizar el promedio de los valores obtenidos, este método aumentará la precisión de los datos a utilizar.

Programa de análisis estructural Sap 2000 V.16, con el presente programa se evaluará los modelos de cimentación propuestos, obteniendo los datos respectivos necesarios para los diferentes cálculos empleados en la investigación; se realizará como mínimo tres veces para proceder a realizar el promedio de los valores obtenidos, este método aumentará la precisión de los datos a utilizar.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

En la presente investigación se optó por una zona de estudio de expansión urbana y en coordinación con el área de Desarrollo Urbano, se inició con los procedimientos adecuados para ubicar el lugar de estudio; se procedió a realizar una georreferenciación con GPS (Global Positioning System).

Para la obtención de los resultados en la presente investigación se siguió los siguientes parámetros:

4.1.1. Trámite administrativo

En la ciudad de Moquegua la entidad encargada de la designación de las zonas de expansión urbana es la Municipalidad Provincial Mariscal Nieto (MPMN), a través de la Gerencia de Desarrollo Urbano y Acondicionamiento Territorial; siendo así el caso se procedió a realizar las averiguaciones respectivas para tener de conocimiento cual era el trámite documentario para solicitar la autorización y designación de una zona de expansión urbana para la ejecución de la presente investigación.

Después de constatar la información solicitada se procedió a elaborar la **CARTA N° 010-2019-ARSCH**, documento respectivo con el cual se solicitó el área de aplicación.

Luego se realizó el seguimiento al documento presentado, el cual fue derivado a el Programa Municipal de Vivienda Moquegua – **Promuvi**, que está a cargo de la Gerencia de Desarrollo Urbano y Acondicionamiento Territorial.

En las oficinas de Promuvi se procedió a explicar en qué consistía la presente investigación al **Arquitecto Julio Chagua**, el personal técnico mencionado anteriormente será el responsable de las coordinaciones directas para la autorización y designación de la zona de estudio.

Luego de la explicación impartida se nos proporcionó la siguiente información:

- ✓ Plano de ubicación y localización – Chen Chen Sector 1 A – 4
- ✓ Plano Matriz a independizar - Chen Chen Sector 1 A – 4

Después se realizó una visita de campo para reconocimiento del terreno y se programó la coordinación con los presidentes de las siguientes asociaciones:

- ✓ Cruz del Siglo II – Sr, Alfredo Quispe
- ✓ Barrios Altos – Sra. Dilma
- ✓ Espíritu Santo – Sr. Martin Toledo

A los siguientes se les informo en qué consistía la presente investigación y se les solicito la autorización para proceder a realizar los siguientes ensayos de campo:

- ✓ Ubicación de los puntos de estudio con GPS (Global Positioning System) –
Ensayo no Intrusivo
- ✓ Ensayo de Refraction Microtremor – Ensayo no Intrusivo

✓ Apertura de Calicatas – Ensayo Intrusivo

Para finalizar se procedió a coordinar las fechas de aplicación de los ensayos con los presidentes de las asociaciones e informándoles de los beneficios y la información que se les proporcionaría al culminar la investigación.

4.1.2. Trabajo de Campo

Para la obtención de los resultados necesarios de la zona de estudio para la elaboración de la presente investigación se realizó los siguientes trabajos de campo, teniendo en cuenta los procedimientos adecuados para evitar una variación o una dispersión de los datos resultantes de la aplicación de las diferentes actividades y/o ensayos.

4.1.2.1. Ubicación de puntos con GPS

Se procedió a la operatividad del equipo de posicionamiento de sistema global, para ubicar los puntos de aplicación de los ensayos en las asociaciones autorizadas descritas anteriormente, que son parte de las zonas de expansión urbana; el siguiente ensayo presento una duración aproximada de dos horas, tiempo suficiente para recopilar los datos.

El equipo utilizado fue proporcionado por el laboratorio de Materiales, Concreto y Mecánica de Suelos de la Universidad José Carlos Mariátegui, en coordinación con el personal técnico de la presente entidad.

En las zonas de estudio se procedió a ejecutar los pasos indicados, verificando la operatividad del equipo para evitar errores no contemplados, obteniendo los datos necesarios para el desarrollo de la investigación; cómo se puede visualizar en los anexos la ejecución de la actividad en cada zona de estudio.

- ✓ Anexo 1 – Ubicación Cruz del Siglo II
- ✓ Anexo 2 – Ubicación Barrios Altos
- ✓ Anexo 3 – Ubicación Centro Sismológico

Tabla 9 : Ubicación – Cruz del Siglo II

<i>Altitud</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>
1646.00 m. s. n. m.	294763.00 m	8096818.00 m

Fuente: *Elaboración Propia (2019)*

Tabla 10 : Ubicación – Barrios Altos

<i>Altitud</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>
1487.00 m. s. n. m.	294991.00 m	8097000.00 m

Fuente: *Elaboración Propia (2019)*

Tabla 11 : Ubicación – Centro de Red Sismológica

<i>Altitud</i>	<i>Este</i>	<i>Norte</i>
1501.00 m. s. n. m.	294883.00 m	8097059.00 m

Fuente: *Elaboración Propia (2019)*

4.1.2.2. Ensayo de Refraction Mircrotremor

Se procedió a la operatividad del equipo de medición de ondas sísmicas denominado Microtremor, el siguiente ensayo presento una duración de tres días, teniendo en cuenta de realizar la actividad en días consecutivos y en un mismo horario determinado, en los que se registró lecturas en cada ubicación determinada por un periodo de media hora (30 min), tiempo necesario para que el equipo procese las vibraciones del suelo y determine la presencia de las diferentes ondas sísmicas detectadas en el momento de la aplicación.

Para el uso del siguiente equipo se siguió un trámite administrativo, ya que, la Universidad José Carlos Mariátegui no contaba con el equipo mencionado.

Se presentó la **CARTA N° 003-2019-ARSCH** al JEFE DE LA OFICINA DE VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, exponiendo el motivo de nuestra solicitud, se realizó el seguimiento respectivo al documento hasta que la institución en base a los antecedentes genero el **OFICIO N° 0500-2019-R-UJCM**, el siguiente documento estaba dirigido a la Universidad Nacional de Moquegua exponiendo el motivo de la solicitud y el requerimiento del préstamo del equipo, la siguiente solicitud fue atendida y obteniendo una respuesta positiva se proporcionaron las facilidades para la presente investigación. El siguiente equipo de medición sísmica fue proporcionado por el Laboratorio de Geotecnia de la Universidad Nacional de Moquegua.

Para el procesamiento de las lecturas sísmicas se envió la **CARTA N° 003-2020-ARSCH** al Instituto Geofísico del Perú (I.G.P.), por el medio de comunicación denominado Outlook, solicitando el soporte para los datos obtenidos

en el ensayo de Refraction Microtremor. El I.G.P. procedió a dar una respuesta positiva por intermedio del Sr. Hernando Tavera Presidente Ejecutivo, con el cual se mantuvo una comunicación constante desde el 28/04/2020 hasta el 27/05/2020.

Cabe indicar, que el I.G.P. procedió a enviar formalmente el procesamiento de las lecturas sísmicas con la **CARTA N° 00006-2020-IGP/PE**, la siguiente se informó formalmente de su recepción con la **CARTA N° 004-2020-ARSCH**, con la que se dio por finalizado las comunicaciones y/o coordinaciones realizadas con el presente instituto anteriormente mencionado, agradeciendo el soporte brindado a la presente investigación, teniendo los datos necesarios para proceder con la investigación en curso.

Cabe resaltar, que los resultados adjuntados por el I.G.P. son graficas de Amplitud - A (m) vs Frecuencia - f (Hz), de las cuales se procedió a calcular las características del suelo con respecto al sismo, las que se indican a continuación:

- ✓ *Amplitud - A (m)*
- ✓ *Frecuencia - f (Hz)*
- ✓ *Periodo - T (s)*
- ✓ *Pulsación o Frecuencia angular - (s^{-1})*
- ✓ *Velocidad Maxima - V_{max} ($\frac{m}{s}$)*
- ✓ *Longitud - λ (m)*
- ✓ *Velocidad de Propagación - V_p ($\frac{m}{s}$)*

Para el procesamiento de las gráficas del ensayo de Refraction Microtremor, se utilizó el programa AutoCad V.16, con el cual se planteó un parámetro

dividiendo la amplitud en tres (03) límites (superior, medio e inferior), obteniendo las características mencionadas en base a una serie de cálculos; el desarrollo de las muestras en campo como el procesamiento en gabinete se detallan en los anexos para las diferentes zonas de estudio.

Zona de Estudio Cruz del Siglo II – C01

- ✓ Anexo 4 – Día N° 01_Refracción Microtremor_C01
- ✓ Anexo 5 – Día N° 02_Refracción Microtremor_C01
- ✓ Anexo 6 – Día N° 03_Refracción Microtremor_C01

Zona de Estudio Centro Sismológico – C02

- ✓ Anexo 7 – Día N° 01_Refracción Microtremor_C02
- ✓ Anexo 8 – Día N° 02_Refracción Microtremor_C02
- ✓ Anexo 9 – Día N° 03_Refracción Microtremor_C02

Zona de Estudio Barrios Altos – C03

- ✓ Anexo 10 – Día N° 01_Refracción Microtremor_C03
- ✓ Anexo 11 – Día N° 02_Refracción Microtremor_C03
- ✓ Anexo 12 – Día N° 03_Refracción Microtremor_C03

Tabla 12 : Geofísica – valor promedio / RS C-01

GEOFÍSICA - RESPUESTA SÍSMICA DEL SUELO - VALOR PROMEDIO							
	A (m)	f (Hz)	T (s)	ω (s ⁻¹)	Vmax (m/s)	λ (m)	Vp (m/s)
D1 – 318	1.88	5.38	0.82	33.78	49.28	11.78	49.28
D2 – 319	2.30	7.28	0.44	45.77	94.90	14.45	94.90
D3 – 320	2.16	6.86	0.52	43.11	87.98	13.60	87.98
C - 01 / RS =	2.11	6.51	0.59	40.89	77.39	13.28	77.39

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 13 : Geofísica – valor promedio / RS C-02

GEOFÍSICA - RESPUESTA SÍSMICA DEL SUELO - VALOR PROMEDIO							
	A (m)	f (Hz)	T (s)	ω (s ⁻¹)	Vmax (m/s)	λ (m)	Vp (m/s)
D4 – 318	2.39	5.11	0.72	32.12	57.18	15.02	57.18
D5 – 319	2.10	6.82	0.42	42.84	118.32	13.17	118.32
D6 – 320	2.32	6.80	0.50	42.72	130.06	14.60	130.06
C - 02 / RS =	2.27	6.24	0.55	39.23	101.85	14.27	101.85

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 14 : Geofísica – valor promedio / RS C-03

GEOFÍSICA - RESPUESTA SÍSMICA DEL SUELO - VALOR PROMEDIO							
	A (m)	f (Hz)	T (s)	ω (s ⁻¹)	Vmax (m/s)	λ (m)	Vp (m/s)
D7 – 318	2.01	5.71	0.65	35.86	51.22	12.62	51.22
D8 – 319	2.91	7.97	0.37	50.07	170.32	18.26	170.32
D9 – 320	2.29	4.98	0.67	31.29	59.95	14.37	59.95
C - 03 / RS =	2.40	6.22	0.57	39.08	93.83	15.08	93.83

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.2.3. Apertura de Calicatas para exploración de suelos

Se realizaron las coordinaciones respectivas con el personal y la maquinaria necesaria (retroexcavadora con pala de 12 in o 60 cm), para proceder a la ejecución de la actividad de apertura de calicatas, la cual presento un periodo de duración por calicata de 30 a 45 min de ejecución de la excavación de apertura y entre 15 a 30 min el relleno de la calicata a nivel del terreno. Una vez realizada la excavación de la calicata se ejecutó el ensayo para determinar la densidad del suelo in - situ mediante el método del cono de arena, el que presento una duración por calicata de entre 10 a 30 min, teniendo en cuenta de realizar la actividad según lo planificado en gabinete. Toda la actividad descrita anteriormente presento un tiempo de duración de aproximadamente de 4 horas y media a 6 horas (04:30:00 a 06:00:00), tomando en cuenta los contratiempos y eventos no planificados. Para realizar el ensayo del cono de arena para determinar la densidad in-situ se realizó el respectivo trámite administrativo en las oficinas y laboratorio de la Universidad José Carlos Mariátegui.

Se presentó la **CARTA N° 012-2019-ARSC** a la CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL, exponiendo el motivo de nuestra solicitud, se realizó el seguimiento respectivo al documento hasta que la institución en base a los antecedentes, derivó el documento para su atención al Jefe del Laboratorio de Materiales, Concreto y Mecánica de Suelos, obteniendo una respuesta positiva proporcionando los instrumentos necesarios para realizar el ensayo del Cono de Arena y el personal capacitado para la presente investigación.

Para la ejecución de la actividad de apertura de calicatas se consideró el cumplimiento de los parámetros mínimos, para llegar a una profundidad de 3.00 m y un diámetro de 2.50 m ($Pf_{calicata} = 3.00\text{ m}$, $d_{calicata} = 2.50\text{ m}$; el desarrollo de la ejecución en campo se detallan en los anexos para las diferentes zonas de estudio.

- ✓ Anexo 13 – Calicata Cruz del Siglo II_C01
- ✓ Anexo 14 – Calicata Centro Sismologico_C02
- ✓ Anexo 15 – Calicata Barrios Altos _C03

Tabla 15 : Dimensiones y características de las calicatas

Dimensiones Mínimas de Apertura de Calicata				
Zona de Estudio	Codificación	Profundidad (m)	Diámetro de Excavación (m)	Peso de la Muestra (kg)
Cruz del Siglo II	C01	3.00	2.50	100.00
Centro Sismológico	C02	3.00	2.50	100.00
Barrios Altos	C03	3.00	2.50	100.00

Fuente: Elaboración propia (2019)

4.1.3. Trabajo de Laboratorio

Después de la obtención de las muestras de suelo, se procedió con la ejecución de los ensayos de laboratorio siguiendo con los procedimientos estipulados y lo planificado.

Se ejecuto los siguientes ensayos en el laboratorio teniendo en cuenta la normativa y los reglamentos del establecimiento, los ensayos son los siguientes:

- ✓ Ensayo de *Cono de Arena*
- ✓ Ensayo de *Contenido de Humedad*
- ✓ Ensayo de *Análisis Granulométrico*
- ✓ Ensayo de *Peso Específico de la Arena*
- ✓ Ensayo de *Peso Específico de la Grava*
- ✓ Ensayo de *Limite Liquido*
- ✓ Ensayo de *Limite Plástico*

Pará realizar los ensayos mencionados anteriormente se realizó el respectivo trámite administrativo en las oficinas y laboratorio de la Universidad José Carlos Mariátegui.

Se presentó la **CARTA N° 012-2019-ARSCH** y la **CARTA N° 002-2020-ARSCH** a la CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL, exponiendo el motivo de nuestra solicitud, al siguiente documento se le proporciono el tramite respectivo hasta generar que el documento sea atendido por el Jefe del Laboratorio de Materiales, Concreto y Mecánica de Suelos, obteniendo una respuesta positiva proporcionando los instrumentos necesarios para realizar los ensayos mencionados y la guía para cada ensayo por un personal capacitado del laboratorio, con el cual se desarrolló y obtuvieron los datos para la presente investigación.

4.1.3.1. Ensayo de Cono de Arena

Es un ensayo que permite determinar in – situ la densidad natural de los suelos en un dato representativo, el que será utilizado para cálculos o ensayos de mayor complejidad.

Cuando se requieran volúmenes del orificio de prueba mayores a 0,1 pies³ (5660 cm³), puede utilizarse el método de ensayo ASTM D 4914.

Cabe indicar, que para el desarrollo del siguiente ensayo se contemplaron las siguientes características:

- ✓ Equipos y Materiales
- ✓ Muestra
- ✓ Procedimiento
- ✓ Cálculos e Informe
- ✓ Precisión y dispersión

Las que fueron obtenidas de la normativa del MTC E 117, para lograr un ensayo de calidad y con la obtención de datos con el menor error posible.

Para la ejecución del ensayo de cono de arena se respetó los parámetros indicados en el Manual de Ensayo de Materiales; el desarrollo de la ejecución en campo se detalla en los anexos para cada zona de estudio.

- ✓ Anexo 16 – Ensayo de cono de arena

Tabla 16 : Ensayo de Densidad IN - SITU / EDIC C-01

ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU - MTC E 117		
PESO INICIAL - ARENA =	6,054.80	grs
PESO FINAL - ARENA =	1,210.20	grs
PESO CONO CORRECCION =	1,495.57	grs
PESO - ARENA EMPLEADA =	3,349.03	grs
P.U. - AREANA CALIBRADA =	1.31	grs/cm3
VOLUMEN DE CAVIDAD =	2,556.51	cm3
CORRECCION POR GRAVA		
PESO SUELO - EXTRAIDO =	5,085.90	grs
VALORES CORREGIDOS		
CONTENIDO - HUMEDAD % =	4.06	%
DENSIDAD HUMEDA =	1.99	grs/cm3
DENSIDAD NATURAL SECA =	1.91	grs/cm3

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 17 : Ensayo Densidad IN - SITU / EDIC C-02

ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU - MTC E 117		
PESO INICIAL - ARENA =	6,153.30	grs
PESO FINAL - ARENA =	1,692.80	grs
PESO CONO CORRECCION =	1,495.57	grs
PESO - ARENA EMPLEADA =	2,964.93	grs
P.U. - AREANA CALIBRADA =	1.31	grs/cm3
VOLUMEN DE CAVIDAD =	2,263.31	cm3
CORRECCION POR GRAVA		
PESO SUELO - EXTRAIDO =	4,736.20	grs
VALORES CORREGIDOS		
CONTENIDO - HUMEDAD % =	5.08	%
DENSIDAD HUMEDA =	2.09	grs/cm3
DENSIDAD NATURAL SECA =	1.99	grs/cm3

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 18 : Ensayo Densidad IN - SITU / EDIC C-03

ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU - MTC E 117		
PESO INICIAL - ARENA =	6,043.40	grs
PESO FINAL - ARENA =	957.20	grs
PESO CONO CORRECCION =	1,495.57	grs
PESO - ARENA EMPLEADA =	3,590.63	grs
P.U. - AREANA CALIBRADA =	1.31	grs/cm3
VOLUMEN DE CAVIDAD =	2,740.94	cm3
CORRECCION POR GRAVA		
PESO SUELO - EXTRAIDO =	5,557.90	grs
VALORES CORREGIDOS		
CONTENIDO - HUMEDAD % =	4.27	%
DENSIDAD HUMEDA =	2.03	grs/cm3
DENSIDAD NATURAL SECA =	1.94	grs/cm3

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.3.2. Ensayo de Contenido de Humedad

Es un ensayo que permite determinar el contenido de humedad de los suelos, siguiendo los procedimientos indicados en la norma para el desarrollo de la actividad en el laboratorio, el cual nos permite obtener un dato representativo, el que será utilizado para cálculos o ensayos de mayor complejidad.

Cabe indicar, que para el desarrollo del siguiente ensayo se contemplaron las siguientes características:

- ✓ Equipos y Materiales
- ✓ Muestra
- ✓ Procedimiento
- ✓ Cálculos e Informe
- ✓ Precisión y dispersión

Las que fueron obtenidas de la normativa del MTC E 108, para lograr un ensayo de calidad y con la obtención de datos con el menor error posible.

Para la ejecución del ensayo de contenido de humedad se respetó los parámetros indicados en el Manual de Ensayo de Materiales; el desarrollo de la ejecución en el laboratorio se detalla en los anexos para cada zona de estudio.

- ✓ Anexo 17 – Ensayo de contenido de humedad_C01
- ✓ Anexo 18 – Ensayo de contenido de humedad_C02
- ✓ Anexo 19 – Ensayo de contenido de humedad_C03

Tabla 19 : Ensayo de Contenido de Humedad / ECH C-01

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD - MTC E 108			
	M - 1 (Peso gr.)	M - 2 (Peso gr.)	M - 3 (Peso gr.)
Peso Natural =	1,500.00	20,000.00	1,500.00
Peso después del Horno =	1,474.90	19,806.00	1,500.00
% Humedad =	1.702	0.980	0.000

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 20 : Ensayo de Contenido de Humedad / ECH C-02

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD - MTC E 108			
	M - 1 (Peso gr.)	M - 2 (Peso gr.)	M - 3 (Peso gr.)
Peso Natural =	1,500.00	19,943.50	1,500.00
Peso después del Horno =	1,479.20	19,896.40	1,500.00
% Humedad =	1.406	0.237	0.000

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 21 : Ensayo de Contenido de Humedad / ECH C-03

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD - MTC E 108			
	M - 1 (Peso gr.)	M - 2 (Peso gr.)	M - 3 (Peso gr.)
Peso Natural =	1,500.00	23,881.70	1,500.00
Peso después del Horno =	1,479.90	23,714.50	1,500.00
% Humedad =	1.358	0.705	0.000

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.3.3. Ensayo de Análisis Granulométrico

Es un ensayo que permite determinar el análisis granulométrico de los suelos, siguiendo los procedimientos indicados en la norma para el desarrollo de la actividad en el laboratorio, el cual nos permite obtener un dato representativo, el que será utilizado para los cálculos o ensayos de mayor complejidad.

Cabe indicar, que para el desarrollo del siguiente ensayo se contemplaron las siguientes características:

- ✓ Equipos y Materiales
- ✓ Muestra
- ✓ Procedimiento
- ✓ Cálculos e Informe
- ✓ Precisión y dispersión

Las que fueron obtenidas de la normativa del MTC E 117, para lograr un ensayo de calidad y con la obtención de datos con el menor error posible.

Para la ejecución del ensayo de análisis granulométrico se respetó los parámetros indicados en el Manual de Ensayo de Materiales; el desarrollo de la ejecución en el laboratorio se detalla en los anexos para cada zona de estudio.

- ✓ Anexo 20 – Ensayo de análisis granulométrico_C01
- ✓ Anexo 21 – Ensayo de análisis granulométrico_C02
- ✓ Anexo 22 – Ensayo de análisis granulométrico_C03

Tabla 22 : Ensayo de Granulometría / EG C-01

ENSAYO DE GRANULOMETRIA - MTC E 107		
PESO MUESTRA TOTAL = (Natural)	20,000.00	grs
PESO MUESTRA TOTAL SECA = (Después del horno)	19,806.00	grs
PESO GRAVA = (Retenido Malla Nro. 4)	6,653.70	grs
PESO DE ARENA = (Pasante malla Nro. 4) (lavado por la malla Nro. 200)	817.10	grs
PESOS FINOS = (Pasante malla Nro. 200)	7.00	grs/cm3

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 23 : Granulometría de la Grava / EG C-01

GRANULOMETRIA DE LA GRAVA				
GRANULOMETRIA DE LA GRAVA =		6,653.70	grs	
Pulg	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
3"	75.000	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	72.50	1.09	98.91
1"	25.400	656.40	9.87	89.05
3/4"	19.000	859.70	12.92	76.12
1/2"	12.500	1,275.10	19.16	56.96
3/8"	9.500	1,114.50	16.75	40.21
1/4"	6.300	1,574.20	23.66	16.55
Nro 4	4.760	1,024.90	15.40	1.15
fondo		76.40	1.15	0.00
TOTAL		6,653.70	100.00	

Fuente: Elaboración propia (2020)

Curva Granulométrica – Grava

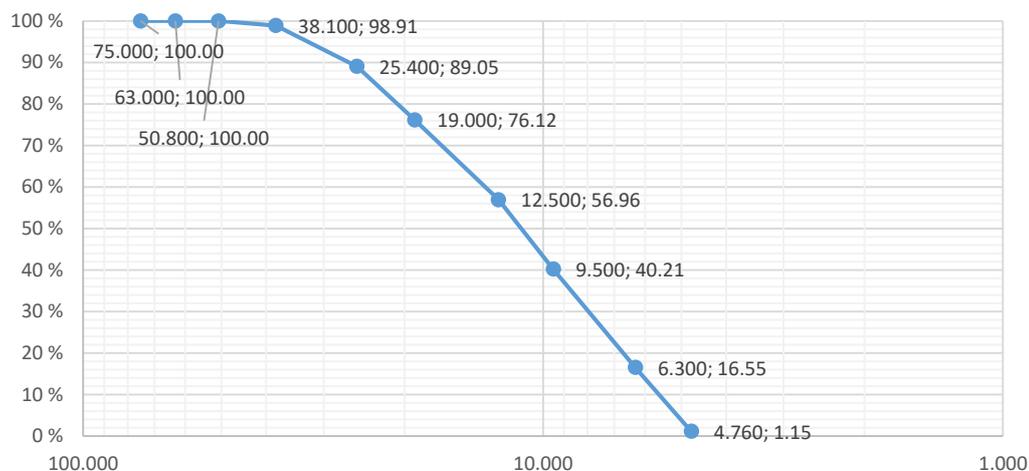


Figura 48: Curva Granulométrica de la Grava / EG C-01

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 24 : Granulometría de la Arena / EG C-01

GRANULOMETRIA DE LA ARENA				
GRANULOMETRIA DE LA ARENA =		817.10	grs	
(Lavado por la malla Nro. 200)				
Pulg	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
Nro. 10	2.000	189.30	23.17	76.83
Nro. 20	0.840	154.70	18.93	57.90
Nro. 40	0.425	123.90	15.16	42.74
Nro. 50	0.297	79.10	9.68	33.06
Nro. 100	0.149	152.20	18.63	14.43
Nro. 200	0.075	110.90	13.57	0.86
< Nro. 200		7.00	0.86	0.00
TOTAL		817.10	100.00	

Fuente: Elaboracion propia (2020)

Curva Granulométrica – Arena

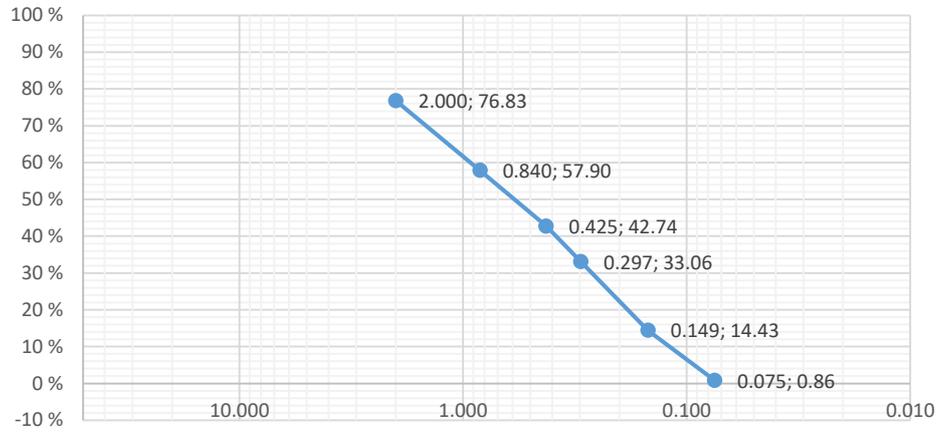


Figura 49: Curva Granulométrica de la Arena / EG C-01

Fuente: *Elaboración propia (2020)*

Tabla 25 : Ensayo de Granulometría / EG C-02

ENSAYO DE GRANULOMETRIA - MTC E 107		
PESO MUESTRA TOTAL = (Natural)	19,943.50	grs
PESO MUESTRA TOTAL SECA = (Después del horno)	19,896.40	grs
PESO GRAVA = (Retenido Malla Nro. 4)	8,757.40	grs
PESO DE ARENA = (Pasante malla Nro. 4) (lavado por la malla Nro. 200)	775.60	grs
PESOS FINOS = (Pasante malla Nro. 200)	7.90	grs/cm3

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 26 : Granulometría de la Grava / EG C-02

GRANULOMETRIA DE LA GRAVA				
GRANULOMETRIA DE LA GRAVA =		8,757.40	grs	
Pulg	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
3"	75.000	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	242.00	2.77	97.23
1 1/2"	38.100	1,314.10	15.02	82.21
1"	25.400	1,199.80	13.72	68.49
3/4"	19.000	1,095.30	12.52	55.97
1/2"	12.500	1,596.80	18.25	37.72
3/8"	9.500	947.60	10.83	26.88
1/4"	6.300	1,402.00	16.03	10.86
Nro 4	4.760	815.30	9.32	1.54
fondo		134.40	1.54	0.00
TOTAL		8,747.30	100.00	

Fuente: Elaboración propia (2020)

Curva Granulométrica – Grava

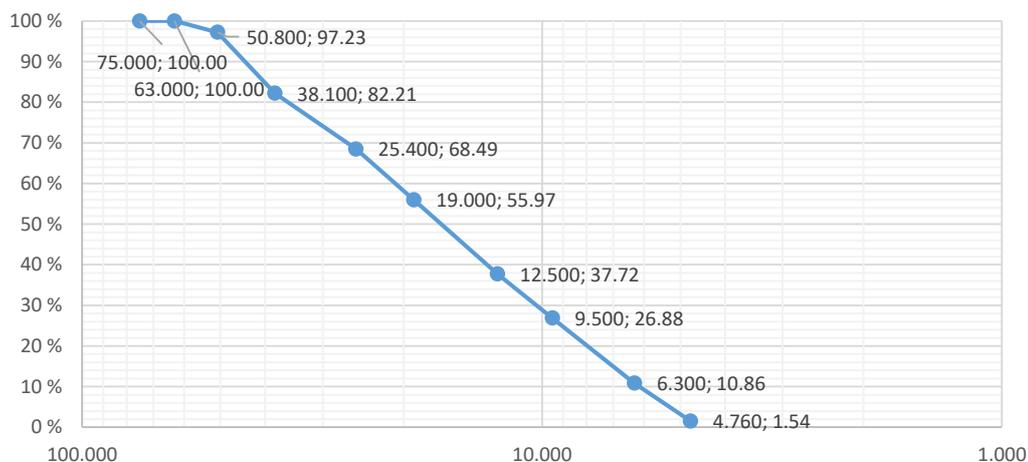


Figura 50: Curva Granulométrica de la Grava / EG C-02

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 27 : Granulometría de la Arena / EG C-02

GRANULOMETRIA DE LA ARENA				
GRANULOMETRIA DE LA ARENA =		775.60	grs	
(Lavado por la malla Nro. 200)				
Pulg	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
Nro. 10	2.000	159.70	20.43	79.57
Nro. 20	0.840	150.10	19.20	60.36
Nro. 40	0.425	128.10	16.39	43.97
Nro. 50	0.297	78.90	10.09	33.88
Nro. 100	0.149	151.90	19.43	14.44
Nro. 200	0.075	105.00	13.43	1.01
< Nro. 200		7.90	1.01	0.00
TOTAL		781.60	100.00	

Fuente: Elaboración propia (2020)

Curva Granulométrica – Arena

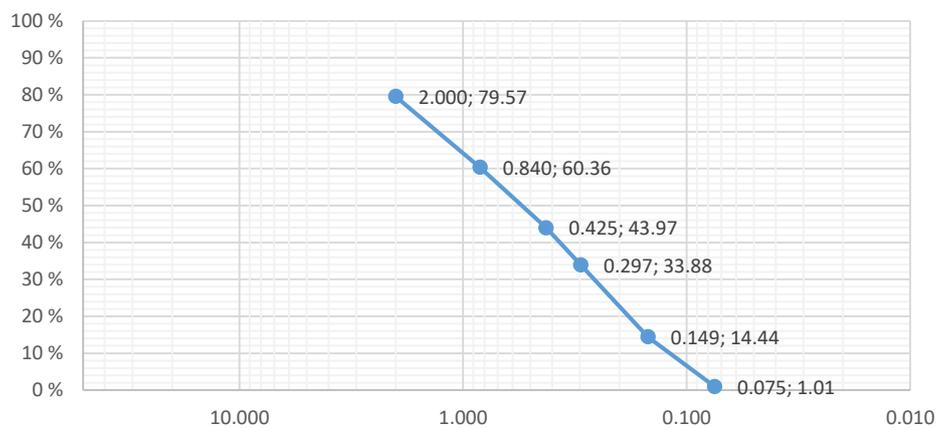


Figura 51: Curva Granulometría de la Arena / EG C-02

Fuente: *Elaboración propia (2020)*

Tabla 28 : Ensayo de Granulometría / EG C-03

ENSAYO DE GRANULOMETRIA - MTC E 107		
PESO MUESTRA TOTAL = (Natural)	23,881.70	grs
PESO MUESTRA TOTAL SECA = (Después del horno)	23,714.50	grs
PESO GRAVA = (Retenido Malla Nro. 4)	8,866.80	grs
PESO DE ARENA = (Pasante malla Nro. 4) (lavado por la malla Nro. 200)	810.50	grs
PESOS FINOS = (Pasante malla Nro. 200)	14.00	grs/cm3

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 29 : Granulometría de la Grava / EG C-03

GRANULOMETRIA DE LA GRAVA				
GRANULOMETRIA DE LA GRAVA =		8,866.80	grs	
Pulg	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
3"	75.000	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.000	714.70	8.06	91.94
2"	50.800	1,337.50	15.08	76.86
1 1/2"	38.100	964.20	10.87	65.99
1"	25.400	1,065.00	12.01	53.98
3/4"	19.000	643.00	7.25	46.73
1/2"	12.500	1,160.10	13.08	33.65
3/8"	9.500	817.00	9.21	24.44
1/4"	6.300	1,172.60	13.22	11.22
Nro 4	4.760	809.50	9.13	2.09
fondo		185.60	2.09	0.00
TOTAL		8,869.20	100.00	

Fuente: Elaboración propia (2020)

Curva Granulométrica – Grava

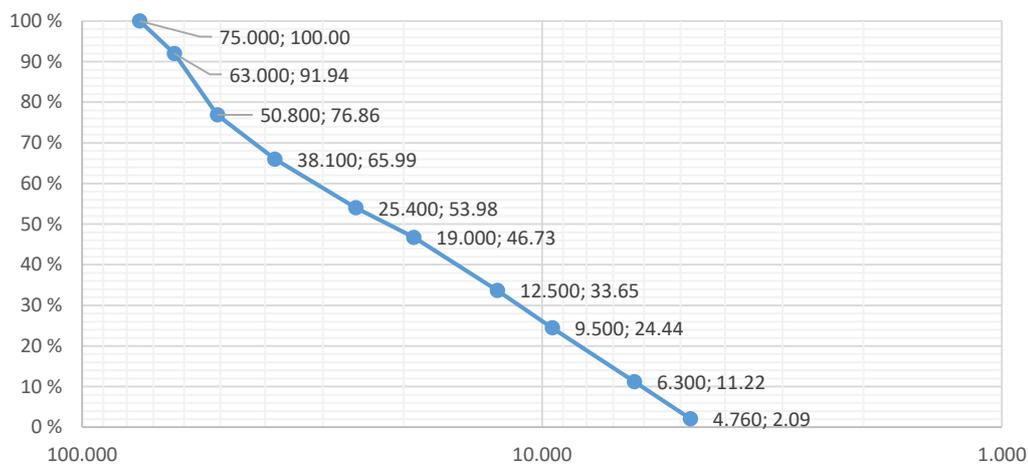


Figura 52: Curva Granulometría de la Grava / EG C-03

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 30 : Granulometría de la Arena / EG C-03

GRANULOMETRIA DE LA ARENA					
GRANULOMETRIA DE LA ARENA =		810.50	grs		
(Lavado por la malla Nro. 200)					
Pulg	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa	
Nro. 10	2.000	121.60	14.88	85.12	
Nro. 20	0.840	150.90	18.46	66.66	
Nro. 40	0.425	147.10	18.00	48.66	
Nro. 50	0.297	90.50	11.07	37.59	
Nro. 100	0.149	188.50	23.06	14.52	
Nro. 200	0.075	104.70	12.81	1.71	
< Nro. 200		14.00	1.71	0.00	
TOTAL		817.30	100.00		

Fuente: Elaboración propia (2020)

Curva Granulométrica – Arena

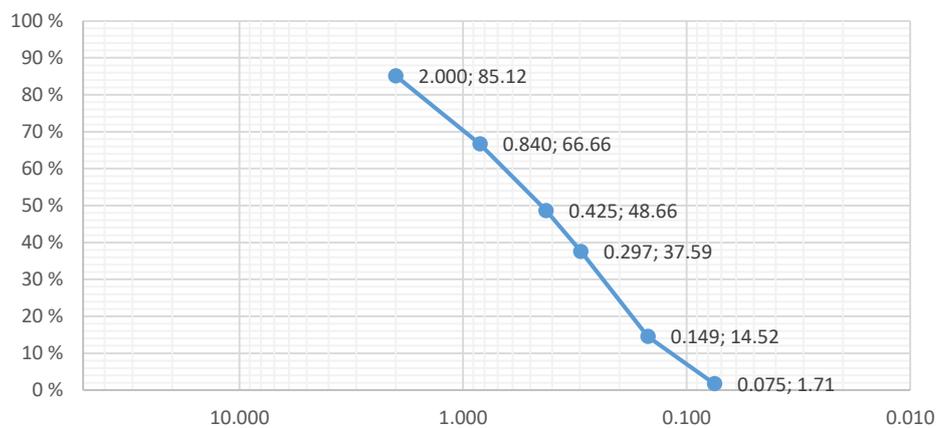


Figura 53: Curva Granulometría de la Arena / EG C-03

Fuente: *Elaboración propia (2020)*

4.1.3.4. Ensayo de *Peso Específico de la Arena*

Es un ensayo que permite determinar el peso específico de la arena, siguiendo los procedimientos indicados en la norma para el desarrollo de la actividad en el laboratorio, el cual nos permite obtener un dato representativo, el que será utilizado para cálculos o ensayos de mayor complejidad.

Cabe indicar, que para el desarrollo del siguiente ensayo se contemplaron las siguientes características:

- ✓ Equipos y Materiales
- ✓ Muestra
- ✓ Procedimiento
- ✓ Cálculos e Informe
- ✓ Precisión y dispersión

Las que fueron obtenidas de la normativa del MTC E 205, para lograr un ensayo de calidad y con la obtención de datos con el menor error posible.

Para la ejecución del ensayo de peso específico de la arena se respetó los parámetros indicados en el Manual de Ensayo de Materiales; el desarrollo de la ejecución en el laboratorio se detalla en los anexos para cada zona de estudio.

- ✓ Anexo 23 – Ensayo de peso específico de la arena_C01
- ✓ Anexo 24 – Ensayo de peso específico de la arena_C02
- ✓ Anexo 25 – Ensayo de peso específico de la arena_C03

Tabla 31 : Ensayo de Peso Específico de la Arena / EPEA C-01

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA - MTC E 205				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	M - 1	M - 2	FORMULA
Peso de la Arena seca después del horno =	gr.	250.00	250.00	a
Peso de la Fiola + agua =	gr.	682.80	696.20	b
Peso de la Fiola + suelo + agua =	gr.	836.80	850.60	c
Peso Específico =	gr/cm3	2.604	2.615	d = a/(a+b-c)

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 32 : Ensayo de Peso Específico de la Arena / EPEA C-02

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA - MTC E 205				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	M - 1	M - 2	FORMULA
Peso de la Arena seca después del horno =	gr.	500.00	500.00	a
Peso de la Fiola + agua =	gr.	1,225.94	1,229.76	b
Peso de la Fiola + suelo + agua =	gr.	1,521.74	1,530.67	c
Peso Específico =	gr/cm3	2.449	2.511	d = a/(a+b-c)

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 33 : Ensayo de Peso Específico de la Arena / EPEA C-03

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA - MTC E 205				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	M - 1	M - 2	FORMULA
Peso de la Arena seca después del horno =	gr.	500.00	500.00	a
Peso de la Fiola + agua =	gr.	1,225.94	1,229.76	b
Peso de la Fiola + suelo + agua =	gr.	1,522.08	1,524.57	c
Peso Específico =	gr/cm3	2.453	2.437	d = a/(a+b-c)

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.3.5. Ensayo de *Peso Específico de la Grava*

Es un ensayo que permite determinar el peso específico de la grava, siguiendo los procedimientos indicados en la norma para el desarrollo de la actividad en el laboratorio, el cual nos permite obtener un dato representativo, el que será utilizado para cálculos o ensayos de mayor complejidad.

Cabe indicar, que para el desarrollo del siguiente ensayo se contemplaron las siguientes características:

- ✓ Equipos y Materiales
- ✓ Muestra
- ✓ Procedimiento
- ✓ Cálculos e Informe
- ✓ Precisión y dispersión

Las que fueron obtenidas de la normativa del MTC E 206, para lograr un ensayo de calidad y con la obtención de datos con el menor error posible.

Para la ejecución del ensayo de peso específico de la grava se respetó los parámetros indicados en el Manual de Ensayo de Materiales; el desarrollo de la ejecución en el laboratorio se detalla en los anexos para cada zona de estudio.

- ✓ Anexo 26 – Ensayo de peso específico de la grava_C01
- ✓ Anexo 27 – Ensayo de peso específico de la grava_C02
- ✓ Anexo 28 – Ensayo de peso específico de la grava_C03

Tabla 34 : Ensayo de Peso Específico de la Grava / EPEG C-01

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA - MTC E 206			
DESCRIPCION	UNIDAD	PESO - MUESTRA	FORMULA
Peso de la muestra Saturada Sup. Seca =	gr.	5,200.00	a
Peso (canastilla + muestra) sumergida =	gr.	4,060.30	b
Peso canastilla sumergida =	gr.	854.40	c
Peso muestra seca =	gr.	5,159.70	d
Peso muestra sumergida =	gr.	3,205.90	e = b - c
Volumen de la muestra =	cm ³	1,994.10	f = a - e
Peso Específico Seco =	gr/cm ³	2.59	d/f
Peso Específico Saturado Sup. Seco =	gr/cm ³	2.61	a/f

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 35 : Absorción de la Grava / EPEG C-01

ABSORCIÓN DE LA GRAVA			
DESCRIPCION	UNIDAD	PESO - MUESTRA	FORMULA
Peso de la muestra Saturada Sup. Seca =	gr.	5,200.00	a
Peso muestra seca =	gr.	5,159.70	b
Absorción =	%	0.78	$((a - b) / b) * 100$

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 36 : Ensayo de Peso Específico de la Grava / EPEG C-02

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA - MTC E 206			
DESCRIPCION	UNIDAD	PESO - MUESTRA	FORMULA
Peso de la muestra Saturada Sup. Seca =	gr.	6,800.00	a
Peso (canastilla + muestra) sumergida =	gr.	4,996.10	b
Peso canastilla sumergida =	gr.	855.40	c
Peso muestra seca =	gr.	6,704.50	d
Peso muestra sumergida =	gr.	4,140.70	e = b - c
Volumen de la muestra =	cm3	2,659.30	f = a - e
Peso Específico Seco =	gr/cm3	2.52	d/f
Peso Específico Saturado Sup. Seco =	gr/cm3	2.56	a/f

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 37 : Absorción de la Grava / EPEG C-02

ABSORCIÓN DE LA GRAVA			
DESCRIPCION	UNIDAD	PESO - MUESTRA	FORMULA
Peso de la muestra Saturada Sup. Seca =	gr.	6,800.00	a
Peso muestra seca =	gr.	6,704.50	b
Absorción =	%	1.42	$((a - b) / b) * 100$

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 38 : Ensayo de Peso Específico de la Grava / EPEG C-03

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA GRAVA - MTC E 206			
DESCRIPCION	UNIDAD	PESO - MUESTRA	FORMULA
Peso de la muestra Saturada Sup. Seca =	gr.	6,800.00	a
Peso (canastilla + muestra) sumergida =	gr.	5,026.00	b
Peso canastilla sumergida =	gr.	856.00	c
Peso muestra seca =	gr.	6,731.00	d
Peso muestra sumergida =	gr.	4,170.00	e = b - c
Volumen de la muestra =	cm ³	2,630.00	f = a - e
Peso Específico Seco =	gr/cm ³	2.56	d/f
Peso Específico Saturado Sup. Seco =	gr/cm ³	2.59	a/f

Fuente: Elaboracion propia (2020)

Tabla 39 : Absorción de la Grava / EPEG C-03

ABSORCIÓN DE LA GRAVA			
DESCRIPCION	UNIDAD	PESO - MUESTRA	FORMULA
Peso de la muestra Saturada Sup. Seca =	gr.	6,800.00	a
Peso muestra seca =	gr.	6,731.00	b
Absorción =	%	1.03	$((a - b) / b) * 100$

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.3.6. Ensayo de *Límite Líquido*

Es un ensayo que permite determinar el límite líquido del suelo, siguiendo los procedimientos indicados en la norma para el desarrollo de la actividad en el laboratorio, el cual nos permite obtener un dato representativo, el que será utilizado para cálculos o ensayos de mayor complejidad.

Cabe indicar, que para el desarrollo del siguiente ensayo se contemplaron las siguientes características:

- ✓ Equipos y Materiales
- ✓ Muestra
- ✓ Procedimiento
- ✓ Cálculos e Informe
- ✓ Precisión y dispersión

Las que fueron obtenidas de la normativa del MTC E 111, para lograr un ensayo de calidad y con la obtención de datos con el menor error posible.

Para la ejecución del ensayo de límite líquido se respetó los parámetros indicados en el Manual de Ensayo de Materiales; el desarrollo de la ejecución en el laboratorio se detalla en los anexos para cada zona de estudio.

- ✓ Anexo 29 – Ensayo de límite líquido_C01
- ✓ Anexo 30 – Ensayo de límite líquido_C02
- ✓ Anexo 31 – Ensayo de límite líquido_C03

Tabla 40 : Ensayo de Limite Liquido del Suelo / ELL C-01

ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DEL SUELO - MTC E 110						
DESCRIPCION - TARA	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5	FORMULA
Número de golpes (Nº) =	16	19	27	32	34	
Peso de Tara (gr.) =	5.25	5.25	5.21	5.23	5.19	a
Peso de Tara + suelo Húmedo (gr.) =	26.19	34.29	36.41	31.06	45.96	b
Peso de Tara + suelo Seco (gr.) =	21.40	27.51	29.37	25.22	36.93	c
Peso de Agua (gr.) =	4.79	6.78	7.04	5.84	9.03	d = b - c
Peso de suelo Seco (gr.) =	16.15	22.26	24.16	19.99	31.74	e = c - a
Humedad (%) =	29.66	30.46	29.14	29.21	28.45	(d / e) * 100

Límite Liquido = 29.38 %

Fuente: Elaboración propia (2020)

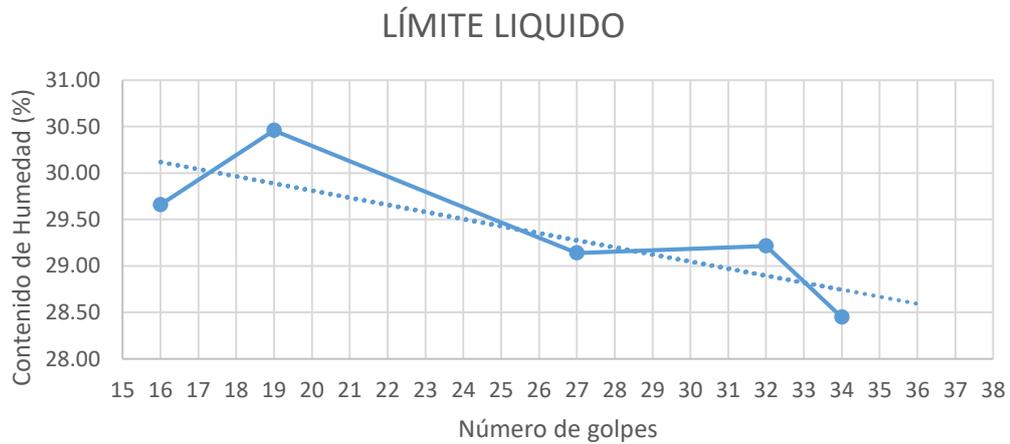


Figura 54: Contenido de Humedad vs Número de Golpes / ELL C-01

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 41 : Ensayo de Limite Liquido del Suelo / ELL C-02

ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DEL SUELO - MTC E 110						
DESCRIPCION - TARA	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5	FORMULA
Número de golpes (Nº) =	17	22	28	35	35	
Peso de Tara (gr.) =	5.25	5.25	5.22	5.23	5.19	a
Peso de Tara + suelo Húmedo (gr.) =	47.45	48.82	49.72	43.46	43.48	b
Peso de Tara + suelo Seco (gr.) =	37.60	39.08	40.00	35.23	35.15	c
Peso de Agua (gr.) =	9.85	9.74	9.72	8.23	8.33	d = b - c
Peso de suelo Seco (gr.) =	32.35	33.83	34.78	30.00	29.96	e = c - a
Humedad (%) =	30.45	28.79	27.95	27.43	27.80	(d / e) * 100

Límite Liquido = 28.48 %

Fuente: Elaboración propia (2020)

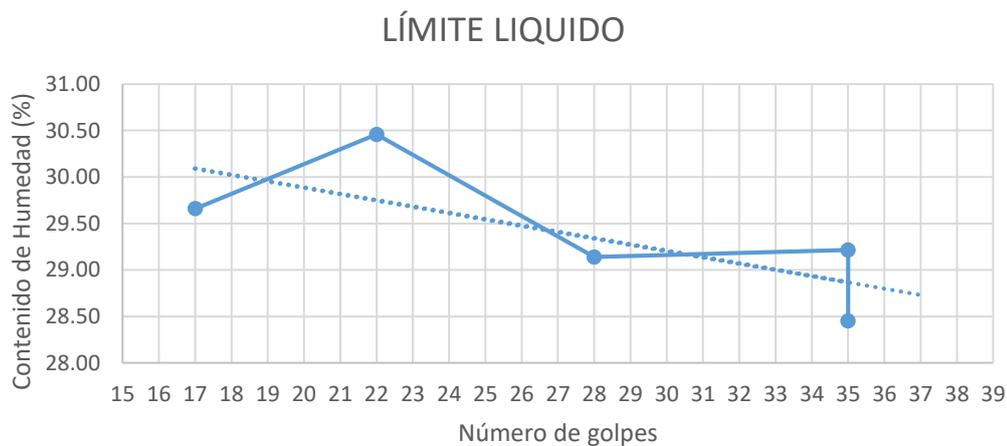


Figura 55: Contenido de Humedad vs Número de Golpes / ELL C-02

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 42 : Ensayo de Limite Liquido del Suelo / ELL C-03

ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DEL SUELO - MTC E 110						
DESCRIPCION - TARA	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5	FORMULA
Número de golpes (N°) =	19	24	28	32	33	
Peso de Tara (gr.) =	5.18	5.21	5.25	5.22	5.25	a
Peso de Tara + suelo Húmedo (gr.) =	39.48	40.59	43.98	44.45	45.61	b
Peso de Tara + suelo Seco (gr.) =	31.74	32.94	35.60	36.09	36.85	c
Peso de Agua (gr.) =	7.74	7.65	8.38	8.36	8.76	d = b - c
Peso de suelo Seco (gr.) =	26.56	27.73	30.35	30.87	31.60	e = c - a
Humedad (%) =	29.14	27.59	27.61	27.08	27.72	(d / e) * 100

Límite Liquido = 27.83 %

Fuente: Elaboración propia (2020)

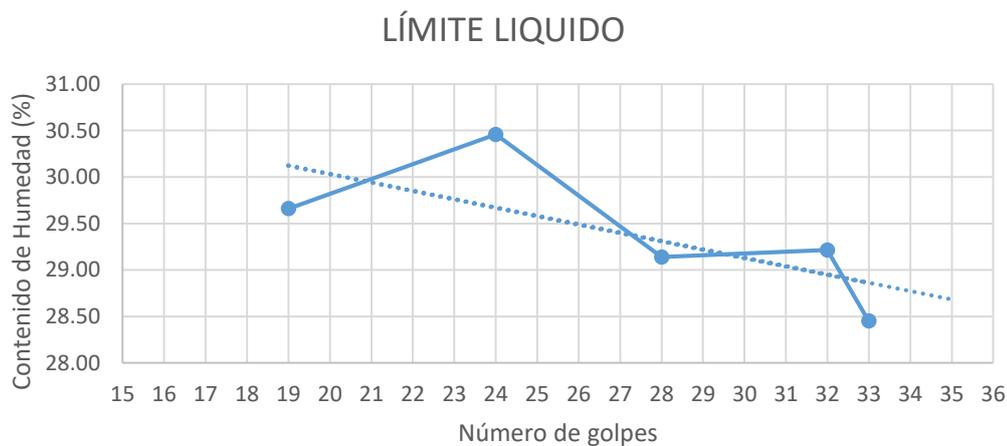


Figura 56: Contenido de Humedad vs Número de Golpes / ELL C-03

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.3.7. Ensayo de Límite Plástico

Es un ensayo que permite determinar el límite líquido del suelo, siguiendo los procedimientos indicados en la norma para el desarrollo de la actividad en el laboratorio, el cual nos permite obtener un dato representativo, el que será utilizado para cálculos o ensayos de mayor complejidad.

Cabe indicar, que para el desarrollo del siguiente ensayo se contemplaron las siguientes características:

- ✓ Equipos y Materiales
- ✓ Muestra
- ✓ Procedimiento
- ✓ Cálculos e Informe
- ✓ Precisión y dispersión

Las que fueron obtenidas de la normativa del MTC E 111, para lograr un ensayo de calidad y con la obtención de datos con el menor error posible.

Para la ejecución del ensayo de límite plástico se respetó los parámetros indicados en el Manual de Ensayo de Materiales; el desarrollo de la ejecución en el laboratorio se detalla en los anexos para cada zona de estudio.

- ✓ Anexo 32 – Ensayo de límite plástico_C01
- ✓ Anexo 33 – Ensayo de límite plástico_C02
- ✓ Anexo 34 – Ensayo de límite plástico_C03

Tabla 43 : Ensayo de Limite Plástico del Suelo / ELP C-01

ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO DEL SUELO - MTC E 111						
DESCRIPCION - TARA	P - 1	P - 2	P - 3	P - 4	P - 5	FORMULA
Peso de Tara (gr.) =	5.26	5.20	5.22	5.22	5.23	a
Peso de Tara + suelo Húmedo (gr.) =	6.18	6.37	6.30	6.55	5.76	b
Peso de Tara + suelo Seco (gr.) =	6.13	6.25	6.21	6.44	5.79	c
Peso de Agua (gr.) =	0.05	0.12	0.09	0.11	-0.03	d = b - c
Peso de suelo Seco (gr.) =	0.87	1.05	0.99	1.22	0.56	e = c - a
Humedad (%) =	5.75	11.43	9.09	9.02	-5.36	(d / e) * 100
				Límite Plástico =	5.99 %	

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 44 : Índice de Plasticidad / ELP C-01

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
IP = LL - LP	
LL =	29.38 %
LP =	5.99 %
INDICE DE PLASTICIDAD (IP) = 23.40 %	

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 45 : Ensayo de Limite Plástico del Suelo / ELP C-02

ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO DEL SUELO - MTC E 111						
DESCRIPCION - TARA	P - 1	P - 2	P - 3	P - 4	P - 5	FORMULA
Peso de Tara (gr.) =	5.28	5.20	5.22	5.23	5.23	a
Peso de Tara + suelo Húmedo (gr.) =	5.76	6.05	5.60	6.11	6.31	b
Peso de Tara + suelo Seco (gr.) =	5.68	5.90	5.55	6.00	6.12	c
Peso de Agua (gr.) =	0.08	0.15	0.05	0.11	0.19	d = b - c
Peso de suelo Seco (gr.) =	0.40	0.70	0.33	0.77	0.89	e = c - a
Humedad (%) =	20.00	21.43	15.15	14.29	21.35	(d / e) * 100
				Límite Plástico =	18.44 %	

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 46 : Índice de Plasticidad / ELP C-02

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
IP = LL - LP	
LL =	28.48 %
LP =	18.44 %
INDICE DE PLASTICIDAD (IP) = 10.04 %	

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 47 : Ensayo de Limite Plástico del Suelo / ELP C-03

ENSAYO DE LIMITE PLÁSTICO DEL SUELO - MTC E 111						
DESCRIPCION - TARA	P - 1	P - 2	P - 3	P - 4	P - 5	FORMULA
Peso de Tara (gr.) =	5.27	5.20	5.22	5.22	5.25	a
Peso de Tara + suelo Húmedo (gr.) =	6.01	5.80	5.88	5.86	5.87	b
Peso de Tara + suelo Seco (gr.) =	5.90	5.70	5.78	5.77	5.79	c
Peso de Agua (gr.) =	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	d = b - c
Peso de suelo Seco (gr.) =	0.63	0.50	0.56	0.55	0.54	e = c - a
Humedad (%) =	17.46	20.00	17.86	16.36	14.81	(d / e) * 100
				Límite Plástico =	17.30 %	

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 48 : Índice de Plasticidad / ELP C-03

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
IP = LL - LP	
LL =	27.83 %
LP =	17.30 %
INDICE DE PLASTICIDAD (IP) = 10.53 %	

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.4. Trabajo de Gabinete

Luego del desarrollo de los pasos anteriores se logró obtener los resultados necesarios para iniciar el modelamiento en el programa Sap 2000 V.16, con el que se analizara los dos escenarios planteados para la presente investigación como son:

- ✓ Base de fundación con apoyo empotrado
- ✓ Diseño de cimentación estándar + modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov

Como siguiente punto se seguirá el procedimiento adecuado para el modelamiento de la estructura más la cimentación.

4.1.4.1. Dibujo de la Arquitectura de la Edificación

Se procedió a seleccionar la estructura de una edificación que tenga un periodo de vida útil superior a los 10 años y que allá estado sometido a la interacción de sismos de mediana intensidad.

Se verifico que las irregularidades presentadas en los 4 niveles tanto en altura como en planta no sean de un grado crítico, que pueda generar el aumento de las fuerzas sísmicas en la estructura.

Luego se realizó el respectivo cotejo estructural para identificar los elementos estructurales predominantes como son: columnas, vigas y losa aligerada.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se procedió al levantamiento de la estructura IN – SITU para obtener las diferentes medidas necesarias para los siguientes procedimientos:

- ✓ Planos de Arquitectura
- ✓ Metrado de Cargas
- ✓ Modelamiento en el Programa Sap2000

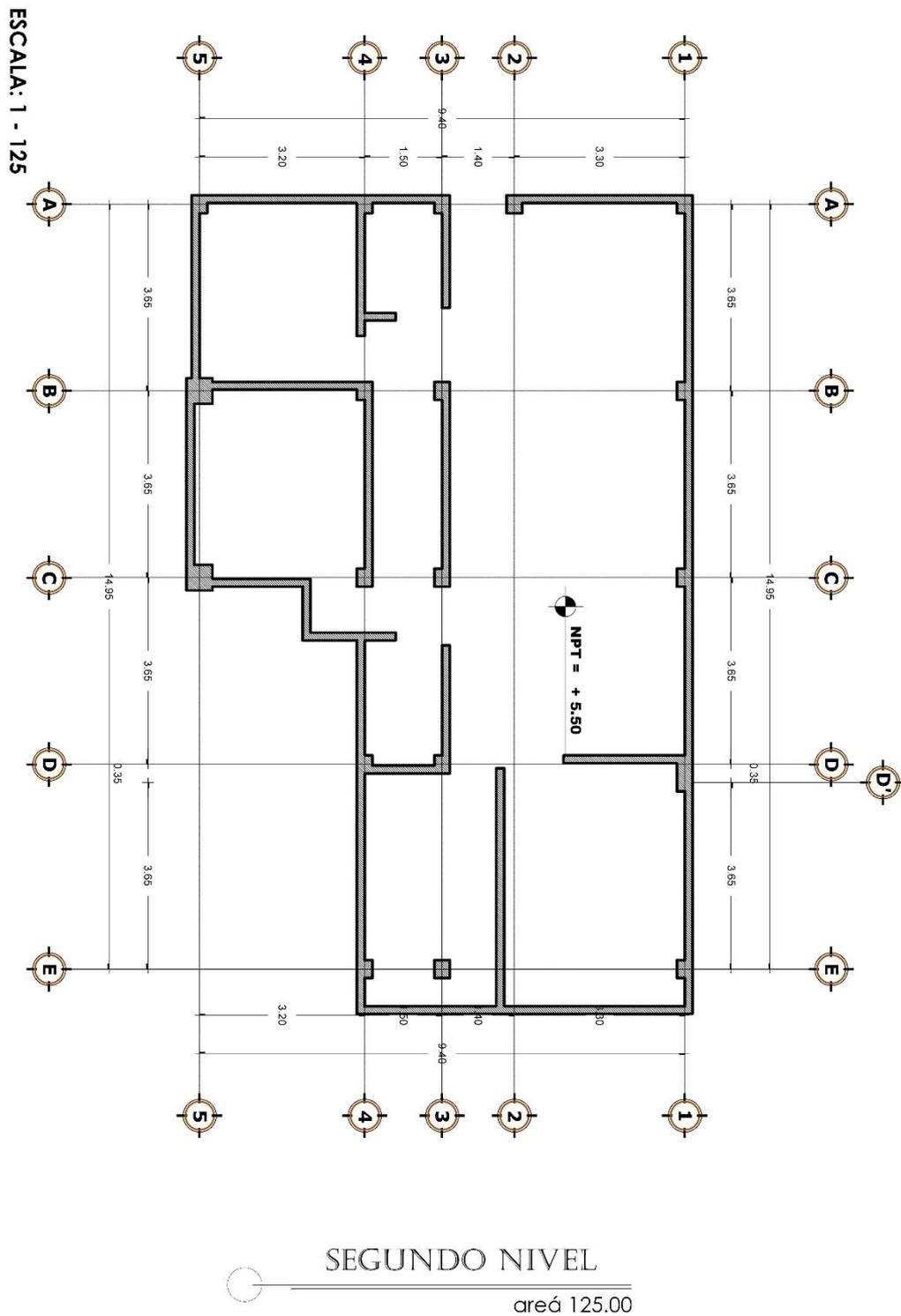
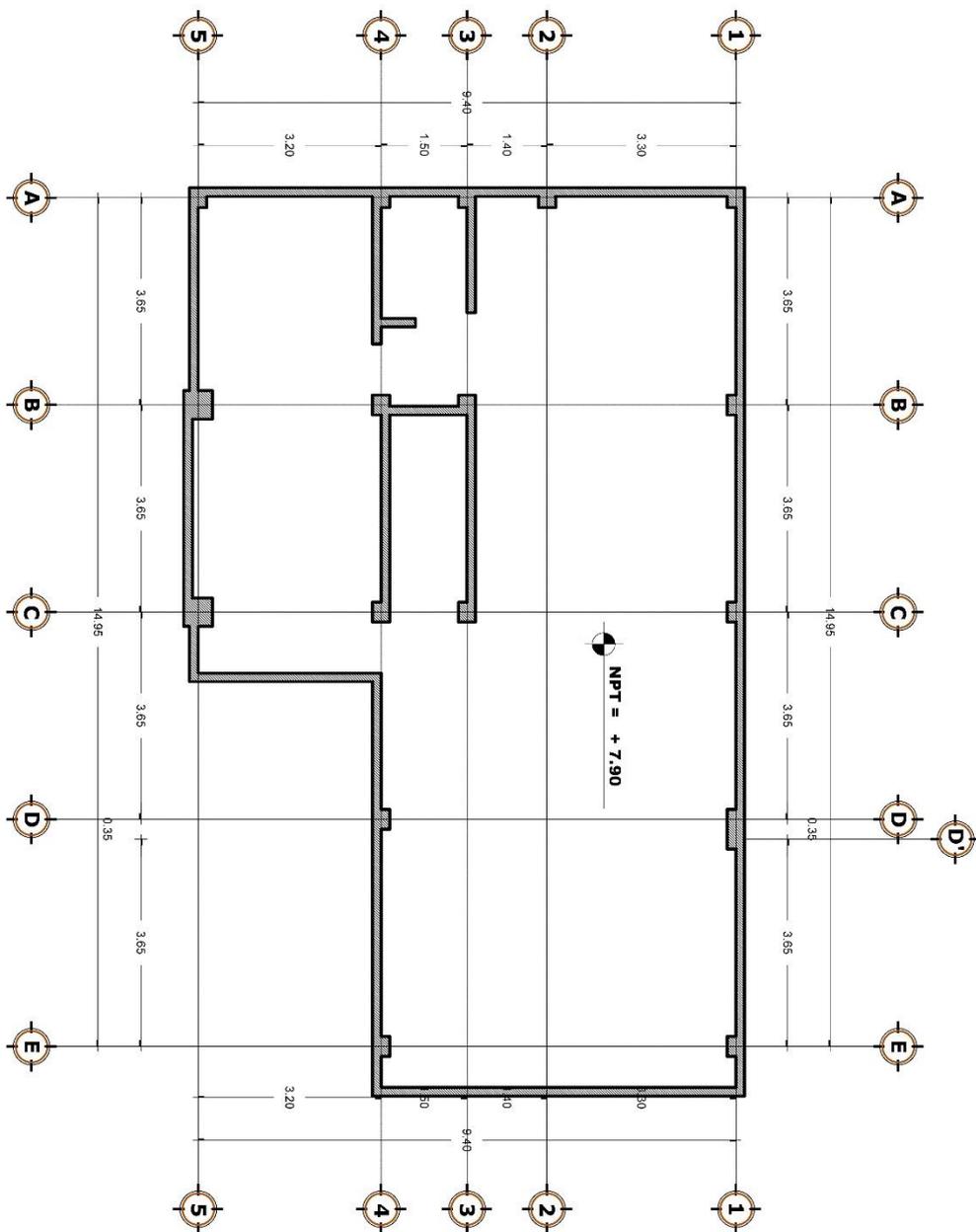


Figura 58: Segundo Nivel de la Edificación

Fuente: *Elaboración Propia (2020)*

ESCALA: 1 - 125

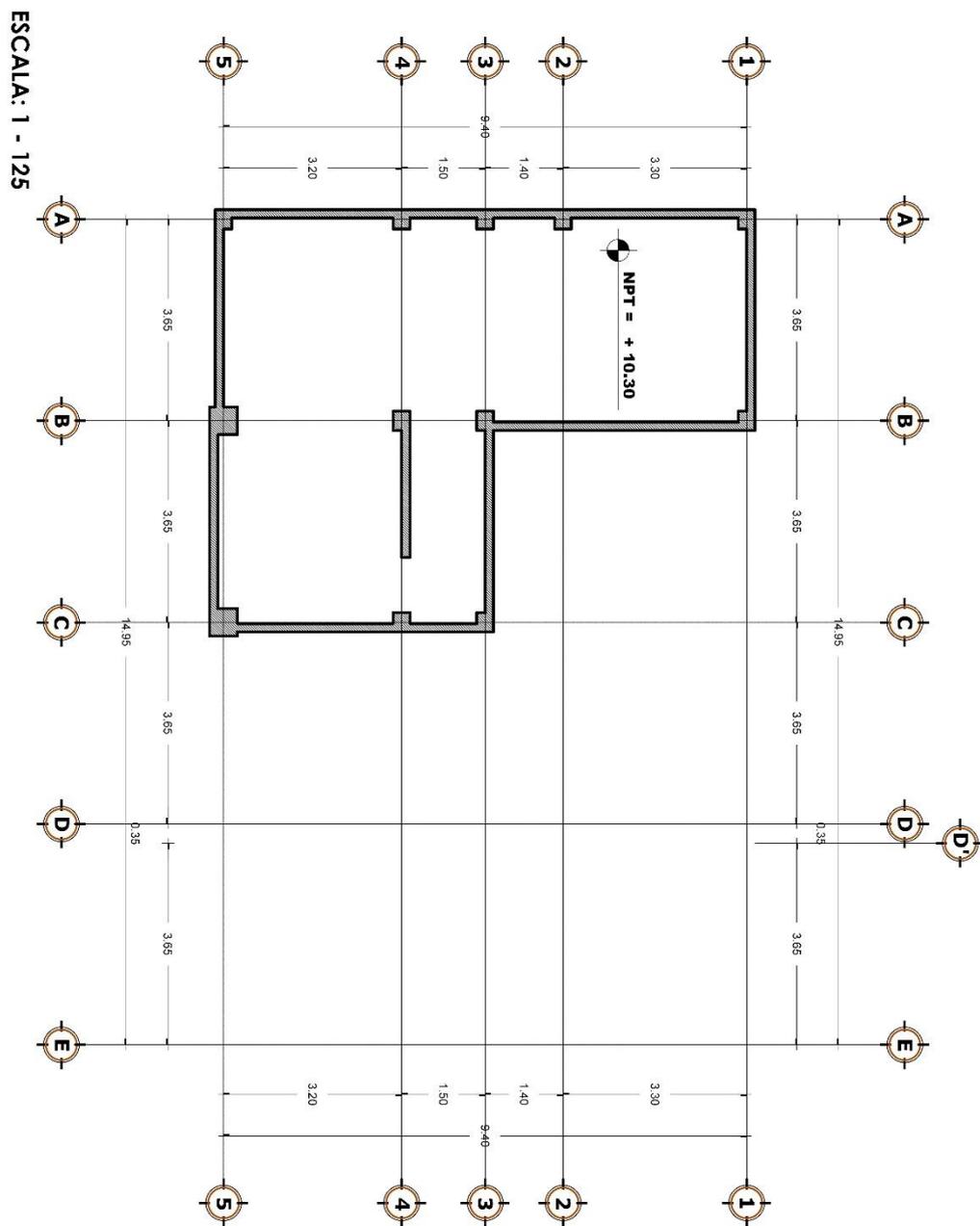


TERCER NIVEL

areá 125.00

Figura 59: Tercer Nivel de la Edificación

Fuente: *Elaboración Propia (2020)*



CUARTO NIVEL

area 125.00

Figura 60: Cuarto Nivel de la Edificación

Fuente: *Elaboración Propia (2020)*

4.1.4.2. Cálculo del Peso de la Edificación

Para conocer el peso de la Edificación que será modelada para la interacción suelo estructura con los dos planteamientos indicados.

Se desarrollo un metrado de cargas por nivel que nos servirá para determinar el Centro Masa y la Fuerza Sísmica que se aplicara en la estructura, considerando todos los elementos estructurales que intervendrán en la interacción del sistema estructural.

Para el desarrollo del proceso del metrado de cargas se respetó los parámetros consignados en el Reglamento Nacional de Edificaciones; el desarrollo de la ejecución en gabinete se detalla en los anexos.

✓ Anexo 35 – Metrado de cargas de la edificación

Tabla 49 : Peso Total de la Edificación

PESO TOTAL DE LA EDIFICACIÓN					
Nivel	CM (Tn)	CV (Tn)	Tipo C % CV	% CV (Tn)	Peso Total (Tn)
1	101.57	23.21	25.00	5.80	107.38
2	98.13	23.21	25.00	5.80	103.93
3	98.13	16.75	25.00	4.19	102.32
4	48.89	5.15	25.00	1.29	50.17
TOTAL	346.72	68.32		17.08	363.80

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 50 : Centro de Masa por Niveles

CENTRO DE MASA POR NIVELES		
Nivel	Centro de Masa	
	X (m)	Y (m)
1	6.69129301	5.24052757
2	6.69442997	5.25185491
3	6.13168534	5.03107318
4	3.09917297	3.86277022

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.4.3. Cálculo de la Capacidad Portante

Para el cálculo de la capacidad portante del suelo de las zonas de estudio se consideró como base el Estudio de Mecánica de Suelos del Plan de Desarrollo Urbano Moquegua – Samegua 2016 – 2026, avalado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Para determinar las calicatas que nos servirían de referencia del presente Análisis de Suelos, se procedió a determinar que distancias presentaban de los puntos de estudio de la investigación.

Se logró obtener las tres (03) calicatas con menor distancia de cada punto de estudio, de las cuales se procedería a extraer las características determinadas en la página 106 del documento mencionado anteriormente, en la Tabla N°01.
CARACTERISTICAS FISICO MECANICAS DEL SUELO.

Las siguientes propiedades se procederán a comparar con las propiedades de puntos de las zonas de estudio, para proceder a determinar mediante cálculos el valor más próximo de la capacidad portante para la presente investigación.

Después del procedimiento anteriormente ejecutado se logró obtener la capacidad portante aproximada para las zonas de estudio la cual se utilizará para la interacción de la estructura y diseño de las cimentaciones.

Para el desarrollo del proceso del cálculo de la capacidad portante se respetó los parámetros consignados en el Reglamento Nacional de Edificaciones; el desarrollo de la ejecución en gabinete se detalla en los anexos.

✓ Anexo 36 – Calculo de la capacidad portante

Tabla 51 : Propiedades Físico – Mecánicas / C-01

PROPIEDADES FISICO - MECANICAS	
Calicata	C - 01
Profundidad (m)	3.00
Limite Liquido (%)	29.38
Limite Plástico (%)	5.99
Índice de Plasticidad (%)	23.39
% GRAVA	33.59
% ARENA	81.71
% FINOS	0.86
SUCS	CL-OL
Peso Unitario (grs/cm3)	1.9100
Angulo de Friccion (°)	26.43
Cohesión (grs/cm2)	-100.53
Capacidad Portante (kg/cm2)	1.64

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 52 : Propiedades Físico – Mecánicas / C-02

PROPIEDADES FISICO - MECANICAS	
Calicata	C - 02
Profundidad (m)	3.00
Limite Liquido (%)	28.48
Limite Plástico (%)	18.44
Índice de Plasticidad (%)	10.04
% GRAVA	44.02
% ARENA	77.56
% FINOS	1.02
SUCS	CL-OL
Peso Unitario (grs/cm3)	1.9900
Angulo de Friccion (°)	27.43
Cohesión (grs/cm2)	-104.74
Capacidad Portante (kg/cm2)	1.86

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 53 : Propiedades Físico – Mecánicas / C-03

PROPIEDADES FISICO - MECANICAS	
Calicata	C - 03
Profundidad (m)	3.00
Limite Liquido (%)	27.83
Limite Plástico (%)	17.30
Índice de Plasticidad (%)	10.53
% GRAVA	37.39
% ARENA	81.05
% FINOS	1.73
SUCS	CL-OL
Peso Unitario (grs/cm3)	1.9400
Angulo de Friccion (°)	27.43
Cohesión (grs/cm2)	-102.11
Capacidad Portante (kg/cm2)	1.81

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.4.4. Cálculo de las Dimensiones de las Zapatas

Luego de obtener los datos necesarios para realizar el procedimiento de diseño de las Zapatas que entran en interacción directa con la columna y el suelo.

Se procedió con el desarrollo respectivo para el cálculo de las dimensiones, se realizará el diseño de una zapata aislada, teniendo en cuenta los parámetros estipulados en el Reglamento Nacional de Edificaciones (R. N. E.), en el que figura una serie de verificaciones que se tiene que cumplir para tener la certeza de que las dimensiones calculadas estén conformes para soportar el peso de la edificación y tolerar un comportamiento adecuado ante las fuerzas externas.

Para el análisis de la investigación se procedió a dimensionar veinte (20) zapatas por cada zona de estudio, a las que someteremos al diseño, interacción y comparación de sus diferentes efectos en la presente investigación.

Tabla 54 : Características de las zapatas_C01

CARACTERÍSTICAS DE LAS ZAPATAS - CRUZ DEL SIGLO II					
Zapata	Peso P (Tn)	Largo L (m)	Base B (m)	Altura Hz (m)	Peralte d (m)
A - 1	24.9136	1.76	1.70	0.35	0.25
A - 2	22.0304	1.66	1.60	0.35	0.25
A - 3	20.8072	1.61	1.55	0.35	0.25
A - 4	19.4967	1.56	1.50	0.35	0.25
A - 5	16.7009	1.44	1.39	0.35	0.25
B - 1	23.5757	1.71	1.65	0.35	0.25
B - 3	19.4694	1.55	1.50	0.35	0.25
B - 4	18.1588	1.50	1.44	0.35	0.25
B - 5	36.5785	2.09	2.09	0.35	0.25
C - 1	22.2377	1.66	1.60	0.35	0.25
C - 3	18.1314	1.50	1.44	0.35	0.25
C - 4	16.8208	1.45	1.39	0.35	0.25
C - 5	33.3929	2.00	2.00	0.35	0.25
D - 1	20.8997	1.61	1.55	0.35	0.25
D' - 1	20.7715	1.61	1.55	0.35	0.25
D - 3	16.7934	1.45	1.39	0.35	0.25
D - 4	15.4829	1.39	1.33	0.35	0.25
E - 1	19.4335	1.55	1.49	0.35	0.25
E - 3	15.3271	1.38	1.32	0.35	0.25
E - 4	14.0166	1.33	1.27	0.35	0.25

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 55 : Características de las zapatas_C02

CARACTERÍSTICAS DE LAS ZAPATAS - CENTRO SISMOLÓGICO					
Zapata	Peso P (Tn)	Largo L (m)	Base B (m)	Altura Hz (m)	Peralte d (m)
A - 1	24.9136	1.63	1.57	0.35	0.25
A - 2	22.0304	1.54	1.48	0.35	0.25
A - 3	20.8072	1.49	1.43	0.35	0.25
A - 4	19.4967	1.45	1.39	0.35	0.25
A - 5	16.7009	1.34	1.28	0.35	0.25
B - 1	23.5757	1.59	1.53	0.35	0.25
B - 3	19.4694	1.44	1.39	0.35	0.25
B - 4	18.1588	1.40	1.34	0.35	0.25
B - 5	36.5785	1.94	1.94	0.35	0.25
C - 1	22.2377	1.54	1.48	0.35	0.25
C - 3	18.1314	1.40	1.34	0.35	0.25
C - 4	16.8208	1.35	1.29	0.35	0.25
C - 5	33.3929	1.85	1.85	0.35	0.25
D - 1	20.8997	1.50	1.44	0.35	0.25
D' - 1	20.7715	1.49	1.43	0.35	0.25
D - 3	16.7934	1.34	1.28	0.35	0.25
D - 4	15.4829	1.29	1.23	0.35	0.25
E - 1	19.4335	1.44	1.39	0.35	0.25
E - 3	15.3271	1.28	1.23	0.35	0.25
E - 4	14.0166	1.23	1.17	0.35	0.25

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 56 : Características de las zapatas_C03

CARACTERÍSTICAS DE LAS ZAPATAS - BARRIOS ALTOS					
Zapata	Peso P (Tn)	Largo L (m)	Base B (m)	Altura Hz (m)	Peralte d (m)
A - 1	24.9136	1.66	1.60	0.35	0.25
A - 2	22.0304	1.56	1.50	0.35	0.25
A - 3	20.8072	1.51	1.46	0.35	0.25
A - 4	19.4967	1.47	1.41	0.35	0.25
A - 5	16.7009	1.36	1.30	0.35	0.25
B - 1	23.5757	1.61	1.55	0.35	0.25
B - 3	19.4694	1.47	1.41	0.35	0.25
B - 4	18.1588	1.42	1.36	0.35	0.25
B - 5	36.5785	1.97	1.97	0.35	0.25
C - 1	22.2377	1.56	1.51	0.35	0.25
C - 3	18.1314	1.42	1.36	0.35	0.25
C - 4	16.8208	1.36	1.30	0.35	0.25
C - 5	33.3929	1.88	1.88	0.35	0.25
D - 1	20.8997	1.52	1.46	0.35	0.25
D' - 1	20.7715	1.51	1.46	0.35	0.25
D - 3	16.7934	1.36	1.30	0.35	0.25
D - 4	15.4829	1.31	1.25	0.35	0.25
E - 1	19.4335	1.47	1.41	0.35	0.25
E - 3	15.3271	1.30	1.24	0.35	0.25
E - 4	14.0166	1.25	1.19	0.35	0.25

Fuente: Elaboracion propia (2020)

4.1.4.5. Cálculo de la Fuerza Sísmica

La norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, será la base para el cálculo de la fuerza sísmica que se obtiene después de realizar el procedimiento indicado en el Capítulo IV Análisis Estructural del Artículo 28 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes en el apartado 28.2 Fuerza Cortante en la Base.

Obteniendo las fuerzas sísmicas que afectara en la dirección del eje X-X y el eje Y-Y para cada nivel de la estructura, forzando a los elementos estructurales a reaccionar ante esta fuerza con el fin de minimizar el desplazamiento de entre piso para que no supere los parámetros indicados en el Artículo 32 Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles del Capítulo V Requisitos de Rigidez, Resistencia y Ductilidad.

Tabla 57 : Fuerza Sísmica en los Ejes X-Y

Nivel	Dirección de Fuerza		
	X	Y	Mt
1	28.62	23.59	21.40
2	49.87	51.38	37.28
3	70.92	73.07	53.01
4	45.48	46.85	33.99

Fuente: *Elaboración propia (2020)*

4.1.4.6. Modelamiento de la Estructura

El modelamiento de la estructura tendrá en consideración las dimensiones de los elementos estructurales como son:

- ✓ Columna
- ✓ Viga
- ✓ Losa
- ✓ Cimentación

La fuerza sísmica por nivel actuara en cada Centro de Masa calculado de la planta que entrara en interacción, para una distribución uniforme de su magnitud.

Siendo el tema de investigación la cimentación diseñada para cada zona estudio

El tema de investigación es el diseño de la cimentación en dos estados, como son:

- ✓ Cimentación con apoyo empotrado
- ✓ Cimentación con dinámica estructural

Para el estado de cimentación con dinámica estructural se calcularon para las Zapatas los Coeficientes de Rigidez y las Masas para el Modelo de Dinámica Estructural D.D. Barkan – O.A. Savinov; para el análisis comparativo y la contratación de hipótesis planteadas.

Para el desarrollo del proceso del modelamiento de la estructura se respetó los parámetros consignados en el Reglamento Nacional de Edificaciones; el desarrollo de la ejecución en gabinete se detalla en los anexos.

- ✓ Anexo 37 – Modelamiento de la estructura

Tabla 58 : Reacciones - Apoyos Empotrados / CAE

Cimentación Estándar AE - REACCIONES_APOYO EMPOTRADO							
Zapata	Limite	F1	F2	F3	M1	M2	M3
		Tn	Tn	Tn	Tn - m	Tn - m	Tn - m
A - 1	Max	3.23E-11	7.121E-11	33.309	18.42304	0.00374	0.27662
	Min	-14.0084	-12.2519	18.6852	0.00491	-21.03085	-2.364E-12
A - 2	Max	1.475E-11	7.121E-11	22.0304	18.42304	0.00374	0.27662
	Min	-11.9544	-12.2519	10.0545	0.00491	-17.94973	-2.364E-12
A - 3	Max	7.307E-12	7.121E-11	20.8073	18.42304	0.00374	0.27662
	Min	-11.0829	-12.2519	3.7217	0.00491	-16.64259	-2.364E-12
A - 4	Max	-4.696E-13	7.121E-11	19.4967	18.42304	0.00374	0.27662
	Min	-10.1492	-12.2519	-4.0847	0.00491	-15.24208	-2.364E-12
A - 5	Max	-1.327E-11	7.121E-11	16.7009	18.42304	0.00374	0.27662
	Min	-8.1574	-12.2519	-23.3846	0.00491	-12.25432	-2.364E-12
B - 1	Max	3.23E-11	5.68E-11	39.8187	15.89293	0.00374	0.27662
	Min	-14.0084	-10.5651	17.6818	0.00491	-21.03085	-2.364E-12
B - 3	Max	7.307E-12	5.68E-11	19.4693	15.89293	0.00374	0.27662
	Min	-11.0829	-10.5651	8.6039	0.00491	-16.64259	-2.364E-12
B - 4	Max	-4.696E-13	5.68E-11	18.1588	15.89293	0.00374	0.27662
	Min	-10.1492	-10.5651	1.8187	0.00491	-15.24208	-2.364E-12
B - 5	Max	-6.195E-11	3.571E-10	36.5785	99.95197	0.01818	1.59605
	Min	-38.0826	-66.4352	-40.1785	0.0325	-57.21229	-1.364E-11
C - 1	Max	3.23E-11	4.238E-11	46.3283	13.36283	0.00374	0.27662
	Min	-14.0084	-8.8784	16.6783	0.00491	-21.03085	-2.364E-12
C - 3	Max	7.307E-12	4.238E-11	18.1314	13.36283	0.00374	0.27662
	Min	-11.0829	-8.8784	13.4861	0.00491	-16.64259	-2.364E-12
C - 4	Max	-4.696E-13	4.238E-11	16.8208	13.36283	0.00374	0.27662
	Min	-10.1492	-8.8784	6.701	0.00491	-15.24208	-2.364E-12
C - 5	Max	-6.195E-11	2.665E-10	33.3929	84.04228	0.01818	1.59605
	Min	-38.0826	-55.8287	-24.6793	0.0325	-57.21229	-1.364E-11
D - 1	Max	3.23E-11	2.797E-11	52.838	10.83272	0.00374	0.27662
	Min	-14.0084	-7.1917	15.6748	0.00491	-21.03085	-2.364E-12
D' - 1	Max	7.307E-12	2.797E-11	24.4912	10.83272	0.00374	0.27662
	Min	-11.0829	-7.1917	12.5951	0.00491	-16.64259	-2.364E-12
D - 3	Max	-4.696E-13	2.797E-11	15.4829	10.83272	0.00374	0.27662
	Min	-10.1492	-7.1917	11.5832	0.00491	-15.24208	-2.364E-12
D - 4	Max	3.23E-11	1.217E-11	59.9718	8.06001	0.00374	0.27662
	Min	-14.0084	-5.3432	14.5751	0.00491	-21.03085	-2.364E-12
E - 1	Max	7.307E-12	1.217E-11	31.625	8.06001	0.00374	0.27662
	Min	-11.0829	-5.3432	11.4954	0.00491	-16.64259	-2.364E-12
E - 3	Max	-4.696E-13	1.217E-11	22.5782	8.06001	0.00374	0.27662
	Min	-10.1492	-5.3432	10.5125	0.00491	-15.24208	-2.364E-12
E - 4	Max	3.23E-11	2.659E-11	53.4622	10.59011	0.00374	0.27662
	Min	-14.0084	-7.0299	15.5786	0.00491	-21.03085	-2.364E-12

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 59 : Reacciones - Cruz del Siglo II - Dinámica Estructural / CDCSII

Cruz del Siglo II_C01 - REACCIONES_DINÁMICA ESTRUCTURAL							
Zapata	Limite	F1	F2	F3	M1	M2	M3
		Tn	Tn	Tn	Tn - m	Tn - m	Tn - m
A - 1	Max	0.0011	-0.0002026	34.8929	19.8694	0.01045	0.3054
	Min	-15.0985	-14.0604	18.0954	0.00078	-20.47714	0.00001453
A - 2	Max	0.0008555	-0.0001849	22.3567	18.91871	0.00995	0.3054
	Min	-12.8414	-13.5813	7.8725	0.00074	-17.05971	0.00001453
A - 3	Max	0.000732	-0.0001755	21.564	18.41645	0.00967	0.3054
	Min	-11.8726	-13.3288	0.7878	0.00072	-15.58573	0.00001453
A - 4	Max	0.0005969	-0.0001651	20.7234	17.8615	0.00936	0.3054
	Min	-10.8692	-13.0499	-8.4241	0.0007	-14.07584	0.00001453
A - 5	Max	0.0002499	-0.0001392	18.8784	16.48405	0.00857	0.3054
	Min	-8.7837	-12.3586	-26.2969	0.00065	-10.96308	0.00001453
B - 1	Max	0.0009254	-0.0001151	42.6873	17.41945	0.01017	0.3054
	Min	-14.8079	-12.3826	17.0943	0.00065	-19.89784	0.00001453
B - 3	Max	0.00055	-0.00008976	20.2396	15.98876	0.00929	0.3054
	Min	-11.5582	-11.6629	6.7188	0.0006	-14.957	0.00001453
B - 4	Max	0.0003979	-0.00008	19.3998	15.43933	0.00895	0.3054
	Min	-10.5488	-11.3871	-0.4565	0.00058	-13.43442	0.00001453
B - 5	Max	-0.0009072	0.0013	31.9767	64.19425	0.03653	1.76213
	Min	-35.4846	-53.6918	-33.0686	0.00273	-41.94741	0.00008383
C - 1	Max	0.0007759	-0.00002946	49.9138	15.02472	0.00986	0.3054
	Min	-14.4931	-10.7328	16.1081	0.00053	-19.26981	0.00001453
C - 3	Max	0.000352	-0.000006491	18.9333	13.63171	0.00889	0.3054
	Min	-11.2169	-10.0329	12.2047	0.00048	-14.27395	0.00001453
C - 4	Max	0.0001813	0.000002412	18.0932	13.09361	0.0085	0.3054
	Min	-10.2007	-9.763	5.1821	0.00046	-12.73715	0.00001453
C - 5	Max	-0.0018	0.0021	29.4051	52.35966	0.03397	1.76213
	Min	-33.8689	-45.1199	-19.2329	0.00216	-38.70952	0.00008383
D - 1	Max	-0.0012	0.00005824	49.7895	12.66455	0.01753	0.31735
	Min	-15.4019	-9.0569	15.1281	0.00041	-14.07048	0.00001523
D' - 1	Max	0.0001365	0.00007393	22.9626	11.35832	0.00844	0.3054
	Min	-10.8463	-8.4451	13.2335	0.00037	-13.53143	0.00001453
D - 3	Max	-0.00005132	0.00008207	16.7881	10.815	0.00799	0.3054
	Min	-9.8013	-8.173	10.2211	0.00035	-11.93544	0.00001453
D - 4	Max	0.0004093	0.0001429	63.0569	10.21416	0.00911	0.3054
	Min	-13.7256	-7.3809	14.0801	0.00029	-17.7353	0.00001453
E - 1	Max	-0.00009943	0.0001584	29.5122	8.96611	0.00789	0.3054
	Min	-10.3854	-6.7552	12.1805	0.00025	-12.60662	0.00001453
E - 3	Max	-0.0002606	0.0002192	20.2266	8.47944	0.00741	0.3054
	Min	-9.3547	-6.5117	11.5474	0.00024	-11.03935	0.00001453
E - 4	Max	-0.0012	0.00005799	63.842	12.48887	0.01727	0.31711
	Min	-15.3288	-9.0136	15.0429	0.0004	-13.85643	0.00001521

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 60 : Reacciones - Centro Sismológico - Dinámica Estructural / CDCS

Centro Sismológico_C02 - REACCIONES_DINÁMICA ESTRUCTURAL							
Zapata	Limite	F1	F2	F3	M1	M2	M3
		Tn	Tn	Tn	Tn - m	Tn - m	Tn - m
A - 1	Max	0.0012	-0.0001844	34.9442	19.78493	0.01072	0.3104
	Min	-15.1301	-14.1791	18.0766	0.00054	-20.13311	0.00001546
A - 2	Max	0.0009623	-0.0001704	22.3589	18.72031	0.01012	0.3104
	Min	-12.8497	-13.6439	7.8136	0.00051	-16.68568	0.00001546
A - 3	Max	0.0008291	-0.0001634	21.5954	18.19419	0.00982	0.3104
	Min	-11.8924	-13.3798	0.6899	0.0005	-15.24248	0.00001546
A - 4	Max	0.0006714	-0.0001553	20.7652	17.58283	0.00946	0.3104
	Min	-10.8828	-13.0732	-8.6178	0.00048	-13.7281	0.00001546
A - 5	Max	0.0002606	-0.000135	18.9245	16.04716	0.00854	0.3104
	Min	-8.774	-12.3043	-26.5957	0.00044	-10.58509	0.00001546
B - 1	Max	0.0011	-0.00009573	42.7973	17.33946	0.01039	0.3104
	Min	-14.8103	-12.4962	17.0752	0.00042	-19.49398	0.00001546
B - 3	Max	0.0006233	-0.00007779	20.2685	15.77618	0.00939	0.3104
	Min	-11.5525	-11.7115	6.6699	0.00038	-14.56144	0.00001546
B - 4	Max	0.0004482	-0.00007086	19.4387	15.17331	0.009	0.3104
	Min	-10.5384	-11.4094	-0.5846	0.00037	-13.03738	0.00001546
B - 5	Max	-0.001	0.0013	31.8436	60.81449	0.03597	1.791
	Min	-35.4114	-53.0109	-33.2818	0.00164	-40.14174	0.00008921
C - 1	Max	0.0008837	-0.000009469	50.081	14.95565	0.01004	0.3104
	Min	-14.4659	-10.8445	16.0887	0.0003	-18.80511	0.00001546
C - 3	Max	0.0004013	0.00000463	18.9597	13.43655	0.00894	0.3104
	Min	-11.1864	-10.0826	12.2031	0.00027	-13.82727	0.00001546
C - 4	Max	0.0002075	0.0000101	18.1294	12.84877	0.0085	0.3104
	Min	-10.1676	-9.7884	5.1335	0.00026	-12.29318	0.00001546
C - 5	Max	-0.0019	0.0022	29.3089	49.55878	0.03331	1.791
	Min	-33.795	-44.6741	-19.4468	0.00116	-36.89805	0.00008921
D - 1	Max	-0.0014	0.00007804	49.3329	12.5905	0.01764	0.32353
	Min	-15.6618	-9.1707	15.108	0.00018	-13.26179	0.00001624
D' - 1	Max	0.000147	0.00008354	23.0027	11.16498	0.00841	0.3104
	Min	-10.7691	-8.4884	13.2409	0.00016	-12.98888	0.00001546
D - 3	Max	-0.00004981	0.0000872	16.8235	10.60101	0.00794	0.3104
	Min	-9.7473	-8.2064	10.2194	0.00015	-11.44818	0.00001546
D - 4	Max	0.0004797	0.0001618	63.3907	10.2089	0.00921	0.3104
	Min	-13.6603	-7.5086	14.0718	0.00006271	-17.19173	0.00001546
E - 1	Max	-0.0001001	0.0001648	29.6373	8.83591	0.00784	0.3104
	Min	-10.3083	-6.8216	12.198	0.00005575	-12.06344	0.00001546
E - 3	Max	-0.0002772	0.0002252	20.2886	8.30962	0.00731	0.3104
	Min	-9.2817	-6.5587	11.5717	0.000053	-10.51252	0.00001546
E - 4	Max	-0.0014	0.00007778	64.8002	12.48246	0.01749	0.32299
	Min	-15.6034	-9.1361	15.0361	0.00018	-13.14798	0.00001619

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 61 : Reacciones - Barrios Altos - Dinámica Estructural / CDBA

Barrios Altos_C03 - REACCIONES DINÁMICA ESTRUCTURAL							
Zapata	Limite	F1	F2	F3	M1	M2	M3
		Tn	Tn	Tn	Tn - m	Tn - m	Tn - m
A - 1	Max	0.0012	-0.0001851	34.9308	19.80167	0.01066	0.30919
	Min	-15.1229	-14.1536	18.0781	0.00058	-20.20377	0.00001493
A - 2	Max	0.0009445	-0.0001704	22.3559	18.75988	0.01008	0.30919
	Min	-12.8479	-13.6297	7.8256	0.00055	-16.76298	0.00001493
A - 3	Max	0.0008148	-0.0001631	21.5905	18.24422	0.00979	0.30919
	Min	-11.8924	-13.3707	0.7108	0.00054	-15.32164	0.00001493
A - 4	Max	0.0006609	-0.0001546	20.7583	17.64426	0.00944	0.30919
	Min	-10.8842	-13.0697	-8.5775	0.00052	-13.80809	0.00001493
A - 5	Max	0.0002589	-0.0001332	18.9139	16.13437	0.00853	0.30919
	Min	-8.777	-12.3134	-26.5307	0.00048	-10.66417	0.00001493
B - 1	Max	0.001	-0.00009832	42.7713	17.35637	0.01035	0.30919
	Min	-14.8089	-12.4726	17.0775	0.00046	-19.57651	0.00001493
B - 3	Max	0.000614	-0.00007905	20.2648	15.82469	0.00937	0.30919
	Min	-11.5575	-11.7034	6.6813	0.00042	-14.6509	0.00001493
B - 4	Max	0.0004427	-0.00007159	19.4329	15.23238	0.00899	0.30919
	Min	-10.5444	-11.4065	-0.557	0.0004	-13.12682	0.00001493
B - 5	Max	-0.0009643	0.0013	31.8813	61.56534	0.0361	1.784
	Min	-35.4525	-53.1743	-33.2441	0.00183	-40.56471	0.00008612
C - 1	Max	0.0008681	-0.00001382	50.0428	14.97139	0.01	0.30919
	Min	-14.4704	-10.8221	16.0918	0.00034	-18.89965	0.00001493
C - 3	Max	0.0003969	0.000002007	18.957	13.48175	0.00893	0.30919
	Min	-11.1962	-10.0747	12.2053	0.00031	-13.92651	0.00001493
C - 4	Max	0.0001929	0.000008458	18.1102	12.87725	0.00847	0.30919
	Min	-10.1569	-9.7722	5.1409	0.00029	-12.34859	0.00001493
C - 5	Max	-0.0019	0.0022	29.3232	50.08423	0.03339	1.784
	Min	-33.7983	-44.7402	-19.3944	0.00133	-37.24262	0.00008612
D - 1	Max	-0.0014	0.00007203	49.4219	12.60346	0.01776	0.32211
	Min	-15.6051	-9.1488	15.1118	0.00022	-13.41597	0.00001566
D' - 1	Max	0.0001484	0.00007983	22.994	11.20639	0.00842	0.30919
	Min	-10.7843	-8.4804	13.2398	0.0002	-13.09945	0.00001493
D - 3	Max	-0.00004605	0.00008436	16.8201	10.65102	0.00795	0.30919
	Min	-9.7623	-8.2026	10.2219	0.00019	-11.55625	0.00001493
D - 4	Max	0.000474	0.0001543	63.328	10.21702	0.0092	0.30919
	Min	-13.6766	-7.4862	14.0764	0.00011	-17.31062	0.00001493
E - 1	Max	-0.00009535	0.0001602	29.6157	8.86898	0.00785	0.30919
	Min	-10.3273	-6.8115	12.1975	0.00009575	-12.18198	0.00001493
E - 3	Max	-0.0002816	0.0002223	20.2618	8.32816	0.0073	0.30919
	Min	-9.2765	-6.5414	11.5599	0.00009056	-10.5795	0.00001493
E - 4	Max	-0.0014	0.00007179	64.6105	12.49517	0.01761	0.32185
	Min	-15.5468	-9.1142	15.0401	0.00022	-13.30072	0.00001564

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.5. Análisis de la Comparación de Efectos

4.1.5.1. Respuesta Sísmica

Al realizar un estudio sismológico se determinan los parámetros de la respuesta sísmica que son perceptibles por medio de las vibraciones que el suelo genera de manera natural, obteniendo los valores de las características del medio de propagación del seísmo, que están en interacción con el elemento estructural de fundación, ya que, al igual que las propiedades físico-mecánicas se encuentran presentes en los estratos del terreno, donde se construirá la cimentación de una edificación.

Para el desarrollo del proceso de la obtención de las características de la respuesta sísmica, se respetó los parámetros consignados en el Reglamento Nacional de Edificaciones; el desarrollo de la ejecución en gabinete se detalla en los anexos.

- ✓ Anexo 38 – Características de la respuesta sísmica – Zonas_Estudio

Tabla 62 : Evaluación de la Relación (D o I) – Zona de Estudio / RSZE C-TA

EVALUANDO LA RELACIÓN - DIRECTA E INDIRECTA					
		Cruz del Siglo II			
Propiedad Sísmica	R Sísmica	Reacción	Relación	D %	I %
A (m)	1.00	3.00	I	0.00	14.29
f (Hz)	3.00	3.00	D	14.29	0.00
T (s)	3.00	3.00	D	14.29	0.00
ω (s^{-1})	3.00	3.00	D	14.29	0.00
Vmax (m/s)	1.00	3.00	I	0.00	14.29
λ (m)	1.00	3.00	I	0.00	14.29
Vp (m/s)	1.00	3.00	I	0.00	14.29
Total				42.86	57.14
		Centro Sismológico			
Propiedad Sísmica	R Sísmica	Reacción	Relación	D %	I %
A (m)	2.00	1.00	I	0.00	14.29
f (Hz)	2.00	1.00	I	0.00	14.29
T (s)	1.00	1.00	D	14.29	0.00
ω (s^{-1})	2.00	1.00	I	0.00	14.29
Vmax (m/s)	3.00	1.00	I	0.00	14.29
λ (m)	2.00	1.00	I	0.00	14.29
Vp (m/s)	3.00	1.00	I	0.00	14.29
Total				14.29	85.71
		Barrios Altos			
Propiedad Sísmica	R Sísmica	Reacción	Relación	D %	I %
A (m)	3.00	1.00	I	0.00	14.29
f (Hz)	1.00	1.00	D	14.29	0.00
T (s)	2.00	1.00	I	0.00	14.29
ω (s^{-1})	1.00	1.00	D	14.29	0.00
Vmax (m/s)	2.00	1.00	I	0.00	14.29
λ (m)	3.00	1.00	I	0.00	14.29
Vp (m/s)	2.00	1.00	I	0.00	14.29
Total				28.57	71.43

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 63 : Promedio de la Relación – Zona de Estudio / RSZE C-TA

PROMEDIO DE RELACIÓN		
Zona de Estudio	Directa	Indirecta
	%	%
C - 01	42.86	57.14
C - 02	14.29	85.71
C - 03	28.57	71.43
Promedio	28.57143	71.42857

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.5.2. Propiedades Físico - Mecánicas

La alteración de la energía sísmica por efecto de las propiedades físico – mecánicas del suelo en la interacción u ocurrencia de un movimiento telúrico, se denomina respuesta sísmica por efecto local, este tema se analizó en el numeral **4.1.5.2. Respuesta Sísmica** donde se apreciaba diferentes variables en base de las características de las ondas de energía que libera un seísmo; al expandirse las ondas sísmicas son alteradas en su intensidad de manera creciente o decreciente según el medio de propagación que está dentro de su trayectoria, como es el caso de la composición de los estratos del suelo que contiene minerales y diferentes propiedades que se atribuyen en su formación.

Para el desarrollo del proceso de la obtención de las propiedades físico – mecánicas del suelo, se respetó los parámetros consignados en el Reglamento Nacional de Edificaciones; el desarrollo de la ejecución en gabinete se detalla en los anexos.

✓ Anexo 39 – Propiedades físico – mecánicas / Zonas_Estudio

Tabla 64 : Evaluación de la Relación (D o I) – Zona de Estudio / RSZE C-TA

EVALUANDO LA RELACION - DIRECTA E INDIRECTA						
		Cruz del Siglo II				
Propiedad Suelo	Geotecnia	3.00000	2.00000	1.00000	Mayor	
ρ (gr/cm3)	1.00000	I		D	D %	I %
% H	3.00000	D		I	54.55	45.45
% G	1.00000	I		D	Medio	
Absorción G	1.00000	I		D	D %	I %
% A	3.00000	D		I	0.00	0.00
% F	1.00000	I		D	Menor	
YA (gr/cm)	3.00000	D		I	D %	I %
YG (gr/cm)	3.00000	D		I	45.45	54.55
LL %	3.00000	D		I		
LP %	1.00000	I		D		
IP %	3.00000	D		I		
		Centro Sismológico				
Propiedad Suelo	Geotecnia	3.00000	2.00000	1.00000	Mayor	
ρ (gr/cm3)	3.00000	D	I	I	D %	I %
% H	1.00000	I	I	D	36.36	63.64
% G	3.00000	D	I	I	Medio	
Absorción G	3.00000	D	I	I	D %	I %
% A	1.00000	I	I	D	27.27	72.73
% F	2.00000	I	D	I	Menor	
YA (gr/cm)	2.00000	I	D	I	D %	I %
YG (gr/cm)	1.00000	I	I	D	36.36	63.64
LL %	2.00000	I	D	I		
LP %	3.00000	D	I	I		
IP %	1.00000	I	I	D		
		Barrios Altos				
Propiedad Suelo	Geotecnia	3.00000	2.00000	1.00000	Mayor	
ρ (gr/cm3)	2.00000	I	D	I	D %	I %
% H	2.00000	I	D	I	9.09	90.91
% G	2.00000	I	D	I	Medio	
Absorción G	2.00000	I	D	I	D %	I %
% A	2.00000	I	D	I	72.73	27.27
% F	3.00000	D	I	I	Menor	
YA (gr/cm)	1.00000	I	I	D	D %	I %
YG (gr/cm)	2.00000	I	D	I	18.18	81.82
LL %	1.00000	I	I	D		
LP %	2.00000	I	D	I		
IP %	2.00000	I	D	I		

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 65 : Promedio de la Relación – Zona de Estudio / RSZE C-TA

PROMEDIO DE RELACIÓN						
Zona de Estudio	Alto		Medio		Bajo	
	D %	I %	D %	I %	D %	I %
C - 01	54.55	45.45	0.00	0.00	45.45	54.55
C - 02	36.36	63.64	27.27	72.73	36.36	63.64
C - 03	9.09	90.91	72.73	27.27	18.18	81.82
Promedio	33.33333	66.66667	50.00000	50.00000	33.33333	66.66667
Zona de Estudio	Directa	Indirecta				
	%	%				
Promedio	38.88889	61.11111				

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.1.5.3. Reacciones de Fuerzas y Momentos

El proceso de análisis de la interacción de las fuerzas sísmicas y elementos estructurales genera efectos y reacciones, que son el resultado de someter a la estructura a fuerzas externas y el comportamiento de la misma de mantener su posición inicial; en la presente investigación se obtendrá la reacción de la estructura (fuerzas y momentos), ante el efecto de las fuerza sísmica, los que utilizaremos para comparar los diferentes modelos planteados en la investigación, necesarios para responder el planteamiento hipotético.

Fuerzas. Cuando una fuerza externa de una magnitud n actúa en la estructura en una dirección determinada ($x-x$, $y-y$ & $z-z$), se genera una reacción proporcional en magnitud y dirección a la fuerza actuante; en una edificación los elementos estructurales absorben proporcionalmente la energía (fuerza), en base a su participación conforme a la ubicación donde se aplicó la fuerza para contrarrestar con un mismo el valor y un sentido opuesto a la fuerza externa actuante (reacción).

Momentos. En el caso de que no coincida el punto de aplicación de la fuerza de contingencia con la fuerza externa, se genera una fuerza aplicada a una distancia “ d ”; al comportamiento de la multiplicación de la fuerza por la distancia que recorre se le denomina momento.

Para el desarrollo del proceso de la comparación de efectos se respetó los parámetros consignados en el Reglamento Nacional de Edificaciones; el desarrollo de la ejecución en gabinete se detalla en los anexos.

- ✓ Anexo 40 – Comparación de efectos de las Fuerzas
- ✓ Anexo 41 – Comparación de efectos de los Momentos
- ✓ Anexo 42 – Comparación de Medias

Tabla 66 : Zapata A - 1 / Reacciones Mínimas

Zapata A - 1 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-14.0084	-15.0985	-15.1301	-15.1229
F 2	-12.2519	-14.0604	-14.1791	-14.1536
F 3	18.6852	18.0954	18.0766	18.0781
M 1	0.00491	0.00078	0.00054	0.00058
M 2	-21.03085	-20.47714	-20.13311	-20.20377
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_A - 1 / Reacciones Mínimas

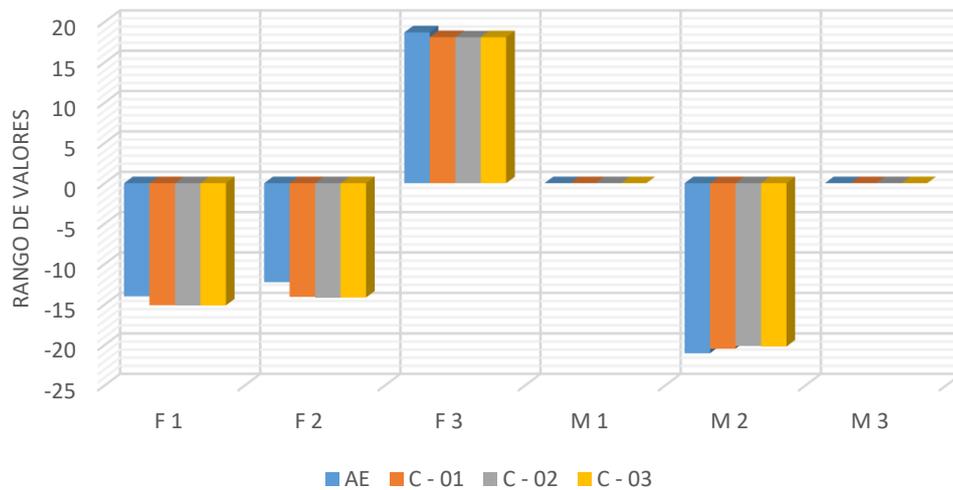


Figura 61 : Z_A - 1 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 67 : Zapata A - 1 / Reacciones Máximas

Zapata A - 1 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	3.23E-11	0.0011	0.0012	0.0012
F 2	7.121E-11	-0.0002026	-0.0001844	-0.0001851
F 3	33.309	34.8929	34.9442	34.9308
M 1	18.42304	19.8694	19.78493	19.80167
M 2	0.00374	0.01045	0.01072	0.01066
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_A - 1 / Reacciones Máximas

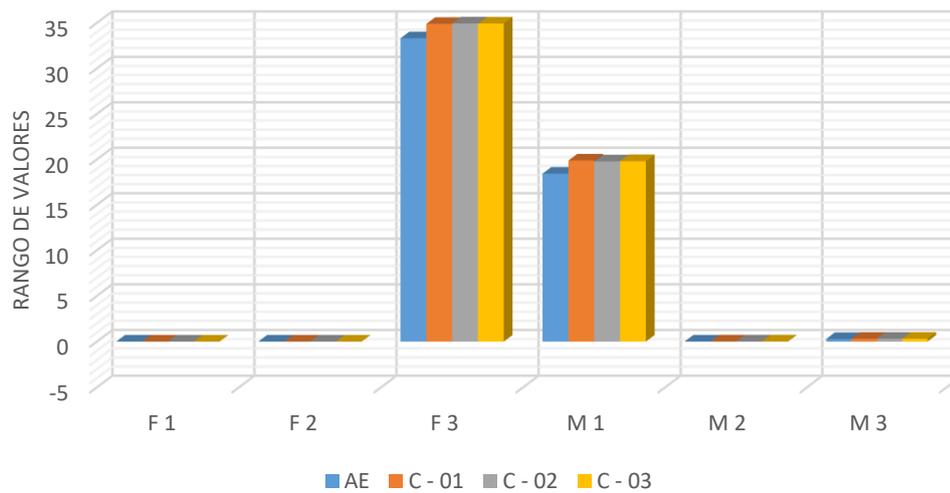


Figura 62 : Z_A - 1 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 68 : Zapata A - 2 / Reacciones Mínimas

Zapata A - 2 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-11.9544	-12.8414	-12.8497	-12.8479
F 2	-12.2519	-13.5813	-13.6439	-13.6297
F 3	10.0545	7.8725	7.8136	7.8256
M 1	0.00491	0.00074	0.00051	0.00055
M 2	-17.94973	-17.05971	-16.68568	-16.76298
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

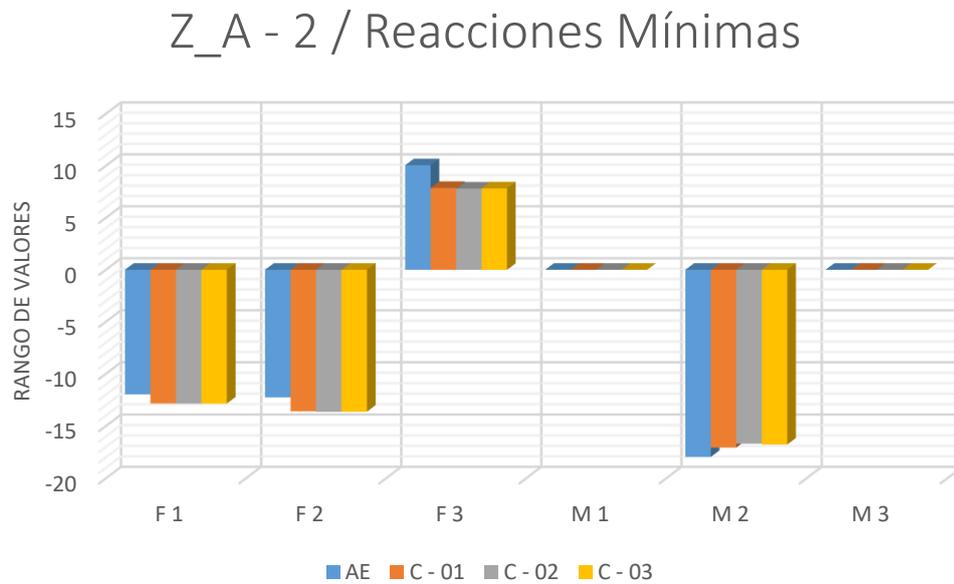


Figura 63 : Z_A - 2 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 69 : Zapata A - 2 / Reacciones Máximas

Zapata A - 2 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	1.475E-11	0.0008555	0.0009623	0.0009445
F 2	7.121E-11	-0.0001849	-0.0001704	-0.0001704
F 3	22.0304	22.3567	22.3589	22.3559
M 1	18.42304	18.91871	18.72031	18.75988
M 2	0.00374	0.00995	0.01012	0.01008
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_A - 2 / Reacciones Máximas

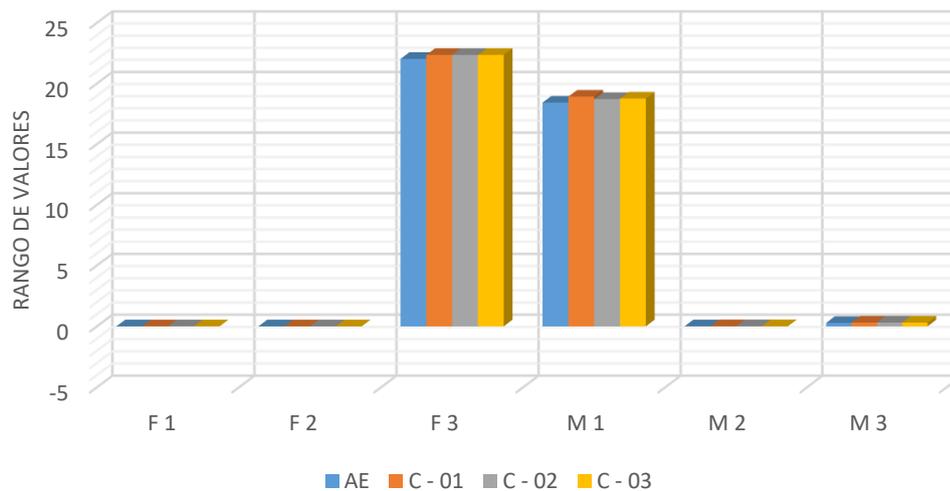


Figura 64 : Z_A - 2 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 70 : Zapata A - 3 / Reacciones Mínimas

Zapata A - 3 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-11.0829	-11.8726	-11.8924	-11.8924
F 2	-12.2519	-13.3288	-13.3798	-13.3707
F 3	3.7217	0.7878	0.6899	0.7108
M 1	0.00491	0.00072	0.0005	0.00054
M 2	-16.64259	-15.58573	-15.24248	-15.32164
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

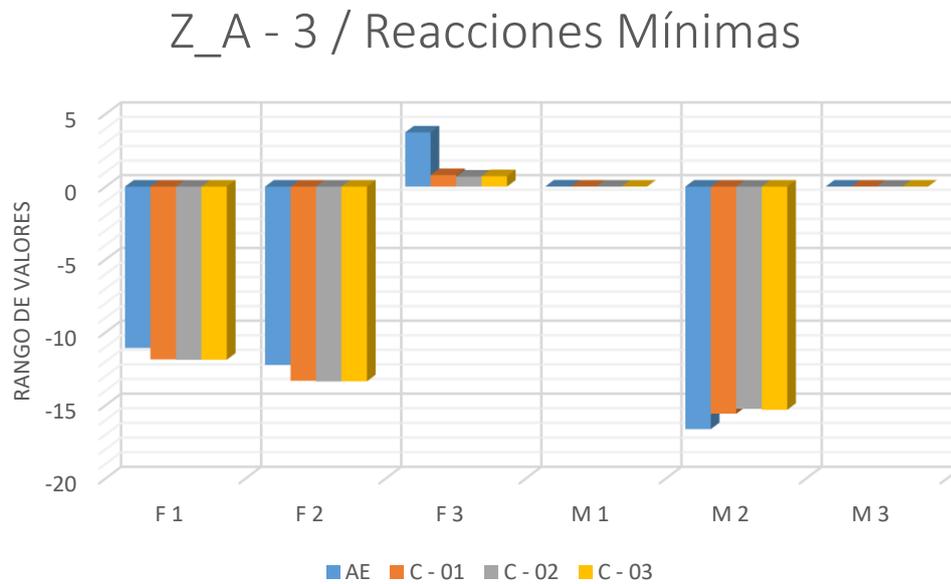


Figura 65 : Z_A - 3 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 71 : Zapata A - 3 / Reacciones Máximas

Zapata A - 3 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	7.307E-12	0.000732	0.0008291	0.0008148
F 2	7.121E-11	-0.0001755	-0.0001634	-0.0001631
F 3	20.8073	21.564	21.5954	21.5905
M 1	18.42304	18.41645	18.19419	18.24422
M 2	0.00374	0.00967	0.00982	0.00979
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_A - 3 / Reacciones Máximas

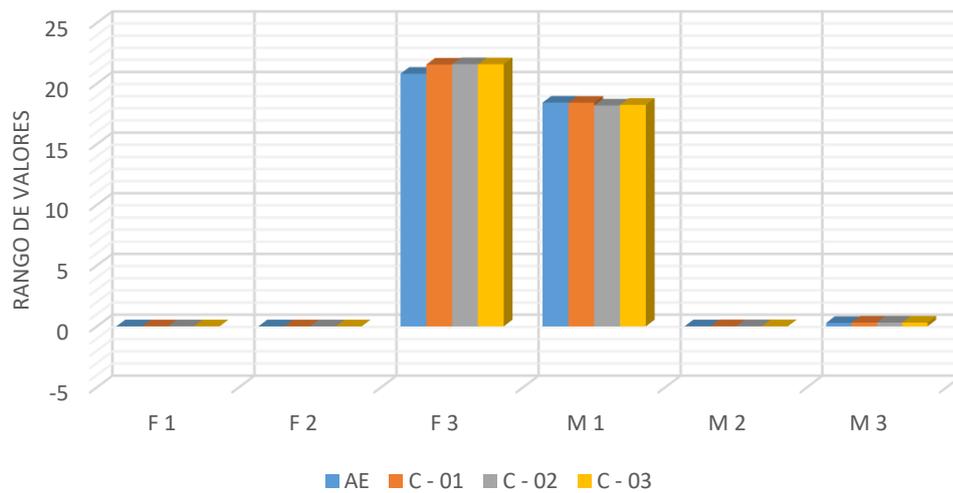


Figura 66 : Z_A - 3 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 72 : Zapata A - 4 / Reacciones Mínimas

Zapata A - 4 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-10.1492	-10.8692	-10.8828	-10.8842
F 2	-12.2519	-13.0499	-13.0732	-13.0697
F 3	-4.0847	-8.4241	-8.6178	-8.5775
M 1	0.00491	0.0007	0.00048	0.00052
M 2	-15.24208	-14.07584	-13.7281	-13.80809
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

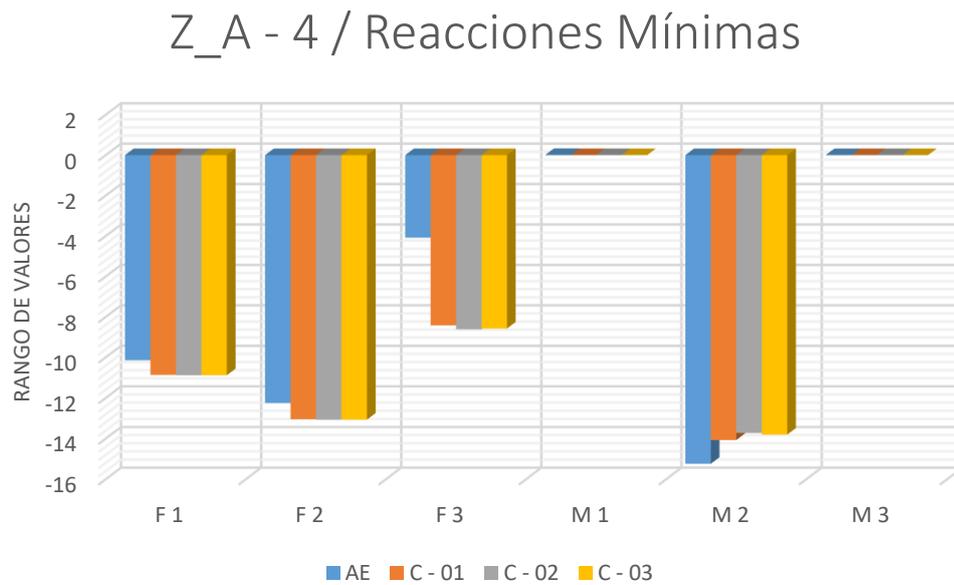


Figura 67 : Z_A - 4 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 73 : Zapata A - 4 / Reacciones Máximas

Zapata A - 4 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-4.696E-13	0.0005969	0.0006714	0.0006609
F 2	7.121E-11	-0.0001651	-0.0001553	-0.0001546
F 3	19.4967	20.7234	20.7652	20.7583
M 1	18.42304	17.8615	17.58283	17.64426
M 2	0.00374	0.00936	0.00946	0.00944
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_A - 4 / Reacciones Máximas

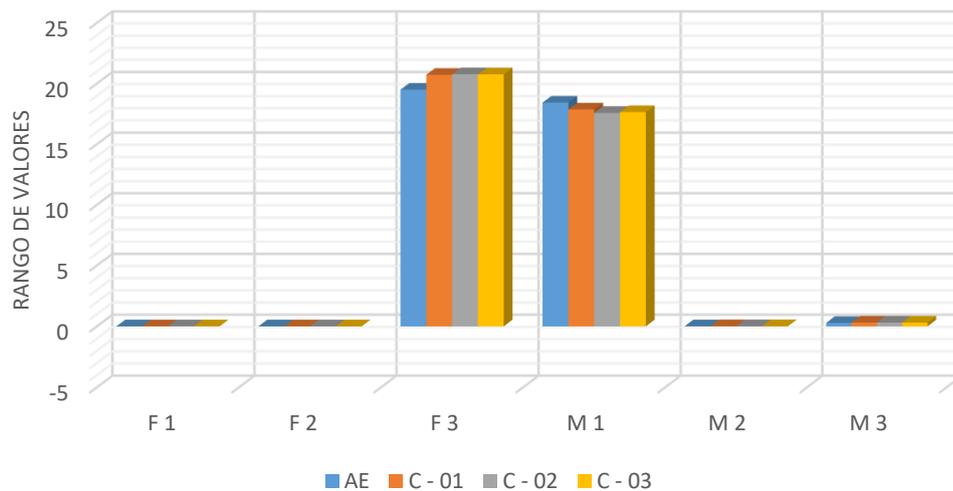


Figura 68 : Z_A - 4 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 74 : Zapata A - 5 / Reacciones Mínimas

Zapata A - 5 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-8.1574	-8.7837	-8.774	-8.777
F 2	-12.2519	-12.3586	-12.3043	-12.3134
F 3	-23.3846	-26.2969	-26.5957	-26.5307
M 1	0.00491	0.00065	0.00044	0.00048
M 2	-12.25432	-10.96308	-10.58509	-10.66417
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

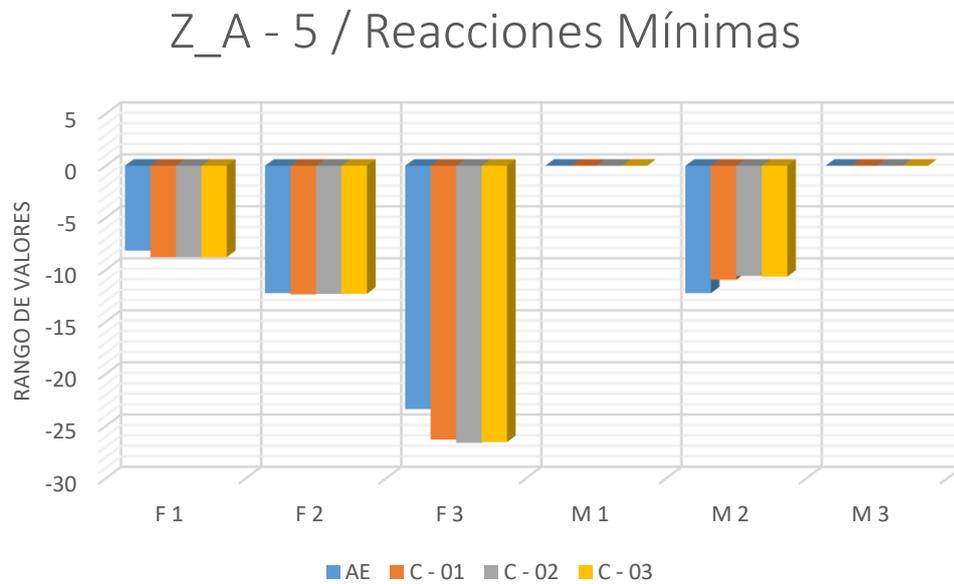


Figura 69 : Z_A - 5 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 75 : Zapata A - 5 / Reacciones Máximas

Zapata A - 5 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-1.327E-11	0.0002499	0.0002606	0.0002589
F 2	7.121E-11	-0.0001392	-0.000135	-0.0001332
F 3	16.7009	18.8784	18.9245	18.9139
M 1	18.42304	16.48405	16.04716	16.13437
M 2	0.00374	0.00857	0.00854	0.00853
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_A - 5 / Reacciones Máximas

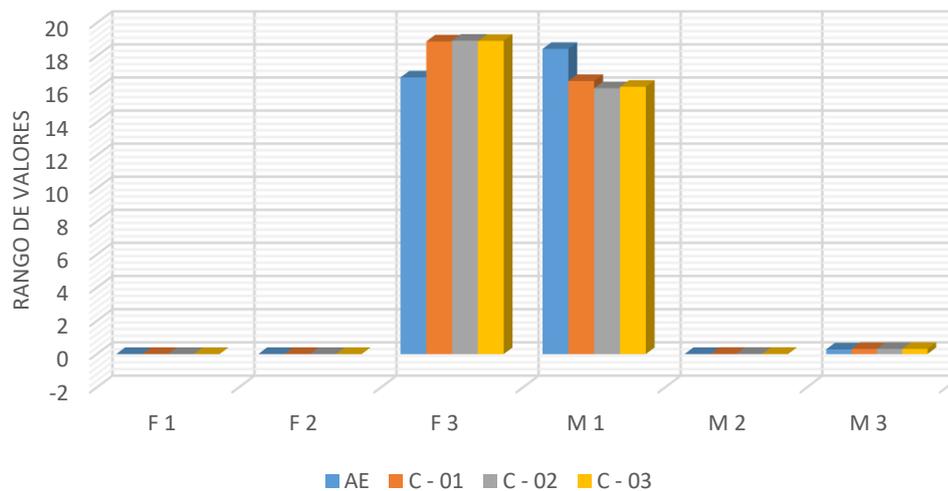


Figura 70 : Z_A - 5 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 76 : Zapata B - 1 / Reacciones Mínimas

Zapata B - 1 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-14.0084	-14.8079	-14.8103	-14.8089
F 2	-10.5651	-12.3826	-12.4962	-12.4726
F 3	17.6818	17.0943	17.0752	17.0775
M 1	0.00491	0.00065	0.00042	0.00046
M 2	-21.03085	-19.89784	-19.49398	-19.57651
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

Zapata B - 1 / Reacciones Mínimas

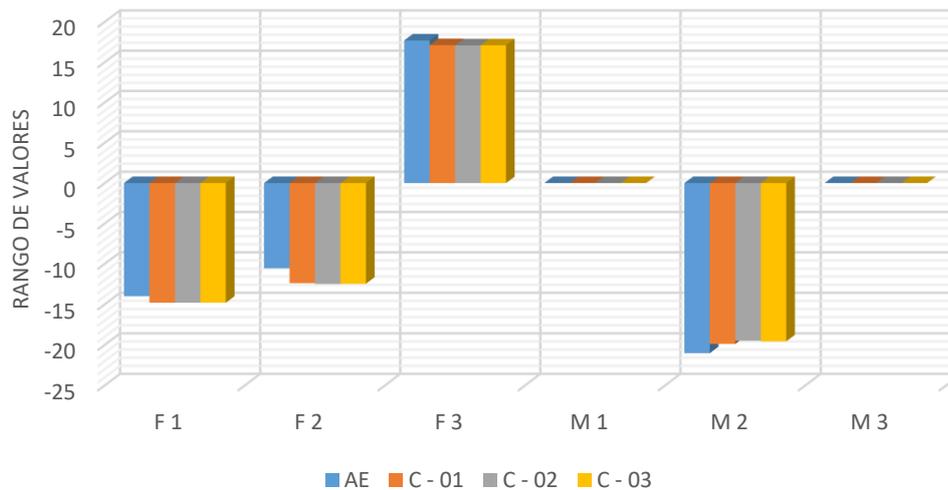


Figura 71 : Z_B - 1 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 77 : Zapata B - 1 / Reacciones Máximas

Zapata B - 1 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	3.23E-11	0.0009254	0.0011	0.001
F 2	5.68E-11	-0.0001151	-0.00009573	-0.00009832
F 3	39.8187	42.6873	42.7973	42.7713
M 1	15.89293	17.41945	17.33946	17.35637
M 2	0.00374	0.01017	0.01039	0.01035
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_B - 1 / Reacciones Máximas

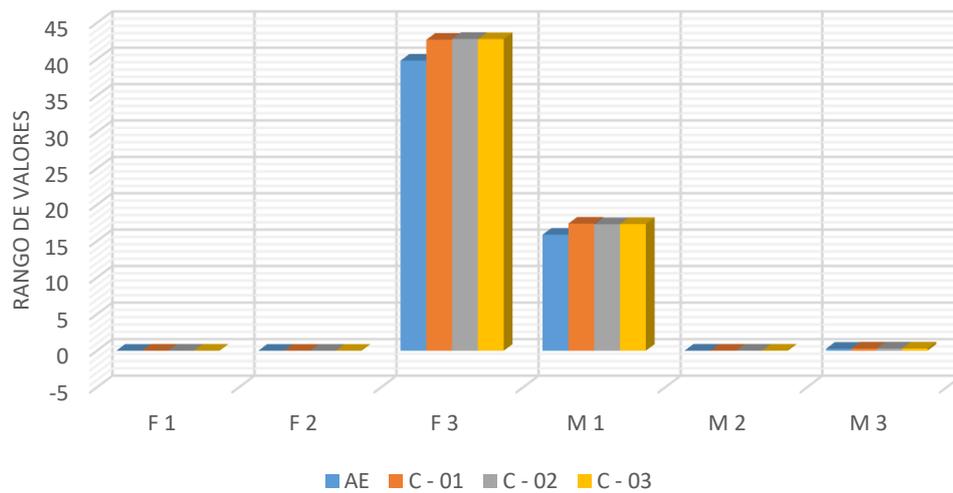


Figura 72 : Z_B - 1 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 78 : Zapata B - 3 / Reacciones Mínimas

Zapata B - 3 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-11.0829	-11.5582	-11.5525	-11.5575
F 2	-10.5651	-11.6629	-11.7115	-11.7034
F 3	8.6039	6.7188	6.6699	6.6813
M 1	0.00491	0.0006	0.00038	0.00042
M 2	-16.64259	-14.957	-14.56144	-14.6509
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

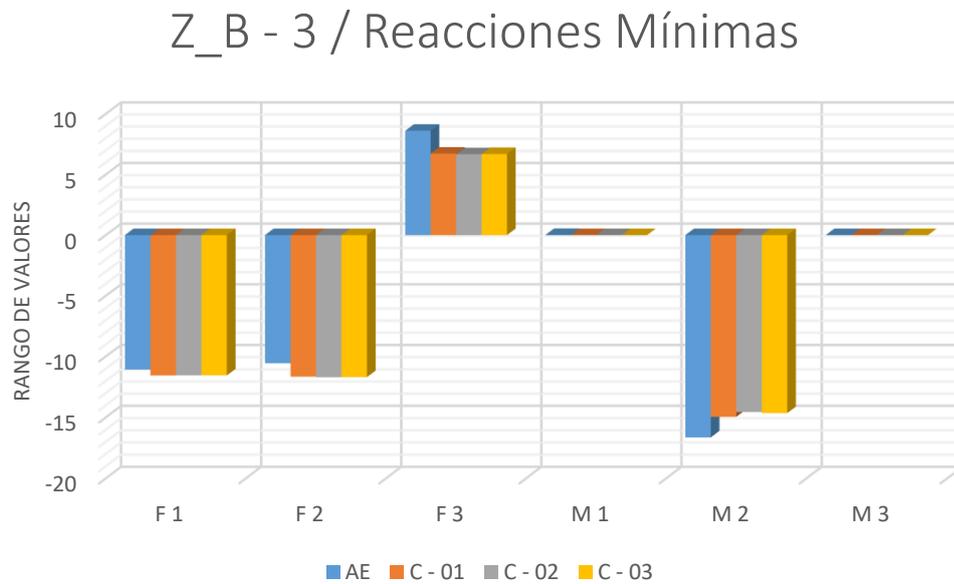


Figura 73 : Z_B - 3 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 79 : Zapata B - 3 / Reacciones Máximas

Zapata B - 3 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	7.307E-12	0.00055	0.0006233	0.000614
F 2	5.68E-11	-0.00008976	-0.00007779	-0.00007905
F 3	19.4693	20.2396	20.2685	20.2648
M 1	15.89293	15.98876	15.77618	15.82469
M 2	0.00374	0.00929	0.00939	0.00937
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_B - 3 / Reacciones Máximas

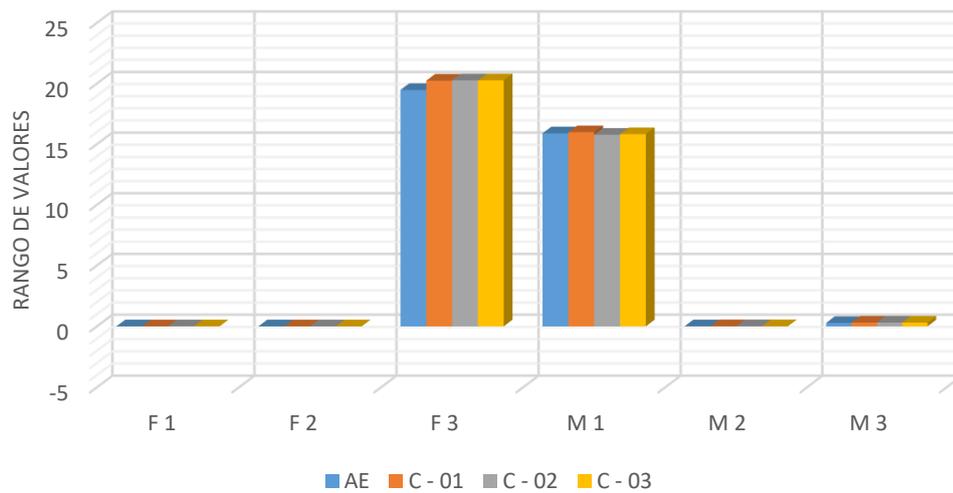


Figura 74 : Z_B - 3 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 80 : Zapata B - 4 / Reacciones Mínimas

Zapata B - 4 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-10.1492	-10.5488	-10.5384	-10.5444
F 2	-10.5651	-11.3871	-11.4094	-11.4065
F 3	1.8187	-0.4565	-0.5846	-0.557
M 1	0.00491	0.00058	0.00037	0.0004
M 2	-15.24208	-13.43442	-13.03738	-13.12682
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

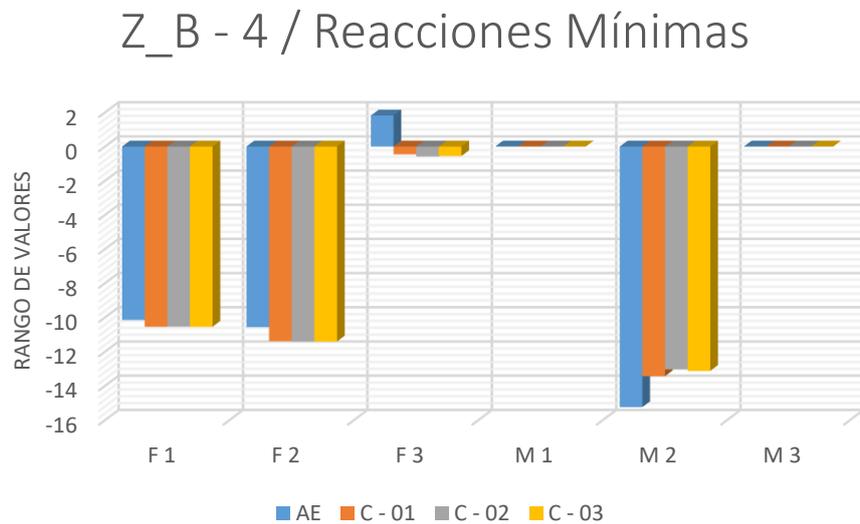


Figura 75 : Z_B - 4 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 81 : Zapata B - 4 / Reacciones Máximas

Zapata B - 4 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-4.696E-13	0.0003979	0.0004482	0.0004427
F 2	5.68E-11	-0.00008	-0.00007086	-0.00007159
F 3	18.1588	19.3998	19.4387	19.4329
M 1	15.89293	15.43933	15.17331	15.23238
M 2	0.00374	0.00895	0.009	0.00899
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_B - 4 / Reacciones Máximas

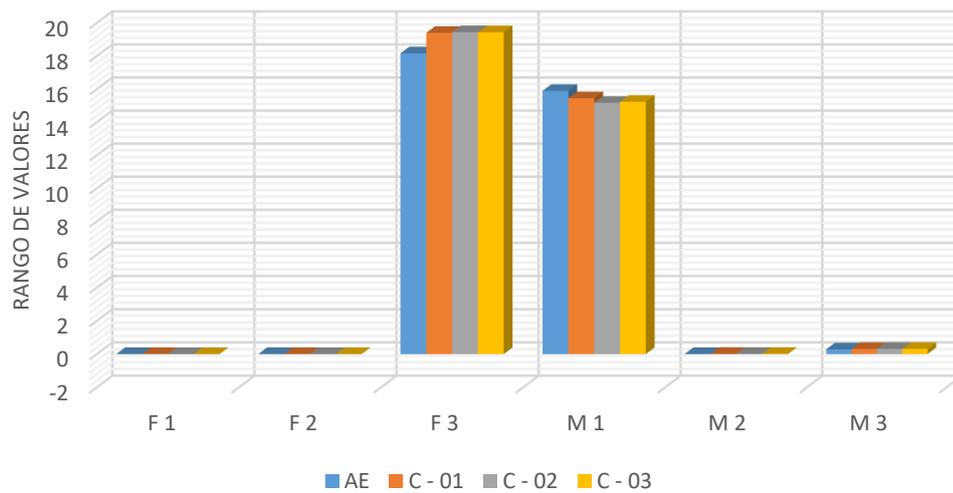


Figura 76 : Z_B - 4 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 82 : Zapata B - 5 / Reacciones Mínimas

Zapata B - 5 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-38.0826	-35.4846	-35.4114	-35.4525
F 2	-66.4352	-53.6918	-53.0109	-53.1743
F 3	-40.1785	-33.0686	-33.2818	-33.2441
M 1	0.0325	0.00273	0.00164	0.00183
M 2	-57.21229	-41.94741	-40.14174	-40.56471
M 3	-1.364E-11	0.00008383	0.00008921	0.00008612

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_B - 5 / Reacciones Mínimas

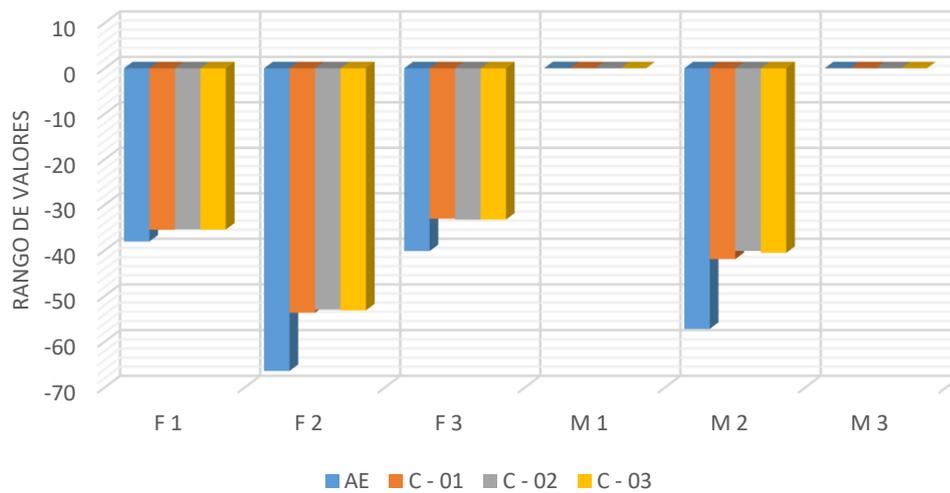


Figura 77 : Z_B - 1 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 83 : Zapata B - 5 / Reacciones Máximas

Zapata B - 5 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-6.195E-11	-0.0009072	-0.001	-0.0009643
F 2	3.571E-10	0.0013	0.0013	0.0013
F 3	36.5785	31.9767	31.8436	31.8813
M 1	99.95197	64.19425	60.81449	61.56534
M 2	0.01818	0.03653	0.03597	0.0361
M 3	1.59605	1.76213	1.791	1.784

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_B - 5 / Reacciones Máximas

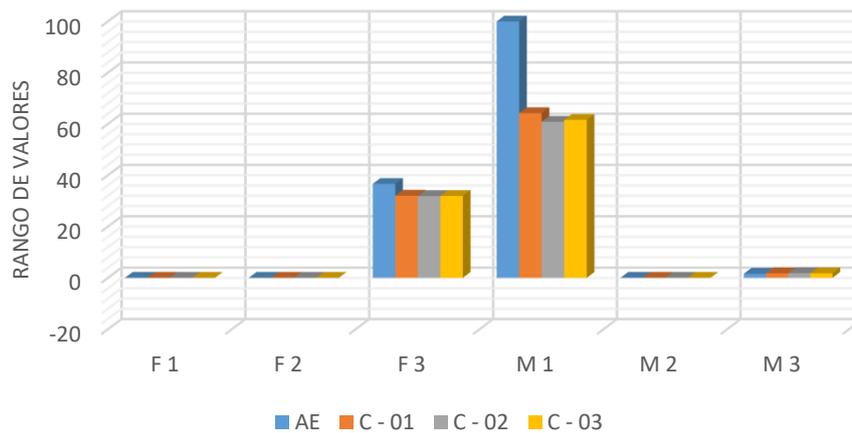


Figura 78 : Z_B - 5 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 84 : Zapata C - 1 / Reacciones Mínimas

Zapata C - 1 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-14.0084	-14.4931	-14.4659	-14.4704
F 2	-8.8784	-10.7328	-10.8445	-10.8221
F 3	16.6783	16.1081	16.0887	16.0918
M 1	0.00491	0.00053	0.0003	0.00034
M 2	-21.03085	-19.26981	-18.80511	-18.89965
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_C - 1 / Reacciones Mínimas

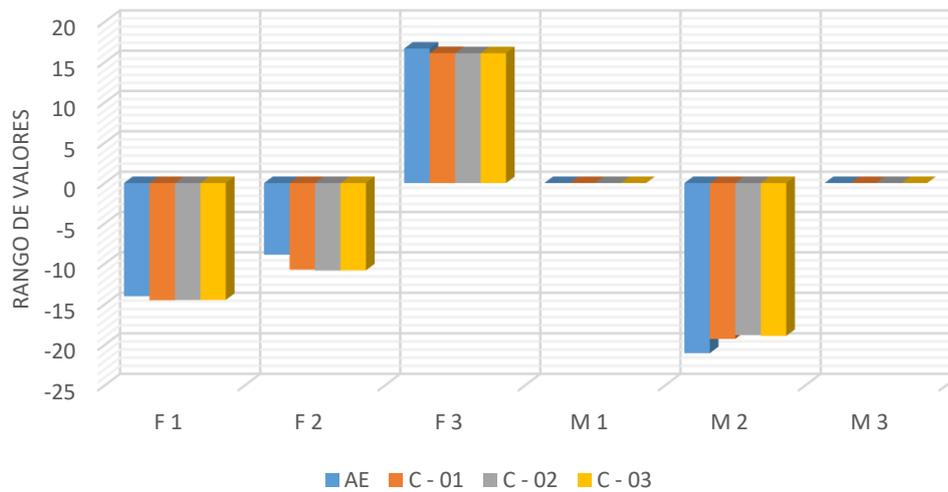


Figura 79 : Z_C - 1 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 85 : Zapata C - 1 / Reacciones Máximas

Zapata C - 1 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	3.23E-11	0.0007759	0.0008837	0.0008681
F 2	4.238E-11	-0.00002946	-0.000009469	-0.00001382
F 3	46.3283	49.9138	50.081	50.0428
M 1	13.36283	15.02472	14.95565	14.97139
M 2	0.00374	0.00986	0.01004	0.01
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_C - 1 / Reacciones Máximas

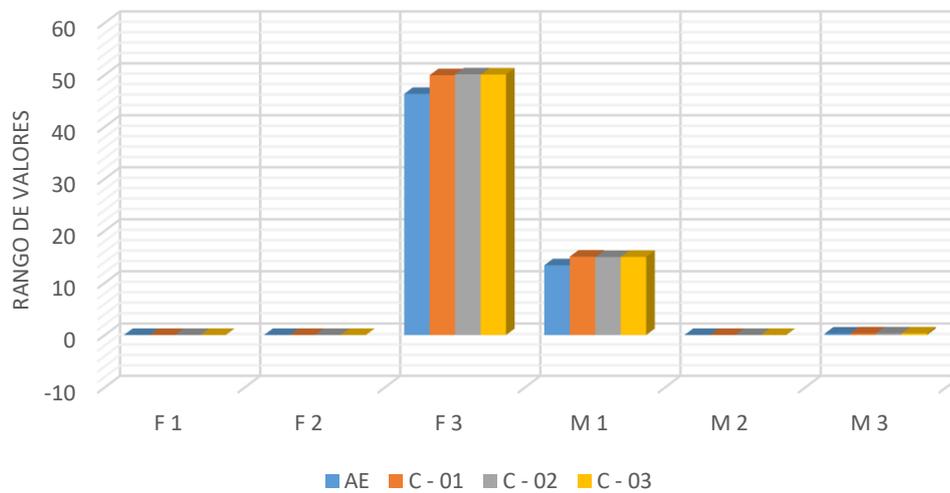


Figura 80 : Z_C - 1 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 86 : Zapata C - 3 / Reacciones Mínimas

Zapata C - 3 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-11.0829	-11.2169	-11.1864	-11.1962
F 2	-8.8784	-10.0329	-10.0826	-10.0747
F 3	13.4861	12.2047	12.2031	12.2053
M 1	0.00491	0.00048	0.00027	0.00031
M 2	-16.64259	-14.27395	-13.82727	-13.92651
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

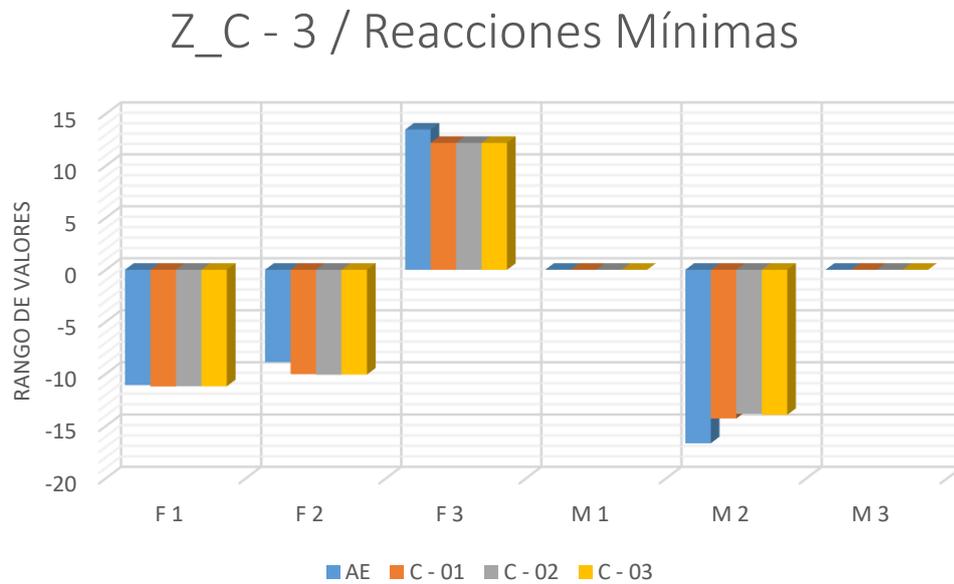


Figura 81 : Z_C - 3 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 87 : Zapata C - 3 / Reacciones Máximas

Zapata C - 3 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	7.307E-12	0.000352	0.0004013	0.0003969
F 2	4.238E-11	-0.000006491	0.00000463	0.000002007
F 3	18.1314	18.9333	18.9597	18.957
M 1	13.36283	13.63171	13.43655	13.48175
M 2	0.00374	0.00889	0.00894	0.00893
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_C - 3 / Reacciones Máximas

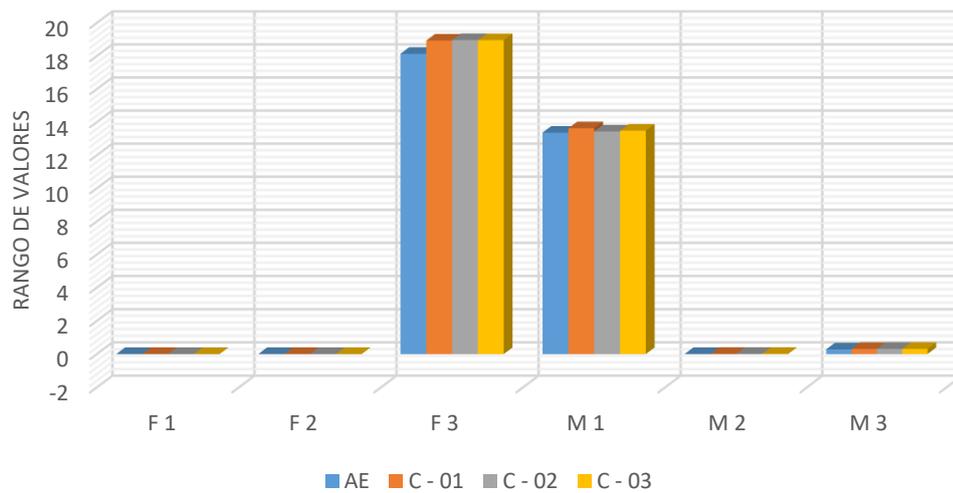


Figura 82 : Z_C - 3 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 88 : Zapata C - 4 / Reacciones Mínimas

Zapata C - 4 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-10.1492	-10.2007	-10.1676	-10.1569
F 2	-8.8784	-9.763	-9.7884	-9.7722
F 3	6.701	5.1821	5.1335	5.1409
M 1	0.00491	0.00046	0.00026	0.00029
M 2	-15.24208	-12.73715	-12.29318	-12.34859
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

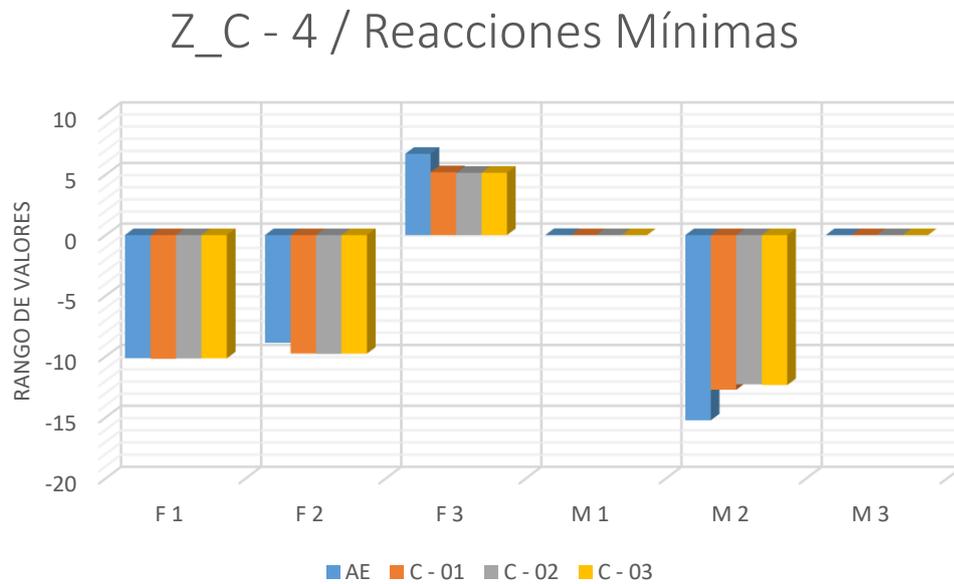


Figura 83 : Z_C - 4 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 89 : Zapata C - 4 / Reacciones Máximas

Zapata C - 4 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-4.696E-13	0.0001813	0.0002075	0.0001929
F 2	4.238E-11	0.000002412	0.0000101	0.000008458
F 3	16.8208	18.0932	18.1294	18.1102
M 1	13.36283	13.09361	12.84877	12.87725
M 2	0.00374	0.0085	0.0085	0.00847
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_C - 4 / Reacciones Máximas

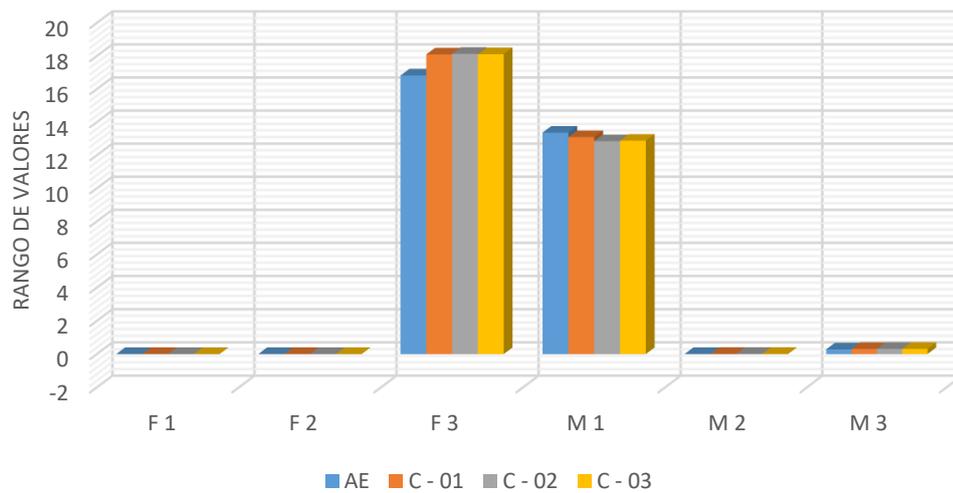


Figura 84 : Z_C - 4 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 90 : Zapata C - 5 / Reacciones Mínimas

Zapata C - 5 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-38.0826	-33.8689	-33.795	-33.7983
F 2	-55.8287	-45.1199	-44.6741	-44.7402
F 3	-24.6793	-19.2329	-19.4468	-19.3944
M 1	0.0325	0.00216	0.00116	0.00133
M 2	-57.21229	-38.70952	-36.89805	-37.24262
M 3	-1.364E-11	0.00008383	0.00008921	0.00008612

Fuente: Elaboración propia (2020)

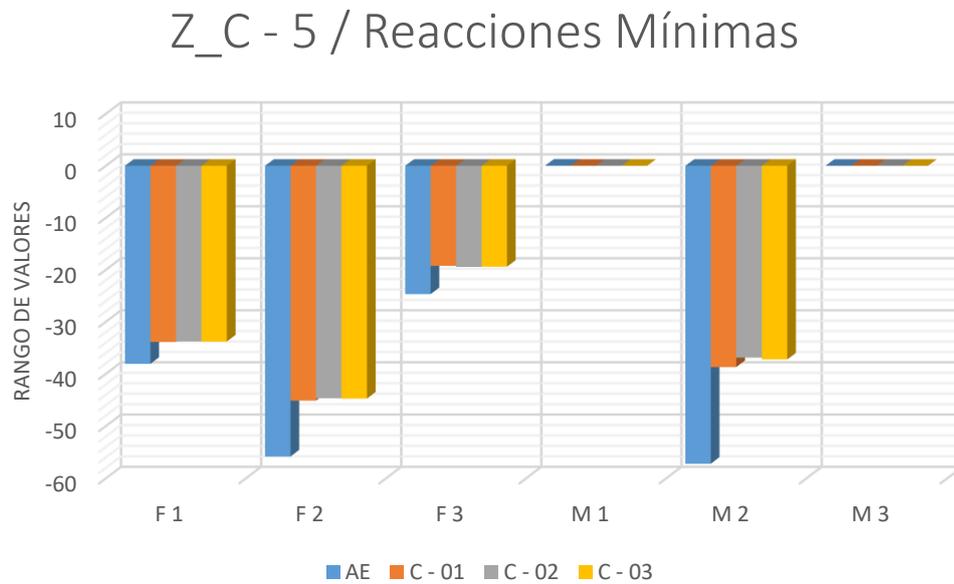


Figura 85 : Z_C - 5 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 91 : Zapata C - 5 / Reacciones Máximas

Zapata C - 5 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-6.195E-11	-0.0018	-0.0019	-0.0019
F 2	2.665E-10	0.0021	0.0022	0.0022
F 3	33.3929	29.4051	29.3089	29.3232
M 1	84.04228	52.35966	49.55878	50.08423
M 2	0.01818	0.03397	0.03331	0.03339
M 3	1.59605	1.76213	1.791	1.784

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_C - 5 / Reacciones Máximas

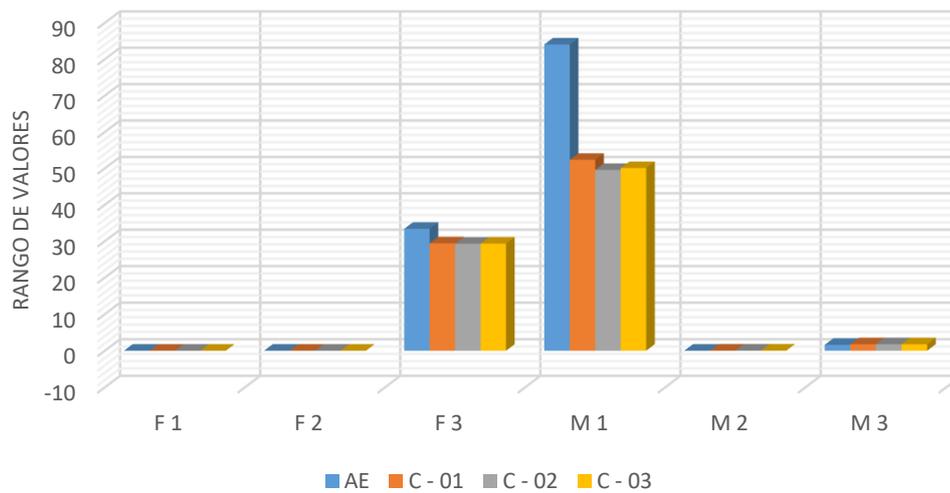


Figura 86 : Z_C - 5 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 92 : Zapata D - 1 / Reacciones Mínimas

Zapata D - 1 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-14.0084	-15.4019	-15.6618	-15.6051
F 2	-7.1917	-9.0569	-9.1707	-9.1488
F 3	15.6748	15.1281	15.108	15.1118
M 1	0.00491	0.00041	0.00018	0.00022
M 2	-21.03085	-14.07048	-13.26179	-13.41597
M 3	-2.364E-12	0.00001523	0.00001624	0.00001566

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_D - 1 / Reacciones Mínimas

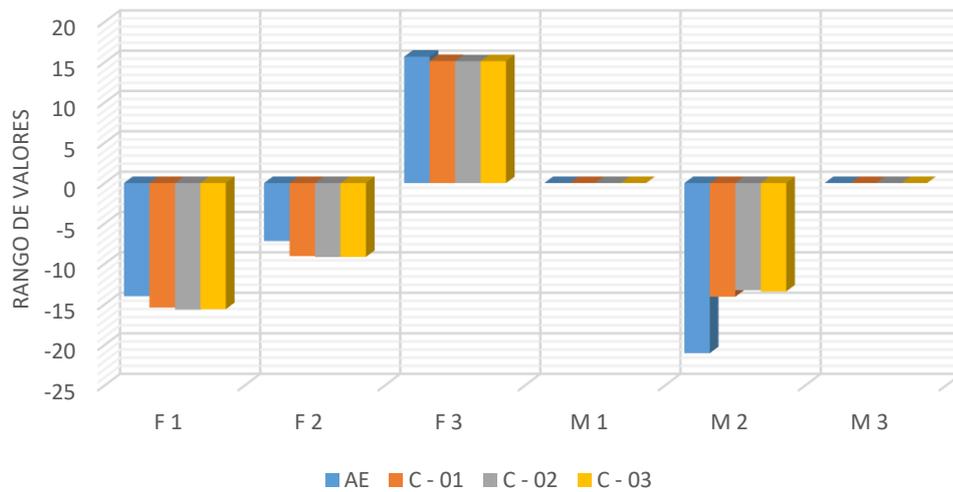


Figura 87 : Z_D - 1 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 93 : Zapata D - 1 / Reacciones Máximas

Zapata D - 1 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	3.23E-11	-0.0012	-0.0014	-0.0014
F 2	2.797E-11	0.00005824	0.00007804	0.00007203
F 3	52.838	49.7895	49.3329	49.4219
M 1	10.83272	12.66455	12.5905	12.60346
M 2	0.00374	0.01753	0.01764	0.01776
M 3	0.27662	0.31735	0.32353	0.32211

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_D - 1 / Reacciones Máximas

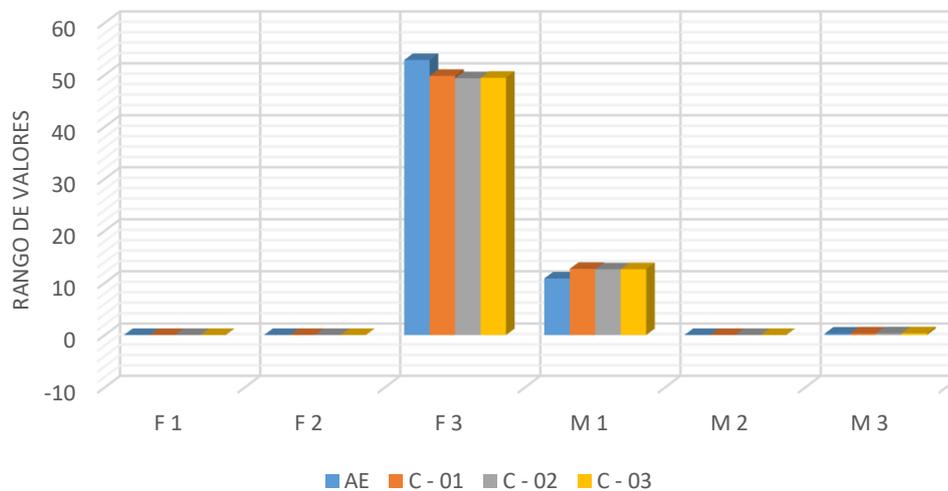


Figura 88 : Z_D - 1 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 94 : Zapata D' - 1 / Reacciones Mínimas

Zapata D' - 1 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-14.0084	-15.3288	-15.6034	-15.5468
F 2	-7.0299	-9.0136	-9.1361	-9.1142
F 3	15.5786	15.0429	15.0361	15.0401
M 1	0.00491	0.0004	0.00018	0.00022
M 2	-21.03085	-13.85643	-13.14798	-13.30072
M 3	-2.364E-12	0.00001521	0.00001619	0.00001564

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_D' - 1 / Reacciones Mínimas

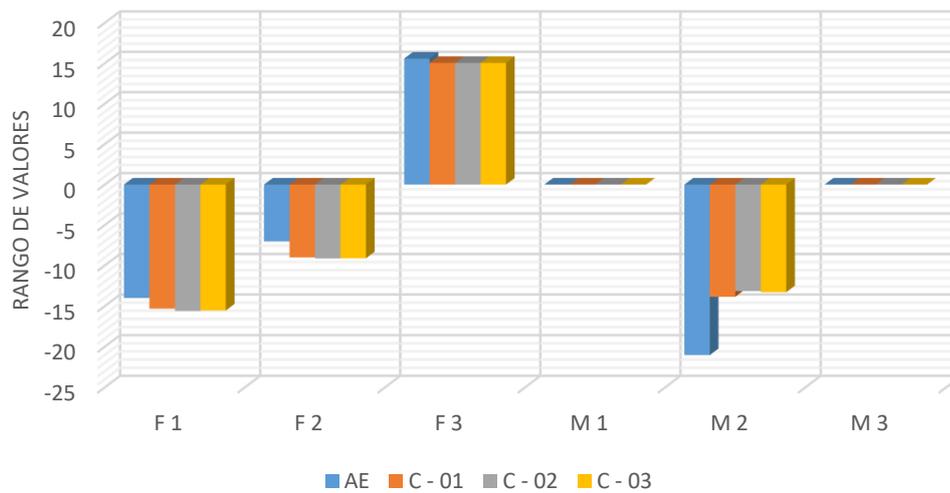


Figura 89 : Z_D' - 1 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 95 : Zapata D' - 1 / Reacciones Máximas

Zapata D' - 1 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	3.23E-11	-0.0012	-0.0014	-0.0014
F 2	2.659E-11	0.00005799	0.00007778	0.00007179
F 3	53.4622	63.842	64.8002	64.6105
M 1	10.59011	12.48887	12.48246	12.49517
M 2	0.00374	0.01727	0.01749	0.01761
M 3	0.27662	0.31711	0.32299	0.32185

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_D' - 1 / Reacciones Máximas

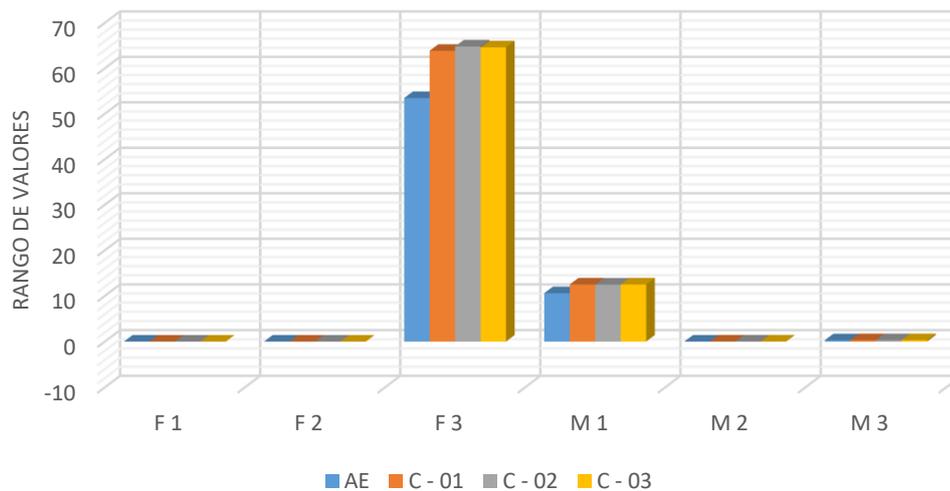


Figura 90 : Z_D' - 1 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 96 : Zapata D - 3 / Reacciones Mínimas

Zapata D - 3 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-11.0829	-10.8463	-10.7691	-10.7843
F 2	-7.1917	-8.4451	-8.4884	-8.4804
F 3	12.5951	13.2335	13.2409	13.2398
M 1	0.00491	0.00037	0.00016	0.0002
M 2	-16.64259	-13.53143	-12.98888	-13.09945
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

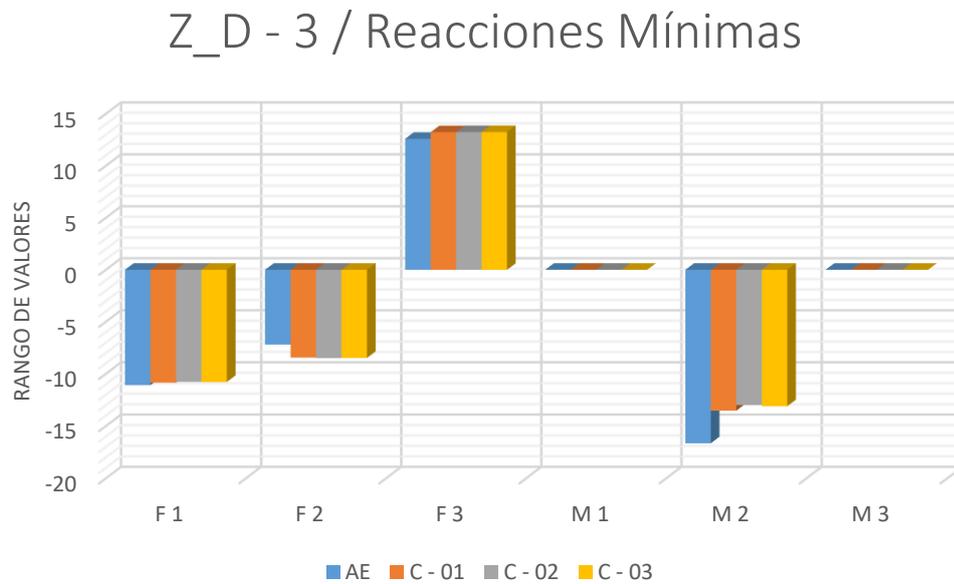


Figura 91 : Z_D - 3 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 97 : Zapata D - 3 / Reacciones Máximas

Zapata D - 3 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	7.307E-12	0.0001365	0.000147	0.0001484
F 2	2.797E-11	0.00007393	0.00008354	0.00007983
F 3	24.4912	22.9626	23.0027	22.994
M 1	10.83272	11.35832	11.16498	11.20639
M 2	0.00374	0.00844	0.00841	0.00842
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_D - 3 / Reacciones Máximas

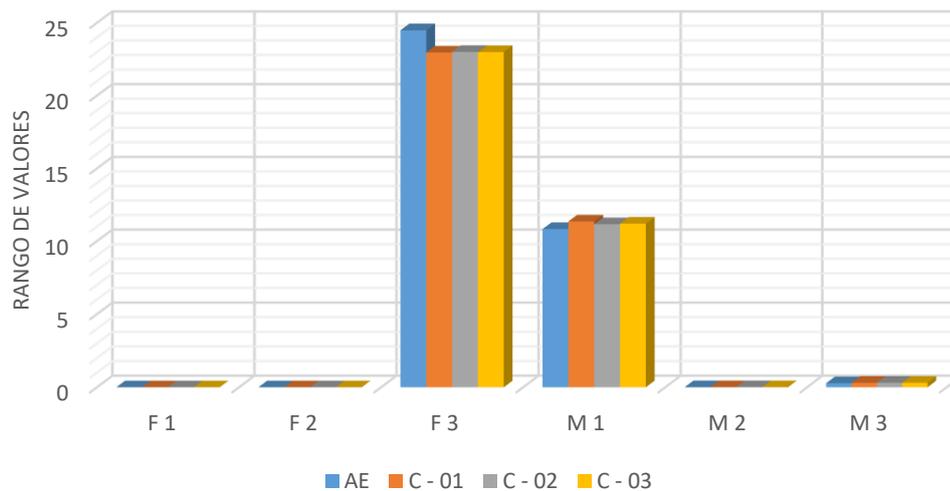


Figura 92 : Z_D - 3 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 98 : Zapata D - 4 / Reacciones Mínimas

Zapata D - 4 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-10.1492	-9.8013	-9.7473	-9.7623
F 2	-7.1917	-8.173	-8.2064	-8.2026
F 3	11.5832	10.2211	10.2194	10.2219
M 1	0.00491	0.00035	0.00015	0.00019
M 2	-15.24208	-11.93544	-11.44818	-11.55625
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

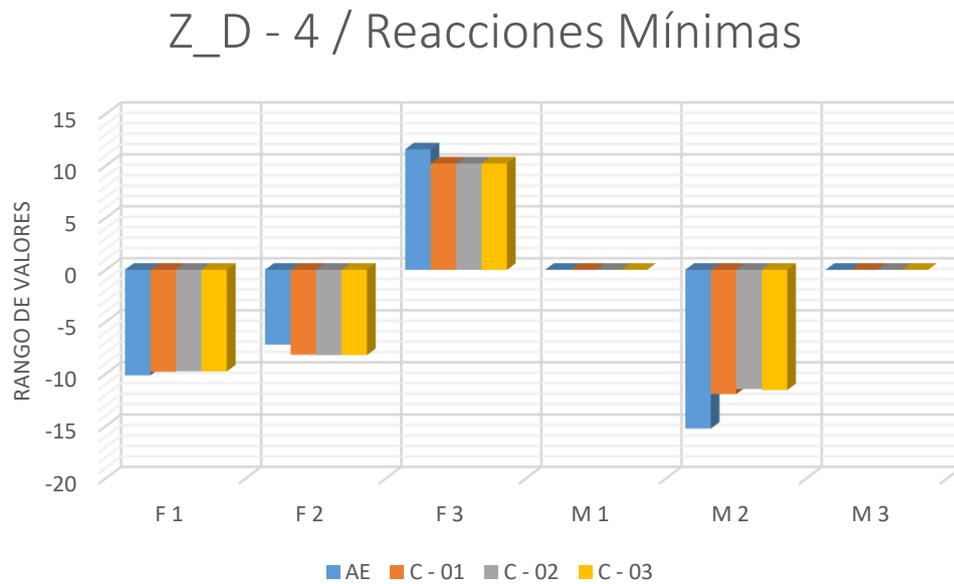


Figura 93 : Z_D - 4 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 99 : Zapata D - 4 / Reacciones Máximas

Zapata D - 4 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-4.696E-13	-0.00005132	-0.00004981	-0.00004605
F 2	2.797E-11	0.00008207	0.0000872	0.00008436
F 3	15.4829	16.7881	16.8235	16.8201
M 1	10.83272	10.815	10.60101	10.65102
M 2	0.00374	0.00799	0.00794	0.00795
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_D - 4 / Reacciones Máximas

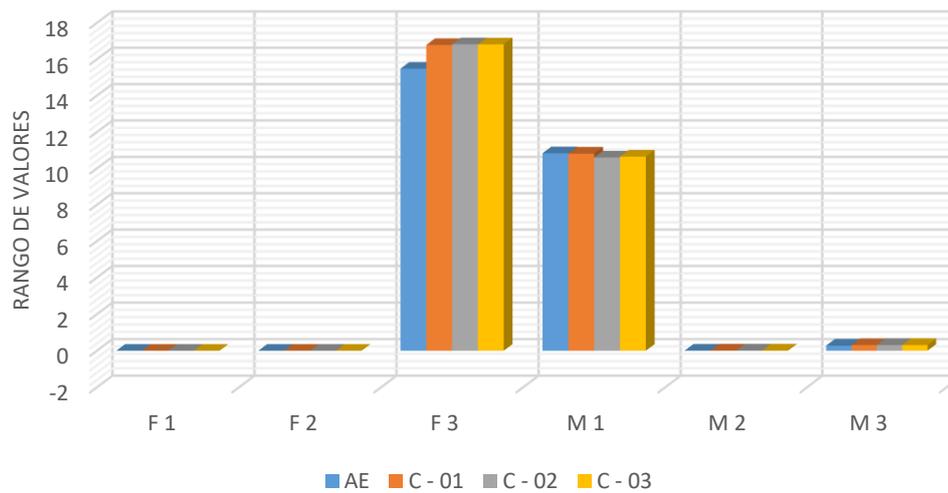


Figura 94 : Z_D - 4 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 100 : Zapata E - 1 / Reacciones Mínimas

Zapata E - 1 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-14.0084	-13.7256	-13.6603	-13.6766
F 2	-5.3432	-7.3809	-7.5086	-7.4862
F 3	14.5751	14.0801	14.0718	14.0764
M 1	0.00491	0.00029	0.00006271	0.00011
M 2	-21.03085	-17.7353	-17.19173	-17.31062
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

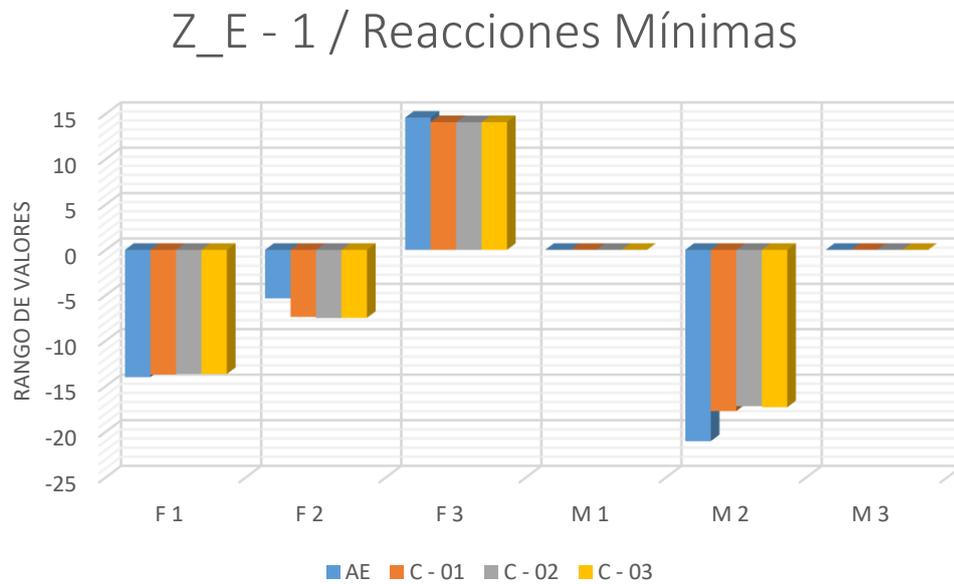


Figura 95 : Z_E - 1 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 101 : Zapata E - 1 / Reacciones Máximas

Zapata E - 1 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	3.23E-11	0.0004093	0.0004797	0.000474
F 2	1.217E-11	0.0001429	0.0001618	0.0001543
F 3	59.9718	63.0569	63.3907	63.328
M 1	8.06001	10.21416	10.2089	10.21702
M 2	0.00374	0.00911	0.00921	0.0092
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_E - 1 / Reacciones Máximas

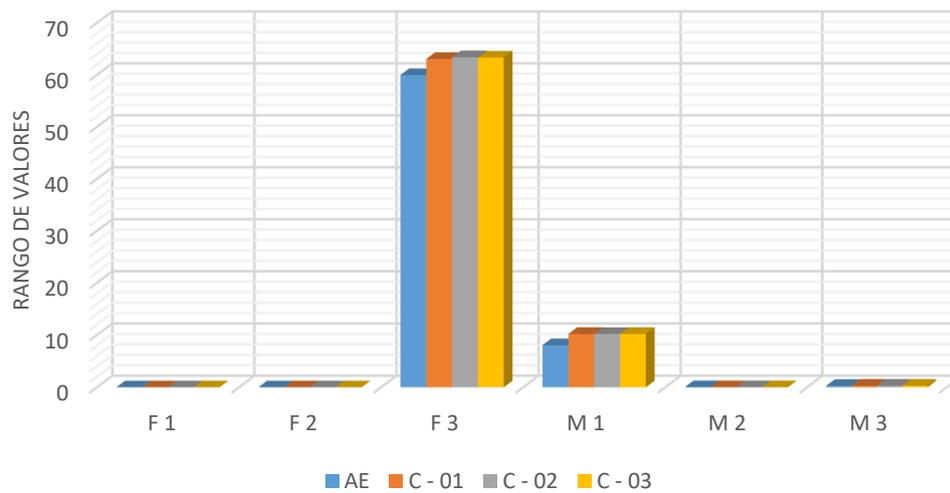


Figura 96 : Z_E - 1 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 102 : Zapata E - 3 / Reacciones Mínimas

Zapata E - 3 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-11.0829	-10.3854	-10.3083	-10.3273
F 2	-5.3432	-6.7552	-6.8216	-6.8115
F 3	11.4954	12.1805	12.198	12.1975
M 1	0.00491	0.00025	0.00005575	0.00009575
M 2	-16.64259	-12.60662	-12.06344	-12.18198
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

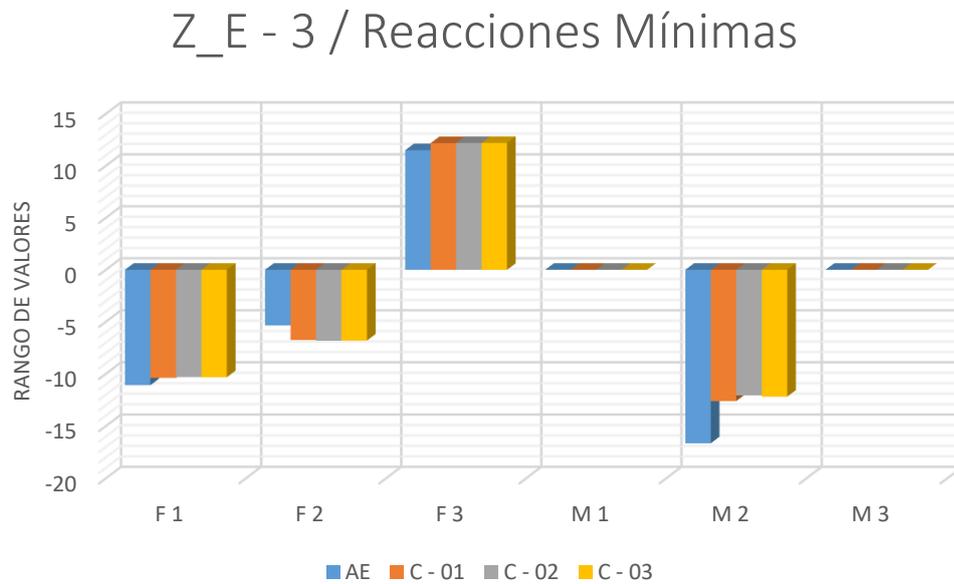


Figura 97 : Z_E - 3 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 103 : Zapata E - 3 / Reacciones Máximas

Zapata E - 3 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	7.307E-12	-0.00009943	-0.0001001	-0.00009535
F 2	1.217E-11	0.0001584	0.0001648	0.0001602
F 3	31.625	29.5122	29.6373	29.6157
M 1	8.06001	8.96611	8.83591	8.86898
M 2	0.00374	0.00789	0.00784	0.00785
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_E - 3 / Reacciones Máximas

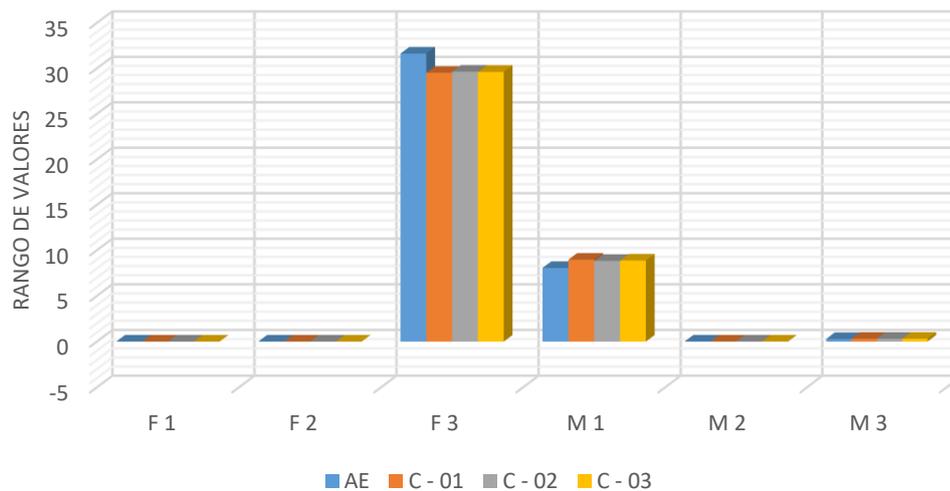


Figura 98 : Z_E - 3 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 104 : Zapata E - 4 / Reacciones Mínimas

Zapata E - 4 / Reacciones Mínimas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-10.1492	-9.3547	-9.2817	-9.2765
F 2	-5.3432	-6.5117	-6.5587	-6.5414
F 3	10.5125	11.5474	11.5717	11.5599
M 1	0.00491	0.00024	0.000053	0.00009056
M 2	-15.24208	-11.03935	-10.51252	-10.5795
M 3	-2.364E-12	0.00001453	0.00001546	0.00001493

Fuente: Elaboración propia (2020)

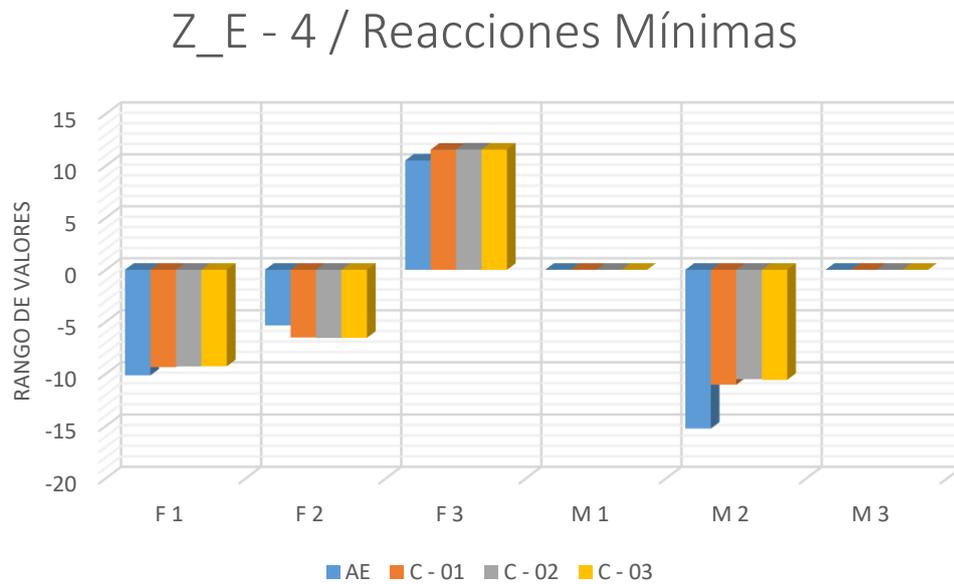


Figura 99 : Z_E - 4 / Reacciones Mínimas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

Tabla 105 : Zapata E - 4 / Reacciones Máximas

Zapata E - 4 / Reacciones Máximas				
Reacción	Apoyo Empotrado	Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	Barrios Altos
	AE	C - 01	C - 02	C - 03
F 1	-4.696E-13	-0.0002606	-0.0002772	-0.0002816
F 2	1.217E-11	0.0002192	0.0002252	0.0002223
F 3	22.5782	20.2266	20.2886	20.2618
M 1	8.06001	8.47944	8.30962	8.32816
M 2	0.00374	0.00741	0.00731	0.0073
M 3	0.27662	0.3054	0.3104	0.30919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Z_E - 4 / Reacciones Máximas

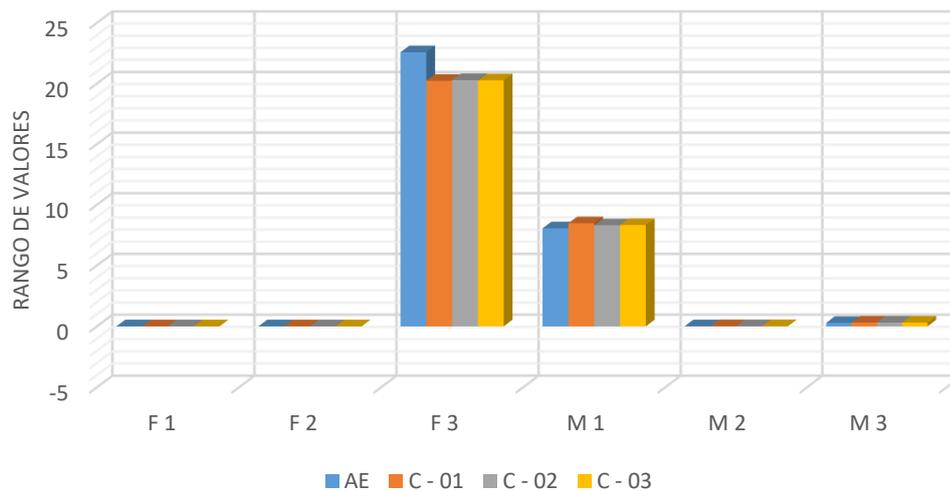


Figura 100 : Z_E - 4 / Reacciones Máximas

Fuente: Elaboración Propia (2020)

F 1 MIN

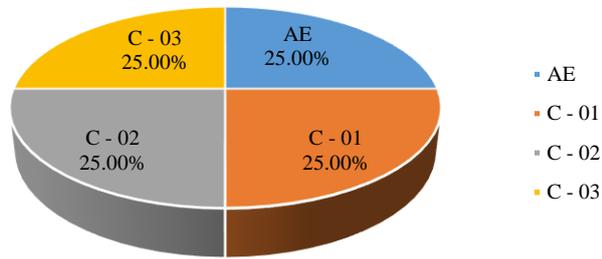


Figura 101 : Zaps_ % Reacciones Promedio Mínimas_F1

Fuente: *Elaboración Propia (2020)*

F 2 MIN

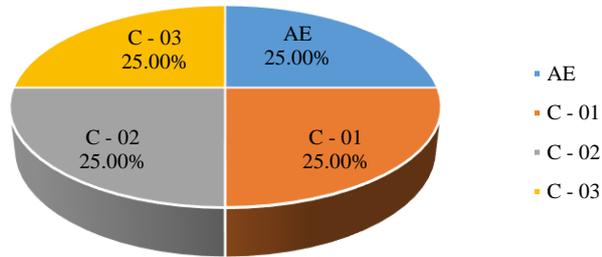


Figura 102 : Zaps_ % Reacciones Promedio Mínimas_F2

Fuente: *Elaboración Propia (2020)*

F 3 MIN

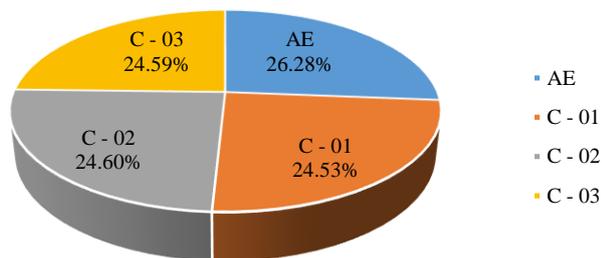


Figura 103 : Zaps_ % Reacciones Promedio Mínimas_F3

Fuente: *Elaboración Propia (2020)*

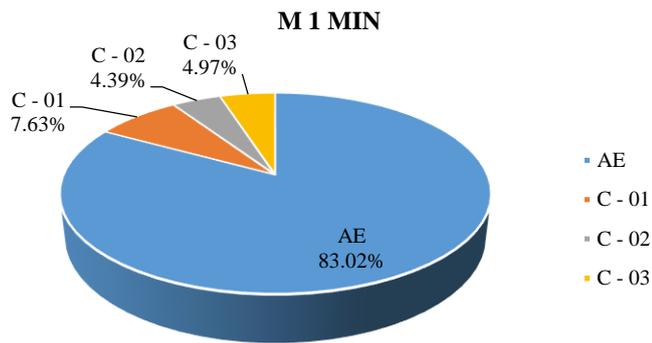


Figura 104 : Zaps_ % Reacciones Promedio Mínimas_M1

Fuente: *Elaboración Propia (2020)*

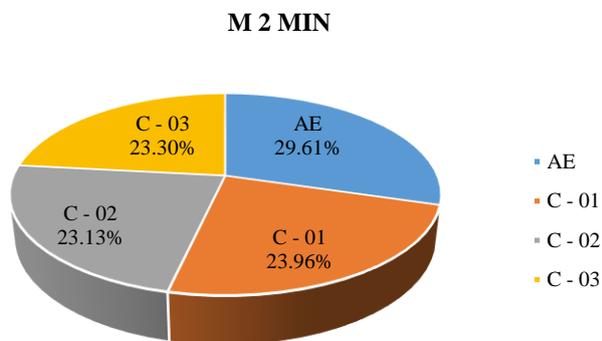


Figura 105 : Zaps_ % Reacciones Promedio Mínimas_M2

Fuente: *Elaboración Propia (2020)*

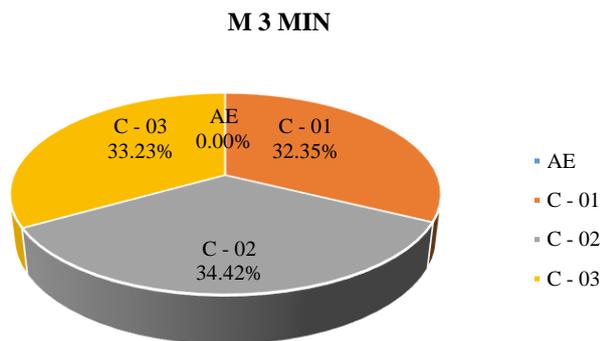


Figura 106 : Zaps_ % Reacciones Promedio Mínimas_M3

Fuente: *Elaboración Propia (2020)*

F 1 MAX

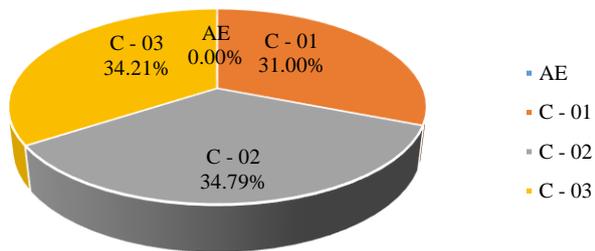


Figura 107 : Zaps_ % Reacciones Promedio Máximas_F1

Fuente: Elaboración Propia (2020)

F 2 MAX

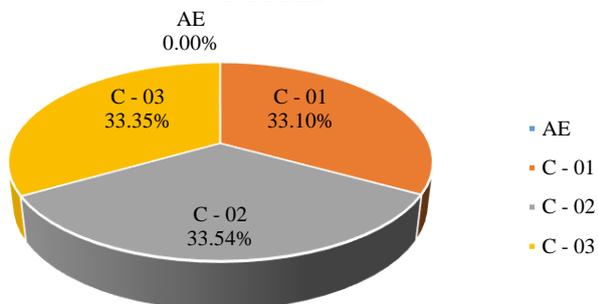


Figura 108 : Zaps_ % Reacciones Promedio Máximas_F2

Fuente: Elaboración Propia (2020)

F 3 MAX

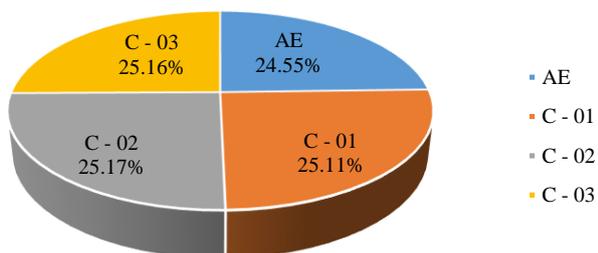


Figura 109 : Zaps_ % Reacciones Promedio Máximas_F3

Fuente: Elaboración Propia (2020)

M 1 MAX

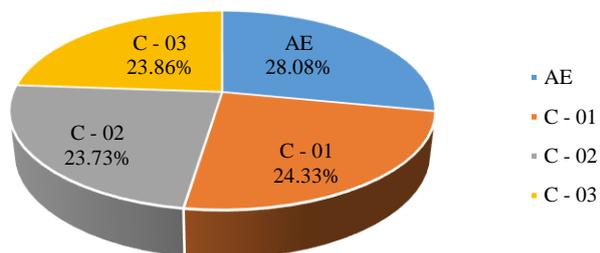


Figura 110 : Zaps_ % Reacciones Promedio Máximas_M1

Fuente: Elaboración Propia (2020)

M 2 MAX

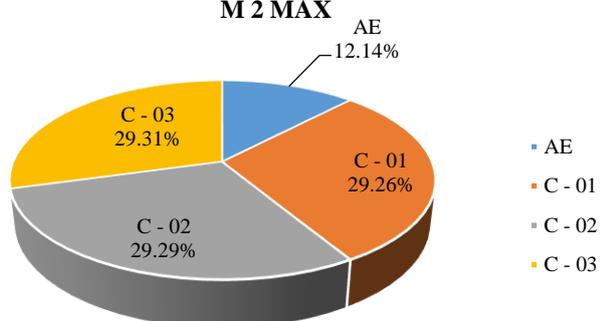


Figura 111 : Zaps_ % Reacciones Promedio Máximas_M2

Fuente: Elaboración Propia (2020)

M 3 MAX

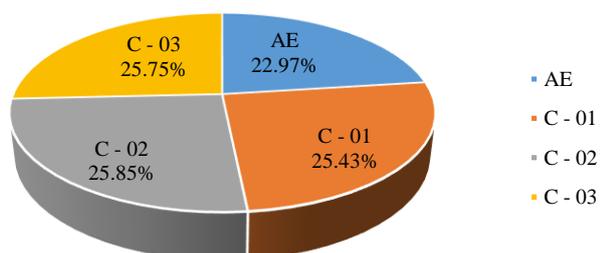


Figura 112 : Zaps_ % Reacciones Promedio Máximas_M3

Fuente: Elaboración Propia (2020)

4.2. Contrastación de hipótesis

Hipótesis General.

El aumento del grado de energía de las ondas sísmicas es desfavorable para la cimentación de una edificación de la ciudad de Moquegua.

4.2.1. Hipótesis Específica a)

Los efectos negativos causados en las edificaciones planteadas son indirectamente proporcionales, a el incremento de las características de la respuesta sísmica que se detectan en los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua.

4.2.1.1. Selección de la Prueba Estadística

Se debe tener en cuenta que para la estadística existen diferentes pruebas que están en base a las características que definen a la variable o a los datos de estudio, los cuales serán definidos por el investigador en asesoría con los profesionales capacitados, del área de la obtención del grado académico con conocimientos técnicos en la metodología, desarrollo y ejecución en el ámbito de la investigación.

Para determinar la prueba estadística que se utilizara se debe tener los valores necesarios y realizar una serie de procedimientos, con los cuales se obtendrán las características necesarias para la selección de la prueba estadística adecuada.

- ✓ Matriz de datos
- ✓ Alfa de Cronbach
- ✓ Normalidad
- ✓ Descriptivos

Una vez obtenido los datos mencionados se procederá a seleccionar una de las pruebas estadísticas que se mencionan a continuación.

Tabla 106 : Pruebas Estadísticas - Selección

<i>Variable Aleatoria</i>	<i>Pruebas No Paramétricas</i>			<i>Pruebas Paramétricas</i>
	<i>Nominal Dicotómica</i>	<i>Nominal Polinómica</i>	<i>Ordinal</i>	<i>Numérica</i>
<i>Variable Fija</i>				
	<i>Un grupo</i>	x^2 <i>Bondad de Ajuste Binomial</i>	x^2 <i>Bondad de Ajuste</i>	x^2 <i>Bondad de Ajuste</i> <i>T de Student (una muestra)</i>
<i>Estudio Transversal Muestras Independientes</i>	<i>Dos grupos</i>	x^2 <i>Bondad Correccion de Yates Test exacto Fisher</i>	x^2 <i>de Homogeneidad</i>	<i>U Mann – Whitney</i> <i>T de Student (muestras Independientes)</i>
	<i>Más de dos grupos</i>	x^2 <i>Bondad de Ajuste</i>	x^2 <i>Bondad de Ajuste</i>	<i>H Kruskal – Wallis</i> <i>Anova con un factor Intersujetos</i>
<i>Estudio Longitudinal</i>	<i>Dos medidas</i>	<i>Mc Nemar</i>	<i>Q de Cochran</i>	<i>Wilcoxon</i> <i>T de Student (muestras Relacionadas)</i>
<i>Muestras Relacionadas</i>	<i>Más de dos medidas</i>	<i>Q de Cochran</i>	<i>Q de Cochran</i>	<i>Friedman</i> <i>Anova para medidas repetidas Intrasujetos</i>

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.2.1.1.1. Matriz de Datos

Después de obtener los efectos en los diferentes modelos planteados se procede a realizar la matriz de datos con la estructura adecuada para la utilización de un programa estadístico que nos permita determinar los valores necesarios para respaldar la presente investigación mediante las hipótesis planteadas o en su defecto rechazar la posibilidad de ocurrencia de lo estipulado.

Tabla 107 : Matriz de datos – Análisis Estadístico / Parte 1_A

MATRIZ DE DATOS PARA ANALISIS ESTADISTICO												
Nº	C - 01 A (m)	C - 02 A (m)	C - 03 A (m)	C - 01 f (Hz)	C - 02 f (Hz)	C - 03 f (Hz)	C - 01 T (s)	C - 02 T (s)	C - 03 T (s)	C - 01 ω (s ⁻¹)	C - 02 ω (s ⁻¹)	C - 03 ω (s ⁻¹)
1	10	10	10	12	12	12	0,08333	0,08333	0,08333	75,39822	75,39822	75,39822
2	8,71	10	10	12	12	12	0,08333	0,08333	0,08333	75,39822	75,39822	75,39822
3	8,15	7,49	9,25	12	12	12	0,08333	0,08333	0,08333	75,39822	75,39822	75,39822
4	8,13	7,1	9,25	12	12	12	0,08333	0,08333	0,08333	75,39822	75,39822	75,39822
5	8,12	7	8,94	12	12	12	0,08333	0,08333	0,08333	75,39822	75,39822	75,39822
6	5,62	6,23	8,61	12	12	12	0,08333	0,08333	0,08333	75,39822	75,39822	75,39822
7	5,54	5,76	8,41	12	12	12	0,08333	0,08333	0,08333	75,39822	75,39822	75,39822
8	5,36	5,74	8,35	12	12	12	0,08333	0,08333	0,08333	75,39822	75,39822	75,39822
9	5,1	5,6	8,33	11,68	11,71	12	0,08561	0,08539	0,08333	73,38760	73,57609	75,39822
10	5	5,54	7,89	11,66	11,68	12	0,08576	0,08561	0,08333	73,26194	73,38760	75,39822
11	4,95	5,22	6,88	11,64	11,58	12	0,08591	0,08635	0,08333	73,13627	72,75928	75,39822
12	4,69	4,68	5,64	11,6	11,52	12	0,08620	0,08680	0,08333	72,88494	72,38229	75,39822
13	4,66	4,42	5,62	11,55	11,52	12	0,08658	0,08680	0,08333	72,57079	72,38229	75,39822
14	4,65	4,1	5,18	11,53	11,46	12	0,08673	0,08726	0,08333	72,44512	72,00530	75,39822
15	4,49	3,98	5,14	11,45	10,941	11,77	0,08733	0,09139	0,08496	71,94247	68,74433	73,95309
16	4,25	3,77	4,94	11,18	10,924	11,74	0,08944	0,09154	0,08517	70,24601	68,63751	73,76459
17	4,06	3,66	4,84	11,06	10,906	11,74	0,09041	0,09169	0,08517	69,49202	68,52441	73,76459
18	4,01	3,37	4,82	11,02	10,888	11,7	0,09074	0,09184	0,08547	69,24070	68,41132	73,51326
19	3,78	3,28	4,72	10,953	10,794	11,69	0,09129	0,09264	0,08554	68,81972	67,82070	73,45043
20	3,25	3,21	4,6	10,935	10,794	11,68	0,09144	0,09264	0,08561	68,70663	67,82070	73,38760
21	3,12	3,01	4,41	10,894	10,788	11,66	0,09179	0,09269	0,08576	68,44902	67,78300	73,26194
22	2,96	2,6	4,41	10,812	10,776	11,66	0,09248	0,09279	0,08576	67,93379	67,70760	73,26194
23	2,9	2,26	4,4	10,794	10,6	11,65	0,09264	0,09433	0,08583	67,82070	66,60176	73,19910
24	2,81	1,99	4,36	10,788	10,571	11,63	0,09269	0,09459	0,08598	67,78300	66,41955	73,07344
25	2,44	1,81	4,36	10,741	10,547	11,37	0,09310	0,09481	0,08795	67,48769	66,26875	71,43981
26	2,41	1,7	3,95	10,582	10,535	11,32	0,09450	0,09492	0,08833	66,48866	66,19335	71,12565
27	2,35	1,68	3,33	10,541	10,529	11,27	0,09486	0,09497	0,08873	66,23105	66,15565	70,81149
28	2,21	1,57	2,7	10,329	10,482	11,21	0,09681	0,09540	0,08920	64,89902	65,86034	70,43450
29	2,2	1,34	2,69	10,218	10,465	10,906	0,09786	0,09555	0,09169	64,20158	65,75353	68,52441
30	1,96	1,33	2,6	10,2	10,459	10,835	0,09803	0,09561	0,09229	64,08849	65,71583	68,07831
31	1,82	1,26	2,59	10,194	10,424	10,706	0,09809	0,09593	0,09340	64,05079	65,49592	67,26778
32	1,78	1,23	2,38	10,188	10,224	10,659	0,09815	0,09780	0,09381	64,01309	64,23928	66,97247
33	1,64	1,19	2,38	10,188	4,978	10,506	0,09815	0,20088	0,09518	64,01309	31,27769	66,01114
34	1,58	1,19	1,98	10,182	4,564	10,476	0,09821	0,21910	0,09545	63,97539	28,67645	65,82264
35	1,33	1,18	1,82	10,182	4,418	10,259	0,09821	0,22634	0,09747	63,97539	27,75911	64,45919

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 108 : Matriz de datos – Análisis Estadístico / Parte 1_B

MATRIZ DE DATOS PARA ANALISIS ESTADISTICO												
Nº	C - 01 A (m)	C - 02 A (m)	C - 03 A (m)	C - 01 f (Hz)	C - 02 f (Hz)	C - 03 f (Hz)	C - 01 T (s)	C - 02 T (s)	C - 03 T (s)	C - 01 ω (s ⁻¹)	C - 02 ω (s ⁻¹)	C - 03 ω (s ⁻¹)
36	1,33	1,17	1,77	10,176	4,345	10,206	0,09827	0,23014	0,09798	63,93769	27,30044	64,12618
37	1,3	1,14	1,77	10,159	4,182	10,194	0,09843	0,23912	0,09809	63,83087	26,27628	64,05079
38	1,3	1,1	1,72	10,094	4,065	10,153	0,09906	0,24600	0,09849	63,42247	25,54114	63,79318
39	1,3	1,09	1,61	10,094	4,055	10,135	0,09906	0,24660	0,09866	63,42247	25,47831	63,68008
40	1,25	1,07	1,55	10,088	3,671	10,129	0,09912	0,27240	0,09872	63,38477	23,06557	63,64238
41	1,21	1,03	1,52	10,018	3,329	10,112	0,09982	0,30039	0,09889	62,94495	20,91672	63,53556
42	1,2	0,96	1,45	9,885	2,58	10,112	0,10116	0,38759	0,09889	62,10928	16,21061	63,53556
43	1,19	0,95	1,31	8,929	2,52	10,106	0,11199	0,39682	0,09895	56,10256	15,83362	63,49787
44	1,14	0,94	1,28	8,857	2,46	10,094	0,11290	0,40650	0,09906	55,65017	15,45663	63,42247
45	1,13	0,91	1,28	8,857	2,28	10,071	0,11290	0,43859	0,09929	55,65017	14,32566	63,27795
46	1,12	0,86	1,28	8,857	2,19	10,059	0,11290	0,45662	0,09941	55,65017	13,76017	63,20256
47	1,12	0,86	1,27	8,821	1,676	10,053	0,11336	0,59665	0,09947	55,42397	10,53061	63,16486
48	1,08	0,83	1,25	8,714	1,553	7,441	0,11475	0,64391	0,13439	54,75167	9,75778	46,75318
49	1,07	0,83	1,24	8,679	1,553	7,412	0,11522	0,64391	0,13491	54,53176	9,75778	46,57096
50	1,03	0,82	1,2	8,643	1,365	7,206	0,11570	0,73260	0,13877	54,30557	8,57654	45,27663
51	1,02	0,8	1,19	7,971	1,335	7,118	0,12545	0,74906	0,14048	50,08327	8,38805	44,72371
52	0,97	0,8	1,14	4,855	1,3	7,088	0,20597	0,76923	0,14108	30,50486	8,16814	44,53521
53	0,96	0,8	1,14	4,691	1,094	6,947	0,21317	0,91407	0,14394	29,47442	6,87380	43,64928
54	0,95	0,8	1,13	4,655	0,965	6,447	0,21482	1,03626	0,15511	29,24822	6,06327	40,50769
55	0,92	0,8	1,13	4,527	0,908	6,342	0,22089	1,10132	0,15767	28,44397	5,70513	39,84796
56	0,92	0,79	1,12	4,309	0,818	4,957	0,23207	1,22249	0,20173	27,07424	5,13964	31,14574
57	0,91	0,78	1,11	4,273	0,804	4,891	0,23402	1,24378	0,20445	26,84805	5,05168	30,73105
58	0,89	0,78	1,07	3,514	0,8	4,63	0,28457	1,25	0,21598	22,07911	5,02654	29,09114
59	0,87	0,77	1,03	3,514	0,774	4,6	0,28457	1,29198	0,21739	22,07911	4,86318	28,90265
60	0,86	0,75	1,03	3,229	0,695	4,543	0,30969	1,43884	0,22011	20,28840	4,36681	28,54451
61	0,82	0,75	1,02	2,71	0,687	4,174	0,36900	1,45560	0,23957	17,02743	4,31654	26,22601
62	0,82	0,72	0,99	2,66	0,663	4,087	0,37593	1,50829	0,24467	16,71327	4,16575	25,67937
63	0,82	0,7	0,97	2,29	0,661	4,065	0,43668	1,51285	0,24600	14,38849	4,15318	25,54114
64	0,82	0,7	0,97	2,24	0,626	4,022	0,44642	1,59744	0,24863	14,07433	3,93327	25,27097
65	0,82	0,69	0,96	2,14	0,616	2,94	0,46728	1,62337	0,34013	13,44601	3,87044	18,47256
66	0,81	0,67	0,96	1,906	0,5	2,79	0,52465	2	0,35842	11,97575	3,14159	17,53008
67	0,81	0,62	0,96	1,876	0,5	2,76	0,53304	2	0,36231	11,78725	3,14159	17,34159
68	0,81	0,6	0,95	1,176	0,5	2,24	0,85034	2	0,44642	7,38902	3,14159	14,07433
69	0,8	0,6	0,94	1,112	0,5	2,08	0,89928	2	0,48076	6,98690	3,14159	13,06902
70	0,78	0,59	0,88	1,106	0,5	2,07	0,90415	2	0,48309	6,94920	3,14159	13,00619

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 109 : Matriz de datos – Análisis Estadístico / Parte 2_A

MATRIZ DE DATOS									
Nº	C - 01	C - 02	C - 03	C - 01	C - 02	C - 03	C - 01	C - 02	C - 03
	Vmax (m/s)	Vmax (m/s)	Vmax (m/s)	λ (m)	λ (m)	λ (m)	Vp (m/s)	Vp (m/s)	Vp (m/s)
1	753,98223	753,98223	753,98223	62,83185	62,83185	62,83185	753,98223	753,98223	753,98223
2	656,71852	753,98223	753,98223	54,72654	62,83185	62,83185	656,71852	753,98223	753,98223
3	614,49552	564,73269	697,43356	51,20796	47,06105	58,11946	614,49552	564,73269	697,43356
4	612,98755	535,32738	697,43356	51,08229	44,61061	58,11946	612,98755	535,32738	697,43356
5	612,23357	527,78756	674,06011	51,01946	43,98229	56,17167	612,23357	527,78756	674,06011
6	423,73801	469,73093	649,17870	35,31150	39,14424	54,09822	423,73801	469,73093	649,17870
7	417,70615	434,29376	634,09906	34,80884	36,19114	52,84158	417,70615	434,29376	634,09906
8	404,13447	432,78580	629,57516	33,67787	36,06548	52,46459	404,13447	432,78580	629,57516
9	374,27678	412,02615	628,06720	32,04424	35,18583	52,33893	374,27678	412,02615	628,06720
10	366,30970	406,56732	594,89198	31,41592	34,80884	49,57433	366,30970	406,56732	594,89198
11	362,02457	379,80347	518,73977	31,10176	32,79822	43,22831	362,02457	379,80347	518,73977
12	341,83041	338,74913	425,24598	29,46813	29,40530	35,43716	341,83041	338,74913	425,24598
13	338,17988	319,92974	423,73801	29,27964	27,77167	35,31150	338,17988	319,92974	423,73801
14	336,86983	295,22174	390,56279	29,21681	25,76105	32,54689	336,86983	295,22174	390,56279
15	323,02169	273,60243	380,11888	28,21150	25,00707	32,29557	323,02169	273,60243	380,11888
16	298,54554	258,76343	364,39710	26,70353	23,68760	31,03893	298,54554	258,76343	364,39710
17	282,13763	250,79937	357,02064	25,50973	22,99645	30,41061	282,13763	250,79937	357,02064
18	277,65521	230,54615	354,33395	25,19557	21,17433	30,28495	277,65521	230,54615	354,33395
19	260,13857	222,45190	346,68605	23,75044	20,60884	29,65663	260,13857	222,45190	346,68605
20	223,29655	217,70445	337,58298	20,42035	20,16902	28,90265	223,29655	217,70445	337,58298
21	213,56094	204,02683	323,08515	19,60353	18,91238	27,70884	213,56094	204,02683	323,08515
22	201,08404	176,03977	323,08515	18,59822	16,33628	27,70884	201,08404	176,03977	323,08515
23	196,68003	150,51998	322,07607	18,22123	14,19999	27,64601	196,68003	150,51998	322,07607
24	190,47023	132,17490	318,60022	17,65575	12,50353	27,39468	190,47023	132,17490	318,60022
25	164,66997	119,94644	311,47760	15,33097	11,37256	27,39468	164,66997	119,94644	311,47760
26	160,23768	112,52870	280,94634	15,14247	10,68141	24,81858	160,23768	112,52870	280,94634
27	155,64298	111,14150	235,80228	14,76548	10,55575	20,92300	155,64298	111,14150	235,80228
28	143,42683	103,40074	190,17316	13,88583	9,86460	16,96460	143,42683	103,40074	190,17316
29	141,24349	88,10973	184,33068	13,82300	8,41946	16,90176	141,24349	88,10973	184,33068
30	125,61344	87,40206	177,00361	12,31504	8,35663	16,33628	125,61344	87,40206	177,00361
31	116,57243	82,52486	174,22355	11,43539	7,91681	16,27344	116,57243	82,52486	174,22355
32	113,94330	79,01432	159,39448	11,18406	7,72831	14,95398	113,94330	79,01432	159,39448
33	104,98147	37,22045	157,10652	10,30442	7,47699	14,95398	104,98147	37,22045	157,10652
34	101,08112	34,12498	130,32884	9,92743	7,47699	12,44070	101,08112	34,12498	130,32884
35	85,08727	32,75575	117,31574	8,35663	7,41415	11,43539	85,08727	32,75575	117,31574

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 110 : Matriz de datos – Análisis Estadístico / Parte 2_B

MATRIZ DE DATOS									
Nº	C - 01	C - 02	C - 03	C - 01	C - 02	C - 03	C - 01	C - 02	C - 03
	Vmax (m/s)	Vmax (m/s)	Vmax (m/s)	λ (m)	λ (m)	λ (m)	Vp (m/s)	Vp (m/s)	Vp (m/s)
36	85,03713	31,94151	113,50335	8,35663	7,35132	11,12123	85,03713	31,94151	113,50335
37	82,98014	29,95496	113,36990	8,16814	7,16283	11,12123	82,98014	29,95496	113,36990
38	82,44921	28,09526	109,72427	8,16814	6,91150	10,80707	82,44921	28,09526	109,72427
39	82,44921	27,77136	102,52493	8,16814	6,84867	10,11592	82,44921	27,77136	102,52493
40	79,23096	24,68016	98,64569	7,85398	6,72300	9,73893	79,23096	24,68016	98,64569
41	76,16338	21,54422	96,57406	7,60265	6,47168	9,55044	76,16338	21,54422	96,57406
42	74,53114	15,56219	92,12657	7,53982	6,03185	9,11061	74,53114	15,56219	92,12657
43	66,76204	15,04194	83,18221	7,47699	5,96902	8,23097	66,76204	15,04194	83,18221
44	63,44119	14,52923	81,18076	7,16283	5,90619	8,04247	63,44119	14,52923	81,18076
45	62,88469	13,03635	80,99578	7,09999	5,71769	8,04247	62,88469	13,03635	80,99578
46	62,32819	11,83375	80,89927	7,03716	5,40353	8,04247	62,32819	11,83375	80,89927
47	62,07485	9,05633	80,21937	7,03716	5,40353	7,97964	62,07485	9,05633	80,21937
48	59,13181	8,09896	58,44147	6,78584	5,21504	7,85398	59,13181	8,09896	58,44147
49	58,34898	8,09896	57,74800	6,72300	5,21504	7,79114	58,34898	8,09896	57,74800
50	55,93473	7,03276	54,33195	6,47168	5,15221	7,53982	55,93473	7,03276	54,33195
51	51,08493	6,71044	53,22121	6,40884	5,02654	7,47699	51,08493	6,71044	53,22121
52	29,58971	6,53451	50,77014	6,09468	5,02654	7,16283	29,58971	6,53451	50,77014
53	28,29544	5,49904	49,76018	6,03185	5,02654	7,16283	28,29544	5,49904	49,76018
54	27,78581	4,85061	45,77369	5,96902	5,02654	7,09999	27,78581	4,85061	45,77369
55	26,16846	4,56410	45,02819	5,78053	5,02654	7,09999	26,16846	4,56410	45,02819
56	24,90830	4,06032	34,88323	5,78053	4,96371	7,03716	24,90830	4,06032	34,88323
57	24,43172	3,94031	34,11147	5,71769	4,90088	6,97433	24,43172	3,94031	34,11147
58	19,65041	3,92070	31,12752	5,59203	4,90088	6,72300	19,65041	3,92070	31,12752
59	19,20882	3,74465	29,76973	5,46637	4,83805	6,47168	19,20882	3,74465	29,76973
60	17,44802	3,27511	29,40084	5,40353	4,71238	6,47168	17,44802	3,27511	29,40084
61	13,96249	3,23741	26,75053	5,15221	4,71238	6,40884	13,96249	3,23741	26,75053
62	13,70488	2,99934	25,42258	5,15221	4,52389	6,22035	13,70488	2,99934	25,42258
63	11,79856	2,90722	24,77491	5,15221	4,39822	6,09468	11,79856	2,90722	24,77491
64	11,54095	2,75329	24,51284	5,15221	4,39822	6,09468	11,54095	2,75329	24,51284
65	11,02573	2,67060	17,73366	5,15221	4,33539	6,03185	11,02573	2,67060	17,73366
66	9,70035	2,10486	16,82888	5,08938	4,20973	6,03185	9,70035	2,10486	16,82888
67	9,54767	1,94778	16,64792	5,08938	3,89557	6,03185	9,54767	1,94778	16,64792
68	5,98511	1,88495	13,37061	5,08938	3,76991	5,96902	5,98511	1,88495	13,37061
69	5,58952	1,88495	12,28488	5,02654	3,76991	5,90619	5,58952	1,88495	12,28488
70	5,42037	1,85353	11,44545	4,90088	3,70707	5,52920	5,42037	1,85353	11,44545

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.2.1.1.2. Alfa de Cronbach

Para lograr determinar el porcentaje de confiabilidad para utilizar en la siguiente investigación, se utilizará el IBM SPSS software con el que se encontrará el valor del alfa de Cronbach (α).

Tabla 111 : Fiabilidad – Amplitud / Zonda de Estudio

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
<u>,987</u>	<u>3</u>

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 112 : Fiabilidad – Frecuencia / Zonda de Estudio

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
<u>,938</u>	<u>3</u>

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 113 : Fiabilidad – Periodo / Zonda de Estudio

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
<u>,681</u>	<u>3</u>

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 114 : Fiabilidad – Velocidad Angular / Zonda de Estudio

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
<u>,938</u>	<u>3</u>

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 115 : Fiabilidad – Velocidad Máxima / Zonda de Estudio

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
<u>,988</u>	<u>3</u>

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 116 : Fiabilidad – Longitud / Zonda de Estudio

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,987	3

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 117 : Fiabilidad – Velocidad Promedio / Zonda de Estudio

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,987	3

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Para calcular el alfa de los datos evaluados se determinará mediante el criterio del investigador, obteniendo mediante el programa un porcentaje de nivel de confianza del 90% ($f = 0.90$) y un alfa de Cronbach del 10% ($\alpha = 0.10$).

4.2.1.1.3. Normalidad

El argumento de la normalidad nos definirá si la prueba que se desea aplicar es de orden paramétrico o no paramétrico, para lo cual se procederá a evaluar los datos de estudio de la presente investigación.

- ✓ $P - valor \geq \alpha$ Aceptar $H_0 \equiv$ Los datos provienen de una distribución normal.
- ✓ $P - valor < \alpha$ Aceptar $H_1 \equiv$ Los datos no provienen de una distribución normal.

Tabla 118 : Normalidad – Amplitud / Zonda de Estudio

Zona_Estudio		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Amplitud	Cruz del Siglo II	,227	70	,000	,778	70	,000
	Centro Sismológico	,269	70	,000	,742	70	,000
	Barrios Altos	,219	70	,000	,802	70	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 119 : Normalidad – Frecuencia / Zonda de Estudio

Zona_Estudio		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Frecuencia	Cruz del Siglo II	,251	70	,000	,806	70	,000
	Centro Sismológico	,261	70	,000	,787	70	,000
	Barrios Altos	,287	70	,000	,806	70	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 120 : Normalidad – Periodo / Zonda de Estudio

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Periodo	Zona_Estudio	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
		Cruz del Siglo II	,356	70	,000	,580	70
	Centro Sismológico	,244	70	,000	,753	70	,000
	Barrios Altos	,337	70	,000	,639	70	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 121 : Normalidad – Velocidad Angular / Zonda de Estudio

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Velocidad_Angular	Zona_Estudio	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
		Cruz del Siglo II	,251	7	,00	,806	7
	Centro Sismológico	,261	7	,00	,787	7	,00
	Barrios Altos	,287	7	,00	,806	7	,00

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 122 : Normalidad – Velocidad Máxima / Zonda de Estudio

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Velocidad_Maxima	Zona_Estudio	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
		Cruz del Siglo II	,195	7	,00	,817	7
	Centro Sismológico	,251	7	,00	,756	7	,00
	Barrios Altos	,203	7	,00	,834	7	,00

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 123 : Normalidad – Longitud / Zonda de Estudio

		Pruebas de normalidad					
Zona_Estudio		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Longitud	Cruz del Siglo II	,227	70	,000	,778	70	,000
	Centro Sismológico	,269	70	,000	,742	70	,000
	Barrios Altos	,219	70	,000	,802	70	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 124 : Normalidad – Velocidad Promedio / Zonda de Estudio

		Pruebas de normalidad					
Zona_Estudo		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad_Promedio	Cruz del Siglo II	,195	7	,00	,817	7	,00
	Centro Sismológico	,251	7	,00	,756	7	,00
	Barrios Altos	,203	7	,00	,834	7	,00
				0	0		0

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Al determinar que los datos evaluados no tienen un orden normal se define que la prueba a utilizar será no paramétrica.

4.2.1.1.4. Descriptivos

Al aplicar la prueba de normalidad obtendremos los valores descriptivos que nos servirán para realizar un análisis de las zonas de estudio con referente a los tres (03) grupos o efectos considerados como son:

- ✓ Reacciones
- ✓ Respuesta Sísmica
- ✓ Propiedades Físico – Mecánicas

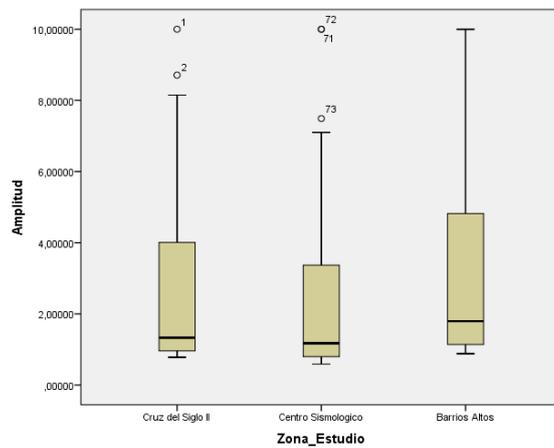


Figura 113 : Amplitud Normalidad Z. E.

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

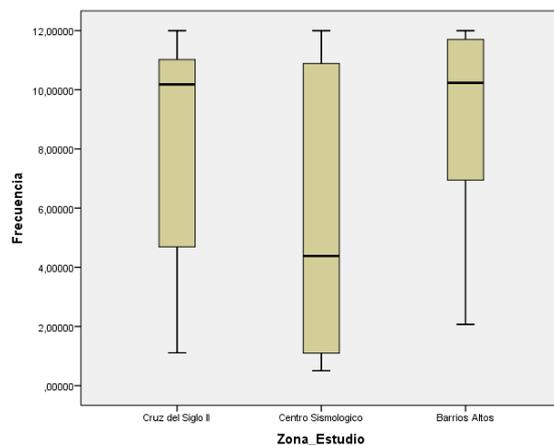


Figura 114 : Frecuencia Normalidad Z. E.

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

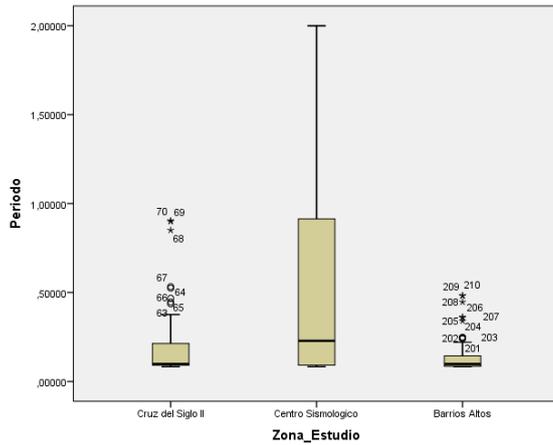


Figura 115 :Periodo Normalidad Z. E.

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

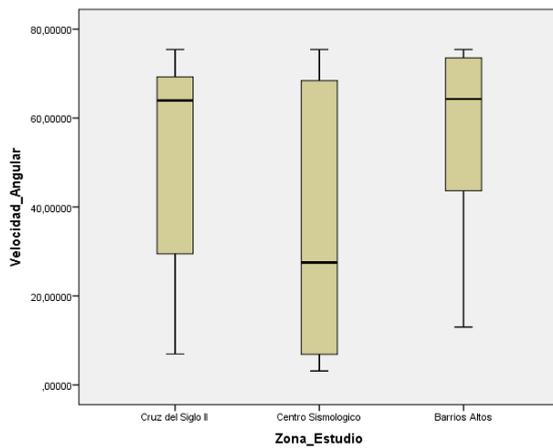


Figura 116 :Velocidad Angular Normalidad Z. E.

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

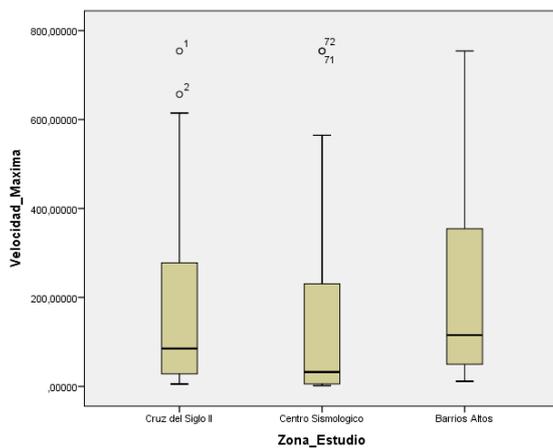


Figura 117 :Velocidad Máxima Normalidad Z. E.

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

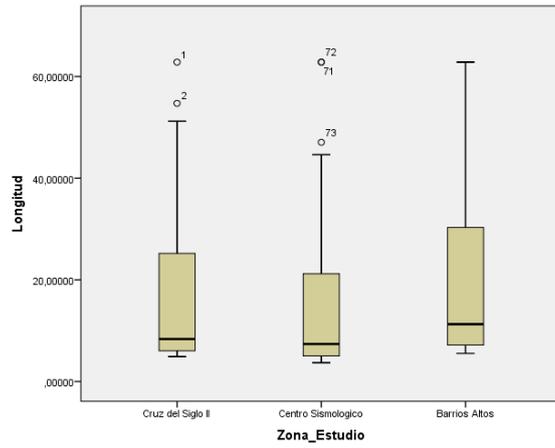


Figura 118 :Longitud Normalidad Z. E.

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

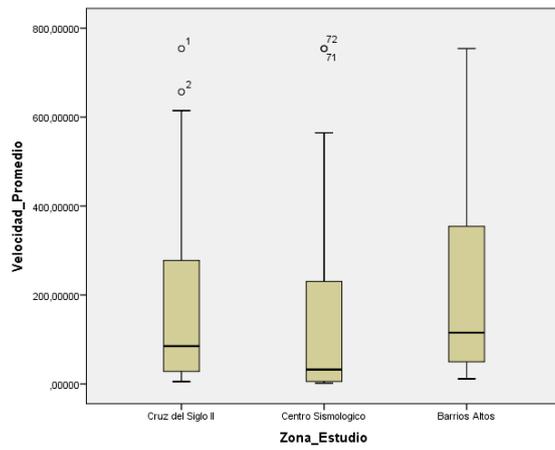


Figura 119 : Velocidad Promedio Normalidad Z. E.

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 125 : Normalidad – Descriptivos - Amplitud / Zonda de Estudio – Respuesta Sísmica

		Descriptivos		Estadístico	Error tít.
		Zona_Estudio			
Amplitud	Cruz del Siglo II	Media		2,5882857	,26854496
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	2,0525532	
			Límite superior	3,1240183	
		Media recortada al 5%		2,3406349	
		Mediana		1,3300000	
		Varianza		5,048	
		Desv. tít.		2,24680835	
		Mínimo		,78000	
		Máximo		10,00000	
		Rango		9,22000	
		Amplitud intercuartil		3,06500	
		Asimetría		1,530	,287
		Curtosis		1,773	,566
		Media		2,3508571	,27648015
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	1,7992943	
	Límite superior		2,9024199		
	Media recortada al 5%		2,0860317		
	Mediana		1,1750000		
	Varianza		5,351		
	Desv. tít.		2,31319889		
	Mínimo		,59000		
	Máximo		10,00000		
	Rango		9,41000		
	Amplitud intercuartil		2,64250		
	Asimetría		1,648	,287	
	Curtosis		2,155	,566	
	Media		3,3137143	,33112895	
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	2,6531301			
	Límite superior	3,9742985			
Media recortada al 5%		3,0926190			
Mediana		1,7950000			
Varianza		7,675			
Desv. tít.		2,77042359			
Mínimo		,88000			
Máximo		10,00000			
Rango		9,12000			
Amplitud intercuartil		3,68750			
Asimetría		1,109	,287		
Curtosis		,002	,566		
	Barrios Altos				

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 126 : Descriptivos - Frecuencia / Zonda de Estudio – Respuesta Sísmica

		Descriptivos		Estadístico	Error típ.
Zona_Estudio					
Frecuencia	Cruz del Siglo II	Media		8,4959429	,42711241
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	7,6438769	
			Límite superior	9,3480088	
		Media recortada al 5%		8,7045079	
		Mediana		10,1790000	
		Varianza		12,770	
		Desv. típ.		3,57347883	
		Mínimo		1,10600	
		Máximo		12,00000	
		Rango		10,89400	
		Amplitud intercuartil		6,34800	
		Asimetría		-,945	,287
		Curtosis		-,674	,566
		Media		6,1163857	,57362678
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	4,9720316	
		Límite superior	7,2607398		
	Media recortada al 5%		6,1015397		
	Mediana		4,3815000		
	Varianza		23,033		
	Desv. típ.		4,79930599		
	Mínimo		,50000		
	Máximo		12,00000		
	Rango		11,50000		
	Amplitud intercuartil		9,83075		
	Asimetría		,065	,287	
	Curtosis		-1,879	,566	
	Media		9,0958714	,38869415	
Centro Sismológico	Barrios Altos	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	8,3204478	
			Límite superior	9,8712950	
		Media recortada al 5%		9,3165238	
		Mediana		10,2325000	
		Varianza		10,576	
		Desv. típ.		3,25204854	
	Mínimo		2,07000		
	Máximo		12,00000		
	Rango		9,93000		
	Amplitud intercuartil		4,88800		
	Asimetría		-,936	,287	
	Curtosis		-,612	,566	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 127 : Descriptivos - Periodo / Zonda de Estudio – Respuesta Sísmica

		Descriptivos		Estadístico	Error típ.
Periodo	Zona_Estudio				
		Media		,1842326	,02248683
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	,1393726	
			Límite superior	,2290926	
		Media recortada al 5%		,1537196	
	Cruz del Siglo II	Mediana		,0982400	
		Varianza		,035	
		Desv. típ.		,18813829	
		Mínimo		,08333	
		Máximo		,90415	
		Rango		,82082	
		Amplitud intercuartil		,12293	
		Asimetría		2,585	,287
		Curtosis		6,666	,566
		Media		,5496389	,07439384
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	,4012272	
			Límite superior	,6980505	
		Media recortada al 5%		,4949693	
	Centro Sismológico	Mediana		,2282400	
		Varianza		,387	
		Desv. típ.		,62242351	
		Mínimo		,08333	
		Máximo		2,00000	
		Rango		1,91667	
		Amplitud intercuartil		,85282	
		Asimetría		1,189	,287
		Curtosis		,060	,566
		Media		,1411040	,01165208
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	,1178587	
			Límite superior	,1643493	
		Media recortada al 5%		,1268921	
	Barrios Altos	Mediana		,0977250	
		Varianza		,010	
		Desv. típ.		,09748831	
		Mínimo		,08333	
		Máximo		,48309	
		Rango		,39976	
		Amplitud intercuartil		,06134	
		Asimetría		2,194	,287
		Curtosis		4,360	,566

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 128 : Descriptivos - Velocidad Angular / Zonda de Estudio – Respuesta Sísmica

		Descriptivos		Estadístico	Error típ.
Velocidad_Angular	Cruz del Siglo II	Zona_Estudio		53,3815794	2,68362645
		Media		53,3815794	2,68362645
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	48,0278912	
			Límite superior	58,7352677	
		Media recortada al 5%		54,6920325	
		Mediana		63,9565400	
		Varianza		504,130	
		Desv. típ.		22,45282975	
		Mínimo		6,94920	
		Máximo		75,39822	
		Rango		68,44902	
		Amplitud intercuartil		39,88566	
		Asimetría		-,945	,287
		Curtosis		-,674	,566
		Media		38,4303803	3,60420336
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	31,2401913		
		Límite superior	45,6205693		
	Media recortada al 5%		38,3370998		
	Mediana		27,5297750		
	Varianza		909,320		
	Desv. típ.		30,15492879		
	Mínimo		3,14159		
	Máximo		75,39822		
	Rango		72,25663		
	Amplitud intercuartil		61,76843		
	Asimetría		,065	,287	
	Curtosis		-1,879	,566	
Media		57,1510409	2,44223738		
Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	52,2789106			
	Límite superior	62,0231711			
Media recortada al 5%		58,5374406			
Mediana		64,2926850			
Varianza		417,517			
Desv. típ.		20,43322389			
Mínimo		13,00619			
Máximo		75,39822			
Rango		62,39203			
Amplitud intercuartil		30,71221			
Asimetría		-,936	,287		
Curtosis		-,612	,566		
	Barrios Altos				

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 129 : Descriptivos - Velocidad Máxima / Zonda de Estudio – Respuesta Sísmica

		Descriptivos		Estadístico	Error típ.	
Velocidad_Maxima	Cruz del Siglo II	Zona_Estudio	Media	170,2167500	21,67363452	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	126,9790322		
			Límite superior	213,4544678		
			Media recortada al 5%	151,7732321		
			Mediana	85,0622000		
			Varianza	32882,250		
			Desv. típ.	181,33463629		
			Mínimo	5,42037		
			Máximo	753,98223		
			Rango	748,56186		
			Amplitud intercuartil	250,60778		
			Asimetría	1,446	,287	
			Curtosis	1,536	,566	
			Media	142,3905790	22,92160778	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	96,6632227		
			Límite superior	188,1179353		
			Media recortada al 5%	120,9584503		
			Mediana	32,3486300		
			Varianza	36778,007		
			Desv. típ.	191,77592974		
			Mínimo	1,85353		
			Máximo	753,98223		
			Rango	752,12870		
			Amplitud intercuartil	230,27252		
			Asimetría	1,529	,287	
			Curtosis	1,682	,566	
			Media	227,3309339	26,76152100	
		Centro Sismológico	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	173,9431602	
			Límite superior	280,7187075		
			Media recortada al 5%	211,3273916		
			Mediana	115,4095450		
			Varianza	50132,530		
			Desv. típ.	223,90294873		
			Mínimo	11,44545		
			Máximo	753,98223		
			Rango	742,53678		
			Amplitud intercuartil	306,24207		
			Asimetría	1,022	,287	
			Curtosis	-,167	,566	
	Barrios Altos		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	173,9431602	
				Límite superior	280,7187075	
			Media recortada al 5%	211,3273916		
			Mediana	115,4095450		
			Varianza	50132,530		
			Desv. típ.	223,90294873		
			Mínimo	11,44545		
			Máximo	753,98223		
			Rango	742,53678		
			Amplitud intercuartil	306,24207		
			Asimetría	1,022	,287	
			Curtosis	-,167	,566	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 130 : Descriptivos - Longitud / Zonda de Estudio – Respuesta Sísmica

		Descriptivos		Estadístico	Error tít.
		Zona_Estudio			
		Media		16,2626744	1,68731775
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	12,8965676 19,6287812	
		Media recortada al 5%		14,7066385	
	Cruz del Siglo II	Mediana		8,3566300	
		Varianza		199,293	
		Desv. tít.		14,11711316	
		Mínimo		4,90088	
		Máximo		62,83185	
		Rango		57,93097	
		Amplitud intercuartil		19,25797	
		Asimetría		1,530	,287
		Curtosis		1,773	,566
		Media		14,7708651	1,73717600
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	11,3052938 18,2364364	
		Media recortada al 5%		13,1069179	
	Centro Sismológico	Mediana		7,3827350	
		Varianza		211,245	
		Desv. tít.		14,53425721	
		Mínimo		3,70707	
		Máximo		62,83185	
		Rango		59,12478	
		Amplitud intercuartil		16,60332	
		Asimetría		1,648	,287
		Curtosis		2,155	,566
		Media		20,8206754	2,08054462
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	16,6701025 24,9712484	
		Media recortada al 5%		19,4314929	
	Barrios Altos	Mediana		11,2783100	
		Varianza		303,007	
		Desv. tít.		17,40708521	
		Mínimo		5,52920	
		Máximo		62,83185	
		Rango		57,30265	
		Amplitud intercuartil		23,16924	
		Asimetría		1,109	,287
		Curtosis		,002	,566

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 131 : Descriptivos - Velocidad Promedio / Zonda de Estudio – Respuesta Sísmica

		Descriptivos		Estadístico	Error típ.
Velocidad_Promedio	Cruz del Siglo II	Zona_Estudio	Media	170,2167500	21,67363452
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	126,9790322	
			Límite superior	213,4544678	
			Media recortada al 5%	151,7732321	
			Mediana	85,0622000	
			Varianza	32882,250	
			Desv. típ.	181,33463629	
			Mínimo	5,42037	
			Máximo	753,98223	
			Rango	748,56186	
			Amplitud intercuartil	250,60778	
			Asimetría	1,446	,287
			Curtosis	1,536	,566
			Media	142,3905790	22,92160778
			Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	96,6632227
			Límite superior	188,1179353	
		Media recortada al 5%	120,9584503		
		Mediana	32,3486300		
		Varianza	36778,007		
		Desv. típ.	191,77592974		
		Mínimo	1,85353		
		Máximo	753,98223		
		Rango	752,12870		
		Amplitud intercuartil	230,27252		
		Asimetría	1,529	,287	
		Curtosis	1,682	,566	
		Media	227,3309339	26,76152100	
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	173,9431602	
			Límite superior	280,7187075	
		Media recortada al 5%	211,3273916		
	Mediana	115,4095450			
	Varianza	50132,530			
	Desv. típ.	223,90294873			
	Mínimo	11,44545			
	Máximo	753,98223			
	Rango	742,53678			
	Amplitud intercuartil	306,24207			
	Asimetría	1,022	,287		
	Curtosis	-,167	,566		

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

4.2.1.1.5. Prueba Estadística

El procesamiento de los datos se realizó en el software de estadística IBM SPSS, que es un programa utilizado con bastante énfasis en el ámbito de la investigación, ya que, permite la obtención de los caracteres para la selección de la prueba estadística y el desarrollo de la prueba estadística que se seleccionara en base a los parámetros establecidos.

Después de realizar los procedimientos adecuados para obtener los datos o valores necesarios para determinar que prueba estadística se debería utilizar en este planteamiento hipotético. Se procedió con la evaluación en la tabla de pruebas estadísticas, para definir la que se utilizara en esta hipótesis planteada.

En base a lo mencionado y a los datos obtenidos para este planteamiento hipotético, se determinó que la prueba estadística será la H Kruskal – Wallis.

4.2.1.2. H Kruskal – Wallis

Para lograr determinar el porcentaje de confiabilidad para utilizar en la siguiente investigación, se utilizará el IBM SPSS software con el que se encontrará el valor de alfa α .

Con los datos determinados anteriormente se procede a aplicar la prueba estadística, para corroborar el nivel de significancia de la hipótesis planteada y comparar con el nivel de alfa.

Cabe mencionar, que las hipótesis planteadas determinan si existe o no existe una diferencia significativa.

✓ $H_1 = \textit{Existe}$ una diferencia significativa

✓ $H_0 = \textit{No Existe}$ una diferencia significativa

Tabla 132 : H Kruskal – Wallis – Estadísticos / Amplitud - Zonda de Estudio

		Estadísticos descriptivos							
		N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
							25	50 (Mediana)	75
Amplitud	2								
	1	2,7509	2,47702	,590	10,00	,9600	1,3350	4,3600	
	0	524	574	00	000	000	000	000	
Zona_Estudio	2								
	1	2,00	,818	1	3	1,00	2,00	3,00	
	0								

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 133 : H Kruskal – Wallis – Rangos / Amplitud - Zonda de Estudio

		Rangos	
	Zona_Estudio	N	Rango promedio
Amplitud	Cruz del Siglo II	70	104,90
	Centro Sismológico	70	87,14
	Barrios Altos	70	124,46
	Total	210	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 134 : H Kruskal – Wallis – Contraste / Amplitud - Zonda de Estudio

Estadísticos de contraste^{a,b}	
	Amplitud
Chi-cuadrado	13,210
gl	2
Sig. asintót.	,001

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zona_Estudio

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 135 : H Kruskal – Wallis – Estadísticos / Frecuencia - Zonda de Estudio

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	25	Percentiles 50 (Mediana)	75
Frecuencia	210	7,9027333	4,12008772	,50000	12,00000	4,0625000	10,1675000	11,4525000
Zona_Estudio	210	2,00	,818	1	3	1,00	2,00	3,00

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 136 : H Kruskal – Wallis – Rangos / Frecuencia - Zonda de Estudio

Rangos			
	Zona_Estudio	N	Rango promedio
Frecuencia	Cruz del Siglo II	70	108,49
	Centro Sismológico	70	85,01
	Barrios Altos	70	123,00
	Total	210	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 137 : H Kruskal – Wallis – Contraste / Frecuencia - Zonda de Estudio

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
	Frecuencia
Chi-cuadrado	13,978
gl	2
Sig. asintót.	,001

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zona_Estudio

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 138 : H Kruskal – Wallis – Estadísticos / Periodo - Zonda de Estudio

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles 25	50 (Media na)	75
Periodo	210	,2916585	,42008611	,08333	2,00000	,0873125	,0983500	,2461500
Zona_Estudio	210	2,00	,818	1	3	1,00	2,00	3,00

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 139 : H Kruskal – Wallis – Rangos / Periodo - Zonda de Estudio

Rangos			
	Zona_Estudio	N	Rango promedio
Periodo	Cruz del Siglo II	70	102,51
	Centro Sismológico	70	125,99
	Barrios Altos	70	88,00
	Total	210	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 140 : H Kruskal – Wallis – Contraste / Periodo - Zonda de Estudio

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
	Periodo
Chi-cuadrado	13,978
gl	2
Sig. asintót.	,001

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zona_Estudio

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 141 : H Kruskal – Wallis – Estadísticos / Velocidad Angular - Zonda de Estudio

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50 (Mediana)	75
Velocidad_Angular	2	49,654	25,887	3,14	75,3	25,525	63,884	71,958
	1	3335	27468	159	9822	4325	2800	1775
Zona_Estudio	2							
	1	2,00	,818	1	3	1,00	2,00	3,00
	0							

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 142 : H Kruskal – Wallis – Rangos / Velocidad Angular - Zonda de Estudio

Rangos			
	Zona_Estudio	N	Rango promedio
Velocidad_Angular	Cruz del Siglo II	70	108,49
	Centro Sismológico	70	85,01
	Barrios Altos	70	123,00
	Total	210	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 143 : H Kruskal – Wallis – Contraste / Velocidad Angular - Zonda de Estudio

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
Velocidad_Angular	
Chi-cuadrado	13,978
gl	2
Sig. asintót.	,001

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zona_Estudio

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 144 : H Kruskal – Wallis – Estadísticos / Velocidad Máxima - Zonda de Estudio

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50 (Media na)	75
Velocidad_Maxima	2	179,97	202,002	1,85	753,9	24,751	87,755	313,25
	10	94210	29913	353	8223	2225	8950	82550
Zona_Estudio	2	2,00	,818	1	3	1,00	2,00	3,00
	10							

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 145 : H Kruskal – Wallis – Rangos / Velocidad Máxima - Zonda de Estudio

Rangos			
	Zona_Estudio	N	Rango promedio
Velocidad_Maxima	Cruz del Siglo II	70	108,54
	Centro Sismológico	70	84,83
	Barrios Altos	70	123,14
	Total	210	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 146 : H Kruskal – Wallis – Contraste / Velocidad Máxima - Zonda de Estudio

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
Velocidad_Maxima	
Chi-cuadrado	14,172
gl	2
Sig. asintót.	,001

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zona_Estudio

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 147 : H Kruskal – Wallis – Estadísticos / Longitud - Zonda de Estudio

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50 (Mediana)	75
Longitud	2	17,2847383	15,56361184	3,70707	62,83185	6,0318500	8,3880450	27,3946800
	1							
	0							
Zona_Estudio	2	2,00	,818	1	3	1,00	2,00	3,00
	1							
	0							

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 148 : H Kruskal – Wallis – Rangos / Longitud - Zonda de Estudio

Rangos			
	Zona_Estudio	N	Rango promedio
Longitud	Cruz del Siglo II	70	104,90
	Centro Sismológico	70	87,14
	Barrios Altos	70	124,46
	Total	210	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 149 : H Kruskal – Wallis – Contraste / Longitud - Zonda de Estudio

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
	Longitud
Chi-cuadrado	13,210
gl	2
Sig. asintót.	,001

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zona_Estudio

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 150 : H Kruskal – Wallis – Estadísticos / Velocidad Promedio - Zonda de Estudio

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50 (Mediana)	75
Velocidad_Promedio	210	179,97	202,002	1,85	753,9	24,75	87,75	313,25
Zona_Estudio	210	2,00	,818	1	3	1,00	2,00	3,00

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 151 : H Kruskal – Wallis – Rangos / Velocidad Promedio - Zonda de Estudio

Rangos			
	Zona_Estudio	N	Rango promedio
Velocidad_Promedio	Cruz del Siglo II	70	108,54
	Centro Sismológico	70	84,83
	Barrios Altos	70	123,14
	Total	210	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 152 : H Kruskal – Wallis – Contraste / Velocidad Promedio - Zonda de Estudio

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
Velocidad_Promedio	
Chi-cuadrado	14,172
gl	2
Sig. asintót.	,001

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Zona_Estudio

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 153 : P_valor significancia – H1

Evaluación del P_valor vs α		
$P_valor = 0.00$	<	$\alpha = 0.10$

Conclusión:

Existe una diferencia significativa.

El criterio para decidir es:

Si la probabilidad obtenida $P_valor \leq \alpha$, rechace H_0 (Se acepta H_1)

Si la probabilidad obtenida $P_valor > \alpha$, no rechace H_0 (Se acepta H_0)

Fuente: Elaboración propia (2020)

Hipótesis General.

El aumento del grado de energía de las ondas sísmicas es desfavorable para la cimentación de una edificación de la ciudad de Moquegua.

4.2.2. Hipótesis Específica b)

Las características que presentan los estratos de los terrenos, es directamente proporcional al incremento de las características de la respuesta sísmica de los suelos en las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua.

4.2.2.1. Selección de la Prueba Estadística

Se debe tener en cuenta que para la estadística existen diferentes pruebas que están en base a las características que definen a la variable o a los datos de estudio, los cuales serán definidos por el investigador en asesoría con los profesionales capacitados, del área de la obtención del grado académico con conocimientos técnicos en la metodología, desarrollo y ejecución en el ámbito de la investigación.

Para determinar la prueba estadística que se utilizara se debe tener los valores necesarios y realizar una serie de procedimientos, con los cuales se obtendrán las características necesarias para la selección de la prueba estadística adecuada.

- ✓ Matriz de datos
- ✓ Alfa de Cronbach
- ✓ Normalidad
- ✓ Descriptivos

Una vez obtenido los datos mencionados se procederá a seleccionar una de las pruebas estadísticas que se mencionan a continuación.

Tabla 154 : Pruebas Estadísticas - Selección

	Pruebas No Paramétricas			Pruebas Paramétricas	
	Variable Aleatoria	Nominal Dicotómica	Nominal Polinómica	Ordinal	Numérica
Variable Fija					
	Un grupo	χ^2 Bondad de Ajuste Binomial	χ^2 Bondad de Ajuste	χ^2 Bondad de Ajuste	T de Student (una muestra)
Estudio Transversal Muestras Independientes	Dos grupos	χ^2 Bondad Correccion de Yates Test exacto Fisher	χ^2 de Homogeneidad	U Mann – Whitney	T de Student (muestras Independientes)
	Más de dos grupos	χ^2 Bondad de Ajuste	χ^2 Bondad de Ajuste	H Kruskal – Wallis	Anova de un factor Intersujetos
Estudio Longitudinal	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student (muestras Relacionadas)
Muestras Relacionadas	Más de dos medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	Anova para medidas repetidas Intrasujetos

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.2.2.1.1. Matriz de Datos

Después de obtener los efectos en los diferentes modelos planteados se procede a realizar la matriz de datos con la estructura adecuada para la utilización de un programa estadístico que nos permita determinar los valores necesarios para respaldar la presente investigación mediante las hipótesis planteadas o en su defecto rechazar la posibilidad de ocurrencia de lo estipulado.

Tabla 155 : Matriz de datos – Análisis Estadístico

MATRIZ DE DATOS PARA ANALISIS ESTADISTICO			
Propiedad	C - 01	C - 02	C - 03
Suelo	Geotecnia	Geotecnia	Geotecnia
ρ	1,91177	1,99143	1,94469
H	1,34065	0,82144	1,03162
G	33,59436	44,02002	37,38978
Φ G	0,78105	1,42441	1,02510
A	81,71	77,56	81,05
F	0,85668	1,01856	1,72732
γA	2,60961	2,48000	2,44471
γG	2,58748	1,86489	2,55931
LL	29,38424	28,48468	27,82860
LP	5,98517	18,44282	17,29918
IP	23,39907	10,04185	10,52942
\emptyset	26,42857	27,42857	27,42857
c'	100,52631	104,73684	102,10526
qd	1,64285	1,85714	1,81428

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.2.2.1.2. Alfa de Cronbach

Para lograr determinar el porcentaje de confiabilidad para utilizar en la siguiente investigación, se utilizará el IBM SPSS software con el que se encontrará el valor del alfa de Cronbach (α).

Tabla 156 : Fiabilidad – Geotecnia / Zonda de Estudio

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,996	3

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Para calcular el alfa de los datos evaluados se determinará mediante el criterio del investigador, obteniendo mediante el programa un porcentaje de nivel de confianza del 95% ($f = 0.95$) y un alfa de cronboach del 5% ($\alpha = 0.05$).

4.2.2.1.3. Normalidad

El argumento de la normalidad nos definirá si la prueba que se desea aplicar es de orden paramétrico o no paramétrico, para lo cual se procederá a evaluar los datos de estudio de la presente investigación.

- ✓ $P - \text{valor} \geq \alpha$ Aceptar $H_0 \equiv$ Los datos provienen de una distribución normal.
- ✓ $P - \text{valor} < \alpha$ Aceptar $H_1 \equiv$ Los datos no provienen de una distribución normal.

Tabla 157 : Normalidad – Geotecnia / Zonda de Estudio

Zona_Estudio		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Geotecnia_ZE	Cruz del Siglo II	,268	14	,007	,715	14	,001
	Centro	,246	14	,022	,736	14	,001
	Sismológico	,249	14	,018	,720	14	,001

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Al determinar que los datos evaluados tienen un orden normal se define que la prueba a utilizar será paramétrica.

4.2.2.1.4. Descriptivos

Al aplicar la prueba de normalidad obtendremos los valores descriptivos que nos servirán para realizar un análisis de las zonas de estudio con referente a los tres (03) grupos o efectos considerados como son:

- ✓ Reacciones
- ✓ Respuesta Sísmica
- ✓ Propiedades Físico – Mecánicas

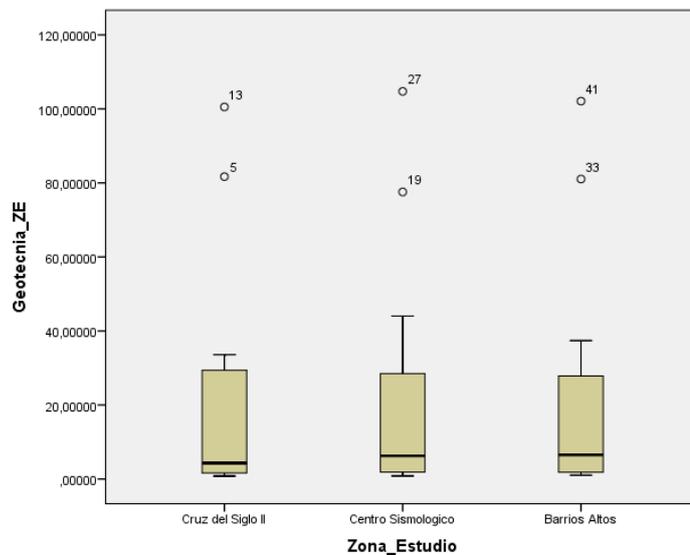


Figura 120 : Geotecnia Normalidad Z. E.

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 158 : Descriptivos / Zonda de Estudio – Propiedades Físico - Mecánicas

		Descriptivos		Estadístico	Error típ.
Zona_Estudio					
		Media		22,3398436	8,48137112
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	4,0169552 40,6627319	
		Media recortada al 5%		19,1938617	
		Mediana		4,2973900	
		Varianza		1007,071	
		Desv. típ.		31,73438490	
		Mínimo		,78105	
		Máximo		100,52631	
		Rango		99,74526	
		Amplitud intercuartil		28,86947	
		Asimetría		1,749	,597
		Curtosis		2,334	1,154
		Media		23,0123321	8,62358169
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	4,3822165 41,6424477	
		Media recortada al 5%		19,7049090	
		Mediana		6,2609250	
		Varianza		1041,126	
		Desv. típ.		32,26648814	
		Mínimo		,82144	
		Máximo		104,73684	
		Rango		103,91540	
		Amplitud intercuartil		30,61956	
		Asimetría		1,728	,597
		Curtosis		2,386	1,154
		Media		22,5841314	8,52068167
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	4,1763178 40,9919450	
		Media recortada al 5%		19,3640149	
		Mediana		6,5443650	
		Varianza		1016,428	
		Desv. típ.		31,88147150	
		Mínimo		1,02510	
		Máximo		102,10526	
		Rango		101,08016	
		Amplitud intercuartil		28,42636	
		Asimetría		1,776	,597
		Curtosis		2,444	1,154

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

4.2.2.1.5. Prueba Estadística

El procesamiento de los datos se realizó en el software de estadística IBM SPSS, que es un programa utilizado con bastante énfasis en el ámbito de la investigación, ya que, permite la obtención de los caracteres para la selección de la prueba estadística y el desarrollo de la prueba estadística que se seleccionara en base a los parámetros establecidos.

Después de realizar los procedimientos adecuados para obtener los datos o valores necesarios para determinar que prueba estadística se debería utilizar en este planteamiento hipotético. Se procedió con la evaluación en la tabla de pruebas estadísticas, para definir la que se utilizara en esta hipótesis planteada.

En base a lo mencionado y a los datos obtenidos para este planteamiento hipotético, se determinó que la prueba estadística será la de Anova de un factor.

4.2.2.2. Anova de un factor

Para lograr determinar el porcentaje de confiabilidad para utilizar en la siguiente investigación, se utilizará el IBM SPSS software con el que se encontrará el valor de alfa α .

Con los datos determinados anteriormente se procede a aplicar la prueba estadística, para corroborar el nivel de significancia de la hipótesis planteada y comparar con el nivel de alfa.

Cabe mencionar, que las hipótesis planteadas determinan si existe o no existe una diferencia significativa.

✓ $H_1 = \textit{Existe}$ una diferencia significativa

✓ $H_0 = \textit{No Existe}$ una diferencia significativa

Tabla 159 : Anova de un factor – Descriptivos / Geotecnia - Zonda de Estudio

		Descriptivos							
		Geotecnia_ZE							
		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Cruz del Siglo II	1	22,339	31,7343	8,4813	4,0169	40,662	,781	100,52	
	4	8436	8490	7112	552	7319	05	631	
Centro Sismológico	1	23,012	32,2664	8,6235	4,3822	41,642	,821	104,73	
	4	3321	8814	8169	165	4477	44	684	
Barrios Altos	1	22,584	31,8814	8,5206	4,1763	40,991	1,02	102,10	
	4	1314	7150	8167	178	9450	510	526	
Total	4	22,645	31,1735	4,8101	12,931	32,359	,781	104,73	
	2	4357	4189	8194	0762	7952	05	684	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 160 : Prueba de homogeneidad de Varianzas / Geotecnia - Zonda de Estudio

Prueba de homogeneidad de varianzas				
Geotecnia_ZE				
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.	
	,007	2	39	,993

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 161 : Anova de un factor / Geotecnia - Zonda de Estudio

ANOVA de un factor					
Geotecnia_ZE					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	3,245	2	1,622	,002	,998
Intra-grupos	39840,134	39	1021,542		
Total	39843,378	41			

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 162 : Prueba post hoc – Comparaciones múltiples / Geotecnia - Zonda de Estudio

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: Geotecnia_ZE						
HSD de Tukey						
(I) Zona_Estudio	(J) Zona_Estudio	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 99,6%	
					Límite inferior	Límite superior
Cruz del Siglo II	Centro Sismológico	,67248857	12,08033756	,998	42,1343835	40,7894063
	Barrios Altos	,24428786	12,08033756	1,000	41,7061828	41,2176071
Centro Sismológico	Cruz del Siglo II	,67248857	12,08033756	,998	40,7894063	42,1343835
	Barrios Altos	,42820071	12,08033756	,999	41,0336942	41,8900956
Barrios Altos	Cruz del Siglo II	,24428786	12,08033756	1,000	41,2176071	41,7061828
	Centro Sismológico	,42820071	12,08033756	,999	41,8900956	41,0336942

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 163 : Anova de un factor – Subconjuntos homogéneos / Geotecnia - Zonda de Estudio

Geotecnia_ZE		
HSD de Tukey		
Zona_Estudio	N	Subconjunto para alfa = 0.004
		1
Cruz del Siglo II	14	22,3398436
Barrios Altos	14	22,5841314
Centro Sismológico	14	23,0123321
Sig.		,998

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 14,000.

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 164 : P_valor significancia – H2

Evaluación del P_valor vs α		
$P_valor = 0.998$	>	$\alpha = 0.05$

Conclusión:

No Existe una diferencia significativa.

El criterio para decidir es:

Si la probabilidad obtenida $P_valor \leq \alpha$, rechace H_0 (Se acepta H_1)

Si la probabilidad obtenida $P_valor > \alpha$, no rechace H_0 (Se acepta H_0)

Fuente: Elaboración propia (2020)

Hipótesis General.

El aumento del grado de energía de las ondas sísmicas es desfavorable para la cimentación de una edificación de la ciudad de Moquegua.

4.2.3. Hipótesis Específica c)

El modelo de D.D. Barkan – O.A. Savinov presenta un parámetro superior de fuerzas y momentos, a el modelo teórico de apoyo empotrado, que simulan una cimentación aplicada en los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua.

4.2.3.1. Selección de la Prueba Estadística

Se debe tener en cuenta que para la estadística existen diferentes pruebas que están en base a las características que definen a la variable o a los datos de estudio, los cuales serán definidos por el investigador en asesoría con los profesionales capacitados, del área de la obtención del grado académico con conocimientos técnicos en la metodología, desarrollo y ejecución en el ámbito de la investigación.

Para determinar la prueba estadística que se utilizara se debe tener los valores necesarios y realizar una serie de procedimientos, con los cuales se obtendrán las características necesarias para la selección de la prueba estadística adecuada.

- ✓ Matriz de datos
- ✓ Alfa de Cronbach
- ✓ Normalidad
- ✓ Descriptivos

Una vez obtenido los datos mencionados se procederá a seleccionar una de las pruebas estadísticas que se mencionan a continuación.

Tabla 165 : Pruebas Estadísticas - Selección

		<i>Pruebas No Paramétricas</i>			<i>Pruebas Paramétricas</i>
<i>Variable Aleatoria</i>		<i>Nominal</i>	<i>Nominal</i>	<i>Ordinal</i>	<i>Numérica</i>
		<i>Dicotómica</i>	<i>Polinómica</i>		
<i>Variable Fija</i>					
	<i>Un grupo</i>	χ^2 <i>Bondad de Ajuste Binomial</i>	χ^2 <i>Bondad de Ajuste</i>	χ^2 <i>Bondad de Ajuste</i>	<i>T de Student (una muestra)</i>
<i>Estudio Transversal</i>	<i>Dos grupos</i>	χ^2 <i>Bondad Correccion de Yates</i> <i>Test exacto Fisher</i>	χ^2 <i>de Homogeneidad</i>	<i>U Mann – Whitney</i>	<i>T de Student (muestras Independientes)</i>
	<i>Más de dos grupos</i>	χ^2 <i>Bondad de Ajuste</i>	χ^2 <i>Bondad de Ajuste</i>	<i>H Kruskal – Wallis</i>	<i>Anova con un factor Intersujetos</i>
<i>Estudio Longitudinal</i>	<i>Dos medidas</i>	<i>Mc Nemar</i>	<i>Q de Cochran</i>	<i>Wilcoxon</i>	<i>T de Student (muestras Relacionadas)</i>
<i>Muestras Relacionadas</i>	<i>Más de dos medidas</i>	<i>Q de Cochran</i>	<i>Q de Cochran</i>	<i>Friedman</i>	<i>Anova para medidas repetidas Intrasujetos</i>

Fuente: *Elaboración propia (2020)*

4.2.3.1.1. Matriz de Datos

Después de obtener los efectos en los diferentes modelos planteados se procede a realizar la matriz de datos con la estructura adecuada para la utilización de un programa estadístico que nos permita determinar los valores necesarios para respaldar la presente investigación mediante las hipótesis planteadas o en su defecto rechazar la posibilidad de ocurrencia de lo estipulado.

Tabla 166 : Matriz de datos – Análisis Estadístico_H3 / Parte 1

MATRIZ DE DATOS PARA ANALISIS ESTADISTICO - VALOR MAXIMO						
N°	Reacciones	Zapata	Proceso A Empotrado AE	Proceso B Dinámica C - 01	Proceso B Dinámica C - 02	Proceso B Dinámica C - 03
1	F1	A - 1	3.23E-11	0.0011	0.0012	0.0012
2	F1	A - 2	1.475E-11	0.0008555	0.0009623	0.0009623
3	F1	A - 3	7.307E-12	0.000732	0.0008291	0.0008291
4	F1	A - 4	4.696E-13	0.0005969	0.0006714	0.0006714
5	F1	A - 5	1.327E-11	0.0002499	0.0002606	0.0002606
6	F1	B - 1	3.23E-11	0.0009254	0.0011	0.0011
7	F1	B - 3	7.307E-12	0.00055	0.0006233	0.0006233
8	F1	B - 4	4.696E-13	0.0003979	0.0004482	0.0004482
9	F1	B - 5	6.195E-11	0.0009072	0.001	0.001
10	F1	C - 1	3.23E-11	0.0007759	0.0008837	0.0008837
11	F1	C - 3	7.307E-12	0.000352	0.0004013	0.0004013
12	F1	C - 4	4.696E-13	0.0001813	0.0002075	0.0002075
13	F1	C - 5	6.195E-11	0.0018	0.0019	0.0019
14	F1	D - 1	3.23E-11	0.0012	0.0014	0.0014
15	F1	D' - 1	3.23E-11	0.0012	0.0014	0.0014
16	F1	D - 3	7.307E-12	0.0001365	0.000147	0.000147
17	F1	D - 4	4.696E-13	0.00005132	0.00004981	0.00004981
18	F1	E - 1	3.23E-11	0.0004093	0.0004797	0.0004797
19	F1	E - 3	7.307E-12	0.00009943	0.0001001	0.0001001
20	F1	E - 4	4.696E-13	0.0002606	0.0002772	0.0002772
21	F2	A - 1	7.121E-11	0.0002026	0.0001844	0.0001851
22	F2	A - 2	7.121E-11	0.0001849	0.0001704	0.0001704
23	F2	A - 3	7.121E-11	0.0001755	0.0001634	0.0001631
24	F2	A - 4	7.121E-11	0.0001651	0.0001553	0.0001546
25	F2	A - 5	7.121E-11	0.0001392	0.000135	0.0001332
26	F2	B - 1	5.68E-11	0.0001151	0.00009573	0.00009832
27	F2	B - 3	5.68E-11	0.00008976	0.00007779	0.00007905
28	F2	B - 4	5.68E-11	0.00008	0.00007086	0.00007159
29	F2	B - 5	3.571E-10	0.0013	0.0013	0.0013
30	F2	C - 1	4.238E-11	0.00002946	0.000009469	0.00001382
31	F2	C - 3	4.238E-11	0.000006491	0.00000463	0.000002007
32	F2	C - 4	4.238E-11	0.000002412	0.0000101	0.000008458
33	F2	C - 5	2.665E-10	0.0021	0.0022	0.0022
34	F2	D - 1	2.797E-11	0.00005824	0.00007804	0.00007203
35	F2	D' - 1	2.659E-11	0.00005799	0.00007778	0.00007179
36	F2	D - 3	2.797E-11	0.00007393	0.00008354	0.00007983
37	F2	D - 4	2.797E-11	0.00008207	0.0000872	0.00008436
38	F2	E - 1	1.217E-11	0.0001429	0.0001618	0.0001543
39	F2	E - 3	1.217E-11	0.0001584	0.0001648	0.0001602
40	F2	E - 4	1.217E-11	0.0002192	0.0002252	0.0002223

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 167 : Matriz de datos – Análisis Estadístico_H3 / Parte 2

MATRIZ DE DATOS PARA ANALISIS ESTADISTICO - VALOR MAXIMO						
N°	Reacciones	Zapata	Proceso A Empotrado AE	Proceso B Dinámica C - 01	Proceso B Dinámica C - 02	Proceso B Dinámica C - 03
41	F3	A - 2	22.03040	22.35670	22.35890	22.35590
42	F3	A - 3	20.80730	21.56400	21.59540	21.59050
43	F3	A - 4	19.49670	20.72340	20.76520	20.75830
44	F3	A - 5	16.70090	18.87840	18.92450	18.91390
45	F3	B - 1	39.81870	42.68730	42.79730	42.77130
46	F3	B - 3	19.46930	20.23960	20.26850	20.26480
47	F3	B - 4	18.15880	19.39980	19.43870	19.43290
48	F3	B - 5	36.57850	31.97670	31.84360	31.88130
49	F3	C - 1	46.32830	49.91380	50.08100	50.04280
50	F3	C - 3	18.13140	18.93330	18.95970	18.95700
51	F3	C - 4	16.82080	18.09320	18.12940	18.11020
52	F3	C - 5	33.39290	29.40510	29.30890	29.32320
53	F3	D - 1	52.83800	49.78950	49.33290	49.42190
54	F3	D' - 1	53.46220	63.84200	64.80020	64.61050
55	F3	D - 3	24.49120	22.96260	23.00270	22.99400
56	F3	D - 4	15.48290	16.78810	16.82350	16.82010
57	F3	E - 1	59.97180	63.05690	63.39070	63.32800
58	F3	E - 3	31.62500	29.51220	29.63730	29.61570
59	F3	E - 4	22.57820	20.22660	20.28860	20.26180
60	F3	A - 1	18.42304	19.86940	19.78493	19.80167
61	M1	A - 2	18.42304	18.91871	18.72031	18.75988
62	M1	A - 3	18.42304	18.41645	18.19419	18.24422
63	M1	A - 4	18.42304	17.86150	17.58283	17.64426
64	M1	A - 5	18.42304	16.48405	16.04716	16.13437
65	M1	B - 1	15.89293	17.41945	17.33946	17.35637
66	M1	B - 3	15.89293	15.98876	15.77618	15.82469
67	M1	B - 4	15.89293	15.43933	15.17331	15.23238
68	M1	B - 5	99.95197	64.19425	60.81449	61.56534
69	M1	C - 1	13.36283	15.02472	14.95565	14.97139
70	M1	C - 3	13.36283	13.63171	13.43655	13.48175
71	M1	C - 4	13.36283	13.09361	12.84877	12.87725
72	M1	C - 5	84.04228	52.35966	49.55878	50.08423
73	M1	D - 1	10.83272	12.66455	12.59050	12.60346
74	M1	D' - 1	10.59011	12.48887	12.48246	12.49517
75	M1	D - 3	10.83272	11.35832	11.16498	11.20639
76	M1	D - 4	10.83272	10.81500	10.60101	10.65102
77	M1	E - 1	8.06001	10.21416	10.20890	10.21702
78	M1	E - 3	8.06001	8.96611	8.83591	8.86898
79	M1	E - 4	8.06001	8.47944	8.30962	8.32816
80	M1	A - 1	0.00374	0.01045	0.01072	0.01066

Fuente: Elaboración propia (2020)

Tabla 168 : Matriz de datos – Análisis Estadístico_H3 / Parte 3

MATRIZ DE DATOS PARA ANALISIS ESTADISTICO - VALOR MAXIMO						
N°	Reacciones	Zapata	Proceso A Empotrado AE	Proceso B Dinámica C - 01	Proceso B Dinámica C - 02	Proceso B Dinámica C - 03
81	M2	A - 2	0.00374	0.00995	0.01012	0.01008
82	M2	A - 3	0.00374	0.00967	0.00982	0.00979
83	M2	A - 4	0.00374	0.00936	0.00946	0.00944
84	M2	A - 5	0.00374	0.00857	0.00854	0.00853
85	M2	B - 1	0.00374	0.01017	0.01039	0.01035
86	M2	B - 3	0.00374	0.00929	0.00939	0.00937
87	M2	B - 4	0.00374	0.00895	0.00900	0.00899
88	M2	B - 5	0.01818	0.03653	0.03597	0.03610
89	M2	C - 1	0.00374	0.00986	0.01004	0.01000
90	M2	C - 3	0.00374	0.00889	0.00894	0.00893
91	M2	C - 4	0.00374	0.00850	0.00850	0.00847
92	M2	C - 5	0.01818	0.03397	0.03331	0.03339
93	M2	D - 1	0.00374	0.01753	0.01764	0.01776
94	M2	D' - 1	0.00374	0.01727	0.01749	0.01761
95	M2	D - 3	0.00374	0.00844	0.00841	0.00842
96	M2	D - 4	0.00374	0.00799	0.00794	0.00795
97	M2	E - 1	0.00374	0.00911	0.00921	0.00920
98	M2	E - 3	0.00374	0.00789	0.00784	0.00785
99	M2	E - 4	0.00374	0.00741	0.00731	0.00730
100	M2	A - 1	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
101	M3	A - 2	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
102	M3	A - 3	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
103	M3	A - 4	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
104	M3	A - 5	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
105	M3	B - 1	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
106	M3	B - 3	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
107	M3	B - 4	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
108	M3	B - 5	1.59605	1.76213	1.79100	1.78400
109	M3	C - 1	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
110	M3	C - 3	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
111	M3	C - 4	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
112	M3	C - 5	1.59605	1.76213	1.79100	1.78400
113	M3	D - 1	0.27662	0.31735	0.32353	0.32211
114	M3	D' - 1	0.27662	0.31711	0.32299	0.32185
115	M3	D - 3	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
116	M3	D - 4	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
117	M3	E - 1	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
118	M3	E - 3	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
119	M3	E - 4	0.27662	0.30540	0.31040	0.30919
120	M3	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.2.3.1.2. Alfa de Cronbach

Para lograr determinar el porcentaje de confiabilidad para utilizar en la siguiente investigación, se utilizará el IBM SPSS software con el que se encontrará el valor de alfa α .

Tabla 169 : Fiabilidad - Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C01

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
<u>,978</u>	<u>2</u>

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 170 : Fiabilidad - Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C02

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
<u>,974</u>	<u>2</u>

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 171 : Fiabilidad - Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C03

Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
<u>,975</u>	<u>2</u>

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Para calcular el alfa de los datos evaluados se determinará mediante el criterio del investigador, obteniendo mediante el programa un porcentaje de nivel de confianza del 95% ($f = 0.95$) y un alfa de cronboach del 5% ($\alpha = 0.05$).

4.2.3.1.3. Normalidad

El argumento de la normalidad nos definirá si la prueba que se desea aplicar es de orden paramétrico o no paramétrico, para lo cual se procederá a evaluar los datos de estudio de la presente investigación.

- ✓ $P - valor \geq \alpha$ Aceptar $H_0 \equiv$ Los datos provienen de una distribución normal.
- ✓ $P - valor < \alpha$ Aceptar $H_1 \equiv$ Los datos no provienen de una distribución normal.

Tabla 172 : Normalidad - Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C01

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Modelo_Estructural		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
al		o			o		
AEvsDEC0 1	Apoyo Empotrado	,342	12	,00	,585	12	,00
			0	0		0	0
	Dinámica	,357	12	,00	,630	12	,00
	Estructural		0	0		0	0

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 173 : Normalidad - Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C02

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Modelo_Estructural		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
al		o			o		
AEvsDEC0 2	Apoyo Empotrado	,342	12	,00	,585	12	,00
			0	0		0	0
	Dinámica	,357	12	,00	,633	12	,00
	Estructural		0	0		0	0

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 174 : Normalidad - Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C03

Pruebas de normalidad							
	Modelo_Estructur al	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístic o	gl	Sig.	Estadístic o	gl	Sig.
AEvsDEC0 3	Apoyo Empotrado	,342	12	,00	,585	12	,00
	Dinámica Estructural	,357	12	,00	,632	12	,00
a. Corrección de la significación de Lilliefors							

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Al determinar que los datos evaluados no tienen un orden normal se define que la prueba a utilizar será no paramétrica.

4.2.3.1.4. Descriptivos

Al aplicar la prueba de normalidad obtendremos los valores descriptivos que nos servirán para realizar un análisis de las zonas de estudio con referente a los tres (03) grupos o efectos considerados como son:

- ✓ Reacciones
- ✓ Respuesta Sísmica
- ✓ Propiedades Físico – Mecánicas

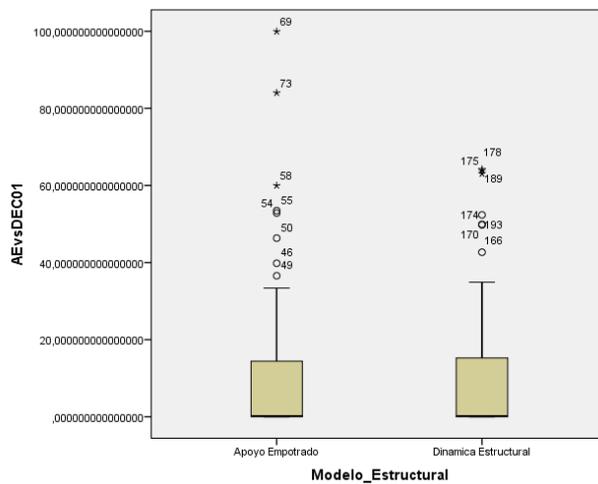


Figura 121 : Normalidad – Reacciones / AEvsDEC1

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

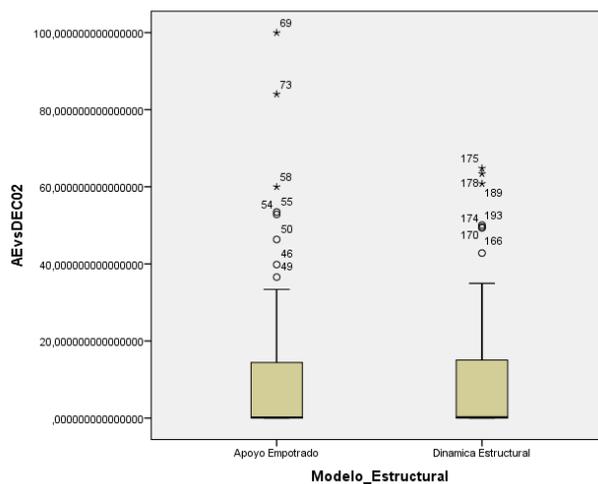


Figura 122 : Normalidad – Reacciones / AEvsDEC2

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

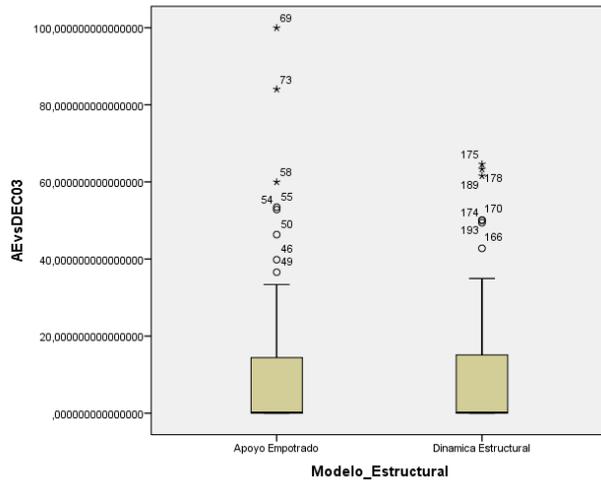


Figura 123 : Normalidad – Reacciones / AEvsDEC3

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

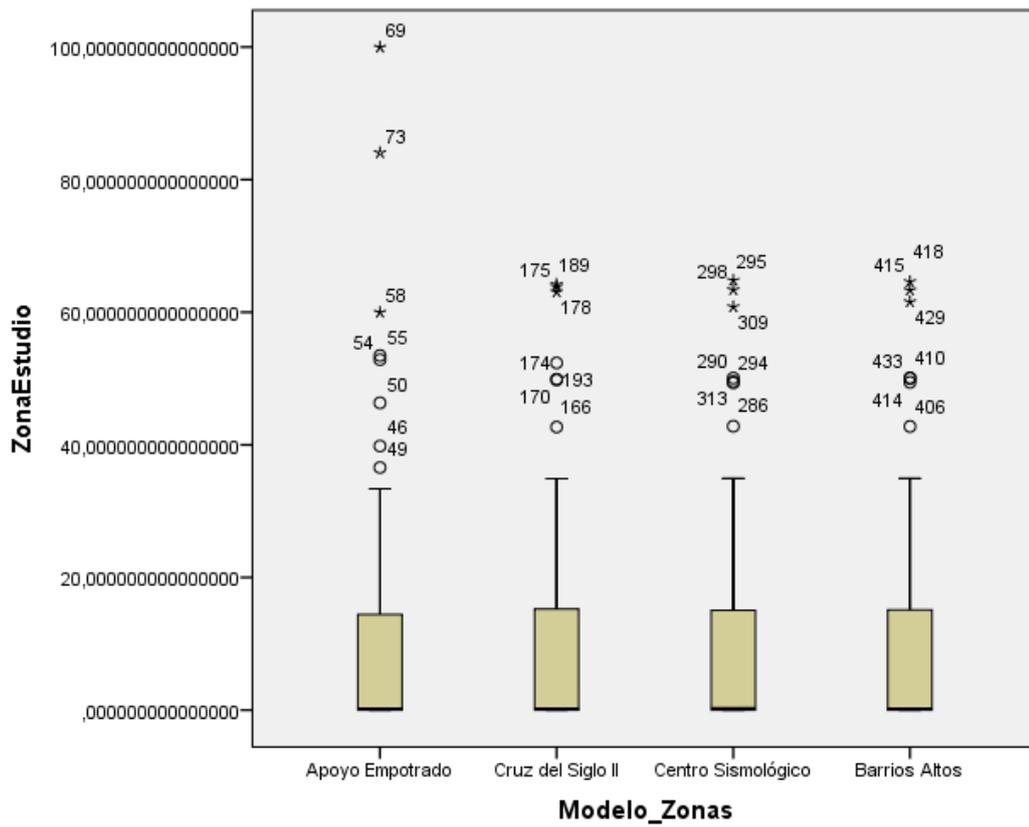


Figura 124 : Normalidad – Reacciones / AEvsDEC3

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 175 : Descriptivos - Reacciones / Apoyo Empotrado vs Crus del Siglo II

		Descriptivos		Estadístico	Error típ.
		Modelo_Estructural			
AEvsDEC01	Apoyo Empotrado	Media		8,674268916681740	1,530930879725598
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	5,642872870873661	
			Límite superior	11,705664962489820	
		Media recortada al 5%		5,965904814831474	
		Mediana		,147400000000000	
		Varianza		281,250	
		Desv. típ.		16,770507536138770	
		Mínimo		4,69E-13	
		Máximo		99,951970000000000	
		Rango		99,951969999999530	
	Dinámica Estructural	Amplitud intercuartil		14,952882499943200	
		Asimetría		2,933	,221
		Curiosis		10,521	,438
		Media		8,318693620025000	1,341778475178880
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	5,661838227091325	
			Límite superior	10,975549012958675	
		Media recortada al 5%		6,065619615648148	
		Mediana		,170965000000000	
		Varianza		216,044	
		Desv. típ.		14,698446760607162	
Mínimo		,000002412000000			
Máximo		64,194250000000000			
Rango		64,194247588000000			
Amplitud intercuartil		15,334934525000000			
Asimetría		2,185	,221		
Curiosis		4,728	,438		

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 176 : Descriptivos - Reacciones / Apoyo Empotrado vs Centro Sismológico

		Descriptivos		Estadístico	Error típ.
		Modelo_Estructural			
AEvsDEC02	Apoyo Empotrado	Media		8,674268916681740	1,530930879725598
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	5,642872870873661	
			Límite superior	11,705664962489820	
		Media recortada al 5%		5,965904814831474	
		Mediana		,147400000000000	
		Varianza		281,250	
		Desv. típ.		16,770507536138770	
		Mínimo		4,69E-13	
		Máximo		99,951970000000000	
		Rango		99,951969999999530	
	Dinámica Estructural	Amplitud intercuartil		14,952882499943200	
		Asimetría		2,933	,221
		Curiosis		10,521	,438
		Media		8,254849555408333	1,328330777645134
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	5,624621946699852	
			Límite superior	10,885077164116813	
		Media recortada al 5%		6,042626425925926	
		Mediana		,173185000000000	
		Varianza		211,736	
		Desv. típ.		14,551134614892380	
Mínimo		,000004630000000			
Máximo		64,800200000000000			
Rango		64,800195370000000			
Amplitud intercuartil		15,118052250000000			
Asimetría		2,170	,221		
Curiosis		4,655	,438		

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 177 : Descriptivos - Reacciones / Apoyo Empotrado vs Barrios Altos

		Descriptivos		Estadístico	Error típ.
AEvsDEC03	Apoyo Empotrado	Modelo_Estructural		8,674268916681740	1,530930879725598
		Media			
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	5,642872870873661	
			Límite superior	11,705664962489820	
		Media recortada al 5%		5,965904814831474	
		Mediana	,147400000000000		
		Varianza	281,250		
		Desv. típ.	16,770507536138770		
		Mínimo	4,69E-13		
		Máximo	99,951970000000000		
		Rango	99,951969999999530		
		Amplitud intercuartil	14,952882499943200		
		Asimetría	2,933	,221	
		Curtois	10,521	,438	
		Media	8,268015463875000	1,331082698882590	
Dinámica Estructural		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	5,632338776264215	
			Límite superior	10,903692151485787	
		Media recortada al 5%		6,047304335092592	
			Mediana	,172645000000000	
			Varianza	212,614	
		Desv. típ.	14,581280401657024		
		Mínimo	,000002007000000		
		Máximo	64,610500000000000		
		Rango	64,610497993000000		
		Amplitud intercuartil	15,166289749999999		
		Asimetría	2,172	,221	
		Curtois	4,667	,438	

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 178 : Descriptivos - Reacciones / Zonas de Estudio

		Descriptivos		Estadístico	Error típ.
ZonaEstudio	Modelo_Zonas				
		Media		8,674268916681740	1,530930879725598
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	5,642872870873661 11,705664962489820	
		Media recortada al 5%		5,965904814831474	
		Mediana		,147400000000000	
	Apoyo Empotrado	Varianza		281,250	
		Desv. típ.		16,770507536138770	
		Mínimo		4,69E-13	
		Máximo		99,951970000000000	
		Rango		99,951969999999530	
		Amplitud intercuartil		14,952882499943200	
		Asimetría		2,933	,221
		Curtosis		10,521	,438
		Media		8,318693620025000	1,341778475178880
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	5,661838227091325 10,975549012958675	
		Media recortada al 5%		6,065619615648148	
		Mediana		,170965000000000	
	Cruz del Siglo II	Varianza		216,044	
		Desv. típ.		14,698446760607162	
		Mínimo		,000002412000000	
		Máximo		64,194250000000000	
		Rango		64,194247588000000	
		Amplitud intercuartil		15,334934525000000	
		Asimetría		2,185	,221
		Curtosis		4,728	,438
		Media		8,254849555408333	1,328330777645134
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	5,624621946699852 10,885077164116813	
		Media recortada al 5%		6,042626425925926	
		Mediana		,173185000000000	
	Centro Sismológico	Varianza		211,736	
		Desv. típ.		14,551134614892380	
		Mínimo		,000004630000000	
		Máximo		64,800200000000000	
		Rango		64,800195370000000	
		Amplitud intercuartil		15,118052250000000	
		Asimetría		2,170	,221
		Curtosis		4,655	,438
		Media		8,268015463875000	1,331082698882590
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior Límite superior	5,632338776264215 10,903692151485787	
		Media recortada al 5%		6,047304335092592	
		Mediana		,172645000000000	
	Barrios Altos	Varianza		212,614	
		Desv. típ.		14,581280401657024	
		Mínimo		,000002007000000	
		Máximo		64,610500000000000	
		Rango		64,610497993000000	
		Amplitud intercuartil		15,166289749999999	
		Asimetría		2,172	,221
		Curtosis		4,667	,438

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

4.2.3.1.5. Prueba Estadística

El procesamiento de los datos se realizó en el software de estadística IBM SPSS, que es un programa utilizado con bastante énfasis en el ámbito de la investigación, ya que, permite la obtención de los caracteres para la selección de la prueba estadística y el desarrollo de la prueba estadística que se seleccionara en base a los parámetros establecidos.

Después de realizar los procedimientos adecuados para obtener los datos o valores necesarios para determinar que prueba estadística se debería utilizar en este planteamiento hipotético. Se procedió con la evaluación en la tabla de pruebas estadísticas, para definir la que se utilizara en esta hipótesis planteada.

En base a lo mencionado y a los datos obtenidos para este planteamiento hipotético, se determinó que la prueba estadística será la de U Mann – Whitney.

4.2.3.2. U Mann – Whitney

Para lograr determinar el porcentaje de confiabilidad para utilizar en la siguiente investigación, se utilizará el IBM SPSS software con el que se encontrará el valor de alfa α .

Con los datos determinados anteriormente se procede a aplicar la prueba estadística, para corroborar el nivel de significancia de la hipótesis planteada y comparar con el nivel de alfa.

Cabe mencionar, que las hipótesis planteadas determinan si existe o no existe una diferencia significativa.

- ✓ $H_1 = \textit{Existe}$ una diferencia significativa
- ✓ $H_0 = \textit{No Existe}$ una diferencia significativa

Tabla 179 : U Mann – Whitney – Estadísticos / Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C01

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	25	50 (Mediana)	75
AEvsD	2	8,49648	15,7365	4,69	99,9519	,00018	,15657	15,3356
EC01	4	126835	3412403	1	7000000	932500	500000	7750000
	0	3370	0866	1	0000	0000	0000	0000
Modelo	2							
_Estructural	4	1,50	,501	1	2	1,00	1,50	2,00
tural	0							

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 180 : U Mann – Whitney – Rangos / Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C01

Rangos				
	Modelo_Estructural	N	Rango promedio	Suma de rangos
	Apoyo Empotrado	120	110,88	13306,00
AEvsDEC01	Dinámica Estructural	120	130,12	15614,00
	Total	240		

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 181 : U Mann – Whitney – Contraste /Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C01

Estadísticos de contraste ^a	
	AEvsDEC01
U de Mann-Whitney	6046,000
W de Wilcoxon	13306,000
Z	-2,147
Sig. asintót. (bilateral)	,032

a. Variable de agrupación: Modelo_Estructural

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 182 : U Mann – Whitney – Estadísticos / Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C02

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	25	50 (Mediana)	75
AEvsD	2	8,46455	15,6686	4,69	99,9519	,00019	,15629	15,1188
EC02	4	923604	1616937	E-	7000000	017500	500000	9500000
	0	5037	2369	1	0000	0000	0000	0000
Modelo	2			3				
_Estructural	4	1,50	,501	1	2	1,00	1,50	2,00
0	0							

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 183 : U Mann – Whitney – Rangos / Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C02

Rangos				
	Modelo_Estructural	N	Rango promedio	Suma de rangos
	Apoyo Empotrado	120	110,90	13308,00
AEvsDEC02	Dinámica Estructural	120	130,10	15612,00
	Total	240		

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 184 : U Mann – Whitney – Contraste / Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C02

Estadísticos de contraste ^a	
	AEvsDEC02
U de Mann-Whitney	6048,000
W de Wilcoxon	13308,000
Z	-2,143
Sig. asintót. (bilateral)	,032

a. Variable de agrupación: Modelo_Estructural

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 185 : U Mann – Whitney – Estadísticos / Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C03

Estadísticos descriptivos								
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo	25	50 (Media na)	75
AEvsD	2	8,47114	15,6824	4,69	99,9519	,00019	,15636	15,1671
EC03	4	219027	7672132	E-	7000000	070000	000000	3250000
	0	8370	6937	1	0000	0000	0000	0000
Modelo	2			3				
_Estruc tural	4	1,50	,501	1	2	1,00	1,50	2,00

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 186 : U Mann – Whitney – Rangos / Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C03

Rangos				
	Modelo_Estructural	N	Rango promedio	Suma de rangos
	Apoyo Empotrado	120	110,91	13309,00
AEvsDEC03	Dinámica Estructural	120	130,09	15611,00
	Total	240		

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 187 : U Mann – Whitney – Contraste / Apoyo Empotrado vs Dinámica Estructural C03

Estadísticos de contraste ^a	
	AEvsDEC03
U de Mann-Whitney	6049,000
W de Wilcoxon	13309,000
Z	-2,142
Sig. asintót. (bilateral)	,032

a. Variable de agrupación: Modelo_Estructural

Fuente: IBM SPSS Statistics V.20 (2020)

Tabla 188 : P_valor significancia – H3

Evaluación del P_valor vs α		
$P_valor = 0.03203$	$<$	$\alpha = 0.05$

Conclusión:

Existe una diferencia significativa.

El criterio para decidir es:

Si la probabilidad obtenida $P_valor \leq \alpha$, rechace H_0 (Se acepta H_1)

Si la probabilidad obtenida $P_valor > \alpha$, no rechace H_0 (Se acepta H_0)

Fuente: Elaboración propia (2020)

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Resultados de la Respuesta Sísmica

En cuanto al análisis del suelo mediante los equipos de medición sísmica, se notaron peculiaridades presentes en sus características de las ondas, con mayor incidencia en la longitud donde se aprecian diferencias sustanciales en los grupos de valores obtenidos de las zonas de estudio de Cruz del Siglo II y Centro Sismológico, los que mantienen una tendencia de sus datos parecida, a diferencia de la zona de Barrios Altos que presenta una dispersión en sus datos.

Referente a los valores conseguidos de las velocidades, existe una desigualdad en los valores de la Media, obtenidos en la Velocidad Promedio y Velocidad Máxima respecto a las zonas de estudio.

Respecto a la dispersión y acumulación de los datos de las diferentes características, se aprecia que la Velocidad Angular y la Frecuencia tienen la mayor dispersión en sus datos.

En cuanto al orden respecto a la escala determinada de la respuesta sísmica, se procedió a analizar la Media (numeral 4.2.4), de las zonas de estudio logrando determinar que la calicata C – 01 presenta un orden “MEDIO”, la calicata C – 02 presenta un orden “BAJO” y la calicata C – 03 presenta un orden “ALTO”. Evaluando la relación respecto a las reacciones producidas en la estructura se asume una tendencia indirectamente proporcional.

Concerniente a la significancia existente en la comparación de los valores entre las zonas de estudio de Cruz del Siglo II, Centro Sismológico y Barrios Altos, se determinó que existe una divergencia, puesto que, en los estadísticos de contraste se obtuvo un $P_valor = 0.00$, que es menor al alfa con un valor $\alpha = 0.15$, lo que

demuestra una apreciación resaltante en su diferencia. Cabe indicar, que los siguientes valores fueron calculados mediante procesos aplicados en el programa IBM SPSS.

Cabe mencionar que, aplicando la medición con el equipo microtremor por un periodo de 30 minutos se obtuvo lecturas procesadas por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), obteniendo como resultado del proceso sismogramas basados en la amplitud (H/V) versus la frecuencia (Hz). Resultados diferentes encontramos en el estudio de Gonzales Rojas F. A. (Chile – 2015), en donde se dispuso 24 geófonos horizontales y una fuente horizontal perpendicular al tendido sísmico, obteniendo sismogramas basados en el tiempo (s) versus la distancia (m). Así mismo, Gonzales Iturriaga D. O. (Chile – 2017), realizando el procesamiento de las señales sísmicas de las estaciones obtuvo sismogramas basados en el desplazamiento (cm) versus el tiempo (s). De igual forma, Pinilla Ramos C. I. (Chile – 2012), aplico el método de medición con SASW en nueve sitios que presentan estaciones de monitoreo sísmico, lo que le permitió obtener sismogramas en base a la velocidad de fase (m/s) versus la longitud de onda (m). De la misma manera, Salas Chávez M. A. (Perú – 2013), mediante la medición sísmica por lapsos de 5 min con el equipo microtremor con sensores y aplicando el método de Nakamura, genero sismogramas en base a la armonía y simetría relativa de la señal del suelo.[27] De igual modo, Castro Ortega D. E. (Perú – 2015), mediante la interpretación de microtrepitaciones a través del análisis de amplitudes espectrales y aplicando el método de Nakamura, obtuvo como resultado sismogramas basados en la amplitud versus el periodo (seg).

4.3.2. Resultados de las Propiedades Físico - Mecánicas

En cuanto al análisis de las propiedades del suelo mediante los ensayos realizados en el laboratorio, se notaron que los resultados de las zonas de estudio de Cruz del Siglo II, Centro Sismológico y Barrios Altos, no presenta una diferencia contundente, lo que haría mención a que son zonas alteradas por una falla sismológica y la distancia entre calicatas aledañas no supera los 300 *ml*, por lo que existe la posibilidad de que sus estratos hayan sido sometidos a los mismos agentes externos en el proceso de su constitución y formación.

Referente al análisis de la Media resultante de cada zona de estudio se puede apreciar que la diferencia no supera el 0.99 valor que es menor a la unidad (01) que para la estadística sería una desigualdad no tan perceptible, pero en cambio para la ingeniería es un valor que enmarca una peculiaridad de cada zona.

En alusión a los ensayos realizados para determinar las características del suelo se aprecia una diferencia significativa en la consistencia que proviene del análisis del Limite Líquido, Limite Plástico e Índice Plasticidad, lo que nos permite visualizar que al someter al suelo a diferentes proporciones de humedad este va presentar un cambio en su consistencia notoria con respecto a los demás.

Respecto a la dispersión y acumulación de los datos de las diferentes características, se aprecia que las zonas de estudio del Centro Sismológico y Barrios Altos tienen una tendencia similar, pero la zona de Cruz del Siglo II presenta una tendencia con una diferencia no tan marcada; cabe indicar, que las tres (03) zonas de estudio en un ámbito general presentan una tendencia parecida.

En cuanto al orden respecto a la escala determinada de las propiedades físico – mecánicas, se procedió a analizar la Media (numeral 4.2.4), de las zonas de

estudio logrando determinar que la calicata C – 01 presenta un orden “BAJO”, la calicata C – 02 presenta un orden “ALTO” y la calicata C – 03 presenta un orden “MEDIO”. Evaluando la relación respecto a la respuesta sísmica del suelo se asume una tendencia indirectamente proporcional.

Concerniente a la significancia existente en la comparación de los valores entre las zonas de estudio de Cruz del Siglo II, Centro Sismológico y Barrios Altos, se determinó que no existe una divergencia, puesto que, en los estadísticos de contraste se obtuvo un $P_valor = 0.998$, que es mayor al alfa con un valor $\alpha = 0.004$, lo que demuestra una apreciación insignificante en su diferencia, pero como ya se mencionó estas características del suelo si son apreciables para la ingeniería.

Cabe mencionar, que mediante la exploración de calicatas de 2.50 m de diámetro y 3.00 m de profundidad, en el que se ejecutó el estudio de mecánica de suelos para realizar la clasificación en base al método SUCS, dando como resultado un suelo con la clasificación de CL – OL. Resultados diferentes encontramos en el estudio de Arredondo García L. M. (Perú – 2016), mediante la exploración de calicatas de dimensiones de 1.5m x 1.5 m de lado y 3.0 m de profundidad, en el que se ejecutó el estudio de mecánica de suelos y de acuerdo a la clasificación de suelos SUCS, se han podido diferenciar hasta 3 tipos de suelos: SM, ML y GP.

4.3.3. Resultados del análisis estructural

Se efectuó la modelación de una estructura de cuatro (04) niveles de uso vivienda, en el que se realizó el análisis de las fuerzas y los momentos en las zapatas aisladas. Resultados diferentes encontramos en el estudio de Calizaya Torres G. N. (Perú – 2017), efectuó la modelación de una estructura de cuatro (04) niveles de uso de

oficinas, en el que realizó el análisis estático, el análisis dinámico y el análisis no lineal estático. De la misma manera, Flores Escobar R. (Perú – 2015), efectuó el modelamiento de una estructura de dos (02) niveles de uso educacional, en el que realizó el análisis de peligro sísmico, el análisis de vulnerabilidad sísmica estructural, el análisis de vulnerabilidad sísmica no estructural y el análisis de riesgo sísmico.

4.3.4. Resultados de la comparación del modelo D.D. Barkan – O.A. Savinov y el modelo teórico de Apoyo Empotrado

En cuanto al análisis de los modelos planteados y mediante la interacción del programa Sap2000, se notaron que los resultados de las zonas de estudio de Cruz del Siglo II, Centro Sismológico y Barrios Altos, no presenta una diferencia contundente, pero con respecto a la relación entre el modelo teórico de apoyo empotrado y el modelo D.D. Barkan – O.A. Savinov, se puede apreciar que la desigualdad es marcada, por ende, es un valor estadísticamente resaltante.

Referente al análisis de la Media resultante de cada zona de estudio se puede apreciar que la diferencia no supera el 0.07 ($0.010 < M_e < 0.065$), valor que es menor a la unidad (01) que para la estadística sería una desigualdad no tan perceptible, pero en cambio para la ingeniería es un valor que se tiene que tener en cuenta al momento de realizar el diseño estructural, también en los cálculos que demandan para realizar una edificación con la seguridad adecuada para resistir las fuerzas externas y el paso del tiempo. En cambio, en el análisis de la Media de la comparación del modelo teórico de apoyo empotrado con el modelo de D.D. Barkan – O.A. Savinov aplicado en cada zona de estudio, se denota un rango en su

divergencia de $0.30 < \Delta < 0.45$, siendo una diferencia resaltante entre los modelos indicados.

Respecto a la dispersión y acumulación de los datos de las zonas de estudio del Centro Sismológico y Barrios Altos tienen una tendencia similar, pero la zona de Cruz del Siglo II presenta una tendencia con una diferencia no tan marcada, cabe indicar, que las tres (03) zonas de estudio en un ámbito general presentan una tendencia parecida.

En alusión a la evaluación de los rangos resultantes de las reacciones obtenidas del modelo D.D. Barkan – O.A. Savinov, en las zonas de estudio, se concluye que el modelo anteriormente mencionado presenta un parámetro superior de efectos de compensación de la estructura a fuerzas externas que el modelo de apoyo empotrado, cabe mencionar, que al presentar esta característica de un rango superior en los valores más críticos (valor máximo resultante), permitirá en la ingeniería realizar cálculos más exactos referentes a la realidad, pero es preciso indicar que se deberá tener en cuenta todas las acciones y variables posibles.

En cuanto al orden respecto a la escala determinada de las reacciones de las zonas de estudio, se procedió a analizar la Media (Anexo 42), de las zonas de estudio logrando determinar que la calicata C – 01 presenta un orden “ALTO”, la calicata C – 02 presenta un orden “BAJO” y la calicata C – 03 presenta un orden “MEDIO”.

Concerniente a la significancia existente en la comparación de los valores entre el modelo teórico de apoyo empotrado con el modelo de D.D. Barkan – O.A. Savinov, se determinó que existe una divergencia, puesto que, en los estadísticos de contraste se obtuvo un rango de $0.03178 < P_valor < 0.03223$, que es menor

al alfa con un valor $\alpha = 0.05$, cabe indicar, que el promedio de los valores $P_valor = 0.03203$, lo que demuestra una apreciación resaltante en su diferencia.

Cabe mencionar, que se realizo cuatro (04) modelaciones de una edificación bajo diferentes condiciones, a partir de una configuración con apoyo empotrado y de interacción suelo estructura (ISE), obteniendo un parámetro superior en los resultados de las fuerzas y momentos de las zapatas aisladas del modelo de ISE. Resultados diferentes encontramos en el estudio de Valderrama Carpio CH. J. & Meza Rodríguez J. A. (Perú – 2014), que realizaron doce (12) modelaciones de una edificación bajo diferentes condiciones, a partir de modelaciones que consideran la Interacción Suelo-Estructura y la base empotrada, obteniendo un aumento del desplazamiento en ambos sentidos (X – Y) de la ISE y los esfuerzos internos disminuyen en el modelo de ISE.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Luego de la ejecución de la presente investigación que contempla la aplicación del estudio geotécnico, sísmico y la comparación de los modelos de cimentación; todo lo mencionado se realizó en base a la bibliografía a la que se hace referencia, considerando como fundamento las pautas indicadas y procedimientos contemplados; después de todo lo mencionado se llega a las siguientes conclusiones referentes a la investigación, las que son:

Primera. En esta tesis se determinó que el análisis del grado de energía de las ondas sísmicas que se transfiere a la cimentación de una edificación de la ciudad de Moquegua, proporciona un parámetro con mayor semejanza a la realidad, porque permite emplear elementos estructurales con un porcentaje mayor de seguridad, ya que, al considerar en el diseño la mayor cantidad de variables de fuerzas externas, disminuirá los efectos en las edificaciones y el rango de la precisión de los resultados.

Segunda. En esta tesis se identificó las características de la respuesta sísmica, en los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua, mediante el ensayo de Refraction Microtremor; evidenciando que los efectos negativos causados en las edificaciones son indirectamente proporcional, a el incremento de las características de la respuesta sísmica; corroborando el suceso tanto en la presentación de datos de la respuesta sísmica, como en la evaluación de la Media en base a los efectos, y determinándose después del procedimiento aplicado en el análisis estadístico (prueba H Kruskal – Wallis) un resultado promedio de $P_valor = 0.00102114$ con un porcentaje de nivel de confianza del 90% ($f = 0.90$) y un alfa de Cronbach del 10% ($\alpha = 0.10$).

Tercera. En esta tesis se analizó las características que presentan los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua, mediante ensayos; certificando que las características que presentan los estratos de los terrenos no son directamente proporcional al incremento de las características de las respuestas sísmicas de los suelos; corroborando el suceso tanto en la presentación de datos de las propiedades físico - mecánicas, como en la evaluación de la Media, y determinándose después del procedimiento aplicado en el análisis estadístico (prueba Anova de un factor) un resultado de $P_valor = 0.998293$ con un porcentaje de nivel de confianza del 95% ($f = 0.95$) y un alfa de Cronbach del 5% ($\alpha = 0.05$).

Cuarta. En esta tesis se analizó las fuerzas y momentos del modelo de interacción suelo estructura de D.D. Barkan – O.A. Savinov, en los suelos de las zonas de expansión urbana de la ciudad de Moquegua, mediante el programa Sap2000; aseverando que el modelo de D.D. Barkan – O.A. Savinov presenta un parámetro superior que el modelo teórico de apoyo empotrado; corroborando el suceso en la presentación de resultados de las características de la respuesta sísmica, en las propiedades físico – mecánicas del suelo, en las reacciones de la estructura de fundación (zapatas) y en la evaluación de la Media. Garantizando lo mencionado en el procedimiento aplicado en el análisis estadístico (prueba U Mann – Whitney) con un porcentaje de nivel de confianza del 95% ($f = 0.95$) y un alfa de Cronbach del 5% ($\alpha = 0.05$), encontrándose los siguientes resultados para la variable P_valor , en la zona de Cruz del Siglo II el resultado de $P_valor = 0.031779$, en la zona de Centro Sismológico el resultado de $P_valor = 0.032077$ y en la zona de Barrios Altos el resultado de $P_valor = 0.032226$; datos que ratifican el comportamiento mencionado.

5.2. Recomendaciones

Después de todo el proceso que incluye la investigación que fue verificada mediante los diferentes cálculos estructurales, estadísticos y analíticos, se procede a dar las pautas que servirán como base o como recomendación para futuros proyectos de investigación; las que son:

Primera. Se sugiere a los investigadores que traten temas similares con la interacción de diferentes ramas de la ingeniería, lo que permite que se logre una apreciación diferente del análisis de cada unidad de forma individual, por ende, se debería tratar de involucrar argumentos de la investigación que fortalezcan el contenido presentando, no limitando la interacción de otras materias, si el fin es obtener respuestas que nos acerquen cada vez más a la realidad.

Segunda. En la interacción de temas se debe contemplar, bien enmarcado la materia principal que unirá a las demás, ya que, la individualidad de ramas de investigación nos da una cantidad de variables que a veces es difícil de analizar en su totalidad, en vista de esto el aumentar los argumentos de base, aumentará la variabilidad, la cual deberá ser filtrada en base al contenido principal.

Tercera. Se debe contemplar que, al momento de realizar un estudio de respuesta sísmica, se pretenda ejecutar en zonas donde sea posible minimizar el efecto de las vibraciones por agentes externos, para obtener una base de datos con menor porcentaje de error, de modo que al efectuar el análisis de la información se alcancen resultados más precisos.

Cuarta. Es posible que la cantidad de veces que se realice el ensayo de respuesta sísmica, nos determine una tendencia más explícita, la cantidad debe estar directamente relacionada al periodo de tiempo, ya que, al aminorar el número de variables no controladas se buscara un estado ideal de la aplicación de los instrumentos de medición.

Quinta. Se aconseja que, en el momento de la exploración de los suelos para la ejecución de la apertura de calicatas, se verifique el territorio, sobre todo si se ejecutara en una zona urbana para no dañar tuberías o instalaciones existentes; la maquinaria que se pretenda utilizar en el sector de exploración deberá ser consecuente al tipo de acceso que se tiene en el lugar, contemplando siempre las medidas de seguridad necesarias para evitar algún tipo de accidente.

Sexto. Se deberá tener en cuenta que al realizar los ensayos para obtener las características físico – mecánicas, se cuente con la calibración adecuada de los equipos presentes y sobre todo dominar el procedimiento a emplear en el ensayo, para permitir identificar las variables que se deberían optimizar durante la aplicación, sobre todo al verificar los ciclos repetitivos que permitirá mejorar en la precisión de los resultados y en el método aplicado.

Séptima. Para la selección de los diseños estructurales o los diferentes modelos que se deseen comparar, se debe verificar que sean aplicables en una misma estructura y que no se alteren las respuestas obtenidas por algún proceso o suceso que no esté contemplado.

Octava. Si se desea realizar la incorporación de nuevos diseños para sustituir o reemplazar diseños ya existentes, se debe tener en cuenta que sean analizados por un mismo programa y que se obtengan una desigualdad notoria de sus resultados, siendo el nuevo diseño incorporado el que predomine en características positivas.

Novena. Es recomendable que al iniciar una investigación se tenga presente que se está realizando un tema trascendental o en su defecto un tema que aun sea aplicable en la actualidad.

Decima. Se recomienda a los diferentes profesionales, hacer del proceso de investigación un tema recurrente, ya que, el hecho de analizar detenidamente cada proceso que se suscita en las actividades realizadas de la ejecución de su profesión, es donde nacen las incógnitas y, por ende, nuevos proyectos de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, J. (2012). *Diseño de Cimentaciones*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Angelone, S., & Garibay, T. (2014). *Geología y Geotecnia 2014*. Argentina: FCEIA.
- Añazco, M., & Tavera, H. (2016). *Equilibrio isostático en la Cordillera Andina del Perú a partir del análisis de ondas p*. Lima: Boletín de la Sociedad Geológica del Perú.
- Arredondo, L. (2016). *Aplicación de la norma técnica E-030 "diseño sismorresistente" en la clasificación de los suelos en el área urbana del distrito de Santa Rosa - Lima* (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa Arequipa. Retrieved from <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/3198>
- Bartolomé, Á. (1998). *Análisis de Edificios*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bernal, I., Tavera, H., & Antayhua, Y. (2002). Zonas sísmicas en Perú: volúmenes de deformación, gráfico polares y zonificación preliminar. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 93, 31-44. Obtenido de <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/842>
- Cahuari, A., & Tavera, H. (2007). Cálculo de la magnitud local (ML) a partir de registros de aceleración: aplicación a sismos ocurridos en Perú. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 102, 117-126.
- Calizaya, G. (2018). *Análisis estructural y diseño sísmico comparativo por capacidad y resistencia, de un edificio para oficinas en el centro poblado de los ángeles - Moquegua 2017*. (Tesis de Pregrado), Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua. Retrieved from <http://repositorio.ujcm.edu.pe/>
- Castro, D. (2015). *Vulnerabilidad sísmica del centro histórico de la ciudad de Jauja - Junín*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Retrieved from https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_ab7accae166976ab6974d803123cfcf8
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Lima: LIMUSA, S.A. DE C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica - Cuarta edición*. Mexico: Cengage Learning Editores.
- Domenech, J., & Delgado, M. (2019). *Investigación científica: diseño de estudios*. España: Signo.
- Dorronsoro, C. (2018). *Edafologia.net*. Obtenido de Lección 4. Propiedades Físicas: <http://www.edafologia.net/introeda/tema04/estr.htm>
- Duque, G., & Escobar, C. (2002). *Mecánica de los suelos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Fierro, E., & García, L. (2005). Seminario de ingeniería sísmica. República Dominicana: Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra.

- Flores, R. (2019). *Evaluación de riesgo sísmico de la infraestructura del primer pabellón del colegio emblemático José Carlos Mariátegui – Ilave - Puno. (Tesis de Pregrado)*, Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua. Retrieved from http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/ujcm/3/discover?filtertype=subject&filter_relational_operator=equals&filter=Riesgo+s%C3%ADsmico
- Garza, L. (2000). *Diseño y construcción de cimentaciones*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://www.udocz.com/read/967/dise-o-y-construccion-de-cimentaciones-de-luis-garza>
- González, D. (2017). *Generación de espectros de respuesta con sismos chilenos para suelos en función de su período fundamental y nivel de amplificación*. (Tesis de Pregrado), Universidad de Chile, Santiago de Chile. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/144586>
- González, F. (2015). *Estimación de velocidades de onda de corte: registro de ondas*. (Tesis de Posgrado), Universidad de Chile, Santiago de Chile. Retrieved from <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136315>
- Google Sites. (2016). *Conozcamos la Tierra*. Obtenido de Conozcamos la Tierra: <https://sites.google.com/site/conozcamoslatierra/movimientos-de-la-tierra>
- Griem, W. (2017). *Geología General*. Obtenido de Apuntes Geología General: Levantamiento geológico: <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap10c.htm>
- Herraiz, M. (1997). *Conceptos básicos de sismología para ingenieros*. Lima: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres.
- Instituto Geofísico del Perú. Centro Nacional de Datos Geofísicos. (2008). *El terremoto de pisco (Perú) de 15 de Agosto de 2007 (7.9 Mw)*. (H. Tavera, Ed.) Lima: Regione Toscana.
- López, L., & López, J. (1999). *Elementos de Construcción*. España: Universidad de Castilla-La Mancha.
- Lozada, C. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Diario Oficial El Peruano.
- Molina, S., & Giner, J. (2001). *Sismicidad y Riesgo Sísmico en la C.A.V*. España: Club Universitario.
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2013). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Perú: Ediciones de la U.
- Paucar, F. (2016). *Estudio de mecánica de suelos para el plan de desarrollo urbano Moquegua - Samegua 2016 - 2026*. Moquegua: Municipalidad Provincial Mariscal Nieto.
- Perez, M. (2018). *Las 10 consecuencias de los sismos más destacadas*. Obtenido de LIFEDER.COM: <https://www.lifeder.com/consecuencias-sismos/>
- Pinilla, C. (2012). *Correlación entre el perfil de velocidad de propagación de ondas de corte y el espectro de respuesta en suelos*. (Tesis de Pregrado), Universidad de Chile, Santiago de Chile

Chile. Retrieved from http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2012/cf-pinilla_cr/pdfAmont/cf-pinilla_cr.pdf

Sacasas, C. (2019). *Sísmica Somera*. Habana: Departamento de Geociencias Facultad de Ingeniería Civil.

Salas, M. (2013). Aplicación de microtemores para la elaboración de planos de microzonificación sísmica del distrito de Samegua – provincia Mariscal Nieto – región Moquegua - 2012. (Tesis de Pregrado), Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua. Retrieved from <http://repositorio.ujcm.edu.pe/>

Torres, G. (2018). *Análisis estructural y diseño sísmico comparativo por capacidad y resistencia, de un edificio para oficinas en el centro poblado de los Ángeles - Moquegua 2017*. (Tesis de Pregrado), Universidad José Carlos Mariátegui. Retrieved from https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UJCM_7f99e7b67cbe794d99fb67278d50cf/Details

Valderrama, C., & Meza, J. (2014). *Influencia de la interacción sueloestructura en la reducción de esfuerzos de una edificación aporticada con zapatas aisladas*. (Tesis de Pregrado), Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Retrieved from https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/346266/Tesis%20VALDERRAMA_CC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Villarreal, G. (2009). *Interaccion sismica sueloestructura en edificaciones con zapatas aisladas*. Lima: Gráfica Norte S.R.L.

Villarreal, G. (2016). *Curso breve de dinámica estructural*. Lima: Gráfica Norte S.R.L.

Villegas, J., & Tavera, H. (2008). Modelo de velocidad unidimensional para el sur de peru a partir de datos de sismos locales: una mejora para la precisión en la localización. *GEOMINAS*, 36(45), 5-10. Obtenido de <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/792>