

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Estudios y diseños de prefactibilidad de un sistema muro de reacción-
losa fuerte para el nuevo laboratorio de materiales de la ESPOL

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Alejandra Rosabel Noboa Indacochea

Andrea Belén Salazar Palma

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, hermanos y demás familiares quienes, con su ejemplo, constante amor y apoyo me impulsan a alcanzar logros. A mis compañeros, que han sido parte de este proceso de formación y aprendizaje, en quienes he encontrado inspiración para mejorar día a día.

Alejandra Noboa

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios por proporcionarme paciencia, perseverancia y sabiduría. A mis padres Aníbal y Mónica por siempre apoyarme, alentarme y ser mi soporte a lo largo de mi vida, demostrándome que todo se puede conseguir a base de esfuerzo y responsabilidad. A mis hermanos, Paul, Yalussy y Alejandro, por animarme y siempre sacarme una sonrisa del rostro. A mi novio Richard, por acompañarme y alentarme cuando las cosas no parecen tener solución, enseñándome a que nunca me tengo que rendir. A mis amigos que nunca se negaron a escucharme y ayudarme.

Andrea Salazar

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a los profesores que con su don de enseñanza han contribuido a mi formación profesional a lo largo de mi trayectoria universitaria. De manera especial agradezco a los tutores por la guía proporcionada y la constante motivación. Al Ing. Erwin Larreta y al Ing. Guillermo Muñoz, quienes brindaron su amable asistencia ante cada asesoría solicitada.

Finalmente, extendiendo un agradecimiento hacia quienes conforman el CIV, por haber abierto sus puertas, por su calidez, generosidad y disposición para atender las consultas.

Alejandra Noboa

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos al M.Sc. Carlos Quishpe, por su gestión y conocimiento para que el proyecto se pueda realizar.

Al M.Sc. Arnaldo Bayona, quien con su guía nos direcciono en el correcto desarrollo para la socialización y gestión del proyecto.

Al Ing. Erwin Larreta quien con su experiencia y vasto conocimiento siempre estuvo dispuesto a colaborar.

Al M.Sc. Guillermo Muñoz, por su predisposición para ayudarnos con cualquier duda que se nos presentaba.

Al Centro de Investigación de la Vivienda por permitirnos visitar sus instalaciones y proporcionar recomendaciones

A mi compañera de tesis, Alejandra, con quien formamos un excelente equipo de trabajo.

Andrea Salazar

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (*nombre de los participantes*) y doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Srta. Alejandra Rosabel
Noboa Indacochea

Srta. Andrea Belén
Salazar Palma

EVALUADORES

.....
Ing. Miguel Ángel Chávez, M.Sc. Ph.D

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Ing. Carlos Quishpe, M.Sc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Este texto describe el procedimiento de diseño de un sistema muro de reacción-losa fuerte para la realización de ensayos a escala real de elementos estructurales. El proyecto forma parte del área de estructuras del nuevo laboratorio de materiales propuesto para la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Las principales actividades por desarrollarse en el laboratorio están dirigidas hacia la docencia e investigación y se prevé atraer a empresas del sector de la construcción para la prestación de servicios externos de pruebas estructurales en general.

El sistema presentado se compone por elementos de hormigón armado y presforzado, cuyo procedimiento se realizó bajo las normativas internacionales ACI 318-14 y ASCE 7-10. La información recopilada se obtuvo mediante levantamiento topográfico y pruebas de laboratorio. Las herramientas tecnológicas para el procesamiento de información y elaboración del diseño comprendieron el uso de: utilitarios, sistemas de información geográfica, dibujo asistido por computadora, software de análisis y diseño estructural, empleando metodología BIM.

Los resultados presentados corresponden al diseño estructural, instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, presupuesto con las respectivas cantidades, cronograma de ejecución y especificaciones técnicas del proyecto desarrollado, bajo las restricciones establecidas. El recorrido virtual fue realizado como complemento visual para la comprensión del concepto del proyecto.

El estudio y los diseños presentados responden a los requerimientos de la etapa de prefactibilidad de un proyecto, el cual debe ser desarrollado a mayor nivel de detalle bajo los estudios recomendados hasta alcanzar un diseño definitivo.

Palabras Clave: Muro de reacción, Losa fuerte, Estructuras, Ensayo pseudo-dinámico.

ABSTRACT

This document describes the design procedure for a reaction wall – strong floor system for testing of real sized structural elements. The project belongs to the Structures area of the proposed Materials laboratory for Escuela Superior Politécnica del Litoral. The main activities to be performed in the laboratory are aimed towards teaching and researching, although, its objective is also to provide structural testing services to the private construction sector.

The proposed system is composed by reinforced and prestressed concrete, whose design was made under international norms ACI 318-14 and ASCE 7-10. Gathered information was obtained through topographical surveying and laboratory testing. The technology for data processing and the posterior design includes office programs, geographic information systems, computer assisted design software, structural analysis and design software employing BIM methodology.

The presented results comprise the structural design, electrical and hydrosanitary systems, detailed budget, schedule and technical specifications of the given project under established restrictions. The virtual tour was done as a visual complement for further comprehension about the project concept.

Both study and design were made according to the requirements in the project pre - feasibility stage, which must be developed with further details based on the recommendations to reach the definitive design.

Keywords: reaction wall, strong slab, structures, pseudo – dynamical testing.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE PLANOS	XIV
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. MARCO TEÓRICO	4
1.4.1. INVESTIGACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES	4
1.4.2. MESA VIBRATORIA	5
1.4.3. MÉTODO CUASI ESTÁTICO	5
1.4.4. MÉTODO PSEUDO DINÁMICO.....	5
1.4.5. SISTEMA MURO DE REACCIÓN-LOSA FUERTE	7
1.4.6. VARIABILIDAD DE ENSAYOS	9
1.4.6.1. ACTUADORES EXTERNOS	10
1.4.6.2. SISTEMA DE CONTROL DE ACTUADORES	11
1.4.7. CONTEXTO ACTUAL.....	12
CAPÍTULO 2.....	14
2. METODOLOGÍA	14
2.1. ANTECEDENTES Y NECESIDADES DEL CLIENTE	14
2.2. ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	15
2.2.1. TOPOGRAFÍA ACTUAL DE LA ZONA.....	15
2.2.2. VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE.....	15
2.2.3. SEGMENTO Y ESTUDIO DEL MERCADO	16

2.3.	ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	17
2.3.1.	INVESTIGACIONES DE CAMPO.....	17
2.3.1.1.	EXPLORACIÓN DEL ÁREA.....	17
2.3.1.2.	GEOLOGÍA DE LA ZONA	18
2.3.1.3.	CALICATAS.....	18
2.3.2.	CARACTERIZACIÓN EN LABORATORIO	19
2.4.	DISEÑO CONCEPTUAL.....	20
2.4.1.	ALTERNATIVAS.....	20
2.4.1.1.	DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS	20
2.4.2.	CRITERIOS DE RIESGO	21
2.4.3.	EVALUACIÓN DEL RIESGO	23
2.4.4.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	24
2.5.	JUSTIFICACIÓN DE ACTUADORES HIDRÁULICOS.....	24
2.6.	DISEÑO DE ALTERNATIVA SELECCIONADA	28
2.6.1.	CONFIGURACIÓN	28
2.6.2.	IDENTIFICACIÓN DE COMBINACIONES DE CARGA	29
2.6.3.	MODELO ESTRUCTURAL.....	30
2.6.3.1.	<i>Sub-Estructura</i>	33
2.6.4.	DISEÑO ESTRUCTURAL Y DETALLAMIENTO	33
2.6.5.	ARQUITECTÓNICO	34
2.6.6.	EQUIPAMIENTO	34
2.6.7.	INSTALACIONES.....	35
2.6.7.1.	<i>Diseño eléctrico</i>	35
2.6.7.2.	<i>Diseño hidrosanitario</i>	36
2.7.	ESTUDIO FINANCIERO.....	36
2.8.	GESTIÓN DEL PROYECTO.....	37
CAPÍTULO 3.....		39
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	39
3.1.	ESTUDIOS DE CAMPO Y LABORATORIO.....	39
3.1.1.	PESO ESPECÍFICO DEL SUELO.....	39
3.1.2.	ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.....	39
3.1.3.	ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG	40
3.1.4.	ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DE LA ROCA	40
3.1.5.	RESISTENCIA POR COMPRESIÓN SIMPLE DE ROCA	41
3.2.	DISEÑOS BÁSICOS	41
3.2.1.	DISEÑO DE ELEMENTOS DE PRUEBA	41
3.2.2.	DISEÑO DEL MURO DE REACCIÓN	43

3.2.3.	DISEÑO DE LA LOSA DE REACCIÓN	45
3.2.4.	DISEÑO DE MUROS DE SOSTENIMIENTO	47
3.2.4.1.	PLANOS DE CORTE	48
3.2.5.	DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN	49
3.2.5.1.	CONEXIÓN A CIMENTACIÓN DE MUROS	51
3.2.6.	EQUIPAMIENTO	51
3.2.6.1.	PUENTE GRÚA	51
3.2.7.	DISEÑO ELÉCTRICO	52
3.2.8.	SISTEMA DE SEGURIDAD Y EVACUACIÓN.....	53
3.2.9.	DISEÑO HIDROSANITARIO.....	53
3.3.	PRESUPUESTO	54
3.3.1.	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	54
3.3.2.	CRONOGRAMA.....	55
3.3.3.	COSTOS INDIRECTOS	55
3.3.4.	PRESUPUESTO	56
3.4.	ESTUDIO FINANCIERO.....	56
3.5.	ESTUDIO AMBIENTAL	57
3.5.1.	ACTIVIDAD AMBIENTAL	57
3.5.2.	LÍNEA BASE AMBIENTAL.....	58
3.5.2.1.	LOCALIZACIÓN	58
3.5.2.2.	DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL ÁREA.....	59
CAPÍTULO 4.....		61
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		61
4.1.	CONCLUSIONES	61
4.2.	RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA		66
APÉNDICE A – GUÍA DE BUENAS PRACTICAS AMBIENTALES		
APÉNDICE B – PLANOS		
APÉNDICE C – PROCESAMIENTO DE DATOS		
APÉNDICE D – PRESUPUESTO Y FLUJO DE CAJA		
APÉNDICE E – MAPAS		
APÉNDICE F – ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
APÉNDICE G – ENSAYOS DE LABORATORIO		

ABREVIATURAS

SMRLF	Sistema Muro de Reacción Losa Fuerte
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
EPN	Escuela Politécnica Nacional
ACI	American Concrete Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
CIV	Centro de Investigación de la Vivienda
PDT	Pseudo-Dynamic Test
MCP	Presión máxima del concreto
MSS	Máximo espaciamiento en los parantes
ULS	Carga uniforme en un parante
MWS	Máximo espaciamiento de los travesaños
ULW	Carga uniforme en un travesaño
EDM	Máximo espaciamiento en los tirantes según la sección del travesaño
EMT	Máximo espaciamiento en los tirantes
MJS	Máximo espaciamiento en las viguetas
ULJ	Carga uniforme en las viguetas
FS	Factor de Seguridad
UTM	Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator
SUIA	Sistema Único de Información Ambiental
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor actual neto
LL	Limite liquido
IPM	Índice de Plasticidad Medio

SIMBOLOGÍA

a_i	Aceleración nodal en el paso i de cada componente
a	Altura del bloque de compresión equivalente
$a_{i,g}$	Vector de la aceleración del suelo en el paso i de cada componente
A_s	Área de acero
A_g	Área gruesa del elemento en plano de análisis
A_p	Área transversal de torón
A_{nt}	Área total de torones
A_{cv}/m	Acero de corte por metro
A_{st}	Acero de refuerzo en la dirección analizada
A_1	Área de influencia de carga
b	Ancho de losa en el análisis
B	Matriz de transformación de la aceleración del suelo
β_1	Factor de relación de profundidad para el bloque de compresión equivalente para profundidad del eje neutro
B_n	Capacidad de carga nominal
B_u	Demanda de Carga ultima
B_1	Ancho de escalera
cm	Centímetro
C	Matriz de amortiguamiento viscoso
CP	Dimensión de contrahuella de escalera
c	Distancia entre la fibra de compresión extrema al eje neutro
C_d	Factor de amplificación de deflexión
C_t	Coefficiente según sistema estructural
D	Fuerzas generadas por cargas muertas
d_i	Desplazamiento nodal en el paso i de cada componente
d_b	Diámetro de varilla
d	Distancia efectiva
$d_{max,agg}$	Tamaño máximo de agregado
E_x	Fuerzas sísmicas en dirección x
E_y	Fuerzas sísmicas en dirección y
e	Espesor de muro
E	Módulo de elasticidad del material
F_a	Coefficiente de amplificación de suelo en las zonas de periodo corto.
F_d	Coefficiente de amplificación de suelo.
F_s	Coefficiente de amplificación de suelo.
f_p	Factor de potencia
f'_c	Resistencia del hormigón a compresión
f_y	Esfuerzo de fluencia del acero
f_{yt}	Resistencia a la fluencia específica del refuerzo transversal
f_{pu}	Resistencia a la fluencia del acero de presfuerzo
F_{pi}	Esfuerzo inicial de presfuerzo limite
h_f	Espesor de losa
h	Espesor del muro
h_n	Altura del sistema

h_m	Espesor medio de escalera
h_{sx}	Altura de Piso
I	Inercia
I_n	Intensidad nominal del disyuntor
I_D	Intensidad de corriente del disyuntor
in	Pulgadas
I_d	Angulo de buzamiento de discontinuidades
I_e	Factor de Importancia
j_f	Relación entre la distancia promedio entre discontinuidades y su Angulo de buzamiento.
j	Coefficiente de pérdidas
K_g	Matriz de rigidez geométrica
kg	Kilogramo
k_1	Coefficiente de simultaneidad
L	Fuerzas generadas por cargas vivas
k_j	Coefficiente de balasto
k_o	Coefficiente de distribución de esfuerzos en roca
l_d	Longitud de Desarrollo de varilla fuera del elemento para embebido
l_w	Longitud del muro o longitud del segmento del muro o muro considerado en la dirección del corte
L_{eq}	Longitud equivalente
L_n	Longitud entre caras
L_1	Longitud entre apoyos
mm	Milímetro
m	Metro
M	Matriz de masa
M_n	Momento nominal, capacidad del elemento a flexión
$M_a -$	Momento último en el soporte en la dirección más corta del paño de losa en análisis
$M_a +$	Momento último en el centro en la dirección más corta del paño de la losa en análisis
$M_b -$	Momento último en el soporte en la dirección más larga del paño de losa en análisis
$M_b +$	Momento último en el centro en la dirección más larga del paño de la losa en análisis
M_o	Momento generado por peso propio
N_u	Fuerza axial normal factorizada simultánea con la demanda por corte y torsión ultima.
P	Potencia del equipo
P_T	Potencia del transformador
P_o	Capacidad a compresión
P_n	Capacidad a compresión nominal
P_u	Demanda de compresión ultima
P_i	Fuerza de Presfuerzo inicial
P	Dimensión de huella de escalera
$p.p$	Peso propio
Q_{ult}	Capacidad ultima de la roca
Q_{perm}	Capacidad Permisible de la roca

q_l	Carga por unidad de área viva
q_o	Carga por peso propio
R	Vector de Fuerza de restauración nodal
R	Tasa de colocación del hormigón
R	Factor de reducción de espectro elástico
r	Recubrimiento de hormigón
r	Coefficiente de amplificación de razón de periodos de oscilación
s	Separación entre varillas centro a centro
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones
S_{max}	Separación máxima entre varillas centro a centro
S_{min}	Separación mínima entre varillas centro a centro
S_d	Distancia promedio entre discontinuidades
S_n	Capacidad a flexión, corte, axial, torsión y carga
T	Periodo de oscilación del sistema
T_o	Periodo de oscilación en la región 1 del espectro elástico
T_c	Periodo de oscilación en la región 3 del espectro elástico
Ton	Tonelada
t	Dimensión de garganta de escalera
ULS_{str}	Carga uniforme en los largueros
U	Esfuerzo o fuerza de demanda
V	Voltaje del equipo
v_i	Velocidad nodal en el paso i de cada componente
V_n	Fuerza cortante nominal, capacidad del elemento al corte en una dirección
V_c	Fuerza cortante resistido por el hormigón en una dirección
V_s	Fuerza cortante resistido por el acero en una dirección
V_u	Fuerza cortante ultima en una dirección
V_{nt}	Resistencia nominal al corte transferido
v	Velocidad del fluido
W	Peso del Sistema
W_D	Carga uniforme muerta
W_L	Carga uniforme viva
W_u	Carga uniforme ultima
z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño
α_c	Coefficiente de contribución relativa de la resistencia del concreto nominal de corte en muros
ε_t	Deformación neta por tensión en la capa longitudinal extrema del refuerzo en tensión durante la resistencia nominal.
μ	Factor de condición de superficie
ρ	Cuantía, porcentaje de área de acero y área de hormigón en el plano de análisis
ρ_t	Cuantía Transversal
ρ_l	Cuantía longitudinal
ρ_m	Densidad de la muestra
σ_h	Esfuerzo efectivo del material en dirección horizontal
σ_{vo}	Esfuerzo efectivo del material en dirección vertical
σ_{max}	Esfuerzo efectivo máximo
ϕ	Factor de reducción de capacidad para corte, torsión, axial, flexión

φ	Diámetro de la tubería
φ_1	Angulo de fricción del material
φ_p	Coeficiente de irregularidad en planta
φ_E	Coeficiente de irregularidad en elevación
ν	Coeficiente de poisson del material
λ	Factor de modificación de reducción según las propiedades del hormigón
γ_{horm}	Peso Específico del hormigón
γ_m	Peso específico de la muestra
θ_{adm}	Deriva admisible
δ_u	Desplazamiento en modelo
η	Razón entre la aceleración espectral y el PGA para el periodo de retorno
α	Coeficiente de amplificación de altura de sistema según el tipo de sistema estructural

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Bosquejo del funcionamiento de la metodología PDT	7
Figura 1.2 Bosquejo de SMRLF.....	8
Figura 1.3 Diagrama de flujo del sistema electrohidráulico de la metodología PDT.....	12
Figura 1.4 Instalaciones del CIV	13
Figura 1.5 Centro de Investigación de la vivienda, EPN - QUITO	13
Figura 2.1 Modelo del galpón existente.....	16
Figura 2.2 Ubicación de calicatas y excavaciones en zona de estudio. Fuente: Autores.....	19
Figura 2.3 Modelo en 3D de alternativa A. Fuente: Autores	20
Figura 2.4 Modelo en 3D de alternativa B. Fuente: Autores	21
Figura 2.5 Modelo en 3D de alternativa C. Fuente: Autores.....	21
Figura 2.6 Sección del muro de estudio para comparación.....	25
Figura 2.7 Diagrama de Interacción Muro 2. Fuente (Anasi & Arévalo, 2015)	25
Figura 2.8 Diagrama de interacción del Muro 2 Anasi – Arévalo.....	26
Figura 2.9 Vista de perfil de Muro de reacción y alturas hw. Fuente: Autores.....	26
Figura 2.10 Bosquejo Preliminar del sistema	29
Figura 2.11 Modelo estructural del sistema. Condición de Carga N°1.....	31
Figura 2.12 Modelo estructural del sistema. Condición de Carga N°2.....	32
Figura 2.13 Modelo Estructural Completo con condición de carga seleccionada	32
Figura 2.14 Estructura de desglose de trabajo general y específica del proyecto	38
Figura 3.1 Diagrama de interacción del Muro 2	42
Figura 3.2 Detalle del refuerzo del elemento de prueba N°2.....	42
Figura 3.3 Diagrama de interacción de elemento de borde	44
Figura 3.4 Permiso requerido para la construcción de infraestructura civil. Fuente: SUIA.....	57
Figura 3.5 Ubicación del antiguo laboratorio de metalurgia. Vista a 262 [m] de altura	58
Figura 3.6 Ubicación del edificio. Vista a 837 [m] de altura	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de los SMRLF en Instituciones en el mundo.....	9
Tabla 2.1 Total de empresas en la industria de la construcción según su categoría en Ecuador. Fuente: INEC, 2018	16
Tabla 2.2 Profundidad del estrato resistente en el exterior del laboratorio	18
Tabla 2.3. Criterios de riesgo del componente constructivo	22
Tabla 2.4. Criterios de riesgo del componente técnico	22
Tabla 2.5. Criterios de riesgo del componente financiero	22
Tabla 2.6. Criterios de riesgo del componente de operación.....	22
Tabla 2.7. Puntuación del riesgo de cada componente.....	23
Tabla 2.8. Porcentaje de riesgo de los componentes	23
Tabla 2.9. Evaluación cualitativa del riesgo de las alternativas.....	24
Tabla 2.10 Geometría de Muros de prueba.....	27
Tabla 2.11 Dimensiones Principales del sistema.....	28
Tabla 2.12 Factor de reducción de juntas	33
Tabla 2.13 Características de los equipos del laboratorio con sus respectivos circuitos.....	35
Tabla 3.1 Resultados del ensayo Peso específico del suelo	39
Tabla 3.2 Clasificación SUCS y AASHTO de las muestras de suelo	40
Tabla 3.3 Resumen de resultados. Peso específico de Roca	40
Tabla 3.4 Resistencia a la compresión simple obtenida con el esclerómetro.....	41
Tabla 3.5 Resultados del modelo de muros de prueba y acero de refuerzo	41
Tabla 3.6 Detalle de acero por corte para muro de reacción.....	43
Tabla 3.7 Demanda a flexión de losa fuerte	46
Tabla 3.8 Demanda a corte de losa fuerte	46
Tabla 3.9 Detalle de Acero en losa fuerte	46
Tabla 3.10 Capacidad a flexión y corte según sección para losa fuerte	46
Tabla 3.11 Capacidades de muros de sostenimiento	47
Tabla 3.12 Detalles de acero en muros de sostenimiento	48
Tabla 3.13 Demanda por corte en planos de muros de sostenimiento.....	48
Tabla 3.14 Detalle de acero por resistencia al corte agregado	49
Tabla 3.15 Capacidad de corte transferido en planos de muros de sostenimiento	49
Tabla 3.16 Demanda a flexión de losa de cimentación	49
Tabla 3.17 Demanda a corte de losa de cimentación	50
Tabla 3.18 Demanda de esfuerzo axial a nivel de cimentación	50

Tabla 3.19 Detalle de acero en losa de cimentación.....	50
Tabla 3.20 Capacidad a flexión y corte según sección para losa de cimentación	50
Tabla 3.21 Capacidad de conexión de elementos a cimentación	51
Tabla 3.22 Características del puente grúa y sus componentes.....	52
Tabla 3.23 Detalle de alimentación de circuitos y su protección	52
Tabla 3.24 Características de la red de agua potable y pérdidas	53
Tabla 3.25 Características de la red de aguas servidas.....	54
Tabla 3.26 Resumen del presupuesto según componentes de construcción.....	55
Tabla 3.27 Componentes del presupuesto	56
Tabla 3.28 Precio por ensayo y Cantidad estimada según distintos escenarios.....	56
Tabla 3.29 Resultados del flujo de caja conceptual del proyecto	57
Tabla 3.30 Sistema de Coordenadas del Proyecto (WGS-84)	58
Tabla 3.31 Influencias directas en el área de estudio	60

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Implantación del Taller de Producción.
- PLANO 2 Plantas y Cortes.
- PLANO 3 Losa de Cimentación, Muros Perimetrales y Transversales.
- PLANO 4 Accesos, Conexiones entre Muros y Muro de Reacción.
- PLANO 5 Losa Fuerte, Presfuerzo y Escalera
- PLANO 6 Plantas, Diagrama Unifilar y Planilla de Circuitos
- PLANO 7 Plano de Instalaciones Hidrosanitarias
- PLANO 8 Plantas de Seguridad y Evacuación

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo los eventos sísmicos son unos de los fenómenos naturales que han afectado a gran escala el progreso de sociedades, estabilidad de economías y producido una alta tasa de pérdidas de vidas humanas (Elnashai & Sarno, 2008). Países desarrollados tales como Estados Unidos, Nueva Zelanda y Japón han basado sus normativas y códigos nacionales de ingeniería, adaptándose al nivel de amenaza que presentan a estos eventos, modificando métodos y previniendo desastres. Ecuador es un país de alta actividad sísmica debido a su ubicación. Su condición geológica implica la interacción de tres placas tectónicas: oceánica de Nazca, Continental Sudamericana y el Bloque Norandino (Segovia & Alvarado, 2009).

El fenómeno de este tipo más reciente y de gran magnitud aconteció el 16 de abril del 2016, ocasionando importantes pérdidas para el país. El evento ha significado un hito en la búsqueda de conocimiento y aumento en la investigación para la mejora tanto del diseño de edificaciones como para su proceso constructivo. A pesar de esto, sigue existiendo mucha incertidumbre entre lo que se diseña y se construye, sin poder garantizar la integridad de la obra durante su etapa de operación. La industria de la construcción ha tenido un incremento substancial a partir del segundo semestre del 2017, aumentando alrededor de un 10% hasta el primer trimestre el 2018 (Banco Central del Ecuador; CAMICON, 2018). El que no se procedan con los adecuados métodos de aseguramiento de calidad, no impide la realización de obras civiles, exponiendo al país a seguir en altos niveles de riesgo de construcciones que no apuntan a la prevención de desastres.

Los ensayos a escala de elementos estructurales permiten simular las condiciones en las que se someterá una estructura a futuro, observando su comportamiento y contrastándolo con el diseño; con la finalidad de evaluar su desempeño. Actualmente, el país cuenta con un laboratorio de estructuras de tal magnitud y se encuentra ubicado en la Escuela Politécnica Nacional en Quito. Es necesario que

en la región Litoral también se impulse la investigación en este campo; por lo tanto, se requiere disponer de un laboratorio para tal propósito.

La Escuela Superior Politécnica del Litoral se caracteriza por promover la investigación e innovación tecnológica en beneficio del desarrollo social, mediante la formación académica de calidad proporcionada a sus estudiantes. Considerando que los desafíos de la educación superior en la actualidad demandan metodologías cuya intención es complementar el aprendizaje teórico con el práctico, y teniendo en cuenta la necesidad de la constante evolución en el medio de la construcción, se presenta el escenario adecuado para proponer la concepción de un espacio destinado al estudio e indagación con la finalidad de asegurar la calidad de obras civiles.

1.1. Descripción del problema

La Escuela Superior Politécnica del Litoral aún no ha incursionado en el campo de la investigación en el sector de la construcción, específicamente en el área de estructuras por lo tanto no tiene reconocimiento nacional o internacional relacionado al área mencionada.

La infraestructura y la educación se establecen como piezas claves para el progreso de un país en desarrollo, como el Ecuador, donde en el medio solo existe un centro que promueve el desarrollo de nuevas tecnologías y métodos constructivos (CIV). Esto se atribuye a la falta de inversión de universidades e instituciones para crear espacios destinados a la investigación que atraigan la participación de empresas en el sector de la construcción, lo cual podría restringir el crecimiento de pequeñas empresas en la región litoral que no cuentan con los recursos suficientes para acceder a este servicio.

En términos de innovación y desarrollo, la ESPOL presenta una desventaja en este escenario al no contar con instalaciones adecuadas para el estudio del comportamiento de sistemas estructurales, mecanismos de falla o para garantizar la operación de actuales y nuevos métodos constructivos.

El proyecto previsto está destinado a formar parte de una obra de adecuación de espacios para el servicio de una institución pública, cuyo financiamiento inicial se espera sea proporcionado por el estado; por tal motivo debe ajustarse a un presupuesto referencial que contemple la realización de obras adicionales a la referida en este estudio.

El espacio físico concedido para la ubicación del proyecto presenta características que limitan las dimensiones consideradas para el diseño. La estructura que delimita el laboratorio está conformada por un galpón y una edificación adyacente, localizada próxima a una ladera con pendiente pronunciada.

1.2. Justificación del problema

La institución como referente nacional de educación superior de calidad tiene la responsabilidad de mejorar de forma continua el perfil profesional de sus estudiantes garantizando la competitividad de estos, posicionándose al nivel de universidades extranjeras, y participando en el desarrollo de la industria de la construcción con el objetivo de ser protagonista en la elaboración y modificación de normas de construcción locales y nacionales.

Mediante la adecuación de un espacio destinado a la construcción de modelos estructurales a escala con el fin de investigar su desempeño sísmico y prevenir comportamientos mecánicos inadecuados en la etapa de operación, la universidad alcanza mayor prestigio.

Así, se propone la construcción de un área de estructuras conformado por un sistema muro de reacción-losa fuerte y equipamiento de última tecnología, el cual tiene destinado ubicarse en el antiguo laboratorio de metalurgia de la FIMCP donde se llevarán a cabo actividades académicas y de investigación, además del préstamo de servicios externos a instituciones privadas con el propósito de generar ingresos para garantizar la viabilidad del proyecto.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Elaborar un diseño de prefactibilidad de un sistema muro de reacción-losa fuerte en el laboratorio de materiales de la ESPOL para ensayos de elementos estructurales a escala.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Realizar un levantamiento de información topográfica y relevamiento del edificio para la elaboración de las alternativas en función del espacio disponible.
2. Diseñar las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias requeridas para el equipamiento de acuerdo con las actividades de docencia e investigación a realizarse y el funcionamiento del área de estructuras del laboratorio.
3. Elaborar un estudio económico conceptual para la estimación de los costos de operación y precios de ensayos de modo que se garantice la viabilidad del proyecto.
4. Recomendar las medidas pertinentes para mitigar los impactos de acuerdo con la actividad ambiental identificada.

1.4. Marco Teórico

1.4.1. Investigación de sistemas estructurales

Las principales investigaciones en la rama de estructura se basan en encontrar nuevas tecnologías para promover o evitar la disipación de energía en sistemas estructurales mediante deformaciones, modificando componentes y mejorando su rendimiento sísmico. Existen distintos tipos de técnicas para realizar las experimentaciones tales como: mesas vibratorias, test cuasi-estáticos y test pseudo-dinámicos (Shing & Mahin, 1984). La variedad de tipos de ensayos que son posibles dependerá particularmente en el equipamiento disponible.

1.4.2. Mesa Vibratoria

La mesa vibratoria es un sistema que permite simular, de una manera realista, que un conjunto estructural este sometido a un sismo de gran magnitud con la finalidad de poder evaluar una respuesta dinámica no-lineal de la misma. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones, tales como el peso y tamaño del espécimen a ensayar, además del alto costo de inversión, mantenimiento y personal capacitado que requiere (Shing & Mahin, 1984). Por lo tanto, muchas veces es usada solamente para componentes o elementos a escala reducida. (Magonette, 2001) (Aktan, 1986)

1.4.3. Método Cuasi estático

Es la metodología más sencilla, común y económica para obtener información acerca del comportamiento cíclico de una estructura. Una fuerza es aplicada a un espécimen de forma continua, lenta y en aumento de manera cíclica. Es posible evaluar la variación de la rigidez, deformación y resistencia a través del tiempo de la estructura y obtener curvas de histéresis para el análisis de energía disipada. (Peloso, Casarotti, & Pavese, 2011). Sin embargo, el historial de carga usado no es realista debido a las idealizaciones matemáticas a las que está sujeta provocando que el comportamiento de la estructura no sea el mismo durante la aplicación de cargas sísmicas. (Shing & Mahin, 1984).

1.4.4. Método Pseudo Dinámico

La prueba pseudo-dinámica es un método híbrido el cual mezcla metodología experimental y modelación computacional (SERVOTEST, 2013). Su implementación es económica y conveniente como en las pruebas cuasi-estáticas, asemejándose a ellos con excepción de los desplazamientos impuestos por un sistema computacional conectado en línea, mediante el cual pretende simular la realidad como en la mesa vibratoria. (Shing & Mahin, 1984).

Los desplazamientos aplicados al elemento de prueba, mediante actuadores son los resultados de una integración numérica que necesita valores

experimentales de las fuerzas de restauración de la estructura, y analíticos como la masa, inercia y amortiguamiento del sistema. (Yuksel, Ozkaynak, & Sürmeli, 2011). El movimiento de los actuadores corresponde a un registro de datos de aceleraciones pertenecientes al sismo de diseño. (Shing & Mahin, 1984).

La estructura para ensayar se idealiza como sistema de un número limitado de grados de libertad y es controlada de manera cuasi-estática por medio de actuadores (Shing, Nakashima, & Bursi, 1996), discretizando las respuestas al resolver la ecuación mediante una serie de pasos en el tiempo. (Mahin, Shing, Thewalt, & Hanson, 1989).

La ecuación diferencial de segundo orden de movimiento para cada paso i de manera matricial es la siguiente (Mahin, Shing, Thewalt, & Hanson, 1989) (Shing, Nakashima, & Bursi, 1996)

$$Ma_i + Cv_i + R_i + K_g d_i = -MBa_{gi} \quad (1.1)$$

Existen idealizaciones que sugiere el método tales como (Mahin, Shing, Thewalt, & Hanson, 1989):

- La discretización de los grados de libertad de la estructura a un número finito.
- La consideración del comportamiento de ciertos componentes para sugerir el comportamiento de la estructura.
- Un amortiguamiento viscoso ideal para la estructura

Por lo tanto, en la actualidad el algoritmo de resolución de la ecuación sigue sujeta a variantes según varios autores (Chang & Huang, 2016).

La metodología sin embargo no varía y la implementación del sistema necesita un historial de aceleración sísmica y consiste en los siguientes pasos: (Hanson & McClamrock, 1987) (Magonette, 2001):

- Lectura de información (de las fuerzas de restauración durante la experimentación mediante la celda de carga del actuador posterior a la aplicación de un desplazamiento calculado para cada grado de libertad)
- Calculo computacional (resolución de la ecuación de movimiento bajo cargas en el tiempo considerando las fuerzas de restauración medidas y obteniendo desplazamiento)
- Transmisión (de los desplazamientos calculados a los actuadores)

Los pasos se repiten hasta obtener la respuesta deseada.

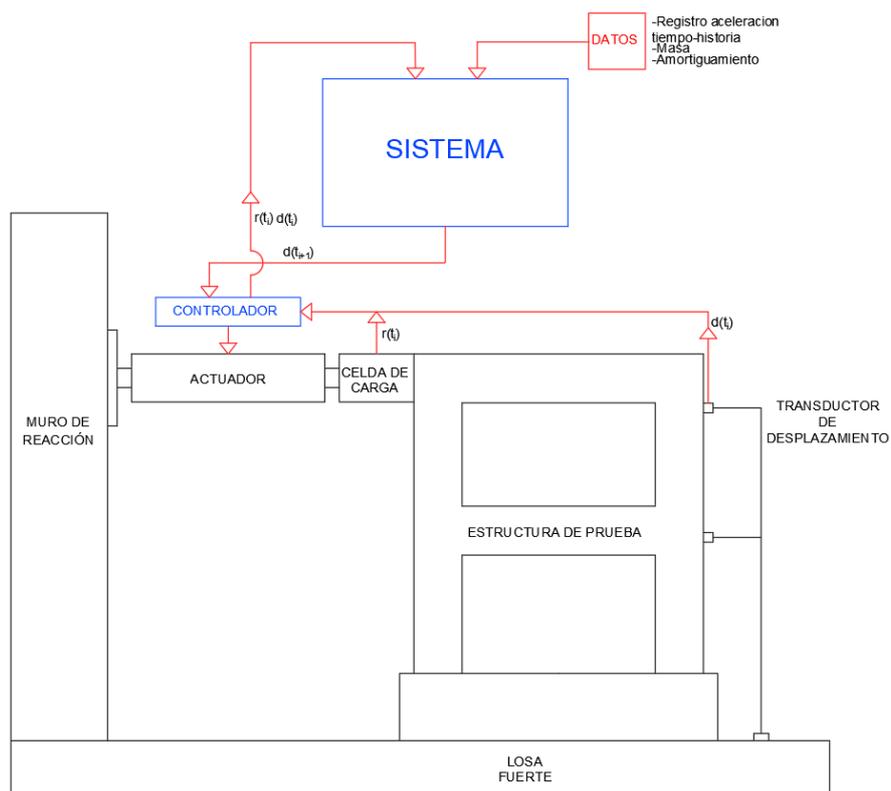


Figura 1.1 Bosquejo del funcionamiento de la metodología PDT

1.4.5. Sistema Muro de reacción-Losa fuerte

Es un sistema monolítico que consiste en muros de hormigón armado y postensado y una doble losa. Las principales pruebas a estructuras en el

sistema consisten en la aplicación de los métodos cuasi-estáticos y pseudo-dinámicos. Los factores determinantes para la capacidad del conjunto y por lo tanto la variabilidad de ensayos disponibles dependerán principalmente de (YLE GmbH Structural and Seismic Testing Division, 2019):

- La configuración del sistema (rectangular o plano, en L, en U)
- Las dimensiones del muro y losa
- Máxima carga
- Máxima frecuencia de carga

Así mismo, todos estos factores dependerán de la inversión inicial y espacio disponible. Un rango aproximado fluctúa entre (MTS Systems Corporation, 2014) \$2 000 000 a \$15 000 000 para grandes laboratorios que no constan con infraestructura previa, sin incluir el precio del terreno necesario.

Una de las características primordiales del sistema es que sea capaz de resistir los esfuerzos sin experimentar deformaciones significativas que afecten la estructura a ensayar (Peloso, Casarotti, & Pavese, 2011).

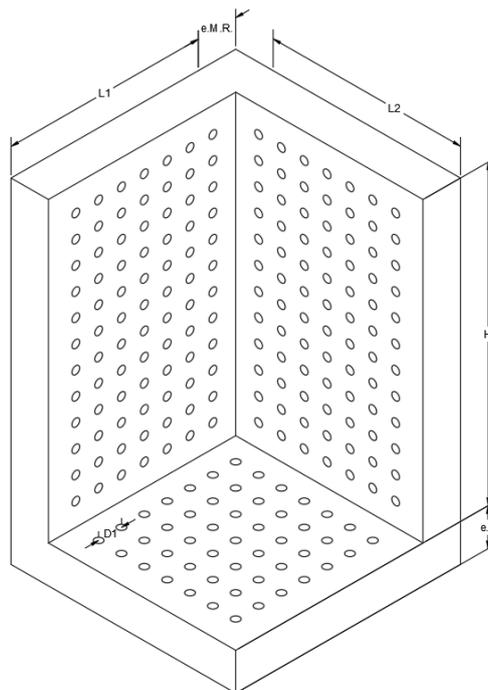


Figura 1.2 Bosquejo de SMRLF

Tabla 1.1 Características de los SMRLF en Instituciones en el mundo

Institución	HxL1(m) ¹	e. M.R. ² (m)	Config ³	D1 ⁴ (m)	L1XL2 ⁵ (m)	e. L ⁶ (m)
University of California, San Diego (EEUU)	9x19	1.1	Rectangular	0.61x0.61	13.5x21	0.91
Bn University of Reno, Nevada	5.8x6	0.61	Rectangular	0.61x0.61	31x17	0.91
Hanyang University, Korea	8x11	-	Rectangular	0.5x0.5	11x11	0.6
The University of Texas, Austin (EEUU)	5.8x7.3 5.8x13.7	-	L	-	9.14x13.7	-
University at Buffalo	9.14x12.5	0.61	Rectangular	0.61x0.61	24x11.8	0.6
University of Reno, Nevada 2	6x4.87	1.21	Rectangular	-	-	-
University of Patras	5.5x6 5.5x4	0.6	L	0.61x0.61	18x16	0.6

Las instituciones presentadas fueron seleccionadas considerando las semejanzas de sus características geométricas a las disponibles que existen en la zona de estudio.

1.4.6. Variabilidad de Ensayos

Es necesario establecer los tipos de ensayos que brindara el establecimiento. Donde los más comunes para este tipo son (TDG, 2015):

- Test de carga cíclica o fatiga
- Test Push-Over
- Test Pseudo-Dinámico
- Simulación de carga vertical

Para la metodología pseudo dinámica, es necesario contar con los siguientes componentes:

- Servo actuadores hidráulicos
- El sistema de control de los servo actuadores

- Instrumentos de medición (celdas de carga, transductores)
- Hardware y software adecuados

1.4.6.1. Actuadores externos

El actuador hidráulico provee la energía utilizada en un equipo mediante el suministro en la bomba, estos pueden ser de tres tipos:

- Cilíndricos o gatos
- Motores
- Actuadores rotatorios

Los cilíndricos pueden ser en una dirección o dos direcciones. Los de dos direcciones son ideales para servo sistemas, presentando grandes longitudes y siendo menos económicos que los de una dirección. (Walters, 2000)

La implementación de la metodología pseudo dinámica y la incursión del uso de sistemas de actuadores electrohidráulicos en investigación a gran escala coincidió en época y se asoció la necesidad de un sistema de características similares para ensayar elementos a gran escala (Nakashima, Akazawa, & Igarashi, 1995)

Las fuerzas y desplazamientos para este tipo de instalaciones pueden ser proporcionadas por los siguientes equipos, considerando siempre sus aplicaciones límites según el ensayo a realizar:

- Gato de tornillo
- Gato plano
- Gato hidráulico
- Actuador hidráulico

Actuador hidráulico: Presenta características muy similares a los gatos hidráulicos, Opera a tensión y compresión mediante la inyección o absorción

de aceite por medio de un pistón, con la diferencia de que son capaces de controlar de manera rápida la aplicación de fuerzas debido al ágil cambio de presión del sistema. (Calvi, et al., 2005)

1.4.6.2. Sistema de control de actuadores

Se centra en 3 componentes para el procesamiento, almacenamiento de datos y calculo (YANG, et al., 2004):

- Central de datos: La información resultante del experimento es almacenada y enviada a la central de datos para cada paso.
- Motor de análisis: recibe las fuerzas resistentes medidas provenientes de la central de datos, realiza el análisis dinámico y envía los desplazamientos a la central de datos.
- Controladores: recibe la información de las fuerzas restauradoras del experimento y los envía a la central de datos. Recibe los valores del desplazamiento de la central de datos y envía esta información al equipo para ser provocada.

Además de contar con 3 componentes que conforman el sistema electrohidráulico:

- Colector de servicio hidráulico (HSM): Su función consiste en regular la presión en los conductores que llega a los actuadores hidráulicos que conforman el sistema. Es un sistema independiente de la unidad de alimentación hidráulica (HPU) (MTS Systems Corporation, 1994,2001,2008)
- Unidad de energía hidráulica (HPU): Proporciona la presión del fluido para la correcta operación del sistema y la fuente de energía para los equipos de este. (MTS Systems Corporation, 2013)

- Servo-válvula: Responsable de controlar la velocidad y por lo tanto la fuerza y movimiento del actuador externo usado en el ensayo. (MTS Systems Corporation, 2014)

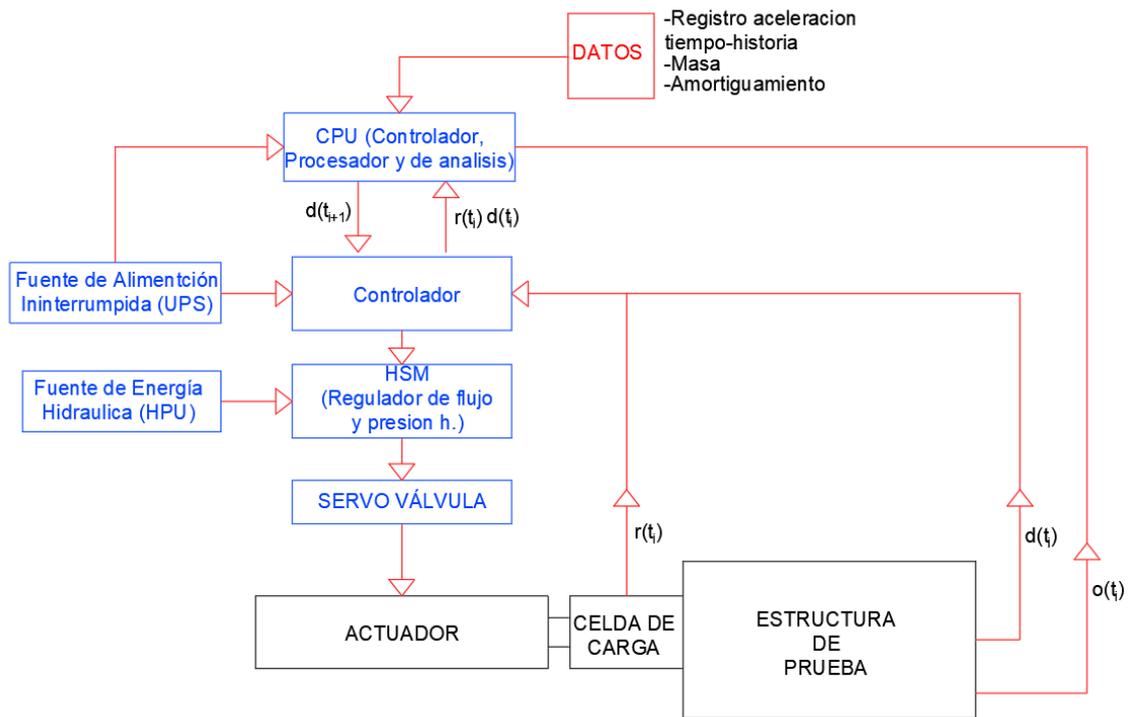


Figura 1.3 Diagrama de flujo del sistema electrohidráulico de la metodología PDT

1.4.7. Contexto actual

El CIV ubicado en la ciudad de Quito, se especializa principalmente en pruebas de fatiga de sistemas estructurales tanto para actividades de investigación como para servicios externos con empresas públicas y privadas. Creado en 2002, el laboratorio es único en el país, siendo pioneros internos en la investigación de sistemas estructurales a escala de todo tipo.

Las instalaciones se encuentran en un galpón y cuentan con un sistema muro de reacción-losa fuerte con configuración en L, en donde solo un muro presenta acero de presfuerzo, siendo ambos rigidizados por contrafuertes visibles en la fachada del edificio. La idea fue concebida con una losa fuerte sin sótano, sin

embargo, en la actualidad existe un sótano para acceder debajo de la losa para el ajuste de elementos de prueba. La losa también presenta vigas rigidizadores en ambos ejes.



Figura 1.5 Centro de Investigación de la vivienda, EPN - QUITO



Figura 1.4 Instalaciones del CIV

El equipamiento del centro consiste en gatos hidráulicos de 100 Ton con sus respectivas celdas de carga, sistema controlador y válvulas reguladoras, además de un puente grúa de 10 Ton, un marco de carga de 1.2 m de longitud y gato hueco para pretensión en cimentación de elementos de prueba. El sistema válvula reguladora-gato no se encuentra automatizado. Los principales datos que se obtienen a través del tiempo en los ensayos son: fuerzas aplicadas por el gato y esfuerzos en cada punto donde se ubican strain gauges.

La administración del centro es organizada y completa. Opera separada de la institución, sin embargo, las facultades se encuentran inscritas a ellas y existe libre apertura para docentes y proyectos de la carrera de ingeniería civil. Actualmente están en planes de expansión y repotenciación.

Existió gran apertura del centro a los autores para conocer sus instalaciones, operación y administración.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1. Antecedentes y necesidades del cliente

El área, en el que se planeó ubicar el proyecto, actualmente consta de un galpón de construcción mixta y un edificio de un nivel, estos fueron construidos en el año 1991 y se encuentran localizados en la facultad de Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral campus Gustavo Galindo en el Km 13.5 de la Vía Perimetral, en la vía principal de la ESPOL. Ver plano de Implantación Apéndice B. Antiguamente funcionaban en las instalaciones la empresa INTRAMET, la cual se encargaba de la fundición de piezas en aleaciones especiales ferrosas y no-ferrosas (Seminario, 2003).

El nuevo laboratorio de materiales de construcción tiene previsto la existencia de espacios destinados para distintas áreas, entre ellas, la de estructuras. Este espacio dentro del galpón existente, en donde se ubicará el sistema muro de reacción-losa fuerte, se socializo con los docentes, de la facultad de ingeniería mecánica, encargados de las demás áreas que se proponen.

En el área se plantea que conste con el sistema propuesto para ensayos de fatiga y test pseudo-dinámicos para simulación del comportamiento sísmico y para sistemas estructurales. Además del espacio destinado para la ubicación de equipos para mantenimiento, preparación y corrida de ensayos, área de taller, área de almacenamiento de materiales y desechos, y de control.

2.2. Estudio de la situación actual

2.2.1. Topografía actual de la zona

Para obtener la topografía del área de interés, se realizó un levantamiento topográfico en donde, utilizando puntos georreferenciados establecidos, se plantearon las coordenadas de hitos.

La placa ESPOL -7 ubicada continua al área deportiva frente a la FIEC y nuevo coliseo de ingenierías fue utilizada para complementar los datos de los puntos georreferenciados presentados en el trabajo “Monumentación y georreferenciación de dos hitos georreferenciados con control horizontal y vertical dentro de las inmediaciones de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra”. Específicamente se utilizaron los siguientes puntos: I_1, J_1, M_1, N_1 (Larreta, 2017)

El trabajo consistió en obtener las coordenadas de elevación de cada uno de los puntos mencionados en el apartado anterior mediante el proceso de nivelación iniciando en la placa IGM, comprobando además las coordenadas indicadas en el trabajo guía. Posterior a esto, mediante triangulación y usando el mismo método, se establecieron nuevos puntos georreferenciados para definir estaciones de trabajo topográficos para el proyecto.

Usando las estaciones georreferenciadas se continuo con la radiación para el levantamiento de la implantación del edificio y se obtuvieron puntos para la obtención de curvas de nivel del terreno natural.

2.2.2. Modelo de la estructura existente

La edificación actual se modeló mediante un software de análisis estructural con el fin de corroborar las condiciones de serviciabilidad y resistencia de esta, bajo las condiciones de carga mínimas a las que se asume que ha estado sometida, las consideraciones para la evaluación sismorresistente obedecen la normativa local NEC 2015.

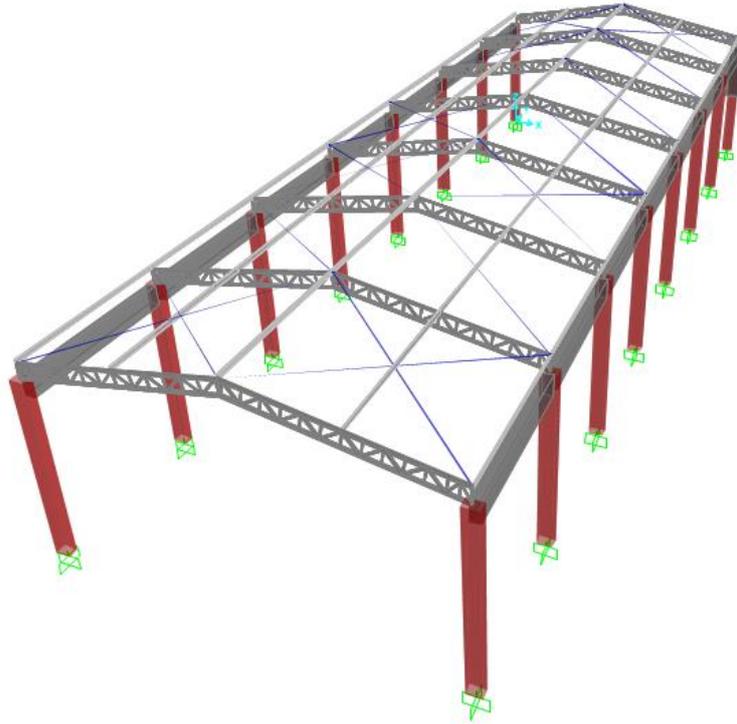


Figura 2.1 Modelo del galpón existente

2.2.3. Segmento y Estudio del Mercado

La industria de la construcción representa el mercado hacia el que se pretende dirigir el servicio a brindar en el laboratorio propuesto, para tal propósito se determina el número de empresas con actividad económica afín. De acuerdo con el directorio de empresas y establecimientos (DIEE), se registra un total de 28.678 empresas dedicadas a la construcción en el Ecuador, catalogadas según su actividad en categorías de: microempresas, pequeñas empresas y medianas empresas.

Tabla 2.1 Total de empresas en la industria de la construcción según su categoría en Ecuador. Fuente: INEC, 2018

Categoría	Total
Microempresa	24.436
Pequeña empresa	3550
Mediana empresa	424

Mediante una encuesta se planeó obtener información acerca del conocimiento y posible uso de servicios que ocuparían empresas privadas actualmente

involucradas en la industria de la construcción a nivel local. Se pudo acceder a una entrevista con una empresa consultora del total de empresas del listado, la cual proporcionó la información requerida para el estudio.

2.3. Estudio Geotécnico

2.3.1. Investigaciones de Campo

2.3.1.1. Exploración del área

La actividad consistió en el recorrido e identificación de los afloramientos de rocas ubicados en los terrenos adyacentes a la zona de estudio. Se registran tres ubicaciones:

- Quebrada N-O (Zona UTM 17S 9763102N 614926E)
 - A una profundidad de 7m respecto a la vía principal de ESPOL, mediante un martillo geológico se obtuvieron muestras de roca y se pudieron identificar zeolitas poco meteorizadas en dirección a la zona de estudio y gravacas a lo largo de la quebrada y en dirección NO.

- Talud de edificio STEM (Zona UTM 17S 614993N 9763011E)
 - A la altura de la vía principal de ESPOL, se halló un corte de 2m de altura donde se pudieron observar los estratos de la roca y las condiciones de las discontinuidades. Se identifica la roca como lutita calcárea, con un buzamiento de 15° SO.

- Área Este del Edificio de Metalurgia (Zona UTM 17S 615055N 9763039E)
 - Se identificó el afloramiento directo del macizo rocoso a nivel de piso, junto a un talud no natural del mismo macizo el cual había sido desplazado, con buzamiento 69° SO

2.3.1.2. Geología de la zona

En la zona del Campus Gustavo Galindo se ubican, según el mapa geológico de la ciudad de Guayaquil (GEOESTUDIOS S.A., 2011), la formación Cayo, perteneciente a la Cordillera Chongo Colonche, en donde predominan limolitas de color verde, areniscas color amarillento, grauvacas cloritizadas, y lutitas calcáreas (CLIRSEN; SIGAGRO, 2011). Tanto las grauvacas y lutitas calcáreas se pudieron identificar en la zona de estudio adyacente al laboratorio de metalurgia.

2.3.1.3. Calicatas

Con el fin de identificar la profundidad del macizo rocoso y conocer propiedades mecánicas del mismo, así como la del relleno sobre yacente, dentro y fuera del edificio, se realizaron calicatas con maquinaria.

En las excavaciones realizadas en la parte exterior del edificio, se visualizó el cambio de estrato, a partir de donde a la retroexcavadora se le imposibilitó continuar extrayendo material, indicando la presencia de roca meteorizada.

Tabla 2.2 Profundidad del estrato resistente en el exterior del laboratorio

Calicata	Ubicación		Profundidad del estrato resistente [m]
	Norte	Este	
1	9763085	615001	78.507
2	9763092	615003	79.169
3	9763089	614985	79.433
4	9763097	614986	79.402
5	9763097	614989	79.386

En la parte interior del edificio también se realizaron calicatas con la finalidad de conocer la profundidad a la que se encuentra el macizo y el nivel de desplante de la cimentación. Además, se tomaron muestras del material de empleado para el relleno para su posterior caracterización.

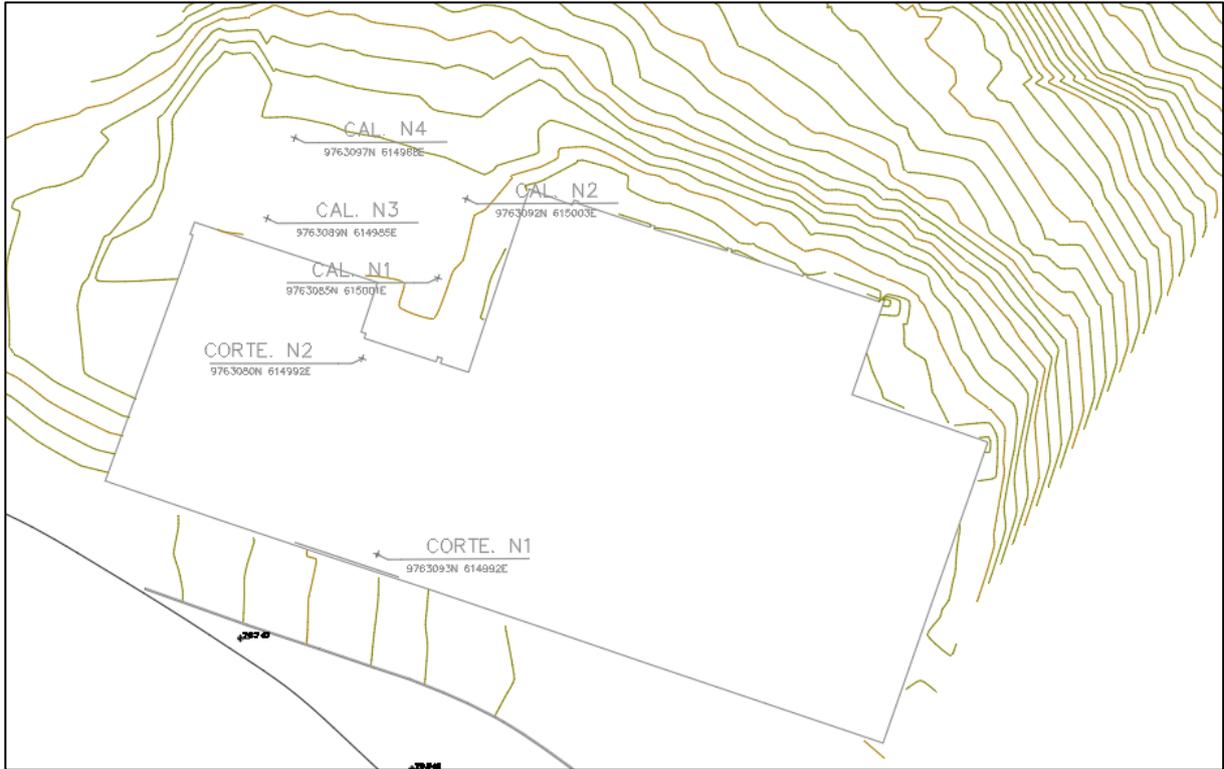


Figura 2.2 Ubicación de calicatas y excavaciones en zona de estudio. Fuente: Autores

2.3.2. Caracterización en laboratorio

Se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio según la normativa actual vigente.

- Peso específico del suelo (ASTM D 4531-15)
- Ensayo de Granulometría (ASTM C 136-14)
- Ensayo de Límites de Atterberg (ASTM D 4318-17e1, ASTM D 2487)
- Peso específico de la roca (ASTM D 4531-15)
- Resistencia a la compresión de la roca por esclerómetro (ASTM D 5873-14)

Los parámetros de resistencia de la roca tales como ángulo de fricción, cohesión y capacidad última (50% de la capacidad de la roca sana) fueron obtenidos del estudio realizado para la construcción de la presa #1 de ESPOL. Estos fueron a su vez contrastados con las respectivas correlaciones usando los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio.

2.4. Diseño conceptual

2.4.1. Alternativas

2.4.1.1. Descripción de alternativas

- a. Sistema muro de reacción – losa fuerte con sótano, configuración en L dentro del laboratorio

La presente alternativa consta de un sistema muro de reacción-losa fuerte localizado dentro del laboratorio de metalurgia. Se dispone de un sótano destinado para el anclaje de los elementos de prueba mediante ductos colocados en la losa fuerte.

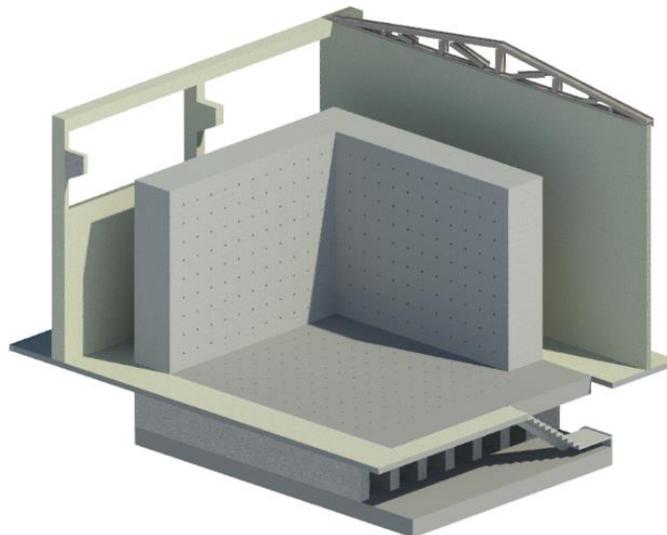


Figura 2.3 Modelo en 3D de alternativa A. Fuente: Autores

- b. Sistema muro de reacción – losa fuerte con sótano, configuración en L fuera del laboratorio

La alternativa presentada consta de un sistema muro de reacción-losa fuerte ubicado en la parte exterior laboratorio de metalurgia. Se dispone de un sótano destinado para el anclaje de los elementos de prueba mediante ductos colocados en la losa fuerte.

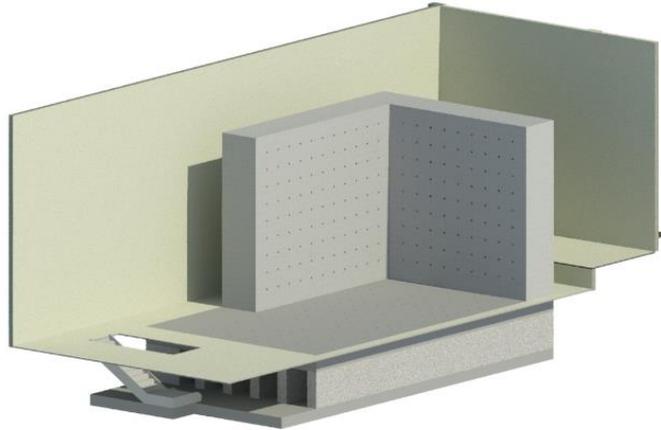


Figura 2.4 Modelo en 3D de alternativa B. Fuente: Autores

c. Sistema muro de reacción – losa fuerte sin sótano, configuración en L dentro del laboratorio

La alternativa mencionada, se compone de un sistema muro de reacción-losa fuerte ubicado en la parte interior del laboratorio de estructuras. La losa fuerte se sitúa a nivel del piso y el anclaje de los elementos de prueba se lo realiza desde la superficie de la losa.

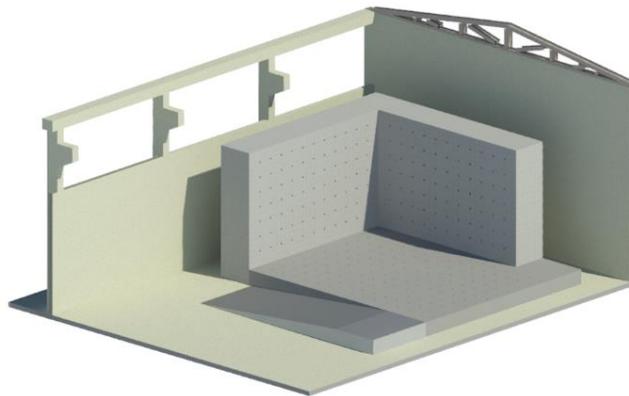


Figura 2.5 Modelo en 3D de alternativa C. Fuente: Autores

2.4.2. Criterios de riesgo

Para la posterior calificación del riesgo, se definieron de manera previa los criterios de riesgo considerando los diversos componentes del proyecto y su importancia.

Tabla 2.3. Criterios de riesgo del componente constructivo

Criterios		Alto (3)	Medio (2)	Bajo (1)
I	Porcentaje requerido de mano obra especializada	Más del 50% del total de trabajadores	Más de 30% y menos de 50% del total de trabajadores	Menos de 30% del total de trabajadores
II	Necesidad de maquinaria especial	Mayor al 50%	Menos del 50% y más del 10% del tiempo total de construcción	Menos del 10% del tiempo total de construcción
III	Acceso de maquinaria pesada	Difícil	Medio	Fácil
IV	Generación de vibraciones que afecten a la estructura existente	Durante todas las etapas de la construcción	Menos del 50% y más del 10% del tiempo total de construcción	Menos del 10% del tiempo total de construcción

Tabla 2.4. Criterios de riesgo del componente técnico

Criterios		Alto (3)	Medio (2)	Bajo (1)
I	Método de rigidización del muro	Sin contrafuertes o arriostramiento	Rigidización mediante de contrafuertes trapezoidales	Arriostramientos laterales
II	Necesidad de obras complementarias	Suelo necesita ser mejorado	-	Suelo no necesita ser mejorado
III	Tiempo de vida de infraestructura contenedora del sistema	Más de 10 años en operación	Menos de 10 años en operación	Estructura totalmente nueva

Tabla 2.5. Criterios de riesgo del componente financiero

Criterios		Alto (3)	Medio (2)	Bajo (1)
I	Uso actual del área	Ninguna infraestructura existente	Infraestructura existente parcialmente funcional	Infraestructura existente totalmente funcional
II	Obras preliminares para subestructura	Excavar dentro de una estructura	Excavar en un espacio abierto	No se necesita excavar
III	Inclusión del proyecto en el presupuesto para infraestructura de laboratorio	No ser incluido en la primera etapa de construcción	-	Constar en el presupuesto inicial

Tabla 2.6. Criterios de riesgo del componente de operación

Criterios		Alto (3)	Medio (2)	Bajo (1)
I	Altura de elementos a ensayar	Menor a 5 metros	Mayor a 5m y menor a 6 m	Mayor a 6 metros
II	Dimensión lateral de elementos a ensayar	Menor a 4 metros	Mayor a 4m y menor a 7m	Mayor a 7

III	Condiciones de apoyo	Anclajes estándares fijos permanentes en la losa	-	Anclajes mediante conexiones empernadas temporales según elemento a ensayar
IV	Área disponible para ensayos	Menor a 100 m2	Mayor a 100 y menor a 220 m2	Mayor a 220m2
V	Cargas soportadas por el sistema	Cargas bajas	-	Cargas altas

2.4.3. Evaluación del riesgo

A partir de los criterios de riesgo establecidos, se elaboró una matriz de evaluación de riesgo.

Tabla 2.7. Puntuación del riesgo de cada componente

Componente	Criterio N°	Alternativas		
		A	B	C
Constructivo	I	2	2	2
	II	2	3	1
	III	3	2	2
	IV	3	2	2
Técnico	I	3	2	3
	II	1	3	1
	III	3	1	3
Financiero	I	2	3	2
	II	3	2	1
	III	1	3	1
De Operación	I	1	3	3
	II	1	2	2
	III	1	1	3
	IV	3	1	3
	V	1	1	3

Se definió un indicador de riesgo, y en función de los factores de riesgo debidos a las limitaciones y exigencias del proyecto, se estableció el porcentaje de riesgo que presenta cada componente.

Tabla 2.8. Porcentaje de riesgo de los componentes

Constructivo	20%
Técnico	20%
Financiero	25%
De operación	35%

Mediante promedios ponderados se evaluó el riesgo de cada alternativa con base en los criterios establecidos para su posterior selección.

Tabla 2.9. Evaluación cualitativa del riesgo de las alternativas

Alternativa	Constructivo (C)	Técnico (T)	Financiero (F)	De operación (O)	Riesgo
A	10	7	6	7	1,84
B	9	6	8	8	1,95
C	7	7	4	14	2,18

2.4.4. Selección de la alternativa

La alternativa A resultó con menor riesgo que las demás alternativas analizadas; por lo tanto, se propone para el diseño a detalle la opción del laboratorio con sótano dentro del galpón.

2.5. Justificación de actuadores hidráulicos

Con la finalidad de justificar los actuadores hidráulicos que se emplearán para los ensayos, se consideraron casos de máxima demanda, los cuales emplearon muros de corte de hormigón armado. La modelación computacional se realizó mediante un software de análisis estructural.

Con la finalidad de respaldar la metodología presentada, se realizó un modelo en base al trabajo “Análisis Comparativo de Muros de Cortante de Hormigón Armado con diferente relación de aspecto a través de ensayos de carga lateral en el plano “ (Anasi & Arévalo, 2015) y se compara con los resultados obtenidos únicamente para el Muro 2 de la misma investigación.

La razón de usar solamente el Muro 2 de la investigación mencionada, se debe a la similitud de dimensiones de la sección con la de los Muros de prueba ilustrados más a delante

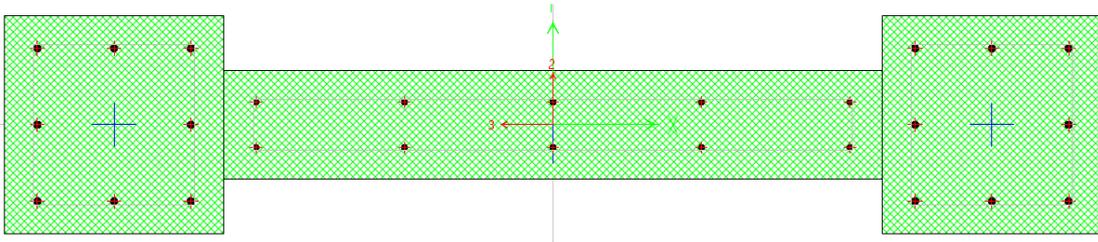


Figura 2.6 Sección del muro de estudio para comparación

El ensayo realizado consiste en la aplicación de una carga cíclica dinámica provocada por un actuador de 20 [Ton] con un ciclo de carga seleccionado por los autores. Se presentan diagramas de interacción de los muros ensayados y curvas de Histéresis. Únicamente se compara para este caso el diagrama de interacción mostrado a continuación con uno realizado según las características de armado y propiedades de los materiales según los autores, utilizando la metodología seleccionada para esta sección.

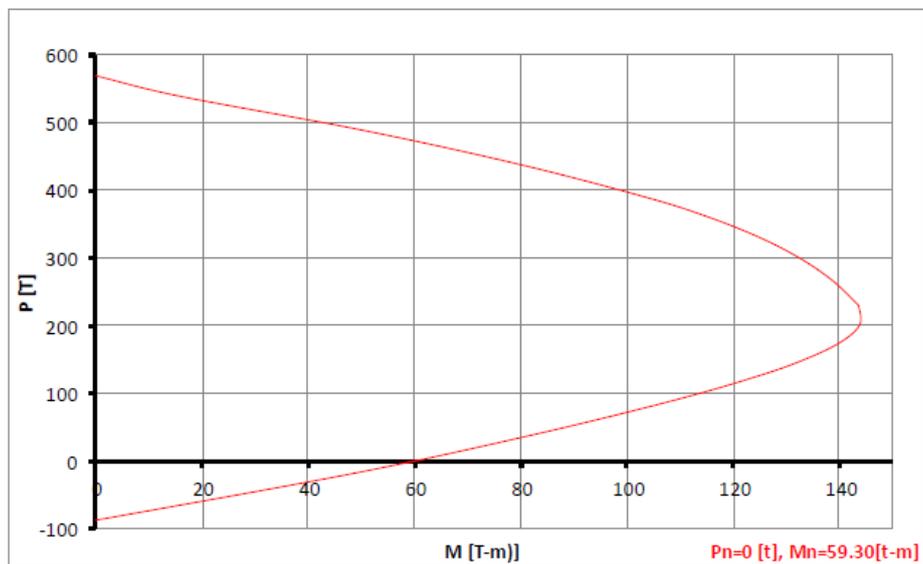


Figura 2.7 Diagrama de Interacción Muro 2. Fuente (Anasi & Arévalo, 2015)

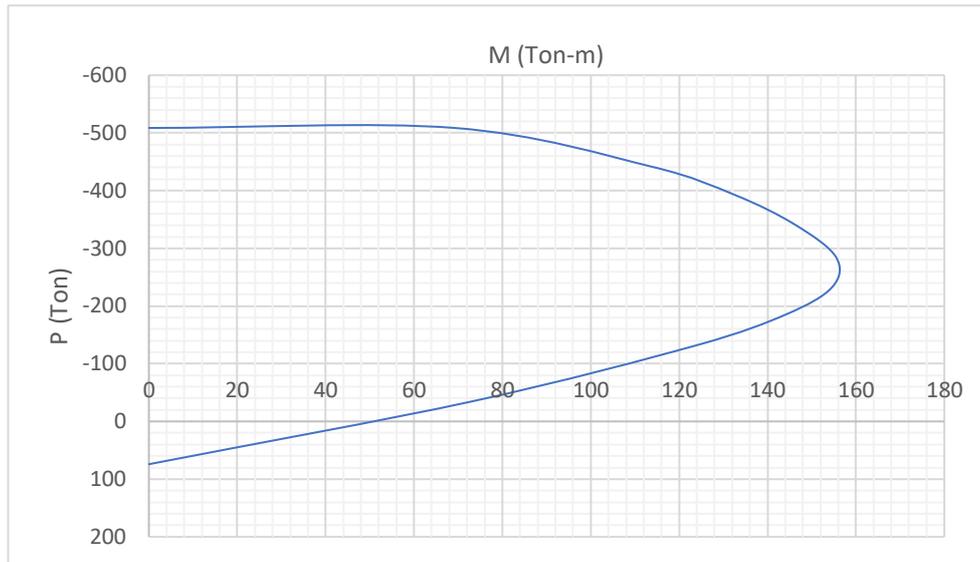


Figura 2.8 Diagrama de interacción del Muro 2 Anasi – Arévalo

Fuente: Autores

Se puede observar que los resultados obtenidos en el diagrama de Interacción del modelo presentan las mismas características que en el trabajo contrastado. Por lo tanto, se empleará un procedimiento similar para el modelado de los muros de prueba.

En base a las dimensiones preliminares del muro de reacción a diseñar, se establecieron las máximas alturas posibles de los muros de prueba.

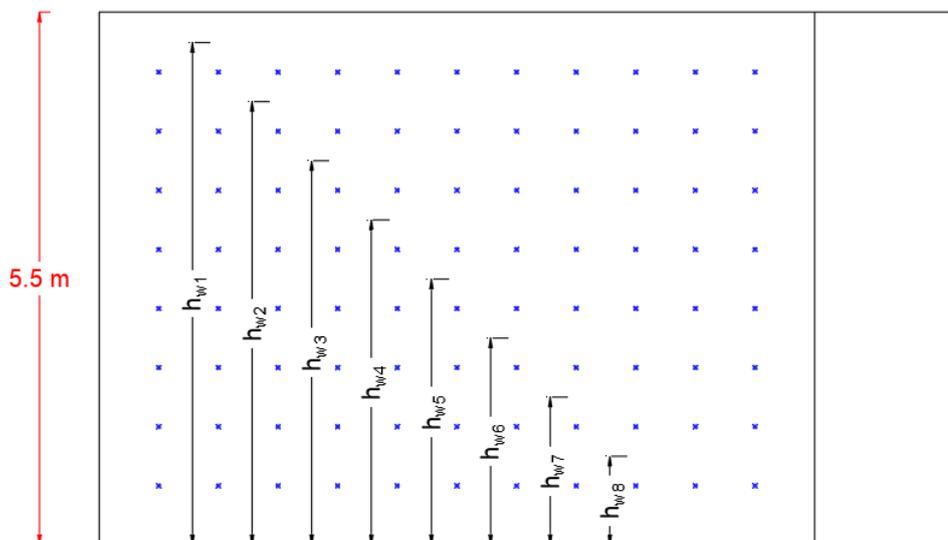


Figura 2.9 Vista de perfil de Muro de reacción y alturas h_w . Fuente: Autores

Según el “Manual de Cálculo y diseño de muros estructurales de concreto armado” (Bondarenko & García, Noviembre 2012) el dimensionamiento de un muro de corte presenta los siguientes criterios.

Criterio 1 - Clasificación según su esbeltez

Para muros estructurales Bajos

$$\frac{h_w}{l_w} \leq 2 \quad (2.1)$$

Para muros estructurales Altos

$$\frac{h_w}{l_w} \geq 2 \quad (2.2)$$

Siendo h_w , la altura y l_w , la longitud del muro. Para el caso actual se considerarán solamente muros estructurales Altos.

Criterio 2 – Requisito para muros estructurales

$$\frac{b_w}{l_w} < 0.4 \quad (2.3)$$

Siendo b_w el espesor del muro.

Tabla 2.10 Geometría de Muros de prueba

MURO	1	2	3	4	5	6	7	8
h_w [m]	5.19	4.58	3.97	3.36	2.75	2.14	1.53	0.92
l_w [m]	2.47	2.18	1.89	1.60	1.31	1.02	0.73	0.44
e [m]	0.37	0.33	0.28	0.24	0.26	0.15	0.11	0.07

En cada modelo se consideró una fuerza actuante de 100 [Ton] con la finalidad de encontrar las dimensiones máximas de un elemento a ensayar usando un actuador de dicha característica. Se descartaron en el proceso las opciones 5, 6, 7 y 8 por generar momentos insignificantes en comparación a los muros restantes.

El procedimiento para el cálculo del acero de refuerzo se encuentra en APÉNDICE C para el cual se consideró los criterios de diseño del ACI 318-14.

2.6. Diseño de alternativa seleccionada

De acuerdo con YLE GmbH Structural and Seismic Testing Division el diseño de un sistema similar al propuesto consta de los siguientes pasos:

- I. Identificación de las combinaciones de carga causantes de la máxima demanda en elementos.
- II. Análisis estructural considerando las máximas combinaciones de carga.
- III. Diseño en concordancia con la normativa ACI o Eurocódigo.
- IV. Diseño de los puntos de anclaje.
- V. Detallamiento estructural, planos y cálculo de cantidades.

Para cada uno, se procedió de manera particular en el proyecto.

El predimensionamiento se basó en el estudio del arte de sistemas similares alrededor del mundo y en las restricciones que contemplan el proyecto. Las dimensiones de esta dependerán principalmente del espacio y de los recursos y restricciones que se posean.

2.6.1. Configuración

El sistema está conformado por un muro de reacción con configuración en planta L, una doble losa (losa Fuerte hasta nivel de piso terminado y losa de cimentación en el nivel más bajo del sistema), además de muros estructurales de sostenimiento perimetrales y transversales con la finalidad de soportar la estructura y aportar rigidez.

Tabla 2.11 Dimensiones Principales del sistema

MUROS	e [m]	L [m]	H[m]
De Reacción	1.5	7.32	5.5
Perimetrales	0.3	Varios	1.8
Transversales	0.3	Varios	1.2
LOSAS	e [m]	L [m]	B[m]
Fuerte	0.6	11.8	10.82
Cimentación	0.4	11.8	10.82

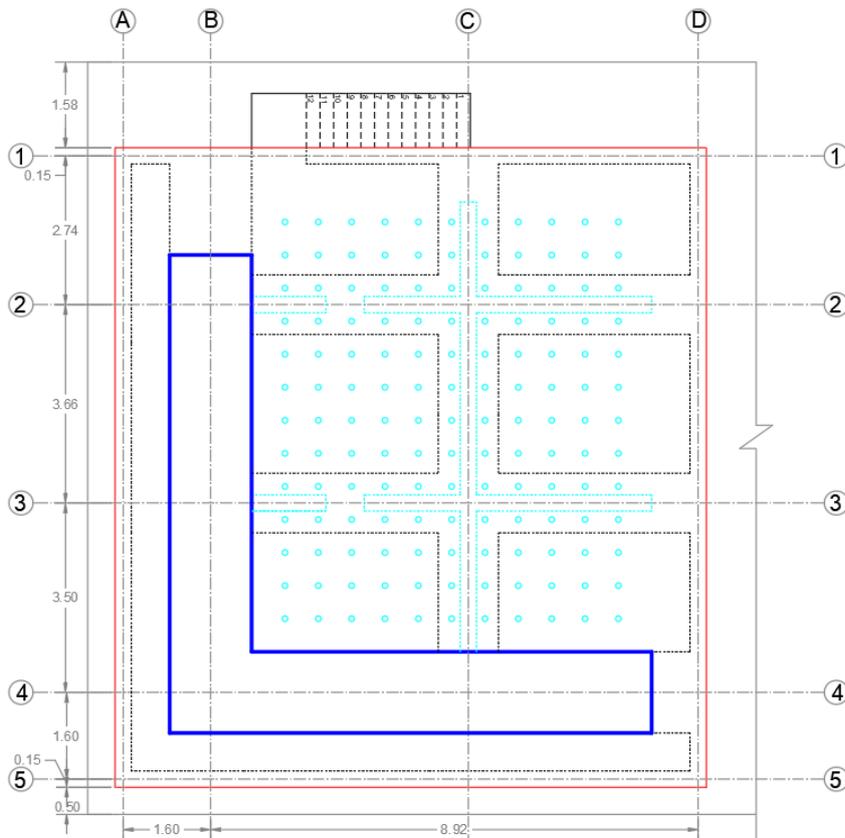


Figura 2.10 Bosquejo Preliminar del sistema

El predimensionamiento conlleva un proceso iterativo de acuerdo con los resultados obtenidos del modelo estructural.

El espesor del muro se corrobora mediante las máximas deflexiones que estarían sujetas a este en su estado de carga de mayor demanda.

2.6.2. Identificación de Combinaciones de Carga

Para el análisis de fuerzas sísmicas se consideraron las siguientes ecuaciones según la NEC 2015.

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones depende de la aceleración espectral y el periodo de retorno, la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño y el coeficiente de amplificación del suelo en la zona de período corto.

$$S_a = nzF_a \quad (2.4)$$

El periodo fundamental de vibración de la estructura se determinó en función de la altura de la edificación y un coeficiente que depende del tipo de estructura.

$$T = C_t h_n^\alpha \quad (2.5)$$

El cortante basal de diseño se determina a partir de la siguiente expresión:

$$V = \frac{IS_a}{R\phi_p\phi_E} W \quad (2.6)$$

Las combinaciones de cargas utilizadas se muestran a continuación:

$$1.4D \quad (2.7)$$

$$1.2D + 1.6L \quad (2.8)$$

$$1.2D + E_x + L \quad (2.9)$$

$$1.2D + E_y + L \quad (2.10)$$

$$1.2D - E_x + L \quad (2.11)$$

$$1.2D - E_y + L \quad (2.12)$$

$$0.9D + E_x \quad (2.13)$$

$$0.9D + E_y \quad (2.14)$$

$$0.9D - E_x \quad (2.15)$$

$$0.9D - E_y \quad (2.16)$$

No se consideró carga viva por parte del actuador hidráulico debido a que no se contemplan dentro de cargas influyentes al ser netamente generados por los equipos. Sin embargo, la carga se seleccionó de la tabla 9 de la NEC 2015 según el uso de la estructura, correspondiente a una sobrecarga de $6 \text{ Ton}/\text{m}^2$ por concepto de uso industrial.

2.6.3. Modelo estructural

Se identificaron dos casos distintos de carga de acuerdo con su naturaleza. La primera hace referencia a una envolvente definida por las previas combinaciones de carga presentadas, y la segunda, como carga cíclica provocada por un actuador.

Los elementos de prueba correspondientes al ensayo más crítico que puede realizarse fueron diseñados de forma previa en función de la capacidad máxima del actuador, de modo que al ser sometidos a prueba alcancen la falla. Se determinó la máxima capacidad del concreto. La carga cíclica sujeta al actuador es teórica con intervalos de tiempo de 5s y alcanza una fuerza máxima de 100Ton.

Mediante un software de análisis estructural se modeló el sistema, conjunto de muros de apoyo y elementos de prueba más críticos que se podrían ensayar. Se consideraron dos escenarios de pruebas distintas:

- Dos ensayos simultáneos en los extremos más alejados de la losa mediante muros de la mayor capacidad, cada uno sujeto a un actuador hidráulico de 100 toneladas en su extremo superior en su eje de mayor inercia.
- Un ensayo para el muro de mayor capacidad con actuadores hidráulicos de 100 Ton en cada eje, ambos en sus extremos superiores.

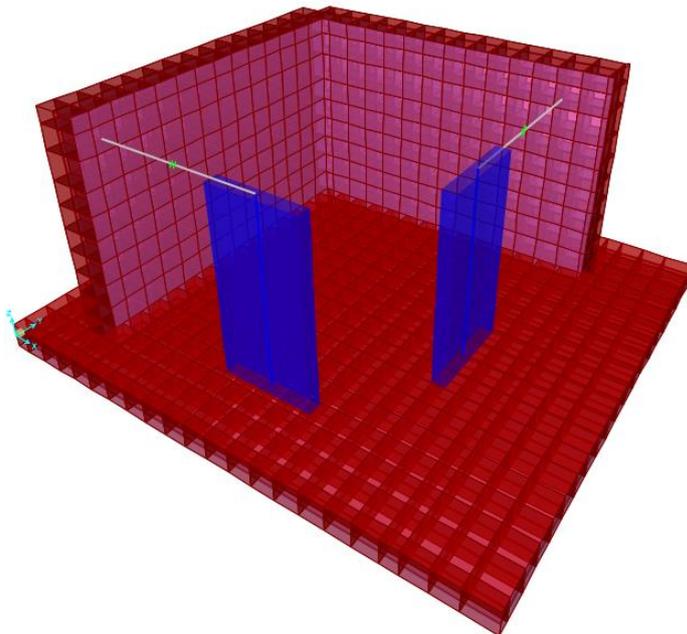


Figura 2.11 Modelo estructural del sistema. Condición de Carga N°1

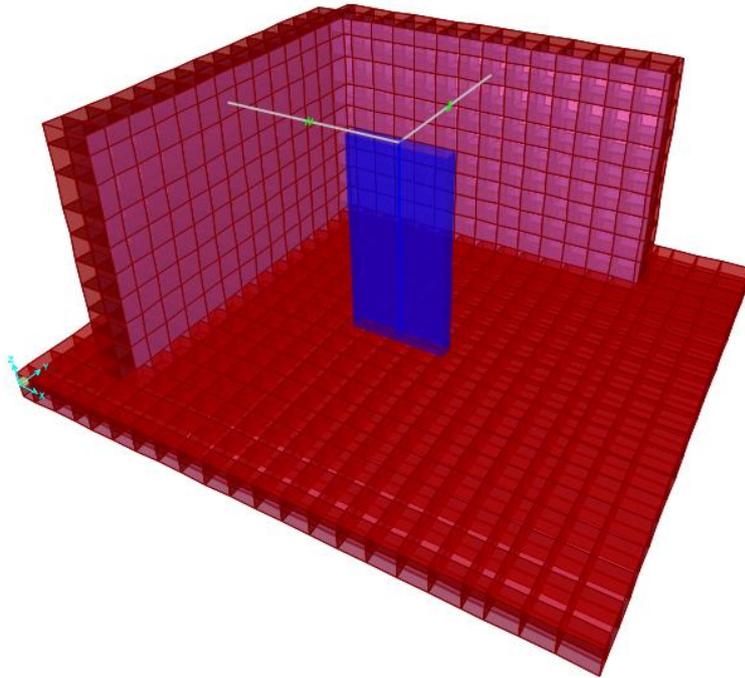


Figura 2.12 Modelo estructural del sistema. Condición de Carga N°2

Los máximos momentos obtenidos para el diseño se encuentran en el paso 65 [s] de la carga cíclica de prueba. Los momentos generados por la envolvente del peso propio y sismo no son significativos en comparación a la carga generada por los equipos en el ensayo de mayor demanda.

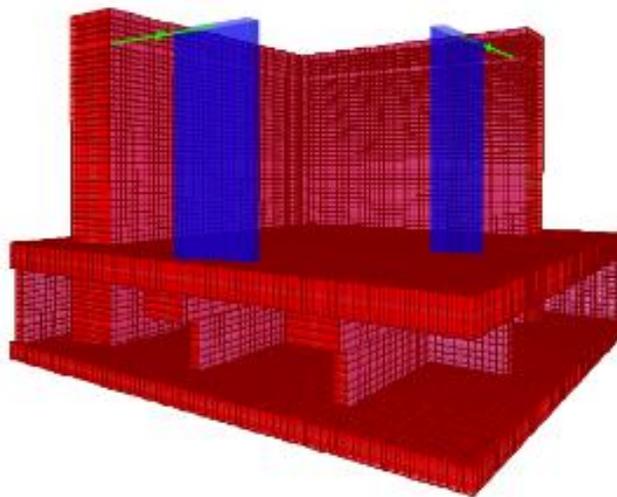


Figura 2.13 Modelo Estructural Completo con condición de carga seleccionada

2.6.3.1. Sub-Estructura

Los muros que delimitan el perímetro de la losa fueron sometidos a las cargas generadas por la presión del suelo, dichos valores fueron establecidos en función del ángulo de fricción y peso específico del material, según la profundidad del elemento respecto a la superficie.

Se considero la siguiente ecuación para determinar el coeficiente de balasto de una roca según discontinuidades y propiedades mecánicas (Lee & Jeong, 2016).

$$k_j = J_f \cdot k_s = J_f * \left(\frac{E}{B * (1 - \nu)} \right) \quad (2.17)$$

Tabla 2.12 Factor de reducción de juntas

J_f		I_d			
		0	30	60	90
S_d/B	0.5	0.63	0.43	0.58	0.71
	1.0	0.73	0.58	0.64	0.78
	1.5	0.83	0.63	0.71	0.86
	2.0	0.85	0.67	0.73	0.91

A partir del coeficiente obtenido se asignaron las respectivas fuerzas sobre los elementos de área que conforman la cimentación del modelo. Se obtuvieron valores referenciales del módulo de elasticidad y poisson de una limolita según “Guidelines for Open Pit Slope Design” (Read & Stacey, 2009).

2.6.4. Diseño Estructural y Detallamiento

El diseño estructural se realizó en base al “Building Code Requirements for Structural Concrete” (ACI, 2014), donde se detallan los capítulos principales utilizados.

Capítulo 7 – Losas en una dirección

Capítulo 8 – Losas en dos direcciones

Capítulo 11 – Muros

Capítulo 13 – Cimentación

Capítulo 16 – Conexión entre miembros

Capítulo 25 – Detalle del Refuerzo

El espaciamiento entre los puntos de anclaje tanto del muro de reacción y la losa fuerte se basaron en el estándar considerado de sistemas similares alrededor del mundo. Mientras que los materiales seleccionados se asemejan a los existentes en el CIV en la EPN en Quito y a los implementados en la Universidad Autónoma de Querétaro en México

Para el detallamiento de los elementos estructurales se utilizó el “Manual de detallamiento para elementos de hormigón armado” (ICM, 2009).

El diseño de la escalera de acceso se realizó de acuerdo con “Diseño de Concreto Armado” (Morales, 2006)

2.6.5. Arquitectónico

El modelo arquitectónico del edificio que operará como el nuevo laboratorio y el área de estructuras, contemplando la zona para el sistema propuesto y la de trabajo y almacenamiento, se realizó utilizando el software Revit.

2.6.6. Equipamiento

El equipamiento del laboratorio se encuentra dividido en 4 partes:

- Sistema electrohidráulico
 - Se refiere al conjunto de actuadores y su respectivo sistema electrohidráulico, los cuales fueron cotizados con la empresa multinacional de origen estadounidense MTS,
 - Sistema de adquisición de datos, cotizado con la empresa estadounidense MicroMeasurements,
 - y, LVDTs, cotizados con la empresa Digi-Key electronics
 - En los quipos también se incluye un gato hueco de 60 Ton.
- Puente grúa
 - La adquisición del puente grúa bitrocha con dimensiones personalizadas para el proyecto, con la finalidad de ajustarse a la estructura existente, a su vez se socializo con la empresa guayaquileña ENATIN.
- Equipos accesorios

- Se refiere a equipos extras a considerar con la finalidad de adaptar los espacios para construcción, taller y soldadura, como complemento al área de ensayos estructurales.
- Herramientas de Taller y complementarios
 - Hace referencia a elementos varios para el mantenimiento y limpieza del sitio, además de accesorios de seguridad y herramientas menores para las respectivas áreas mencionadas.

2.6.7. Instalaciones

2.6.7.1. Diseño eléctrico

Las instalaciones eléctricas, su protección y alimentación se diseñaron en base a la demanda de los elementos de iluminación y los tomacorrientes necesarios para el funcionamiento de los equipos que se dispondrán en el laboratorio siguiendo los procedimientos descritos en “El abc de las instalaciones eléctricas residenciales” (Henriquez Harper, 1998)

Para los equipos que funcionan con motores se procedió de manera diferente, teniendo en cuenta las fases y las potencias.

Tabla 2.13 Características de los equipos del laboratorio con sus respectivos circuitos

Circuito	Equipo	Tensión (V)	Cantidad	Potencia (VA)	Fase
PL-1	Punto Luz Industrial	240	11	200	1
PL-2	Punto Luz	120	22	32	1
PT-1	Punto Tomacorrientes	120	9	150	1
PT-2	Concretera	240	1	2237.1	1
PT-3	Soldadora	240	1	250	1
PT-3	Fresadora	240	1	200	1
PT-4	Compresor	120	1	1491.4	1
PT-5	Torno	120	1	559.275	1
PT-5	Taladro	120	1	560	1
PT-6	Cortadora	120	1	2200	1
PT-6	Amoladora	120	1	2200	1
PT-5	HSM	120	1	33.12	1
PT-HPU	HPU	440	1	29828	3
PT-PG	Puente Grúa	440	1	16000	3

2.6.7.2. Diseño hidrosanitario

Para las instalaciones sanitarias y de agua potable, se detallaron las redes y sus puntos de abastecimiento y descarga de forma respectiva como se indica en los planos hidrosanitarios del Apéndice B. El diseño de la red de abastecimiento de agua potable y el cálculo de las pérdidas de cargas asociadas, se elaboraron de acuerdo con el procedimiento descrito en “Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones” (Pérez Carmona, 2010). Las unidades servidas comprenden un lavadero, una llave y un punto para el HPU. El detalle del procesamiento de datos se incluye en el Apéndice C.

2.7. Estudio Financiero

Se realizó un presupuesto general de la obra mediante el análisis de precios unitarios, el cual se encuentra detallado en el Apéndice D. Se incluye obras preliminares, estructura de hormigón armado (SMR-LF), acabados, accesos, instalaciones hidrosanitarias y eléctricas. Además de los rubros concernientes al equipamiento propuesto y cotizado. Adicional a esto, se ha realizado el cálculo para el valor de los costos indirectos de oficina.

El estudio financiero consistió en el detalle de costos fijos y costos de operación, del área de estructuras, subdividiendo los fijos en: servicios básicos, licencia de software, mantenimiento de equipos, transporte de desechos y salarios de personal; y de operación en: servicios básicos y suplementos de oficina.

Se consideró la inversión inicial subdividida en 2 partes: obra civil y equipamiento, y activos fijos (muebles). Se selecciono un valor residual de inversión de equipos igual al 20% del total del rubro

Se definió un conjunto de ensayos y servicios a realizarse, en donde se propusieron precios por servicios prestados para cada uno de ellos. Igualmente se consideraron proyectos internos de investigación con la finalidad de repercutir

en los costos de operación generales por el uso del laboratorio. Se establecieron tres escenarios, denominados como: desfavorable, intermedio y favorable, en donde se definieron distintas cantidades de ensayos a realizarse. Cabe destacar que los ingresos anuales se mantuvieron fijos para un periodo de análisis de 20 años, por ser el tiempo que vida útil de los equipos cotizados.

2.8. Gestión del Proyecto

Para la implementación del proyecto se realizó un cronograma de ejecución propuesto de obra según las actividades relacionadas a los rubros existentes en el presupuesto.

La Figura 2.14 muestra la estructura de desglose de trabajo general del proyecto. La sección resaltada en rojo se refiere a los entregables que contempla el trabajo presentado, los cuales se proponen como diseños básicos y servirán de referencia para la realización final de la obra. Además, se realizaron las especificaciones técnicas de la obra civil, las cuales se detallan en el Apéndice F.

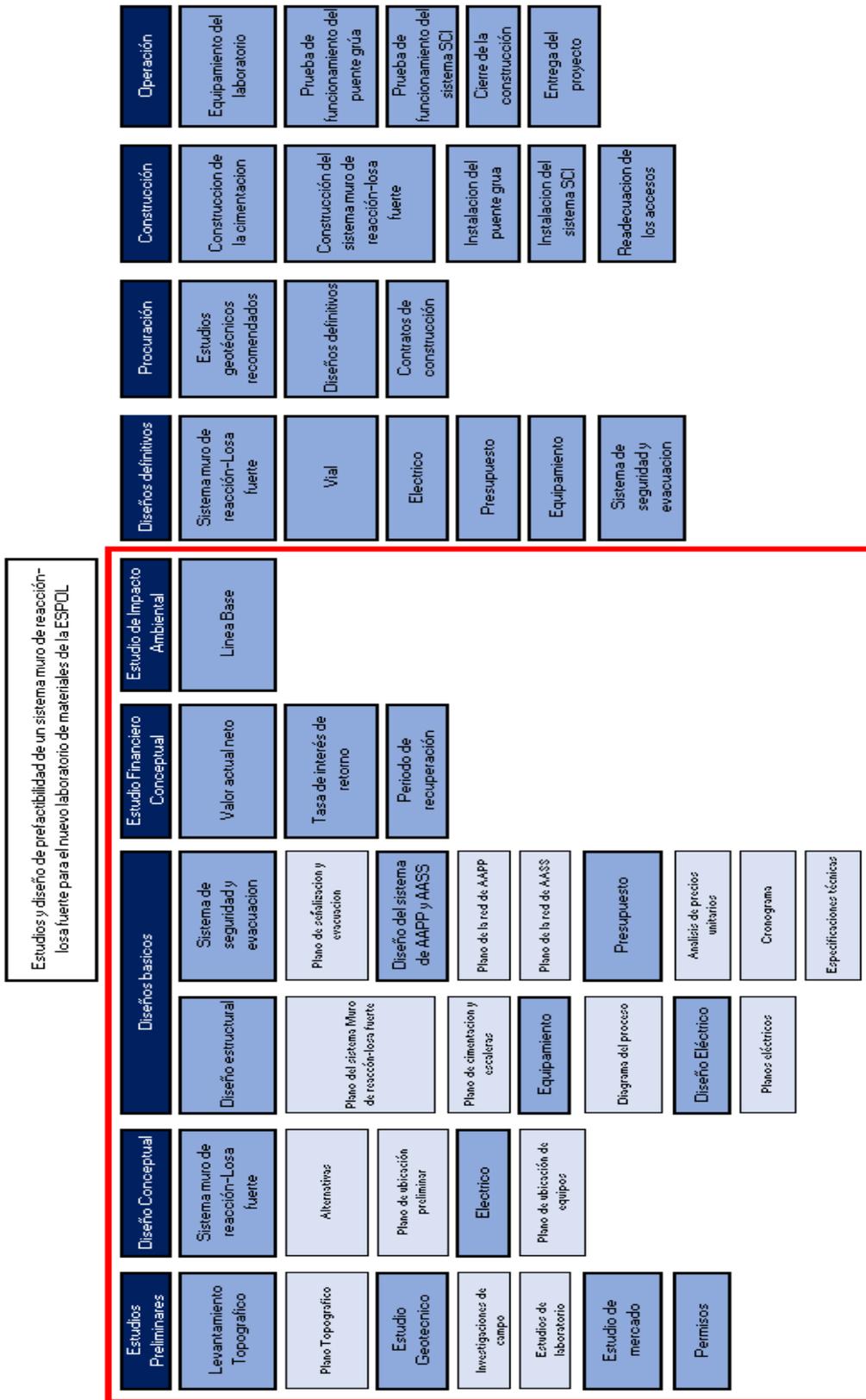


Figura 2.14 Estructura de desglose de trabajo general y específica del proyecto

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Estudios de campo y laboratorio

3.1.1. Peso Específico del suelo

El resultado obtenido a partir del ensayo de la muestra es referencial mas no representativo del material de relleno debido a las dificultosas condiciones con las que se la extrajo, razón por la cual no fue posible obtener más especímenes de ensayo.

Tabla 3.1 Resultados del ensayo Peso específico del suelo

Símbolo	Detalle	Valor
ρ_m	Densidad de la muestra	1.72 [g/cm ³]
γ_m	Peso específico de la muestra	16.87 [kN/m ³]

La muestra analizada corresponde a una profundidad específica; sin embargo, las características del material de relleno estudiado varían en función de la profundidad.

3.1.2. Ensayo de Granulometría

De los resultados de las tres muestras de relleno, se obtuvo que según la clasificación SUCS se trata de una arena. Por el contrario, la clasificación ASHTOO, sugiere que la muestra N°1 trata de una grava, A1-b; la muestra N°2 se clasifica como fino; y la muestra N°3 presenta características de ser arena.

La clasificación completa tanto para SUCS y ASHTOO dependerá de los resultados de los ensayos de límites de Atterberg.

3.1.3. Ensayo de Límites de Atterberg

Tabla 3.2 Clasificación SUCS y AASHTO de las muestras de suelo

Muestra	IPM	LL	Clasificación SUCS		Clasificación ASHTOO	
			IPA	Tipo de suelo	Tipo de suelo	Índice de grupo
1	11,42	37,9	13,07	SM	A1-b	0
2	11,61	43,76	17,35	SM	A7-5	0,7
3	14,99	43,37	17,06	SM	A2-7	0,37

Según el dato del índice de plasticidad y el análisis según la carta de casa grande, se obtiene que el material pasante del tamiz N°40 en las muestras ensayadas en todos los casos se pueden definir como limos. Por lo tanto, el suelo según la clasificación SUCS es una arena limosa (SM)

De acuerdo con la clasificación ASHTOO el suelo se puede clasificar de 3 maneras distintas.

Muestra 1 (0.40 m prof.), grava (Tipo A1-b)

Muestra 2 (0.50 m prof.), arcilla (Tipo A7-5)

Muestra 3 (0.70 m prof.), arena arcillosa (Tipo A2-7)

3.1.4. Ensayo de Peso específico de la roca

Tabla 3.3 Resumen de resultados. Peso específico de Roca

Muestra	Peso Específico [kN/m ³]	Observaciones
A	21.48	Obtenida en Afloramiento conjunto al Edificio STEM
B	19.22	Obtenida de la exploración, junto a la quebrada
C	19.72	Obtenida de la excavación dentro del Lab. de Metalurgia
D	19.62	Obtenida del afloramiento adyacente al Lab. de Metalurgia
E	19.03	Obtenida del afloramiento adyacente al Lab. de Metalurgia

Se observa que el afloramiento encontrado en el área adyacente al laboratorio de metalurgia posee la misma característica que los encontrados dentro y en los alrededores del área. Esto es un indicativo para inferir que el relleno que se encuentra debajo del edificio existente se lo obtuvo del movimiento de tierras de la misma zona.

3.1.5. Resistencia por compresión simple de roca

Tabla 3.4 Resistencia a la compresión simple obtenida con el esclerómetro

Ensayo	θ	Resistencia a la compresión simple [MPa]
1	21.61°	54
2	66.50°	58

El peso específico que corresponde al afloramiento del macizo rocoso donde se realizó el ensayo del martillo de Schmidt corresponde a 19.62 [kN/m³], perteneciendo al grupo D, del ensayo de peso específico de la roca. Para distintos ángulos de inclinación del martillo, se obtienen valores de resistencia a la compresión simple de la roca meteorizada similares.

3.2. Diseños básicos

3.2.1. Diseño de elementos de prueba

Los resultados del análisis y diseño estructural de los elementos de prueba considerados para establecer la máxima capacidad del elemento a ensayar en el sistema se detallan en la **Tabla 3.5**

Tabla 3.5 Resultados del modelo de muros de prueba y acero de refuerzo

Muro	1	2	3	4
Mu [Ton.m]	519	458	397	336
Vu [Ton]	100	100	100	100
δu [m]	0.0009	0.001453	0.001682	0.001996
Acero Longitudinal				
d_b [mm]	12	10	10	10
S [cm]	24	16	22	24

A partir del diseño estructural de los muros, se determinó que los elementos de prueba no requieren elementos de borde para satisfacer la demanda impuesta.

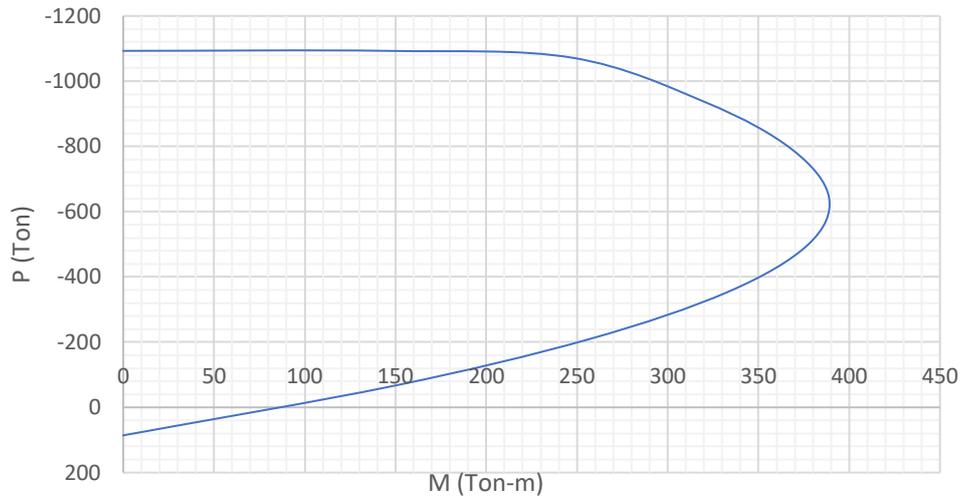


Figura 3.1 Diagrama de interacción del Muro 2

A partir de la observación del conjunto de diagramas de interacción adjuntos en el apéndice C, correspondientes a los muros analizados, se acota que para un actuador de 100 T la sección máxima que puede ensayarse sería una con propiedades similares a las del muro 2 indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

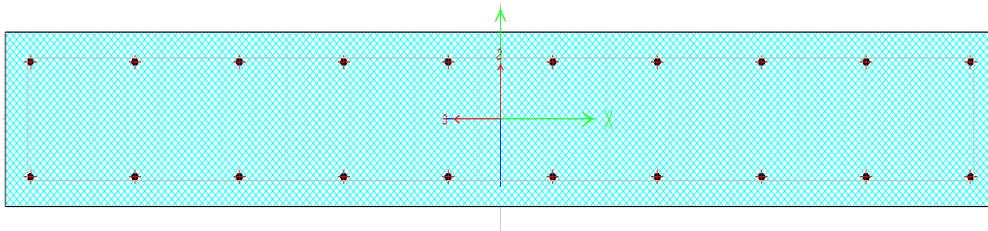


Figura 3.2 Detalle del refuerzo del elemento de prueba N°2

En caso de que se requieran ensayar elementos de dimensiones mayores tales como el caso del muro 1, se necesitarían actuadores de mayor capacidad. No obstante, aumentar la capacidad del actuador implica aumentar la sección del muro de reacción, incrementando su espesor lo cual encarecería el proyecto, o requiriendo elementos rigidizadores que no se han concebido en el diseño conceptual debido a la limitación del espacio para el área de estructuras dentro del laboratorio.

3.2.2. Diseño del muro de reacción

Las dimensiones escogidas del sistema para el modelo se definieron de acuerdo con el desplazamiento máximo generado en el nivel más alto del muro y a los periodos fundamentales de vibración. El espesor de 1.5 m cumple con periodos de vibración menores a los determinados en el espectro elástico del sistema. Hay que acotar que los dos primeros modos de vibración corresponden a los elementos de prueba, mas no al sistema; por lo tanto, variaran según el elemento de prueba que interactúe.

El caso de carga más crítica utilizada para el diseño del muro de reacción corresponde a la provocada por la carga cíclica del actuador. Donde los mayores momentos y fuerzas de corte generadas por el modelo se ubican en la conexión del muro y la losa.

A pesar de que el elemento corresponde a un elemento post tensado, es necesario calcular y considerar acero para evitar fuerzas de corte. Por lo tanto, se diseñó la armadura de corte de acuerdo como un muro estructural de corte. La cuantía escogida, aunque sea la mínima recomendada por el ACI 318, provoca una capacidad de corte adecuada, asignando la misma tanto en dirección longitudinal como transversal.

Tabla 3.6 Detalle de acero por corte para muro de reacción

Acero	db [mm]	s [cm]
Transversal	25	30
Longitudinal	25	30
Capacidad de corte fuera del plano [Ton]	1 569.76	

La alta capacidad de corte está justificada por la gran dimensión que posee el elemento, de espesor 1.5 [m]. Aunque se pudo haber seleccionado una cuantía mínima para el refuerzo longitudinal del elemento, debido a que no soporta esfuerzos de compresión, se prefirió una armadura generalizada.

Uno de los requerimientos del sistema escogido es que no se generen deformaciones significativas que afecten a la confiabilidad de los ensayos a

efectuarse; por lo tanto, los máximos desplazamientos generados son lo suficientemente pequeños como para no requerir elementos de borde. No obstante, el diseño de la unión de ambos tramos de muro corresponde a un elemento de borde debido a su dimensión y funcionamiento.

El refuerzo longitudinal requerido por el elemento de borde se diseñó según las consideraciones de acero longitudinal para columnas. Se eligió una cuantía mayor a la mínima, 0.012 con la finalidad de obtener una distribución de varillas simétricas en todas las caras del elemento.

Mediante un programa de análisis estructural, se obtuvo el diagrama de interacción de una columna con dimensiones similares y configuración de armadura simétrica.

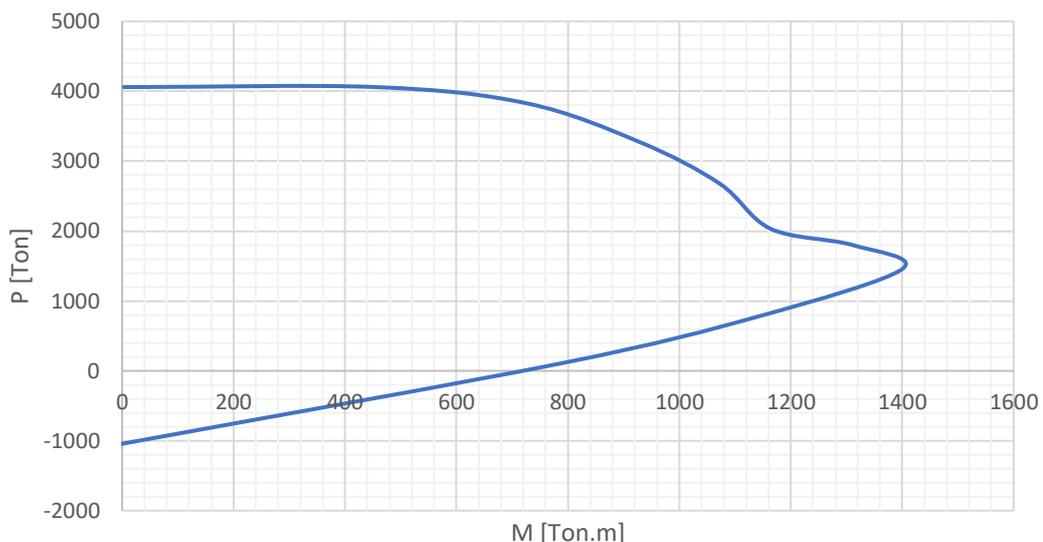


Figura 3.3 Diagrama de interacción de elemento de borde

Siendo la demanda de 43.14 [Ton.m] el máximo momento generado en el muro, se obtiene que la sección es satisfactoria al poder resistir 720 [Ton.m] sin cargas axiales, 1118 [Ton.m] en su condición más crítica y 557 [Ton.m] en el rango elástico.

Se adicionó confinamiento al elemento a manera de estribos y vinchas de acuerdo con los cálculos efectuados. La armadura longitudinal corresponde a

44 varillas de 28 [mm]. A pesar de esto, se tiene en cuenta una disminución de la capacidad del elemento al no ubicar la armadura de forma simétrica debido a la existencia de ductos de presfuerzo a lo largo de la sección.

Para el acero de post tensado, se seleccionó el de grado 270 con un diámetro de 0.5 [in] pulgadas y ductos de 3 [in]. Se estableció un esfuerzo inicial del 7% del esfuerzo a la compresión del hormigón de 350 [kg/cm²], obteniendo una fuerza P_i del gato para el área de 2021 [Ton] para torones horizontales y de 2690 [Ton] para torones verticales. Asumiendo pérdidas del 15 % del presfuerzo inicial, se calcula la cantidad de ductos y torones por ductos.

Por criterios de configuración y geometría se prefirieron dobles hileras de ductos tanto transversal como longitudinal, donde en el primero se colocan 6 ductos por hilera, y en el segundo 8 ductos con 13 torones, cada uno para ambos. El área ocupada por ducto es menor a la mitad de la disponible.

3.2.3. Diseño de la losa de reacción

Considerando las condiciones de apoyo de la losa de reacción, para el diseño fue dividida en tres secciones. La primera sección corresponde a la ubicada directamente encima de los muros de sostenimiento, mientras que las demás se ubican detrás del muro de reacción.

El cálculo de momentos generados en la losa no pudo ser realizado de manera analítica debido a la existencia de cargas cíclicas, por lo tanto, el diseño se efectuó utilizando los valores de los momentos últimos producto del modelo de elementos finitos realizado, generados en los apoyos y centro de paños para cada dirección y corte en caso de losas en dos direcciones, y en apoyos para losas en una dirección.

Se diseñó la primera sección como una losa en dos direcciones, y las restantes como losas en una dirección donde para cada dirección se obtuvieron las capacidades a flexión y corte en una dirección mediante las verificaciones que indica la normativa mencionada.

Tabla 3.7 Demanda a flexión de losa fuerte

Ton.m/m	2 direcciones				1 dirección	
	Ma,-	Mb,-	Ma,+	Mb,+	M+-L1	M+-L2
Actuador	34.85	-10.29	209.96	-209.43	0.78	3.37
Envolvente	9.5	8.03	29.57	44.3	4.13	9.06

Tabla 3.8 Demanda a corte de losa fuerte

Ton/m	2 direcciones		1 dirección	
	Vu-x	Vu-y	Vu - L1	Vu - L2
Actuador	171.73	99.8	2.1	3.25
Envolvente	15.37	15.65	7.44	9.24

La variabilidad de los ensayos a realizarse en el sistema provoca que el diseño efectuado necesite ser generalizado, considerando la demanda máxima para momentos en los apoyos y centro para todas las secciones analizadas.

Para la losa en dos direcciones fue necesario incluir un refuerzo de piel con la finalidad de contrarrestar los esfuerzos de corte generados en cada dirección, donde el acero por compresión y tracción es igual para toda la sección en el plano analizado y no se considera el corte en dos direcciones debido a la naturaleza de las cargas.

Tabla 3.9 Detalle de Acero en losa fuerte

Losa en 2 Direcciones	Acero Principal		Acero de Piel		Longitud de desarrollo [cm]
	db [mm]	s [cm]	db [mm]	s [cm]	
Dirección-x	28	15	18	20	125
Dirección-y	28	10	12	20	125
Losa en 1 Dirección	Acero Principal		Acero de Retracción		Longitud de desarrollo [cm]
	db [mm]	s [cm]	db [mm]	s [cm]	
Losa 1	18	20	18	20	340
Losa 2	18	20	18	20	340

Tabla 3.10 Capacidad a flexión y corte según sección para losa fuerte

	Capacidad	Flexión [Ton.m]	Corte [Ton]
Losa en 2 Direcciones	Dirección-x	218.87	172.11
	Dirección-y	212.43	110.84
Losa en 1 Dirección	Losa 1	26.02	39.84
	Losa 2	26.02	40.33

El espaciamiento entre centros de barras y el diámetro de las varillas para el acero principal en la losa en dos direcciones resulta ser mayor al propuesto en la Universidad de Querétaro, debido a la concentración de esfuerzos en el modelo en la base de los elementos de prueba.

La capacidad a flexión de las secciones corresponde para momentos positivos y negativos.

3.2.4. Diseño de muros de sostenimiento

A excepción del muro de reacción, las capacidades de los muros perimetrales y transversales del sistema se muestran a continuación.

Tabla 3.11 Capacidades de muros de sostenimiento

Muro	Compression [Ton]	Tension [Ton]	Corte en el Plano [Ton]	Corte fuera del plano [Ton]	Flexión en el plano [Ton]
A	4 364.47	273.15	783.23	204.70	208.86
B	3 860.70	687.96	1 995.80	943.11	248.17
C	4 364.47	273.15	783.23	199.66	208.86
D	3 982.58	249.25	714.69	199.42	208.86
E	3 335.37	400.20	1 219.55	669.72	248.17
F	3 335.37	400.20	1 219.55	582.31	248.17
G	3 982.58	249.25	900.38	199.58	208.86

Para el refuerzo a flexión de muros perimetrales (A, C, D, G) se consideró la cuantía mínima debido a que los momentos generados en el plano no eran significativos, por lo tanto, su capacidad a flexión a lo largo del plano es mucho más alta de lo requerida.

El muro con mayor cuantía de acero transversal y longitudinal es el muro B, debido a los altos esfuerzos de corte por ser el único que absorbe directamente las cargas de la primera sección del muro de reacción. A pesar de esto la dimensión del elemento no difiere de los muros restantes debido a la restricción de espacio disponible que imponen los anclajes de la losa fuerte.

Existe refuerzo adicional para los elementos con la finalidad de contrarrestar el aplastamiento, o asegurar confinamiento, tales como vinchas a lo largo del acero longitudinal separado más de 6 in o 15 cm, estribos en conexiones o

terminaciones de muros y acero en aberturas de muros los cuales se aplicarían para los accesos en el sótano. Para el último, se seleccionaron varillas de 16 mm tal y como lo indica la normativa.

Tabla 3.12 Detalles de acero en muros de sostenimiento

Muros	Refuerzo Longitudinal		Refuerzo Transversal		Refuerzo a flexión	
	<i>db</i> [mm]	<i>s</i> [cm]	<i>db</i> [mm]	<i>s</i> [cm]	# varillas	<i>db</i> [mm]
A, C, D, G	16	45	16	35	4	28
B	25	35	28	25	6	25
E, F	20	35	28	30	6	25

3.2.4.1. Planos de Corte

Debido a la irregularidad en elevación de los muros transversales, por la existencia de planos de corte, se analizaron los esfuerzos generados en el plano losa-viga y viga-muro, denominándose viga a la sección del muro de mayor espesor que se encuentra en contacto directo con la losa y recorre el sistema desde el muro de reacción a los muros perimetrales G y A.

Para el plano losa-viga, se analizó el corte horizontal transferido al ser una sección compuesta. El mismo procedimiento se realizó para los muros B, E y F, y se consideró la capacidad a corte en el plano producto del acero de refuerzo diseñado anteriormente.

Tabla 3.13 Demanda por corte en planos de muros de sostenimiento

Muro	Viga-Losa	Viga-Muro
	[Ton]	[Ton]
B	392.28	68.57
E	221.75	63.21
F	44.25	19.31

Fue necesario adicionar estribos a lo largo de cada sección con el fin de cumplir la demanda por corte, seleccionando un factor de condición de superficie igual a 1. Se obtuvo que el muro B, requiere de una mayor área de acero que el muro E y F. Se adicionaron varillas longitudinales 14 [mm] con la finalidad de terminar de conformar la sección.

Tabla 3.14 Detalle de acero por resistencia al corte agregado

Muro	# varillas	db [mm]	s [cm]
B	6	14	20
E	6	12	20
F	6	12	20

Para el plano muro-viga se seleccionó el factor de condición de superficie igual a 1.4 al ser elementos monolíticos. Los esfuerzos de corte generados en estos planos son mucho menores a los generados en el plano anterior, obteniendo que no es necesario agregar refuerzo adicional al diseñado.

Tabla 3.15 Capacidad de corte transferido en planos de muros de sostenimiento

Muro	Viga-Losa	Viga-Muro
	[Ton]	[Ton]
B	403.69	163.61
E	333.52	119.25
F	333.52	163.61

3.2.5. Diseño de la cimentación

Considerando la resistencia a la compresión de la roca a 1.4 [m] de profundidad como 69.4 [kg/cm²] y a 1.8m de profundidad como 87.1 [kg/cm²], mediante una regresión lineal, a 2.8m de profundidad la resistencia será de 123.9 [Kg/cm²]. Usando un factor de seguridad de 3, el esfuerzo permisible de la roca Q_{ult} a nivel de la cimentación es 413 [Ton/m²].

El diseño de la losa de cimentación se asemeja a la losa fuerte debido a la configuración del sistema. Sin embargo, los valores máximos de momentos y cortes no corresponden a la demanda generada por la carga cíclica, pero si a la envolvente generada por las combinaciones de carga.

Tabla 3.16 Demanda a flexión de losa de cimentación

Ton.m/m	2 direcciones				1 dirección	
	Ma,-	Mb,-	Ma,+	Mb,+	M+-L1	M+-L2
Actuador	-1.18	-0.49	-0.43	1.75	0.63	-1.28
Envolvente	1.7	5.79	1.8	2.88	0.28	0.76

Tabla 3.17 Demanda a corte de losa de cimentación

Ton/m	2 direcciones		1 dirección	
	Vu-x	Vu-y	Vu – L1	Vu – L2
Actuador	13.65	1.83	5.68	10.51
Envolvente	63.94	64.2	1.17	0.75

Tanto los momentos de los centros de paños como el de los apoyos, corresponde a los máximos generados.

Tabla 3.18 Demanda de esfuerzo axial a nivel de cimentación

Caso	Esfuerzo Máximo [Ton/m ²]
Actuador	55.39
Envolvente	255.8

Mediante los valores de esfuerzos de corte mostrados se calculó el refuerzo principal en ambas direcciones para la losa, sin embargo, el valor máximo generado en la cimentación debajo del muro según el modelo es de 100.68 [Ton/m], por lo tanto, se añadió un refuerzo extra con la finalidad de reducir los esfuerzos por corte en la zona identificada.

Tabla 3.19 Detalle de acero en losa de cimentación

Losa en 2 Direcciones	Acero Principal		Acero de Piel en muro	
	db [mm]	s [cm]	db [mm]	s [cm]
Dirección-x	20	25	25	10
Dirección-y	20	25	25	10
Losa en 1 Dirección	Acero Principal		Acero de Retracción	
	db [mm]	s [cm]	db [mm]	s [cm]
Losa 1	20	25	20	25
Losa 2	20	25	20	25

Tabla 3.20 Capacidad a flexión y corte según sección para losa de cimentación

	Capacidad	Flexión [Ton.m]	Corte [Ton]
Losa en 2 Direcciones	Dirección-x	76.95	127.81
	Dirección-y	51.19	77.21
	Zona en M.R.	-	104.37
Losa en 1 Dirección	Losa 1	22.46	35.96
	Losa 2	22.46	36.00

3.2.5.1. Conexión a cimentación de muros

Se consideró el refuerzo diseñado de los muros de sostenimiento para corroborar la conexión a la cimentación de cada uno de ellos. Donde la demanda por corte era la mayor para cada uno. Se selecciono un factor de condición de superficie igual a 1, al no ser una unión monolítica con la losa de cimentación.

Tabla 3.21 Capacidad de conexión de elementos a cimentación

Muro	Tension [Ton]	Corte [Ton]
A	24.34	52.22
B	76.44	112.28
MR-1	1 064.70	164.72
C	24.39	52.22
D	24.39	52.22
MR-2	1 064.70	140.99
E	21.29	80.60
F	48.98	80.60
G	24.39	52.22

Según los cálculos efectuados el acero provisto por el diseño de los muros de sostenimiento y de reacción son suficientes para garantizar la conexión de estos a la cimentación.

3.2.6. Equipamiento

3.2.6.1. Puente grúa

Los valores presentados fueron emitidos por la empresa proveedora del producto, y se han establecido en función de las dimensiones del galpón y cargas de servicio esperadas para el equipo de acuerdo con el uso de la estructura, la distancia de recorrido del puente es de 36 metros. El puente grúa requerido para el área de estructuras del laboratorio debe tener las siguientes características:

Tabla 3.22 Características del puente grúa y sus componentes

Puente grúa bitrocha		Polipasto	
Capacidad [Ton]	10	Velocidad de izaje [m/min]	4/1.3
Longitud [m]	13.8	Velocidad de traslado [m/min]	12.5/3.2
Vigas carril		Ruedas motoras	
Longitud [m]	12	Velocidad de traslado [m/min]	12.5/3.2

3.2.7. Diseño eléctrico

El sistema resultante para la provisión de energía eléctrica en el laboratorio se conforma por un panel de distribución principal asociado a los circuitos de iluminación y tomacorrientes convencionales, un centro de carga que provee de energía a los motores de los equipos monofásicos y bifásicos; el panel y el centro de carga se vinculan a un tablero general de distribución. Para los equipos trifásicos existe un centro de carga independiente conectado a un banco de transformadores que se enlaza con la acometida.

Tabla 3.23 Detalle de alimentación de circuitos y su protección

Circuito	Detalle/Equipo	Disyuntor		Disyuntor Comercial [A]	Alimentador			Conduit [in]	
		Polos	[A]		Fase	#	N#		T#
PL-1	Punto Luz Industrial	2	10	15	2	12	-	14	1/2
PL-2	Punto Luz	1	25	30	1	10	14	14	1/2
PT-1	Punto Toma	1	20	20	1	8	14	14	1/2
PT-2	Concreteira	2	15	15	2	12	-	2/0	1 1/2
PT-3	Soldadora	2	10	15	2	12	-	2/0	1 1/2
PT-3	Fresadora	2	10	15	2	12	-	2/0	1 1/2
PT-4	Compresor	1	20	20	1	12	14	2/0	1 1/2
PT-5	Torno	1	10	15	1	12	14	2/0	1 1/2
PT-5	Taladro	1	10	15	1	12	14	2/0	1 1/2
PT-6	Cortadora	1	25	30	1	10	14	2/0	1 1/2
PT-6	Amoladora	1	25	30	1	10	14	2/0	1 1/2
PT-5	HSM	1	10	15	1	12	14	2/0	1 1/2
PT-HPU	HPU	3	50	50	3	6	-	2/0	1 1/2
PT-PG	Puente Grúa	3	30	30	3	8	-	2/0	1 1/2

Las características obtenidas para los disyuntores de los diferentes circuitos se modificaron en algunos casos para ajustarlos a los disponibles en el mercado, pero asegurando el cumplimiento de la demanda. Las tuberías para los conductores son metálicas debido a que estarán instaladas de forma superficial.

3.2.8. Sistema de seguridad y evacuación

Para la salvaguardar la seguridad de los usuarios dentro del laboratorio en caso de emergencias se estableció un sistema compuesto por señalización horizontal, definiendo las rutas de evacuación identificadas mediante señalética y letreros informativos. El detalle se presenta en los planos correspondientes. La cantidad de extintores se estableció en función de la fuente de riesgo y el tipo de agente extintor (INEN, 1987), en este caso el riesgo es proveniente del aceite del HPU. Se determinó que para el área de riesgo se requiere la provisión de 3 extintores de CO₂. Los detalles de los extintores y pintura para la señalización se describen en las especificaciones técnicas.

3.2.9. Diseño hidrosanitario

Para el suministro de agua potable de los diferentes puntos y el HPU, se diseñó una red que se conecta a la acometida donde se registró una presión de 50 [psi]. El material seleccionado para las tuberías es polipropileno debido a que estarán expuestas a la intemperie; se determinaron las pérdidas asociadas a los accesorios y al recorrido del fluido en los conductos para garantizar la presión requerida en los respectivos puntos.

Tabla 3.24 Características de la red de agua potable y pérdidas

Punto o tramo	Q	V	j	Φ	Longitud de tubería				J	Presión
	[l/s]	[m/s]	[m/m]	[in]	Horiz.	Vert.	Acc.	Total	[mca]	[mca]
1										35.16
1-2	0.84	1.87	0.118	1	38.34	0	6.8	45.14	5.32652	29.65
2-3	0.13	0.46	0.014	3/4	1.72	0.8	6.58	9.1	0.1274	28.62
2-4	0.71	1.49	0.08	1	5.08	0.8	1.5	7.38	0.5904	27.22

A partir de las pérdidas estimadas a lo largo de la red, se tiene que la presión en el punto correspondiente al HPU abastece la demanda de presión del equipo, con lo cual se descarta la necesidad de un sistema hidroneumático.

La unidad considerada para el desagüe fue el lavadero únicamente, para el HPU se seleccionaron las tuberías de acuerdo con las especificaciones del equipo.

Tabla 3.25 Características de la red de aguas servidas

Tramo	Aparato o equipo	Φ [in]	Pendiente [%]
1-2	HPU	2	1
3-2	Lavadero	2	1
2-4	Unión tramos (Conexión a red existente)	4	1

3.3. Presupuesto

3.3.1. Análisis de precios unitarios

Los precios unitarios elaborados para cada rubro constan de cuatro componentes: equipos, mano de obra, materiales y transporte. Los valores establecidos se obtuvieron mediante cotizaciones y consultas. Los rubros que no pudieron ser cotizados tuvieron un valor asignado a criterio, procurando que sean comparables con rubros similares en el medio. Sin embargo, no son cantidades ni precios que causen variaciones importantes en el presupuesto, con excepción del presfuerzo.

Tabla 3.26 Resumen del presupuesto según componentes de construcción

CONJUNTO	INVERSION	%
Obras Preliminares	\$ 6,021.79	0.559%
Estructura de hormigón armado	\$ 383,792.04	35.634%
Albañilería	\$ 2,559.09	0.238%
Recubrimientos	\$ 501.37	0.047%
Puertas y Accesos	\$ 6,340.86	0.589%
Aluminio y Vidrio	\$ 2,843.19	0.264%
Instalaciones de agua potable	\$ 712.22	0.066%
Instalaciones de agua servidas	\$ 276.28	0.026%
Instalaciones contra incendios	\$ 1,138.37	0.106%
Instalaciones Eléctricas	\$ 9,872.73	0.917%
Voz y Datos	\$ 181.96	0.017%
Sistema de Seguridad y Evacuación	\$ 263.37	0.024%
Sistema Electrohidráulico	\$ 526,406.70	48.875%
Puente grúa, vigas carril, montaje y puesta en marcha	\$ 118,657.32	11.017%
Equipos varios	\$ 10,456.30	0.971%
Muebles	\$ 3,617.47	0.336%
Herramientas de taller y complementarios	\$ 3,398.76	0.316%
TOTAL	\$ 1,077,039.81	100.000%

3.3.2. Cronograma

Las actividades se establecieron acorde a los rubros, su duración se determinó a partir de los rendimientos y las cantidades de cada A.P.U. Mediante el cronograma se estableció una duración de la obra de 9 meses, incluido el tiempo para la obtención de permisos. Es necesario además un tiempo de pruebas antes de la entrega definitiva de la obra, la cual dependerá de los parámetros planteados por la institución.

3.3.3. Costos indirectos

El porcentaje de costos indirectos fue calculado con base en los gastos de oficina central y en obra, en función del costo directo y duración de la obra. Para el caso se eligió un 20% de indirectos que incluye gastos generales, utilidades y otros indirectos, debido a que ese valor representa el límite máximo permitido.

3.3.4. Presupuesto

El presupuesto total de la obra se encuentra dividido en cuatro componentes, de los cuales los más significativos son el equipamiento y la obra civil, representando en conjunto el 90% de la totalidad de la inversión.

Tabla 3.27 Componentes del presupuesto

COMPONENTE	INVERSIÓN	%
Obra civil	\$ 383,792.04	35.63%
Equipamiento	\$ 645,064.02	59.89%
Muebles	\$ 3,617.47	0.34%
Otros	\$ 44,566.28	4.14%
TOTAL	\$ 1,077,039.81	100.00%

3.4. Estudio Financiero

La viabilidad económica del proyecto se evaluó mediante un estudio de pre-factibilidad que contempló diferentes escenarios: desfavorable, medio y favorable; debido a la inexistencia de información acerca de los costos de los diferentes ensayos no es posible asegurar la veracidad de las tasas obtenidas. Sin embargo, se seleccionaron los escenarios donde la tasa resultó atractiva para una inversión, como referencias para estimar los costos que los ensayos deberían tener para garantizar la viabilidad del proyecto.

Para cada escenario se sugiere la cantidad de ensayos por tipo y el precio sugerido para que los valores obtenidos de los indicadores financiero sean favorables en el último escenario.

Tabla 3.28 Precio por ensayo y Cantidad estimada según distintos escenarios

Actividad	Precio Unitario	Cantidad Esc 1	Cantidad Esc 2	Cantidad Esc 3
Pruebas de Fatiga	\$ 20,000.00	2	3	4
Pruebas Pseudo Dinamicas	\$ 50,000.00	1	2	3
PushOver	\$ 20,000.00	2	3	4
Carga Vertical	\$ 10,000.00	1	2	3
Consultorias	\$ 2,000.00	5	7	10
Proy. Integradores	-	5	8	10
	# proy/año	16	25	34

Se considera la realización de proyectos integradores con la finalidad de repercutir en los costos de operación del laboratorio. Cabe destacar que el

número de estos aumenta proporcionalmente con el número del resto de proyectos.

Tabla 3.29 Resultados del flujo de caja conceptual del proyecto

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Tasa de descuento	5%	5%	5%
VAN	\$-919,068.48	\$-108,715.48	\$635,480.58
TIR	-14%	4%	12%

De acuerdo con los precios estimados, el periodo de recuperación del escenario favorable se obtiene a los 8 años.

3.5. Estudio ambiental

El estudio ambiental del proyecto se llevó a cabo según se indica en el SUIA.

3.5.1. Actividad ambiental

Las actividades ambientales consultadas en el catálogo del SUIA indicaron el tipo de permiso requerido para realizarlas. El proyecto contemplado se ubica en la categoría de construcción y operación de edificios institucionales, perteneciente al apartado construcción de infraestructura civil, para el cual se requiere un certificado ambiental. La actividad por realizar debe obedecer a la guía de buenas prácticas ambientales para proyectos de construcción adjunta en el Apéndice E.

Consulta de Actividades Ambientales

Para conocer la Actividad Ambiental a la que pertenece su proyecto, el proceso que corresponde (Registro Ambiental o Licencia Ambiental), el tiempo de emisión y los costos que genera, haga clic en buscar.

Descripción de la actividad	CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA CIVIL
Su trámite corresponde a un(a)	CERTIFICADO AMBIENTAL
Tiempo de emisión	Inmediato.
Costo del trámite	No tiene. (Tiene un costo si existe remoción de cobertura vegetal nativa)

Especifique el rango de operación *

1.0 - 5000.0 superficie en metros cuadrados (m2)

Figura 3.4 Permiso requerido para la construcción de infraestructura civil. Fuente: SUIA

3.5.2. Línea base ambiental

3.5.2.1. Localización

A continuación, se muestra la ubicación del edificio a rehabilitar y de sus alrededores. Imágenes obtenidas de Google Earth Pro.

Tabla 3.30 Sistema de Coordenadas del Proyecto (WGS-84)

ESTE (X)	NORTE (Y)
615039.63	9763073.78
615029.55	9763077.50
615031.90	9763084.43
615005.43	9763092.81
615001.99	9763082.42
614980.47	9763090.32
614973.81	9763070.88
615031.81	9763051.17



Figura 3.5 Ubicación del antiguo laboratorio de metalurgia. Vista a 262 [m] de altura



Figura 3.6 Ubicación del edificio. Vista a 837 [m] de altura

3.5.2.2. Diagnóstico del estado actual del área

El área de intervención abarca alrededor de 4 000 [m²], el cual contempla la zona del edificio existente, vías de acceso y parqueaderos. Considerando un radio de influencia de 500 [m], se encuentran cuerpos de agua artificiales y naturales, zonas verdes naturales e infraestructura educativa y de recreación, así como una planta de tratamiento de agua residuales y estacionamientos.

Tabla 3.31 Influencias directas en el área de estudio

Medios	Factores Descripción
Físico	<p>Un curso de agua natural se localiza en la zona posterior al edificio, a alrededor de 20 m de profundidad en las faldas del talud.</p> <p>Existen emisiones de ruido provenientes del taller de soldadura ubicado adyacente a la zona de estudio, en el cual se ubican hornos que emanan gases durante su operación.</p> <p>El aire presente dentro del laboratorio se percibe como viciado, producto de la inactividad del lugar y la falta de ventilación.</p>
Biótico	<p>En el área posterior al edificio se encuentran zonas verdes naturales, en donde se visualizan especies animales como el mono aullador, cusumbo, saíno y venado de cola blanca (Quinteros, Ramos, & Rodríguez, 2010)</p> <p>En la vegetación predominan especies de arbustos medianos - bajos.</p>
Humano	<p>Un porcentaje del galpón se encuentra ocupado y en funcionamiento, este, el cual se encuentra aislado del resto de la estructura, sirve como laboratorio de polímeros.</p> <p>Las instalaciones cuentan con un sistema de agua potable y residual actualmente sin ser ocupado.</p> <p>Actualmente el conjunto del galpón y edificio de oficinas, se encuentran desocupados y abandonados, ninguna actividad se realiza dentro de estos.</p>

El proyecto, al ubicarse en la vía principal del campus, al frente al edificio STEM, por lo tanto, se preverá ruido de autos y emisiones de gases de combustión durante jornadas y eventos masivos.

Adyacente al afloramiento rocoso donde se asienta la infraestructura, se ubica un canal de agua artificial el cual sirve de drenaje para el sistema de aguas lluvias dentro del campus.

En la zona N-O de la edificación se asienta una planta de tratamiento de aguas residuales que abastece al campus y proporciona líquido para el riego de áreas verdes.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El sistema diseñado se ajusta a un modelo elaborado a partir de escenarios específicos, donde se analizaron las condiciones más críticas a las que estará sometida la estructura para la determinación de su capacidad; por lo que se establece que en condiciones diferentes que involucren actuadores con mayor tonelaje, la estructura no podrá satisfacer dicha demanda. Por lo tanto, el valor límite que se admite asegurando un desempeño adecuado de la estructura es el de dos actuadores de 100 [Ton] operando de forma simultánea.

A partir de la información obtenida del ensayo de peso específico de la roca no se puede realizar una caracterización definitiva del macizo debajo del edificio debido a que no se posee un área significativa para la exploración y lo encontrado en el afloramiento del edificio STEM es posible que posea características distintas. Esto implicaría la excavación en roca dentro del galpón lo cual, en esta fase del estudio debido a los recursos, no es factible.

La resistencia de la roca determinada mediante el esclerómetro no representa la resistencia del macizo y no reemplaza a un ensayo de laboratorio, la información que a partir de este ensayo se obtuvo solamente puede ser usada para realizar una caracterización.

La información topográfica levantada sirvió como punto de partida para establecer las restricciones geométricas del proyecto, a partir de las cuales se elaboraron las alternativas de diseño presentadas. El modelo estructural del galpón se realizó a partir de las dimensiones que se registraron como resultado del relevamiento de la estructura.

El equipamiento propuesto responde únicamente al modelo de laboratorio analizado dentro del alcance de este proyecto. Las variantes que puedan surgir a partir de los requerimientos de otro tipo de ensayos no contemplados en el presente proyecto deberán considerarse para seleccionar otro tipo de equipamientos, o en su defecto, mayores cantidades de actuadores.

Las instalaciones eléctricas se diseñaron sólo para los equipos necesarios para el funcionamiento del área de estructuras. Los equipos que se dispondrán en los alrededores del galpón correspondientes a otras áreas de trabajo no inherentes a estructuras no fueron considerados para el cálculo de la demanda eléctrica presentada en este proyecto, para mencionadas áreas solo se consideró la provisión de tomacorrientes de 120 [V].

La tasa de interés de retorno obtenida en los diferentes escenarios no es un indicador confiable de la viabilidad económica del proyecto, debido a que se realizaron algunas asunciones para determinarlas; sin embargo, los valores asumidos pueden considerarse como referenciales para establecer los costos de los ensayos ante la escasez de información relacionada al tema en mención. A partir de lo anterior, puede afirmarse que el proyecto es viable en el escenario favorable, siempre que se cumplan la cantidad y los costos de los ensayos indicados.

El permiso requerido para la actividad ambiental identificada corresponde a un certificado; por lo tanto, no fue necesario realizar una evaluación de impacto ambiental. En la guía de buenas prácticas ambientales facilitada por el MAE se establecen las medidas recomendadas para mitigar los impactos generados por actividades convencionales.

4.2. Recomendaciones

Para un proyecto de construcción, se requiere una exploración geotécnica completa, la cual comprende ensayos de campo con mayor nivel de detalle que los que se han realizado para este caso por falta de recursos. Se recomienda que para un diseño definitivo se realicen los siguientes ensayos con la finalidad

de determinar propiedades y presencia de discontinuidades y fracturas de la roca sana necesarios para estimar su capacidad de carga última:

-Ensayo RQD para estimar mediante correlación la capacidad de carga última de la roca, para lo cual se requiere una perforación de 1m de roca intacta.

-Triaxial en roca para determinar la cohesión y el ángulo de fricción de la roca intacta, se necesitan 3 perforaciones hasta roca intacta para obtener 3 testigos.

-Compresión uniaxial para determinar el módulo de Young y el coeficiente de Poisson, se deberán realizar 3 perforaciones hasta llegar a la roca intacta para obtener 3 testigos.

Debido a la falta de información referente al refuerzo de las columnas y la cimentación que conforman el galpón no fue posible evaluar con exactitud la capacidad de los elementos; sin embargo, para modelar la estructura se asumió una distribución y diámetro de varillas acorde con lo que se observó en una columna que presentaba su refuerzo expuesto. Se recomienda realizar ensayos no destructivos a los elementos estructurales y cimentación para determinar las características de su refuerzo y elaborar un modelo estructural semejante a la realidad.

Se requiere que las ménsulas posean la capacidad necesaria para resistir una carga de 10 [Ton] correspondiente al puente grúa. Se recomienda evaluar y determinar la capacidad que el refuerzo actual le provee al elemento y en caso de no ser suficiente, diseñar un refuerzo adicional.

La adecuación de los accesos vehiculares y peatonales del laboratorio no formaron parte del alcance del proyecto, pero se reconoce la necesidad de adecuar el exterior de la estructura, por lo que se recomienda que en un estudio posterior a la construcción, se incluya un diseño de las vías con los correspondientes elementos de drenaje, ingresos peatonales y rampas de acceso.

La configuración establecida para los agujeros de anclaje de la losa y los muros se seleccionó a partir de la revisión de diversos modelos de laboratorios alrededor del mundo, siendo el espaciamiento más común el valor de 0.61 [m];

la separación del refuerzo de los elementos se ajustó a esta medida. Cabe mencionar que con una separación de 0.5 [m] hubiera sido posible optimizar el diseño, seleccionando espaciamientos que provean una mayor facilidad constructiva. Por lo tanto, se recomienda que para un diseño definitivo se ajuste la configuración a valores convencionales en el medio que permitan obtener espaciamientos más estandarizados.

Se recomienda elaborar un estudio financiero para evaluar si el laboratorio en facultad de empresa puede ser viable a lo largo del tiempo. La evaluación deberá realizarse a partir de información recopilada de empresas afines a la construcción o producción de materiales de construcción. Además, deberán obtenerse datos acerca de la frecuencia con la que se prestarían servicios externos por concepto de pruebas de elementos estructurales, así como los tipos de ensayo y sus costos asociados.

La factibilidad del proyecto no solamente debe ser evaluada considerando una tasa de interés de retorno atractiva, sino que además por ser parte de una institución pública debe someterse a valoración el beneficio social que representaría para el Estado las actividades de investigación y formación profesional que a partir de la implementación de la propuesta puedan desarrollarse en el país. Para tal efecto se precisa un estudio económico que involucre las variables mencionadas y permita determinar cuán significativo sería el ahorro para el Estado.

Se recomienda considerar un estudio de eficiencia energética en el edificio con la finalidad de producir un ahorro en el consumo de energía para la institución y promover uno de los objetivos del desarrollo sostenible del país.

Para el adecuado funcionamiento del laboratorio como un centro destinado al estudio, investigación y préstamo de servicios externos, se recomienda la elaboración de un plan estratégico empresarial que permita tener una organización efectiva en función de las tareas requeridas y el personal disponible.

Se recomienda elaborar un manual del usuario con la descripción de los equipos, sus usos, almacenamiento, procedimientos para configurar los ensayos; para guiar al personal y los usuarios en general a realizar las operaciones de forma segura y correcta. Además, se requieren definir normas de buen uso del laboratorio para mantener un ambiente de trabajo seguro.

El trabajo desarrollado representa un componente de un proyecto propuesto para la institución por parte de la Facultad de Mecánica y Ciencias de la Producción. La parte complementaria a este apartado ha sido elaborada de forma paralela por estudiantes de la carrera Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias de la Tierra, el trabajo en mención consta de la readecuación de un área en común para el funcionamiento del Laboratorio de Materiales. Es necesario que para la siguiente etapa del proyecto se consideren en conjunto ambas partes para la realización de un diseño general de todo el edificio.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14)*. American Concrete Institute .
- Aktan, H. M. (1986). Pseudo-Dynamic Testing of Structures. *J. Eng. Mech.*, 183-197.
- Anasi, O., & Arévalo, D. (2015). *Análisis Comparativo de Muros de Cortante de Hormigón Armado con diferente relación de aspecto a través de ensayos de carga lateral en el plano*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- ASTM. (1995). *ASTM D2938-95, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens (withdrawn 2005)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM. (2014). *ASTM C136/C136M-14, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM. (2014). *ASTM D5873-14 Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM. (2015). *ASTM D4531-15, Standard Test Methods for Bulk and Dry Density of Peat and Peat Products*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM. (2017). *ASTM D2487-17, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM. (2017). *ASTM D4318-17e1, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Banco Central del Ecuador; CAMICON. (2018). Variación trimestral porcentual del PIB general y de la Construcción (I trimestre 2011 - I trimestre 2018). Quito.
- Bondarenko, S., & García, I. (Noviembre 2012). *Manual de Cálculo y Diseño de Muros Estructurales de Concreto Armado*. Bárbula: Universidad de Carabobo.
- Calvi, G. M., Pavese, A., Ceresa, P., Dacarro, F., Lai, C. G., & Beltrami, C. (2005). *Design of a Large-Scale Dynamic and Pseudo-Dynamic Testing Facility*. Pavia, Italy: IUSS Press.
- Chang, S.-Y., & Huang, C.-L. (2016). A pseudodynamic testing algorithm for obtaining seismic responses of structures. *Journal of Physics*.
- CLIRSEN; SIGAGRO. (2011). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000*. Guayaquil, Ecuador: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Elnashai, A. S., & Sarno, L. D. (2008). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. Hong Kong: John Wiley & Sons, Ltd.
- GEOESTUDIOS S.A. (2011). *Actualización del Mapa Geológico de la Ciudad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador: Secretaría de Gestión de Riesgos.

- Hanson, R., & McClamrock, N. H. (1987). Control Issues for Pseudo Dynamic Testing. *Structural Control*, 446-457.
- Henriquez Harper, G. (1998). *El abc de las instalaciones eléctricas residenciales*. D.F., México: Limusa.
- ICM. (2009). *Manual de Detallamiento para Elementos de Hormigón armado*. Santiago, Chile: Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile.
- INEC. (2018). *Directorio de empresas y establecimientos 2017*. Quito.
- INEN, N. (1987). *Extintores portátiles. Selección y distribución en edificaciones*. Quito.
- Larreta, E. (2017). *Monumentación y georeferenciación de dos hitos georeferenciados con control horizontal y vertical dentro de las inmediaciones de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Lee, J., & Jeong, S. (2016). Experimental study of estimating the subgrade reaction modulus on jointed rock foundations. *Rock Mec Rock Eng*, 2063. doi:10.1007/s00603-015-0905-9
- Magonette, G. (2001). *Development and application of large-scale continuous pseudo-dynamic testing techniques*. Ispra, Italy: The Royal Society.
- Mahin, S. A., Shing, P. B., Thewalt, C. R., & Hanson, R. D. (1989). PseudoDynamic Test Method - Current Status and Future Directions.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Guía de buenas prácticas ambientales para el sector de la construcción menor o igual a veinte mil metros*. Quito.
- Morales, R. M. (2006). *Diseño de Concreto Armado*. Lima, Peru: ICG.
- MTS Systems Corporation. (1994,2001,2008). *Colector de servicio hidraulico serie 293. Informacion del producto*. Eden Prairie, Minnesota, EE.UU.: MTS Systems Corporation.
- MTS Systems Corporation. (2013). *Series 505G2 SilentFlo. Hydraulic Power Unit Product Information*. MTS Systems Corporation.
- MTS Systems Corporation. (2014). *Civil, Structural and Architectural Engineering Testing Capabilities*.
- MTS Systems Corporation. (2014). *Servoalves*. Eden Prairie: MTS Systems Corporation.
- Nakashima, M., Akazawa, T., & Igarashi, H. (1995). Pseudo-Dynamic Testing Using Conventional Testing Devices. *Earthquake Engineering and Structural Dynamic*, vol 24, 1409-1422.
- NEC. (2014). *NEC-SE-HM. Estructuras de Hormigón Armado*. Quito, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- NEC. (2014). *NEC-SE-RE. Riesco Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras*. Quito, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- NEC. (2015). *NEC - SE - GC, Geotécnia y Cimentaciones*. Quito, Ecuador: NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Peloso, S., Casarotti, C., & Pavese, A. (2011). EUCENTRE TREES lab: Laboratory for training and research in earthquake engineering and seismology. *ResearchGate*, 8-11.

- Pérez Carmona, R. (2010). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones* (Sexta ed.). Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Quinteros, A., Ramos, R., & Rodríguez, A. (2010). *EVALUACIÓN DEL USO RECREATIVO BOSQUE PROTECTOR*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Read, J., & Stacey, P. (2009). *Guidelines for Open Pit Slope Design*. Australia: CSIRO PUBLISHING.
- Segovia, M., & Alvarado, A. (2009). Breve análisis de la sismicidad y del campo de esfuerzos en el Ecuador. *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador*, 131-149.
- Seminario, D. (2003). *Aplicacion de Produccion mas limpia ne el proceso de fundicion de Metales de la Planta INTRAMET*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral.
- SERVOTEST. (2013). *Pseudo-Dynamic Testing*.
- Shing, P. B., Nakashima, M., & Bursi, O. S. (1996). Application of Pseudodynamic Test Method to Structural Research. *Earthquake Spectra*.
- Shing, P.-S. B., & Mahin, S. A. (1984). *Pseudodynamic test method for seismic performance evaluation: theory and implementation*.
- TDG. (2015). *teknikdesdtek*. Obtenido de Earthquake and Structural Health Monitoring Systems.
- Walters, R. (2000). Hydraulic Actuators. In: *Hydraulic and Electric-Hydraulic Control Systems*. Springer, Dordrecht, 10-12.
- YANG, Y.-S., Wang, K.-J., Wan, S.-J., Hsu, C.-W., Tsai, K.-C., & HSIEH, S.-H. (2004). *Networked Pseudo-Dynamic Testing. Part I: Database Approach*. Vancouver, B.C., Canada: 13th World Conference on Earthquake Engineering.
- YLE GmbH Structural and Seismic Testing Division. (2019). *y/e*. Obtenido de Design of reaction wall-strong floor .
- Yuksel, E., Ozkaynak, H., & Sürmeli, M. (2011). *Pseudo Dynamic Testing Methodology and an Application*.