

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE ALTA
IMPORTANCIA OCUPACIONAL CONSIDERANDO TERREMOTO**

Por

Mauricio Pando López

Proyecto sometido en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

en

Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2007

Aprobado por:

Ricardo R. López, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

José O. Guevara, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

José L. Perdomo, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

José F. Lluch, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Ismael Pagán Trinidad M.Sc.
Director, Dpto. de Ingeniería Civil y Agrimensura

Fecha

Héctor O. López Méndez MEM
Representante Escuela Graduada

Fecha

RESUMEN

Este trabajo de investigación se hizo con la intención de estimar la variación en costos usando dos diferentes teorías de diseño. La primera teoría comprende diseñar las estructuras de hormigón, para que los edificios se comporten dentro del rango elástico durante la ocurrencia de un predefinido terremoto de diseño. La segunda teoría es la que actualmente se aplica en la mayoría de los códigos de diseño y construcción que se basa en la premisa de permitir a estructuras catalogadas como importantes experimentar ciertas deformaciones fuera del rango elástico. Es así cómo esta segunda metodología permite experimentar algunos daños durante el evento sísmico. Por lo tanto, se establecieron tres diferentes escenarios para ser analizados y comparados, el primer escenario se refiere al costo que resulta de rehabilitar las edificaciones para que estas se comporten elásticamente previas a un evento sísmico. El segundo escenario se refiere al costo de construir las edificaciones originalmente siguiendo un diseño elástico que supone daños mínimos y finalmente el último escenario describe los costos de reparación de las edificaciones después de la ocurrencia de un terremoto de diseño.

Las estructuras estudiadas fueron dos escuelas y un hospital. Estos edificios reales fueron seleccionados por ser representativos del diseño típico usado en Puerto Rico. Es importante mencionar que los edificios seleccionados para el estudio fueron construidos siguiendo la segunda metodología bajo los requerimientos de diseño del código vigente a la fecha de diseño.

ABSTRACT

This research project intends to estimate the variation in construction cost using different theories of design. The first involves the design of important structures providing for the concrete buildings to behave within the elastic range during the occurrence of a predefined design earthquake. The second theory, which is currently applied in the majority of the design and construction codes, and allows important structures to experience some deformations outside the elastic range. Hence this second methodology, which is the main approach of current seismic design codes in North America, allows important structures to undergo some damage during the design seismic event. Therefore we establish three different stages to be analyzed and compared. The first stage refers to the cost to rehabilitating the buildings in order to behave in the elastic range during a seismic event. The second stage refers to the cost to build the structures following an elastic design, and finally the third stage describes the cost of repairing the edifications after the occurrence of a predefined design earthquake

The structures studied were two schools and one hospital. The important buildings were selected trying to choose structures that were representative of the typical designs used in Puerto Rico. It is important to mention that the buildings selected for study were built following the second design methodology when the design requirement of the codes at the dates of the design.

A la memoria de mi padre José Luís Pando,

A mi madre, María Cristina López

A mis hermanos: Miguel Ángel, José Antonio,

Luís Alejandro y Alonso Pando.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Dr. José Lluch, consejero y presidente de mi comité graduado quien me guió a lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación. Gracias por su paciencia, dedicación. Su experiencia y apoyo fueron fundamentales en las conclusiones de este trabajo. Gracias también por brindarme su amistad.

Igualmente quiero agradecer a los demás miembros de mi comité, al Dr. José Luís Perdomo, Dr. José Guevara y al Dr. Ricardo López por su valioso aporte en este proyecto. Agradecer al Dr. Guevara por haberme dado la oportunidad de participar en este proyecto de investigación.

A mi hermano Miguel Ángel Pando por todo su apoyo, colaboración y consejos. Por haber sido la persona quien me invitó a realizar mi maestría en la Universidad de Puerto Rico.

A mi compañero José Hernández, quien trabajo en este proyecto de investigación (estudio estructural), gracias por sus valiosos aportes y su amistad.

A mis amigos Kevin Johnson, Jorge Leguizamo, Manuel Santana, Delio Andrés Ramírez, Omayra Santos, Rhoda Moreno, Vanesa Valentín, John Jairo Gil por toda su colaboración y comentarios.

Finalmente a mi madre María Cristina y a mi hermano gemelo Alonso por estar siempre a mi lado apoyándome y animándome para lograr esta meta.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
AGRADECIMIENTOS	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
ÍNDICES DE FIGURAS	ix
ÍNDICES DE TABLAS	x
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
– 1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
– 1.2 JUSTIFICACIÓN	1
– 1.3 OBJETIVOS	4
CAPITULO II: CONCEPTOS BASICOS Y REVISIÓN DE LITERATURA	5
– 2.1 INTRODUCCIÓN	5
– 2.2 CONCEPTOS BÁSICOS	5
2.2.1 Estimados de Costos	5
2.2.2 Costo de Ciclo de Vida (<i>Life cycle cost</i>)	6
2.2.2.1 Definición	6
2.2.3 Publicación de RS Means.	8
2.2.3.1 Factores de Ajuste por Localización	9
2.2.3.2 Factores de Rehabilitación y Reparación	11
2.2.3.3 Costo Mínimo de Labor/Equipo	14
2.2.4 Bids de Puerto Rico	15
2.2.5 Factor de Ingeniería	16
2.2.6 Curvas de Fragilidad	17
– 2.3 REVISIÓN DE LITERATURA	19
2.3.1 Análisis Costo-Beneficio Para Evaluar Impacto Socio-Economico	19
2.3.2 Consequence Based Engineering (CBE)	22
2.3.3 Estimado de Daños	23
2.3.4 Metodologías Para Estimar Pérdidas	24
2.3.5 Pérdidas de Componentes No Estructurales	26
CAPITULO III: METODOLOGÍA	29
– 3.1 INTRODUCCIÓN	29
– 3.2 FASES	31
3.2.1 Fase 1: Obtener las Cantidades de Cada Partida	31
3.2.2 Fase 2: Organizar Cada una de las Partidas con sus Costos Respectivos de Acuerdo al Master format del 95	32
3.2.3 Fase 3: Estimar los Costos de Reparación o Rehabilitación	33
3.2.4 Fase 4: Estimar el Tiempo de Construcción Requerido Para Hacer las Rehabilitaciones o Reparaciones de las Edificaciones.	34
3.2.5 Fase 5: Análisis de Resultados	35

CAPITULO IV: ESCUELA SUPERIOR URBANA SAN SEBASTIÁN	36
– 4.1 INTRODUCCIÓN	36
– 4.2 REHABILITACIÓN PARA LOGRAR UN COMPORTAMIENTO ELÁSTICO	37
4.2.1 Estimado Costo de Rehabilitación	39
4.2.1.1 Costos Directos	40
4.2.1.2 Costos Indirectos del Proyecto	42
4.2.1.3 Costos indirectos y Ganancia del Contratista	43
4.2.1.4 Factor de Ingeniería	43
4.2.1.5 Estimado Costo Rehabilitación Usando RS Means y BIDS Puerto Rico	44
4.2.1.5.1 RS Means	44
4.2.1.5.1 Bids de Puerto Rico	49
4.2.2 Programación Actividades para la Rehabilitación Escuela San Sebastián	53
– 4.3 DISEÑO ELÁSTICO DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO	61
4.3.1 Estimado de Costo de los Elementos Estructurales Adicionales para que Trabaje EHRE	63
4.3.2 Programación Actividades Diseño EHRE para Escuela San Sebastián	67
– 4.4 REPARACIÓN ESCUELA DESPUÉS DE PRESENTARSE UN EVENTO SÍSMICO.	74
4.4.1 Estimado de Reparación	75
– 4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
4.5.1 Analisis resultados	83
CAPÍTULO V: ESCUELA SUPERIOR URBANA LAS PALMAS	86
– 5.1 INTRODUCCIÓN	86
– 5.2 ESCUELA LAS PALMAS	86
– 5.3 REHABILITACIÓN PARA LOGRAR UN COMPORTAMIENTO ELÁSTICO	87
5.3.1 Estimado Costo de Rehabilitación	89
5.3.1.1 Costos Directos	89
5.3.1.2 Costos Indirectos del Proyecto	90
5.3.1.3 Costos Indirectos y Ganancia del Contratista	91
5.3.1.4 Factor de Ingeniería	91
5.3.1.5 Estimado Costo Rehabilitación	92
5.3.2 Programación de Actividades para la Rehabilitación Escuela Las Palmas	96
– 5.4 DISEÑO ELÁSTICO DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO	102
5.4.1 Estimado de Costo de Elementos Estructurales Adicionales para que Trabaje con EHRE	103
5.4.2 Programación Actividades Diseño EHRE Para Escuela San Sebastián	107
– 5.5 REPARACIÓN ESCUELA DESPUÉS DE PRESENTARSE UN EVENTO SÍSMICO	112
5.5.1 Estimado de Reparación	113
– 5.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	117
5.6.1 Análisis de Resultados	117
CAPÍTULO VI: HOSPITAL LA CONCEPCIÓN	119
– 6.1 INTRODUCCIÓN	119
– 6.2 HOSPITAL LA CONCEPCIÓN	119
– 6.3 REHABILITACIÓN PARA LOGRAR UN COMPORTAMIENTO ELÁSTICO	120

6.3.1	Estimado del Costo de Rehabilitación	121
6.3.1.1	Costos Directos	122
6.3.1.2	Costos Indirectos del Proyecto	123
6.3.1.3	Costos Indirectos y Ganancia del Contratista	123
6.3.1.4	Factor de Ingeniería	123
6.3.1.5	Estimado del Costo de Rehabilitación	124
6.3.2	Programación de Actividades Para la Rehabilitación Hospital La Concepción	129
	– 6.4 DISEÑO ELÁSTICO DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO	136
6.4.1	Estimado de Costo de los Elementos Estructurales Adicionales Para que Trabaje EHRE.	137
	– 6.5 REPARACIÓN HOSPITAL DESPUÉS DE PRESENTARSE UN EVENTO SÍSMICO	140
6.5.1	Estimado de Reparación	142
	– 6.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	144
6.6.1	Análisis de Resultados	145
	<i>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	147
	– 7.1 INTRODUCCIÓN	147
	– 7.2 CONCLUSIONES	147
	– 7.3 RECOMENDACIONES	149
	<i>Referencias</i>	151

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1: Curva de fragilidad para una estructura de concreto con vulnerabilidad sísmica moderada.....	18
Figura 2: Comparación de costos de reparación sísmica para cada componente.....	27
Figura 3: Disposición estructuras escuela San Sebastián.....	36
Figura 4: Modelo estructural escuela superior San Sebastián.....	37
Figura 5: Esquema de rehabilitación para la escuela de San Sebastián.....	39
Figura 6: Segmento del esquema de programación para las actividades repetitivas.....	53
Figura 7: Programación actividades rehabilitación escuela San Sebastián.....	57
Figura 8: Continuación programación actividades de la rehabilitación escuela San Sebastián.....	58
Figura 9: Continuación programación actividades de la rehabilitación escuela San Sebastián.....	59
Figura 10: CPM para la rehabilitación escuela San Sebastián.....	60
Figura 11: Programación actividades diseño EHRE para escuela San Sebastián.....	70
Figura 12: Continuación programación diseño EHRE escuela San Sebastián.....	71
Figura 13: Continuación programación diseño EHRE escuela San Sebastián.....	72
Figura 14: CPM para diseño elástico escuela San Sebastián. (elementos estructurales adicionales).....	73
Figura 15: Índices de costos históricos de construcción (1956-2006).....	79
Figura 16 : Curva de tendencia de los índices de costo de construcción.....	80
Figura 17: Modelo estructural de la escuela Las Palmas (adaptado de Hernández 2007).....	87
Figura 18: Rehabilitación propuesta para la escuela Las Palmas. (adaptado de Hernández (2007).....	88
Figura 19: Programación actividades rehabilitación escuela Las Palmas.....	99
Figura 20: Continuación programación actividades rehabilitación escuela Las Palmas.....	100
Figura 21: CPM para la rehabilitación escuela Las Palmas.....	101
Figura 22: Programación actividades diseño EHRE para escuela Las Palmas.....	109
Figura 23: Continuación programación diseño EHRE escuela Las Palmas.....	110
Figura 24: CPM para diseño elástico escuela Las Palmas.....	111
Figura 25: Elementos estructurales que sufrieron daños después del terremoto.....	112
Figura 26: Vista en 3D escuela Las Palmas.....	113
Figura 27: Vista de las 4 vigas afectadas por el terremoto.....	113
Figura 28 : Modelo estructural hospital La Concepción.....	120
Figura 29: Rehabilitación propuesta para hospital La Concepción. (adaptado de Hernández (2007)).....	121
Figura 30: Programación actividades rehabilitación hospital La Concepción.....	132
Figura 31: Programación actividades rehabilitación hospital La Concepción. (continuación)....	133
Figura 32: Programación actividades rehabilitación Hospital La Concepción. (continuación)...	134
Figura 33: CPM para la rehabilitación hospital LC.....	135

Figura 34: Pórticos seleccionados para análisis no lineal hospital LC.	140
Figura 35: Elementos estructurales que sufrieron deformación del pórtico F.	141
Figura 36: Elementos estructurales que sufrieron deformación del pórtico N.....	141
Figura 37: Estimado de costo reparación elementos estructurales.....	143

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1: Ejemplo de formato <i>Building Construction Cost Data (RSMeans 2006)</i>	9
Tabla 2: Ejemplo de factores de ajuste por localización para Puerto Rico. (Adaptado de RS Means).....	10
Tabla 3: Factores a utilizar para la Rehabilitación y Reparación.....	13
Tabla 4: Uso de los factores de Rehabilitación para la División Solar en el Estimado de Costo de Rehabilitación Escuela San Sebastián.....	14
Tabla 5: Formato precios Bids de Puerto Rico (www.bidspr.com/index.html).....	15
Tabla 6: Relación de daños correspondientes para varios estados de daños.....	26
Tabla 7: Factores de rehabilitación y porcentajes utilizados para ajustar las partidas de costo directo.....	40
Tabla 8: Partidas utilizadas para el cálculo de los costos directos de la escuela San Sebastián ...	41
Tabla 9: Partidas utilizadas para el cálculo de los costos indirectos del proyecto.....	42
Tabla 10: Honorarios sugeridos por CIAPR.....	43
Tabla 11: Condiciones Generales para el estimado de costo rehabilitación escuela San Sebastián.....	46
Tabla 12: División Solar para el estimado de costo rehabilitación escuela San Sebastián usando RS Means.....	47
Tabla 13: Divisiones Hormigón, Metales y Terminaciones para el estimado de costo rehabilitación usando RS Means. Incluye costo total.....	48
Tabla 14: Condiciones Generales para el estimado de costo rehabilitación escuela San Sebastián usando Bids de Puerto Rico.....	50
Tabla 15: División Solar para el estimado de costo rehabilitación escuela San Sebastián usando Bids de Puerto Rico.....	51
Tabla 16: Divisiones Hormigón, Metales y Terminaciones estimado de costo rehabilitación escuela San Sebastián usando Bids PR. Incluye valor total.....	52
Tabla 17: Lista de actividades que se requieren para hacer una pared.....	54
Tabla 18: Actividades no repetitivas (rehabilitación escuela San Sebastián).....	54
Tabla 19: Costo por pie ² para diferentes escuelas superiores en Puerto Rico.....	61
Tabla 20: Factor Ingeniería utilizados para el calculo del estimado de costo diseño elástico.....	64
Tabla 21: División Condiciones Generales para el cálculo del estimado de costo con diseño EHRE de escuela San Sebastián.....	65
Tabla 22: Divisiones Solar, Hormigón, Metales y Terminaciones para el cálculo del estimado de costo diseño EHRE de escuela San Sebastián.....	66
Tabla 23: Actividades para hacer una pared en el estimado diseño EHRE escuela SS.....	67
Tabla 24: Actividades no repetitivas para la programación diseño EHRE escuela.....	68
Tabla 25: Partidas seleccionadas para obtener costos directos del estimado de limpieza del solar escuela SS.....	77

Tabla 26: Partidas seleccionadas para obtener los costos indirectos del estimado de limpieza solar escuela SS.....	77
Tabla 27: Estimado costo de limpieza solar.....	78
Tabla 28: Índices de costos históricos de construcción.....	79
Tabla 29: Índices de costo de construcción probables para los años 2012, 2017 y 2027	80
Tabla 30: Costos de reparación probables usando los índices de la curva de tendencia para los años 2006, 2012, 2017 y 2027.....	81
Tabla 31: Tasas de descuento sugeridos por la OMB	82
Tabla 32: Costos de reparación descontados.....	82
Tabla 33: Partidas utilizadas para el cálculo de los costos directos de la escuela Las Palmas	90
Tabla 34: Partidas utilizadas para el cálculo de los costos indirectos escuela Las Palmas.....	91
Tabla 35: División Condiciones Generales para el estimado de costo de rehabilitación escuela Las Palmas	93
Tabla 36: División Solar para el estimado de costo de rehabilitación escuela Las Palmas	94
Tabla 37: División Hormigón, Metales y Terminaciones para el estimado de costo de rehabilitación escuela Las Palmas.....	95
Tabla 38: Lista de actividades que se requieren para hacer un muro de concreto	96
Tabla 39: Actividades no repetitivas (rehabilitación escuela San Sebastián)	97
Tabla 40: Factor Ingeniería utilizados para el calculo del estimado de costo diseño elástico	104
Tabla 41: División Condiciones Generales para el cálculo del estimado de costo con diseño HRE de escuela San Sebastián.....	105
Tabla 42: Divisiones Solar, Hormigón, Metales y Terminaciones para el cálculo del estimado de costo diseño EHRE de escuela San Sebastián.....	106
Tabla 43: Actividades para hacer un muro de concreto en el estimado diseño EHRE escuela Las Palmas	107
Tabla 44: Actividades no repetitivas (diseño EHRE escuela Las Palmas)	107
Tabla 44: Actividades no repetitivas (diseño EHRE escuela Las Palmas) continuación.....	108
Tabla 45: Partida de construcción utilizada para la reparación de las vigas.....	114
Tabla 46: Estimado costo de reparación elementos estructurales para la escuela Las Palmas	115
Tabla 47: <i>Drift ratio</i> . (adaptado <i>Hazus99-SR2 Technical Manual</i>)	116
Tabla 48: Partidas de construcción seleccionadas para el cálculo del costo directo.....	122
Tabla 49: Partidas utilizadas para el cálculo de los costos indirectos Hospital La Concepción ..	123
Tabla 50: Honorarios sugeridos por CIAPR	124
Tabla 51: Condiciones Generales Hospital La Concepción.....	126
Tabla 52: División Solar estimado de costo rehabilitación hospital La Concepción.....	127
Tabla 53: División Hormigón, Metales , Puertas y Ventanas y Terminaciones para el estimado de costo de rehabilitación hospital LC.....	128
Tabla 54: Lista de actividades que se requieren para ensanchar el muro por tramo.....	129
Tabla 55: Actividades que se requieren para instalar crucetas de acero	130
Tabla 56: Actividades generales	130
Tabla 57: Factor Ingeniería utilizado para el calculo del estimado de costo diseño elástico.....	137
Tabla 58: Estimado de costo diseño EHRE hospital La Concepción	139
Tabla 59: Resumen de estimados de costos	147

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Este proyecto de investigación se llevó a cabo para evaluar posibles diferencias de costos de construcción y reparación de estructuras cuando se diseñan con dos metodologías distintas para diseño sismo-resistente. Una metodología involucra diseñar la estructura de tal manera que permanezca dentro del rango elástico durante el sismo de diseño. La otra metodología es la que actualmente se incorpora en la mayoría de los códigos de diseño sismo-resistente e involucra diseñar las mismas fuera del rango elástico, por ende permitiendo que se deformen más durante el terremoto de diseño y posiblemente sufran daños durante el sismo.

Estructuras diseñadas usando esta segunda filosofía de diseño suelen requerir algún tipo de rehabilitación o reparación cuando ocurre el sismo de diseño. En esta tesis se comparan los costos para tres tipos de estructuras (dos escuelas y un hospital) bajo las dos filosofías.

Este capítulo presenta una justificación del proyecto de investigación, los objetivos y una descripción de la organización del reporte.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En el pasado, los edificios con mucha antigüedad y con grave deterioro eran rutinariamente demolidos. Hoy en día, son frecuentemente remodelados y restaurados debido a que no existe mucho espacio disponible y la gente prefiere conservar o reutilizar las edificaciones. De esta manera el volumen de construcciones a renovar está destinado a incrementar.

Hoy en día muchos códigos de construcción permiten diseñar las estructuras más allá del límite elástico de los materiales, permitiendo de esta manera, que la gran mayoría de las estructuras sufran deformaciones considerables después de que se presente un evento sísmico. En este enfoque de diseño, se permiten mayores niveles de deformaciones durante un evento sísmico, y las estructuras se diseñan para

que no colapsen. Por otro lado, también existe la posibilidad de diseñar las edificaciones dentro del rango elástico de los materiales, permitiendo de esta manera, que la estructura no presente deformaciones significativas una vez se presente un evento sísmico. Sin embargo, está claro que diseñar bajo esta filosofía requiere mayor cantidad de materiales y por ende conlleva mayores costos de construcción. La gran mayoría de los diseñadores desconocen realmente cuál es la diferencia de costos entre las dos alternativas de diseño.

Ambos enfoques tienen consecuencias diferentes para la estructura después que ocurre el sismo de diseño. Para estructuras diseñadas dentro del rango elástico se espera que la estructura no sufra deformaciones permanentes y tampoco daño. Mientras que estructuras diseñadas con códigos modernos que permiten exceder el rango elástico se espera que haya daño después de un terremoto de diseño.

Predecir los daños y estimar los costos de rehabilitación que conlleva un evento sísmico sobre una estructura es una tarea muy complicada y difícil de realizar, debido principalmente a la gran cantidad de factores que están envueltos como por ejemplo, el tipo de suelo, tipo de estructura, intensidad del sismo, código de diseño utilizado y otros. Es muy probable que después de un terremoto un gran número de las edificaciones requiera rehabilitación inmediata para estar seguro que la estructura se comporta tal y como fue diseñada.

El código de edificación de Puerto Rico el UBC-97 (*Uniform Building Code, 1997*) y códigos más recientes como el ACI 318-05 (ACI Comité 318 2005) establecen como criterio de diseño para cargas laterales, el uso de cargas estáticas reducidas por un factor de ductilidad R . Este factor se denomina usualmente factor de reducción de capacidad y fue introducido en el código para el año 1979 (Sielaff et al., 2005). De esta manera, las estructuras deben ser diseñadas para unos esfuerzos menores que los dados por la respuesta del sistema elástico. Este factor toma en cuenta la disminución en rigidez de la estructura debido al agrietamiento de materiales y daños en algunos elementos estructurales.

Así mismo, el código de Puerto Rico clasifica las estructuras de acuerdo a un factor de importancia. Para fines de evaluar las cargas sísmicas los edificios se clasifican de acuerdo con su uso y sus

características estructurales. En cuanto al uso, el código distingue a los edificios importantes, ya sea porque en ellos existen grandes concentraciones de personas, o porque su supervivencia es vital para responder a las situaciones de emergencia provocadas por los sismos. Conviene resaltar que los hospitales, las escuelas y edificios de gobierno son un buen ejemplo, tanto de edificios con una gran densidad de uso, como de centros indispensables para la atención de las víctimas después de un sismo. En general, a los edificios importantes se les asigna un factor de sobre diseño que afecta directamente al cálculo de las fuerzas sísmicas. Estructuras en otros lugares fuera de Puerto Rico, con códigos de diseño similares, han experimentado daños considerables durante un sismo. Estos daños han causado un impacto económico muy grande debido a las interrupciones en servicio y han afectado seriamente los servicios esenciales.

En los Estados Unidos, particularmente en California, se están diseñando las estructuras casi elásticamente y se está requiriendo que las estructuras existentes sean reforzadas para cumplir con los nuevos requisitos de diseño (*California Health and Safety Code, 2003*). Estas estructuras mejoradas ya han sido probadas por sismos posteriores y no han sufrido daño importante, salvo pequeñas fisuras en elementos no estructurales.

Por lo tanto, este estudio permitirá estimar el incremento en costo que tendría la estructura diseñada elásticamente y compararla con el incremento en costo de una estructura similar reforzada para que cumpla con el diseño elástico, y asimismo establecer el costo de reparación de una estructura diseñada con los códigos actuales después de haber sufrido un terremoto. Este último costo se incrementa significativamente por la pérdida adicional debido a paralización de algunas operaciones.

En resumen, en este estudio se pretende obtener un indicador de la diferencia que existe en costos de construcción utilizando las dos alternativas de diseños antes mencionadas. Se estudiarán tres edificaciones (dos escuelas y un hospital) ubicadas en Puerto Rico. Estas estructuras consideradas importantes son las que serán objeto de nuestro estudio, pues a pesar de que deben de estar en operación continua durante un sismo, no se diseñan elásticamente, aunque tienen un factor de amplificación de fuerzas, el cual ha sido probado que no es suficiente para prevenir todos los daños.

1.3 OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es evaluar la diferencia en costo de construcción para tres diferentes tipos de edificaciones ubicadas en distintas áreas de Puerto Rico teniendo en cuenta los tres escenarios siguientes:

- rehabilitar las estructuras pre-evento sísmico para que se comporten en el rango elástico,
- construir nuevamente desde el comienzo las estructuras para que estas se comporten en el rango elástico, y
- reparar las estructuras post-evento sísmico, dejando estas tal y como fueron diseñadas originalmente, es decir de acuerdo al código vigente de construcción.

Las estructuras seleccionadas para esta investigación son las siguientes:

- la escuela Superior Patria La Torre ubicada en San Sebastián (referido en el trabajo como escuela de San Sebastián)
- la Escuela Superior Mercedes García de Colorado ubicada en el barrio Las Palmas, Cataño (referido en el trabajo como escuela Las Palmas) y
- el Hospital La Concepción ubicado en San Germán.

Los objetivos específicos son:

- estimar los costos de construcción, rehabilitación y reparación de las estructuras teniendo en cuenta los escenarios descritos anteriormente.
- hacer una programación detallada de las labores que conlleva realizar las rehabilitaciones utilizando el método de ruta crítica *CPM (critical path method)*.
- encontrar la duración de los trabajos de rehabilitación.

CAPITULO II: CONCEPTOS BASICOS Y REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo provee una breve descripción de conceptos que son utilizados mas adelante en el desarrollo de esta investigación. La revisión de literatura se enfoca en metodologías que se han realizado para estimar daños y sus respectivos costos.

2.2 CONCEPTOS BÁSICOS

Esta sección comienza con algunos conceptos y términos relacionados con la metodología costo de ciclo de vida (CCV, *Life cycle cost*), así como con algunas definiciones de términos financieros usados para aplicar este método. Luego se explican algunos conceptos importantes sobre el uso de la publicaciones *RS Means Construction Cost Data* y *Bids* de Puerto Rico. Al final de la sección se describe el concepto de curvas de fragilidad.

2.2.1 Estimados de Costos

Para hacer un análisis CCV correcto se requiere que se hayan hecho previamente estimados de costos del proyecto. Para esto se debe seleccionar el método a utilizar. Existen diferentes métodos para estimar costos en un proyecto (Lluch, 2005) :

- Estimar costos rápidos.
 - Utilizando índice de costo
 - Costo por pie cuadrado
 - Costo por unidad de servicio
 - Métodos de parámetros de costos
- Estimado de Costos detallados

Es bien importante que al aplicar estos métodos los datos que se utilicen sean confiables. La mejor información para preparar un estimado de costo es la que se obtiene de proyectos similares. Muchas veces

es necesario aplicar ajustes a la información que esta disponible para obtener estimados realistas. Ejemplo de estos ajustes son la localización, fecha de construcción (inflación), costo del terreno, desarrollo del solar y otros (Lluch, 2005).

Los estimados de costos que se obtuvieron en este estudio fueron obtenidos utilizando las bases, de datos de costos de construcción que proveen las publicaciones RS MEANS y Bids de Puerto Rico.

2.2.2 Costo de Ciclo de Vida (*Life cycle cost*)

Un análisis de costos completo requiere se considere el Costo de Ciclo de Vida o CCV. Un análisis CCV es una metodología muy útil que permite comparar entre varias alternativas económicas para distinguir cual es la óptima o más beneficiosa para un determinado proyecto de construcción. Es una herramienta que nos ayuda a asignar inteligentemente el dinero en el proyecto. Por ejemplo, cuando se debe decidir como asignar un determinado presupuesto el cual es limitado, o cuando tenemos que escoger entre suspender el mantenimiento de un equipo por el reemplazo de uno nuevo, un análisis CCV puede ayudarnos a tomar la decisión de que alternativa económica es la mas favorable. En nuestro caso nos permite analizar desembolsos futuros y costos iniciales considerando el valor del dinero a través del tiempo.

La Asociación Americana de Ensayos y Materiales (*ASTM*) subcomité E06.81 (*Building Economics*) ha desarrollado una serie de estándares para evaluar el desempeño económico en la inversión de edificios. Estos estándares, los cuales han sido aprobados por la Asociación Americana de Costos de Ingeniería (*AACE*), fueron hechos con la intención de proveer uniformidad en la terminología y métodos de cálculo utilizados por Costo de Ciclo de Vida.

2.2.2.1 Definición

CCV (costo de ciclo de vida) es un proceso sistemático y analítico para evaluar diferentes alternativas en un proyecto, con el propósito de escoger la que requiera menos recursos. El proceso incluye los siguientes pasos: (Kerzner, 2002)

- definir el problema (que información se requiere)
- definir los requerimientos del modelo de costo a utilizar
- recopilar datos históricos de costos
- desarrollar estimados y prueba de resultados.

La determinación del Ciclo de Vida de un proyecto es una técnica desarrollada con el fin de identificar y cuantificar la totalidad de los costos iniciales y de desarrollo, asociados a un proyecto a lo largo de un periodo determinado. Costo de ciclo de vida (CCV) utiliza el principio contable de la actualización de pagos futuros a fin de que los gastos totales realizados durante el periodo del ciclo de vida de un producto se conviertan en valores actuales. CCV nos permite valorar los beneficios potenciales a largo plazo en oposición a la conveniencia a corto plazo. El Costo del Ciclo de Vida (CCV) calcula el total de los costos de un proyecto: costos iniciales y los costos futuros. Los costos futuros se refieren a elementos como el mantenimiento y su frecuencia, los efectos de los tiempos de inactividad, las pérdidas de producción, las reparaciones, los reemplazos y otros costos relativos a la producción tales como la mano de obra. EL CCV trae tanto los costos iniciales como los futuros a valor presente (Hart et al., 1982).

En el desarrollo de proyectos de ingeniería civil basados en su ciclo de vida, una de las consideraciones que más se analiza a la hora de buscar la viabilidad del mismo es la relación beneficio-costos que le pueda generar al inversionista. En este proceso las personas involucradas en el proyecto deben estar realmente comprometidas con los costos que se generan en cada fase del ciclo de vida, ya que un mal manejo de estos puede llevar a un rendimiento financiero negativo del mismo. (Mojica et al., 2006).

Dentro de las fases para estructurar un ciclo de vida de un proyecto de ingeniería civil, enmarcando el proceso total que este tendría a lo largo de su existencia tenemos las siguientes etapas:

1. Idea
2. Conceptualización del Proyecto
3. Diseño del Proyecto

4. Construcción del Proyecto
5. Entrega del Proyecto
6. Operación y Mantenimiento
7. Cierre del Proyecto

Para identificar un modelo que analice y estructure el ciclo de vida de un proyecto, debemos tener en cuenta dos aspectos importantes, como los son: la definición de variables, y el tipo de modelo de optimización para el cálculo de ciclo de vida que se va a utilizar. Dentro de las variables a considerar encontramos parámetros como el beneficio o retorno de la inversión, los costos de diseño, los costos de construcción, los costos de operación y mantenimiento, costos de inspección, los costos atribuidos a la falla del sistema, y los costos de cierre. (Mojica et al., 2006).

La ASTM define CCV como una técnica de evaluación económica que es igual a la suma de los costos iniciales de un periodo de estudio menos el valor de reventa, reemplazo, operación, uso de energía y mantenimiento y reparación. Los costos son expresados en valor presente o en valor anual equivalente.

Esta técnica es una herramienta importante para evaluar alternativas de inversión. Para poder entender CCV hay que tener muy claro los siguientes conceptos:

- Valor compuesto (Compounding)
- Descuento Compuesto (Discounting)
- Valor presente (Present Value)
- Valor anual equivalente

Este material está ampliamente cubierto en libros de ingeniería de costos.

2.2.3 Publicación de RS Means.

RSMeans tiene una serie de publicaciones que provee información de costos unitarios de construcción en Norte América incluyendo Puerto Rico. Para este proyecto de investigación se utilizó

como fuente principal de información de costos la publicación *Building Construction Cost Data (RS Means 2006)*. También fueron consultados otras publicaciones de RSMeans como:

- *Square foot Costs (RS Means 2005)*
- *Repair and Remodeling Cost data (RS Means 2004).*
- *Repair and Remodeling Estimating Methods (RS Means 2002)*

El libro *Building Construction Cost Data 2006* provee todos sus datos de acuerdo al formato Master Format del 95 el cual está formado de 16 divisiones. El costo de cada partida incluye tres componentes: costo de materiales, costo de mano de obra y costo de equipo. La Tabla 1 muestra un ejemplo de cómo es el formato que se utiliza en esta publicación.

Tabla 1: Ejemplo de formato *Building Construction Cost Data (RSMeans 2006)*

		02315 I Excavation and Fill	CREW	DAILY OUTPUT	LABOR HOURS	UNIT	2006 BARE COST				TOTAL INCL O&P
							MAT	LABOR	EQUIP	TOTAL	
490		HAULING									
	0020	6 C.Y dump truck, 1/4 mile round, 5.0 loads/hr	B-34A	195	0.041	L.C.Y		1.16	1.68	2.84	3.62
	0030	1/2 mile round trip, 4.1 loads/hr.	B-34A	160	0.050	L.C.Y		1.42	2.04	3.46	4.42
	0020	1 mile round trip, 3.3 loads/hr	B-34A	130	0.062	L.C.Y		1.74	2.51	4.25	5.4
	0100	2 mile round trip, 2.6 loads/hr.	B-34A	100	0.080	L.C.Y		2.27	3.27	5.54	7.05
	0150	3 mile round trip, 2.6 loads/hr.	B-34A	80	0.100	L.C.Y		2.84	4.08	6.92	8.8

2.2.3.1 Factores de Ajuste por Localización

Es importante mencionar que los valores de cada partida deben ser ajustados al sector donde se está haciendo el estimado de costo por medio de un factor de ajuste por localización. Para nuestro estudio las rehabilitaciones propuestas son todas en el área de Puerto Rico por lo que todos los factores utilizados corresponden al área de Puerto Rico. En la sección *City Cost Indexes* del referido libro se encuentran los factores de ajustes que se utilizaron para el cálculo de los estimados de este proyecto.

De esta manera, teniendo en cuenta lo anterior, se diseñó una tabla para hacer los estimados de costo de tal forma que se pueda apreciar con facilidad el uso de estos factores de ajuste. En la Tabla 2 (Ejemplo Factores de ajuste por localización para Puerto Rico) se muestra el diseño de la Tabla que se hizo para obtener los estimados de costos. Se puede observar que se empleó el uso de dos columnas para hacer referencia a estos factores de ajuste, una columna muestra el factor para ajustar el valor de mano de obra más equipo y la otra columna muestra el factor para ajustar el valor o precio unitario del material que requiere cada una de las actividades del estimado de costo.

De la Tabla 2 notamos, como ejemplo, que para la actividad Retiro de Tierra no Útil (transporte), el costo por el uso de equipo por cada yarda cúbica suelta (LCY *loose cubic yard*) es \$ 12.20 y el costo de mano de obra es \$ 5.80 por yarda cúbica suelta. De acuerdo a estos costos, el precio total sin incluir costos indirectos y ganancia es la suma de ambos valores, es decir \$18.00 por yarda cúbica suelta.

Tabla 2: Ejemplo de factores de ajuste por localización para Puerto Rico. (Adaptado de RS Means)

ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	Total Unitario	Extensión
1 Solar (Site)									\$ 265,413.97
Movilización y Desmovilización	2	EA		56.5	112	0.984	1.160	188.18	\$ 376.36
Movilización equipo pequeño	2	EA			5	0.984	1.160	48.43	\$ 96.86
Excavación para zapatas	522	CYD	9		0	0.984	1.160	20.08	\$ 10,481.29
Compactación	362	ECY	1.10		0.13	0.984	1.160	1.75	\$ 633.25
Relleno	362	LCY	0.41		0.33	0.984	1.160	0.93	\$ 336.32
Retiro de tierra no útil	160	LCY	1.4325		0.61	0.984	1.160	2.71	\$ 433.88
Retiro de tierra no útil (transporte)	160	LCY	5.8		12.2	0.984	1.160	20.55	\$ 3,288.64

Sin embargo este no es el costo correcto a utilizar, ya que como se mencionó anteriormente, se debe ajustar este costo al sitio donde se lleva el proyecto, que para nuestro estudio es Puerto Rico. Por consiguiente, en la Tabla 2 se observan, los factores 0.984 para ajustar el costo del material y 1.160 para ajustar el costo de mano de obra y el equipo. Como resultado de multiplicar estos factores por sus respectivos costos se consigue un subtotal de \$ 18.73 por unidad. Ahora bien, la Tabla 2 nos muestra un total unitario para esta actividad de \$ 20.55 por unidad, el cual no corresponde con el valor obtenido

utilizando los factores de ajuste de \$ 18.73. La respuesta a esto es debido a que además de utilizar factores de ajuste para Puerto Rico se utilizaron unos factores de rehabilitación que aumentaron en un porcentaje el costo unitario de cada actividad. Los factores de rehabilitación sólo fueron utilizados en el calculo de los estimados de costos de rehabilitación y reparación.

2.2.3.2 Factores de Rehabilitación y Reparación

El costo de rehabilitar o reparar una estructura luego de un desastre natural es mayor que el costo de construirla por primera vez. Esto se debe a varios factores incluidos en la publicación *Repair and Remodeling Estimating Methods (4th edition)*. Estos deben tenerse en cuenta ya que su presencia afecta la productividad del trabajo. Estos factores son los siguientes:

1. *“Cut and patch existing construction”*: Todo proyecto de rehabilitación o renovación constantemente involucra operaciones de corte y remiendo. Por ejemplo, cuando se requiere pasar una tubería nueva por un muro que ya existe es necesario hacer un agujero para que pueda pasar la tubería, y puede se requiera que se muevan algunos artefactos que se encuentren en el área de trabajo, para evitar que se rompan o se dañen. El costo de realizar este trabajo puede ser bastante mayor comparado con el costo cuando se realizara en condiciones libres de obstáculos.
2. *“Dust protection”*: Cuando la rehabilitación o renovación de un proyecto se realiza en un edificio parcialmente ocupado, se debe proteger contra el polvo, el ruido y cualquier clase de disturbio que pueda afectar las áreas que no están involucradas en el proyecto. Esto conlleva costo adicional.
3. *“Equipment usage”*: En construcciones nuevas es relativamente fácil utilizar equipos grandes para el transporte de material, sin embargo, en proyectos de rehabilitación muchas veces no se pueden utilizar estos equipos debido a problemas de acceso. Esto hace necesario utilizar equipos pequeños que son menos eficientes.

4. *“Material handling and storage limitations”*: Las limitaciones respecto al acceso, almacenamiento y manejo de los materiales de construcción puede resultar en un aumento en los costos de rehabilitación o renovación de un proyecto. Por ejemplo, si la entrega y el manejo de los materiales de construcción están restringidos a ciertos periodos de tiempo durante el día, esto puede ocasionar que parte del personal tenga que parar por falta de materiales, causando una reducción en la productividad.
5. *“Protection of Adjacent Areas”*: Esto ocurre en casos que debemos proteger áreas que ya se han terminado o cuando hay que proteger el área de trabajo para evitar molestar a otras oficinas que se mantienen trabajando en el edificio. El estimador debe tener en cuenta el costo adicional que se requiere para proteger estos espacios.
6. *Shift work*: En ocasiones se requiere trabajar más de un turno de ocho horas al día o trabajar horas extras para proteger las áreas adyacentes o para poder ejecutar el trabajo a tiempo.
7. *“Temporary shoring and bracing”*: Los proyectos de rehabilitación y reparación pueden incluir modificaciones en una parte de la edificación. Por lo tanto se requiere de apuntalamiento o reforzamiento provisional que provoca un aumento en el costo del estimado.

La Tabla 3 muestra los porcentajes adicionales propuestos por la publicación para considerar estos factores en el estimado de costo. Como se puede observar se proponen unos valores máximos y mínimos que se aplican al costo de materiales y mano de obra. Para el cálculo de los estimados de costo de rehabilitación se usaron los porcentajes máximos propuestos, teniendo en cuenta que para cada uno de los proyectos estudiados se encontró que presentan muchas limitaciones para realizar el trabajo de rehabilitación.

Tabla 3: Factores a utilizar para la Rehabilitación y Reparación.
(Repair and Remodeling Estimating Methods 4th edition (2004)).

Factor Rehabilitación	Mat.	Mano de obra
1. <i>Cut and patch existing construction</i>	2%	3%
	5%	9%
2. <i>Dust protection</i>	1%	2%
	4%	11%
3. <i>Equipment usage</i>	1%	1%
	3%	10%
4. <i>Material handling and storage limitations</i>	1%	1%
	6%	7%
5. <i>Protection of Adjacent Areas</i>	2%	2%
	5%	7%
6. <i>Shift work</i>	-	5%
	-	30%
7. <i>Temporary shoring and bracing</i>	2%	5%
	5%	12%

La manera como se decidió utilizar estos factores fue tomando en cuenta las actividades vinculadas en cada división del estimado de costo. Se analizó cuales de las situaciones arriba explicadas aplicaban a cada división utilizando el porcentaje máximo propuesto por la publicación. Finalmente se sumó el aporte en porcentaje que da cada uno de los factores seleccionados y se multiplica por el valor unitario conseguido después de habersele aplicado su ajuste por localización. De esta forma se consiguió un costo unitario utilizado en nuestros estimados. En la Tabla 4 se aprecia el uso de estos factores para la rehabilitación de la escuela San Sebastián para la División 2 del estimado de costo Solar (*Site*). Se observa que para ésta división en particular se decidió no incluir el factor *Shift work*, ya que tomando en cuenta las características del proyecto no se requiere de esta situación. En adición se observa que el porcentaje total al cual se debe ampliar el costo de mano de obra es de 55% (0.55) y 27% (0.27) al costo

de los materiales. El resultado de esta multiplicación se encuentra en la columna SUBTOTAL del estimado de costo de rehabilitación el cual nos da el costo unitario utilizado en cada partida.

Tabla 4: Uso de los factores de Rehabilitación para la División Solar en el Estimado de Costo de Rehabilitación Escuela San Sebastián.

Estimado de Costo Rehabilitacion Escuela San Sebastian											
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	SUBTOTAL	COSTO TOTAL	
2 Solar (Site)											\$ 266,533.00
Excavación											
02305-250-0020	Movilización y Desmovilización	2	EA		56.5	112	0.984	1.160	\$ 191.00	\$	382.01
02305-250-1100	Movilización equipo pequeño	2	EA		27.5	10.65	0.984	1.160	\$ 49.80	\$	99.61
02315-462-6030	Excavación para footings	522	CYD	9.55		6.10	0.984	1.160	\$ 20.65	\$	10,780.40
02315-320-0600	Compactación	362	ECY	1.10		0.13	0.984	1.160	\$ 1.82	\$	657.15
02315-120-2020	Relleno	362	LCY	0.41		0.33	0.984	1.160	\$ 0.95	\$	345.22
02315-462-9026	Retiro de tierra no útil (colocar en camión)	160	LCY	1.4325		0.61	0.984	1.160	\$ 2.80	\$	447.63
02315-490-0560	Retiro de tierra no útil (transporte)	160	LCY	5.8		12.2	0.984	1.160	\$ 20.90	\$	3,344.32
Demoliciones											
02220-130-0280	Demolición losa primer piso	1728	SF	2.37		0.31	0.984	1.160	\$ 3.94	\$	6,809.39
02220-130-0400	Demolición losa segundo piso	180	SF	2.97		0.39	0.984	1.160	\$ 4.94	\$	889.15
02220-130-0400	Demolición losa cubierta	72	SF	2.97		0.39	0.984	1.160	\$ 4.94	\$	355.66
02220-130-0400	Demolición pavimento de concreto	1620	SF	2.97		0.39	0.984	1.160	\$ 4.94	\$	8,002.38
02220-130-2040	Demolición Parapeto Segundo Piso	288	SF	1.29		1.29	0.984	1.160	\$ 3.25	\$	935.49
02220-360-0400	Cortar losa primer piso	576	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	\$ 1.62	\$	933.66
02220-360-0400	Cortar losa segundo piso	138	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	\$ 1.62	\$	223.69
02220-360-0400	Cortar losa cubierta	120	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	\$ 1.62	\$	194.51
02220-360-0400	Cortar pavimento de concreto	567	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	\$ 1.62	\$	919.07
02220-360-0400	Cortar losa para bloques hormigón	53	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	\$ 1.62	\$	85.91
02315-490-0550	Acarreo escombros	42	CYD	3.89		8.68	0.984	1.160	\$ 14.51	\$	609.35
Bids	Impuesto municipal vertedero-dato de Bids	42	CYD	10.00			1.000	1.000	\$ 15.50	\$	651.00
Factores de ajuste para Rehabilitación											
01250-400-0500	Factor Cut & Patch to match existing constructions	1	Porc.	0.09	0.05						
01250-400-2350	Factor Temporar Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05						
01250-400-1750	Factor Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05						
01250-400-0850	Factor dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04						
01250-400-1150	Factor Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03						
01250-400-1450	Factor Material handling & storage limitación	1	Porc.	0.06	0.05						
Suma Factores				0.55	0.27	Estos factores se aplican al subtotal en columna subtotal					

2.2.3.3 Costo Mínimo de Labor/Equipo

El estimar el costo de reparaciones a estructuras puede causar que las cantidades de trabajo a realizar sean bastante pequeñas. Cuando esto ocurre, la partida de costo de labor y equipo no representan fehacientemente el costo real incurrido para llevar a cabo dicho trabajo. En este tipo de situaciones la publicación *Repair & Remodeling Cost Data (RS Means 2004)* propone utilizar un costo mínimo de labor o equipo, el cual se encuentra al final de cada una de las secciones específicas del libro. De esta manera si el costo de labor/equipo encontrado por el estimador es mas bajo que el costo mínimo de labor/equipo propuesto por *RS Means* en sus respectivas secciones, entonces el estimador deberá ajustar el costo encontrado con el “costo mínimo de labor/equipo”. La razón principal para utilizar este costo nuevo

es para garantizar que en el estimado habrá suficiente dinero para cubrir los gastos que tiene el contratista ejecutar pequeñas cantidades de trabajo, las cuales se ejecutan en una porción del día.

Este cargo adicional debe ser utilizado solamente cuando la actividad estimada es la única actividad que la brigada desempeñará ese día. Si la brigada esta disponible para ejecutar otra tarea ese mismo día, entonces el uso de este cargo no es apropiado.

2.2.4 Bids de Puerto Rico

Bids de Puerto Rico produce una enorme base de datos de precios de construcción en Puerto Rico, la cual se puede acceder de manera gratuita en el Internet a través de la página www.bidspr.com . Se decidió utilizar esta fuente de información con el fin de estimar las diferencias en costo que hay usando la fuente RS Means y Bids de Puerto Rico. Como se puede observar más adelante, en el cálculo de los estimados de rehabilitación de las escuelas San Sebastián y Las Palmas se encontró que la diferencia en los estimados fue mínima por lo que se decidió que para el resto de los estimados se utilizaría únicamente la base de datos suministrada por la publicación RS Means.

En la siguiente Tabla 5 se muestra el formato que utiliza Bids de Puerto Rico para suministrar los precios unitarios de cada partida.

Tabla 5: Formato precios Bids de Puerto Rico (www.bidspr.com/index.html)

DESCRIPTION	REMARKS	UNIT	AVERAGE COST \$
spread footings Category: Concrete structures (using standard example 3,500 psi concrete ultimate strength and 5" slump). Not including reinforcing steel Code: Concrete Publication Date: 11/14/2005	M	cyd	\$207.00
spread footings Category: Concrete structures (using standard example 3,500 psi concrete ultimate strength and 5" slump). Not including reinforcing steel Code: Concrete Publication Date: 11/14/2005	L	cyd	\$42.00
spread footings Category: Concrete structures (using standard example 3,500 psi concrete ultimate strength and 5" slump). Not including reinforcing steel Code: Concrete Publication Date: 11/14/2005	E	cyd	\$2.00
spread footings	T	cyd	\$251.00

Category: Concrete structures (using standard example 3,500 psi concrete ultimate strength and 5" slump). Not including reinforcing steel Code: Concrete Publication Date: 11/14/2005			
---	--	--	--

La primera columna suministra información sobre la descripción de la partida a utilizar. Ahí encontramos información como el nombre de la partida, la categoría y código a cual corresponde la partida y la fecha en que se publicó el dato. La segunda columna nos indica si el costo se refiere a mano de obra (L), equipo (E), materiales (M) o total (T), que es la suma de los tres anteriores. Finalmente la tercera columna nos da el precio unitario de la respectiva partida.

Es importante mencionar que a diferencia de RS Means, esta base de datos no proporciona factores de ajuste para el caso de proyectos de rehabilitación o remodelación. Por consiguiente para el cálculo de los estimados de rehabilitación se decidió utilizar los factores de rehabilitación que propone RS Means.

2.2.5 Factor de Ingeniería

Para rehabilitar o reparar una estructura es necesario evaluar los daños y diseñar el trabajo a rehabilitar o reparar. El costo que representa estos servicios lo designamos factor de ingeniería. El factor de ingeniería se estimó utilizando los valores recomendados por el Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico en el documento titulado *Manual for Professional Practice and Guidelines for the Compensation of Professional Services*. El factor tiene en consideración los costos de la planeación previa al comienzo de la obra, elaboración de planos, pruebas y ensayos a la estructura. En la referencia Lluich (2005), se encuentra información mas detallada sobre el uso de este factor.

Los honorarios propuestos en el documento son de acuerdo a la complejidad del proyecto. Para esto clasifican los proyectos en cinco categorías, donde la primera es la de menor complejidad, hasta llegar a la última categoría que se refiere a proyectos con gran cantidad de detalles y por supuesto más complejo. Los proyectos de rehabilitación y reparación se encuentran en la categoría cinco de acuerdo a dicho manual.

2.2.6 Curvas de Fragilidad

El campo de la confiabilidad estructural proporciona un marco ideal para evaluar la importancia que, sobre su seguridad, funcionamiento y durabilidad, tienen las incertidumbres en la amenaza, las cargas estructurales, la resistencia y la rigidez de la estructura. El diseño, para determinados niveles de desempeño, requiere la conexión entre los estados estructurales y su probabilidad de ocurrencia. Una de las formas más utilizadas para representar el funcionamiento de una estructura son las **curvas de fragilidad**. Éstas representan la probabilidad de que la respuesta de una estructura exceda un determinado estado límite, en función de un parámetro que define la intensidad del movimiento del suelo. En otras palabras, puede decirse que son una medida de la vulnerabilidad sísmica de una estructura en términos probabilistas (Figura 1). La Figura muestra cinco curvas que hacen relación a cada estado de daño. En el eje vertical se encuentran la probabilidad de que esté en un estado de daño y en el eje horizontal la aceleración pico del suelo (PGA).

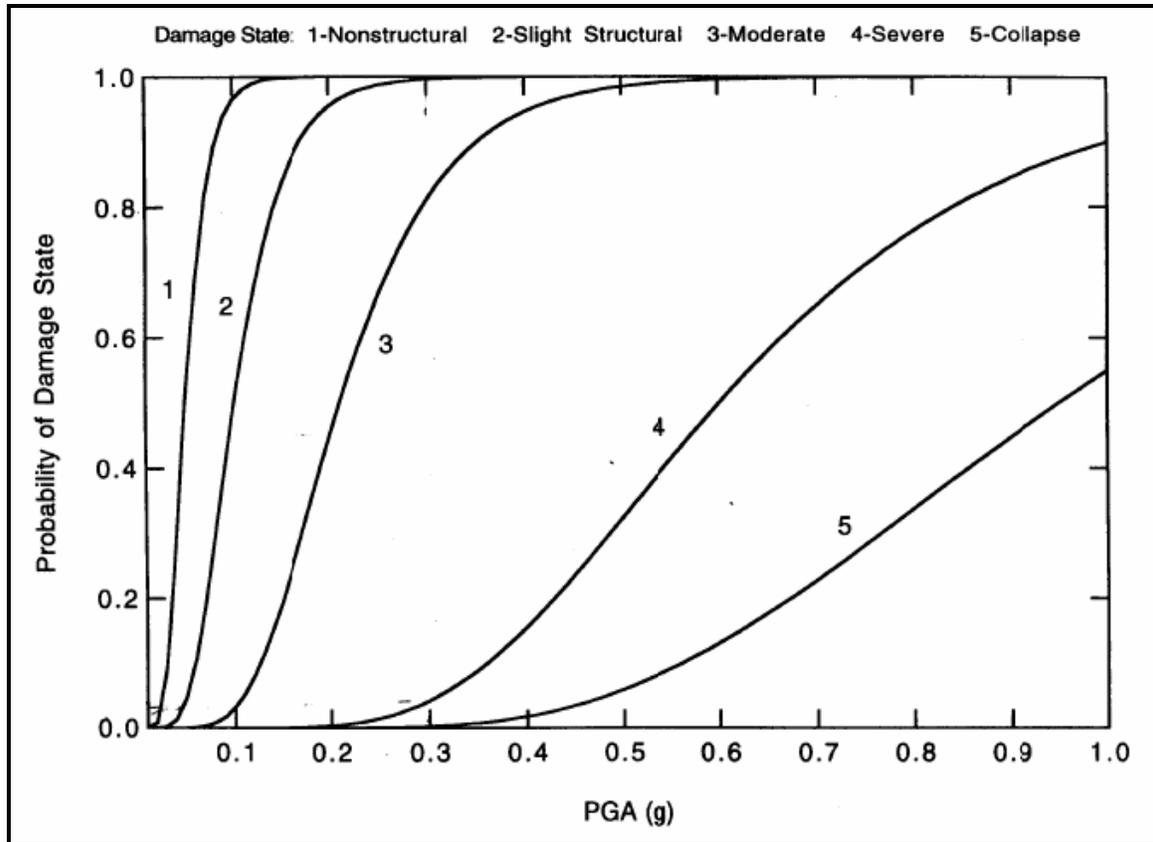


Figura 1: Curva de fragilidad para una estructura de concreto con vulnerabilidad sísmica moderada. Memphis, TN(1-5 stories) (Hwang et al., 1994)

Las curvas de fragilidad son de gran utilidad para los ingenieros de diseño, investigadores, expertos en confiabilidad, expertos de compañías de seguros y administradores de sistemas críticos, tales como hospitales y autopistas, entre otros, debido a que son un ingrediente esencial para los siguientes tipos de estudio:

- Evaluación del riesgo sísmico de los sistemas estructurales.
- Análisis, evaluación y mejora del funcionamiento sísmico tanto de los sistemas estructurales como de los no estructurales.
- Identificación de diseños óptimos y estrategias de rehabilitación.
- Determinación de las probabilidades de los márgenes de seguridad de las estructuras para diferentes movimientos sísmicos, las cuales pueden servir para la toma de decisiones y elaboración de las

normativas utilizadas por las entidades responsables de la seguridad de los sistemas y protección de los usuarios.

Una de las grandes ventajas de utilizar las curvas de fragilidad es que constituyen una herramienta fundamental para los estudios de prevención y atención a desastres, debido a que pueden ser utilizados para comenzar a reducir la vulnerabilidad de una estructura ante un evento sísmico. De este modo, pueden ayudar a reducir el riesgo a que se encuentran expuestas las estructuras, sin que sea necesaria la ocurrencia de un evento sísmico. (Bonett ,2004).

2.3 REVISIÓN DE LITERATURA

Los edificios hoy en día son estructuras costosas y deben estar en constante ajuste para poder funcionar eficientemente. La economía de edificios se ha convertido tan compleja como su diseño. Es por esto que es de gran importancia tomar medidas de intervención dirigidas a reducir o minimizar el riesgo sobre el estado estructural y funcional actual de nuestros edificios.

2.3.1 Análisis Costo-Beneficio Para Evaluar Impacto Socio-Economico

El análisis del impacto socio-económico permite identificar los riesgos altos en edificaciones que proveen servicios esenciales en una determinada región o en donde las pérdidas potenciales de vida son inaceptablemente altas.

La Organización de Universidades de California para Investigación en Ingeniería de Terremotos (*California Universities for Research in Earthquake Engineering CUREE*) desarrolló una metodología (King et al. 1997) para estimar daños y pérdidas en edificios ubicados en la ciudad de Palo Alto California, para ser usada en la evaluación de impactos socio-económicos debido a grandes terremotos. Una parte significativa del modelo socio-económico de esta investigación involucra el análisis costo-beneficio de rehabilitar estructuras sujetas a un sismo. Invertir en la rehabilitación de edificios existentes

ante un posible sismo puede basarse en uno o dos criterios. El primero es un mandato de una regulación o norma y el segundo cuando es económicamente justificado repararlo (Randall, 1987).

La viabilidad económica de rehabilitaciones a estructuras sometidas a fuerzas de origen sísmico puede ser clasificada de acuerdo al tipo de decisión a tomar y a la perspectiva de la decisión tomada. Las diferencias principales se deben a si la estructura pertenece al sector publico o al privado. Viabilidad económica en el sector privado se define como beneficios personales en exceso de costos personales. La cuestión es mucho más complicada en el sector público, debido a que este implica estimar todos los beneficios económicos y costos, sin importar a quien se le debe atribuir estos.

El modelo costo-beneficio del referido estudio fue desarrollado por la compañía (*VSP Associates*, 1994) y se utilizó para estimar el valor presente neto de los beneficios esperados después de realizadas las rehabilitaciones de las edificaciones. Los beneficios esperados se derivaron de evitar lo siguiente:

- daños a edificios
- pérdidas de renta
- gastos de relocalización
- daños al inventario de negocios.
- pérdida de propiedades personales.
- valor del número de bajas humanas.
- pérdidas relacionadas a servicios de gobierno.

El modelo VSP costo-beneficio fue desarrollado para analizar edificios ante el escenario de un terremoto o un riesgo sísmico. Los beneficios que conlleva hacer rehabilitaciones-sísmicas se estimaron trayendo al valor presente los valores de los daños y pérdidas evitadas a través de la vida útil del edificio. Los costos que representa rehabilitar un edificio ante un evento sísmico son generalmente bien conocidos y son determinados a través de un diseño ingenieril y métodos de estimado de costos. En este modelo el análisis costo-beneficio es un proceso de cuatro pasos:

1. estimado del riesgo sísmico,
2. evaluación de vulnerabilidad sísmica antes de la rehabilitación,
3. evaluación de riesgo sísmico después de rehabilitación y
4. cálculo de costo-beneficio.

El análisis de costo-beneficio se realizó para siete hospitales ubicados en la ciudad de Palo Alto, California. Para cada hospital se estimaron los daños y pérdidas así como la pérdida en capacidad para proveer servicios médicos. Estimar la pérdida en capacidad de un hospital después de un evento sísmico es una tarea complicada que requiere de gran cantidad de juicio profesional. En el análisis de los hospitales de Palo Alto se utilizó el siguiente procedimiento:

- Se estimaron los daños físicos esperados tanto para elementos estructurales, no estructurales así como para elementos típicos que contiene un hospital (equipos, mobiliario y otros.)
- Para cada uno de estos daños físicos se hizo un estimado de capacidad residual,
- Para cada elemento con capacidad residual se hizo un estimado del impacto en reducción de capacidad para proveer cuidado médico, y
- Se analizaron todos los elementos para obtener una capacidad residual final para cada uno de los hospitales.

Los resultados preliminares del análisis costo-beneficio indicaron que los costos de hacer las rehabilitaciones pesan más que los beneficios obtenidos. Estos resultados preliminares se basaron en modelos simplificados y en gran parte, en juicio profesional. La ventaja de hacer un análisis costo-beneficio para estudios de rehabilitación de estructuras es que los dueños puedan ver la importancia de la diferencia entre beneficio y costo. El dueño puede decidir hacer una rehabilitación-sísmica inclusive si el valor presente de los beneficios en términos monetarios son menores que los costos de la rehabilitación, especialmente cuando está involucrado temas como la seguridad humana.

2.3.2 Consequence Based Engineering (CBE)

Mid-America Earthquake (MAE) Center ha estado trabajando en un nuevo paradigma llamado *Consequence-Based Engineering (CBE)*, el cual se enfoca principalmente en como reducir el riesgo sísmico y el cuantificar estos para facilitar la decisión a los dueños, de si es viable o no hacer una rehabilitación (Foltz 2004). Esta se explica a continuación:

Los administradores del gobierno y dueños de edificios actualmente se encuentran en el dilema de si es viable o no rehabilitar sus estructuras. Con información adecuada que presente las ventajas y costos de cada una de las opciones, la decisión podría ser bastante fácil de tomar. Sin embargo, existe un vacío de tal información. A pesar de que información concerniente a costos de rehabilitaciones sísmicas para edificios está documentada en *FEMA 156* y *FEMA 157* (Hart, 1994), no hay información relacionada con costos de reparación de edificios dañados. Tal información sería muy beneficiosa a la hora de tomar decisiones. Por ejemplo, si fuera poco probable que ocurriera un terremoto de gran magnitud y si los costos de reparación de un edificio no fueran muy altos, probablemente sería más efectivo en términos de costo no rehabilitar la estructura. Del mismo modo si el costo de reparación de un edificio después de un terremoto fuera considerable, entonces, esta información sería contundente a favor de hacer una rehabilitación. Por lo tanto, la información que cuantifique los posibles daños esperados y los costos de reparación son muy importantes para poder tomar decisiones relacionadas con rehabilitación de una estructura (Foltz 2004).

La referida publicación indica que tradicionalmente los códigos de construcción hacen énfasis en la seguridad de vida como su primer objetivo al momento de diseñar, pero este criterio podría no ser suficiente para asegurar que el edificio se mantenga funcionando correctamente después de un terremoto. Generalmente se ha aceptado utilizar la deriva (*drift*) para estimar daños esperados. De esta manera, para poder estimar daños, uno debe entender la relación entre la deriva y el correspondiente nivel de daño. En *performance-based-design* (diseño en base a desempeño) es crucial identificar la deriva asociada con los

diferentes niveles de daño de los diferentes elementos estructurales y sistemas. *Performance-based-design* es una filosofía de diseño donde los objetivos de diseño se expresan en términos de límites de desempeño definidos cuando están sujetos a ciertos niveles de riesgo sísmico.

Estimar daños utilizando diferentes límites de deriva es muy útil, sin embargo, como dijimos antes, lo más contundente para la toma de decisiones por dueños y administradores del gobierno son los costos que representan la reparación de un edificio dado un estado de daño. El objetivo es proveer información apropiada a los que toman decisiones y de esta manera ver si es necesario mitigar o dejar la edificación tal y como fue construida.

2.3.3 Estimado de Daños

Antes de empezar a estimar pérdidas, es necesario entender las diferentes variables y factores que están involucrados en el estimado de daños. El proceso de estimación debe, en primer lugar, considerar el área donde la estructura está localizada para así tener una idea del nivel de sismicidad de la región, tipo de suelo, entre otros. El área de inspección no debe sólo estar limitada a sismicidad, también es importante ver aspectos como incendios potenciales, tsunamis, deslizamientos. Dichos factores son considerados como daños inducidos ya que son consecuencias secundarias de un desastre natural. Aparte de esto están los que resultan del riesgo principal, el sismo, que son los que lideran las pérdidas (Whitman et al., 1997). El siguiente aspecto importante a considerar es la edificación, donde el factor principal a considerar es el sistema estructural seguido de otros, como el tamaño de la edificación, la ocupación y la edad del edificio. El siguiente paso es considerar los diferentes tipos de daños potenciales. Los costos directos son los costos que representan reparar los diferentes daños de la edificación como resultado de un terremoto. Los costos directos se pueden dividir en:

- daños estructurales,
- daños no estructurales y
- daños en contenido

Dependiendo del tipo del edificio el valor de la estructura oscila entre un 10% y un 25% del costo de construcción, mientras que los costos de componentes no estructurales esta entre un rango de 12% y un 33%. De esta manera la proporción mayor para la inversión de un edificio lo representa los componentes no estructurales (Mayes, 1995).

2.3.4 Metodologías Para Estimar Pérdidas

Existen diferentes metodologías que se han desarrollado para predecir pérdidas como resultado de un sismo. La más notable es la metodología *Hazus* desarrollada por *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) a través de *National Institute of Buildings Sciences* (NIBS). Esta metodología inicia con un inventario general del edificio. El siguiente paso es desarrollar el posible movimiento del suelo por un evento sísmico, con ayuda de información geológica. Posteriormente se encuentra la respuesta del edificio en cuanto a aceleración y desplazamientos. Luego se estiman los daños comenzando con los daños directos que se estiman en términos de probabilidades de ocurrencia para estados de daño específicos. Posteriormente se estiman los daños inducidos, que como mencionamos antes, son consecuencias secundarias de un riesgo natural. Finalmente el método predice las pérdidas directas que incluyen costos de reparación, reemplazo de estructuras, pérdidas humanas y posibles necesidades de refugio. (Whitman et al., 1997).

Porter et al., (2001) desarrollaron una técnica para estimar pérdidas específicas de un edificio. El método utiliza costos promedio de reparación para estimar los costos de los diferentes componentes según el estado de daño en que se encuentre. Posteriormente suma los resultados individuales para obtener el costo total. Primero uno debe tener datos como localización, estudios geológicos y detalles de diseño de la edificación. Luego se define una aceleración de suelo apropiada y se hace un análisis estructural de la edificación para saber la respuesta estructural de este. Con los datos obtenidos se crean funciones de fragilidad para así determinar la probabilidad de daño o reparación. Finalmente, se calcula una función de la densidad de la probabilidad (PDF) para cada costo unitario, y otra PDF para el tiempo de reparación,

para determinar la contribución en costo de cada caso. El costo total de reparación es la suma de ambos. (Porter et al. 2001).

El estudio realizado por *Applied Technology Council* (ATC-21 1988) provee otra metodología para predecir pérdidas como un porcentaje de los costos de reemplazo de un edificio. El proceso consiste primero en identificar dentro de que categoría se encuentra el edificio a estudiar, así como identificar su correspondiente ubicación en el mapa *National Earthquake Hazards Reduction Program*, (NEHRP) para poder establecer cual es la aceleración pico probable a ocurrir durante la vida del edificio. Estos factores dan un puntaje estructural básico al edificio que se denomina *Basic Structural Hazard Store*, que es un valor entre 1.0 y 8.5. La siguiente consideración son los modificadores (*Performance Modifiers*) los cuales, dentro de un rango de -2.5 a 2.0, aumentan o restan valor el desempeño del edificio ante un sismo. Por lo tanto, el puntaje final (*Structural Score*) es la suma del puntaje estructural básico (*Basic Structural Score*) más el obtenido por los modificadores del desempeño (*Performance Modifiers*). Finalmente este puntaje se grafica versus un factor definido de daño promedio para así encontrar el daño incurrido como un porcentaje del costo de reemplazo (McCormack, 1997).

Una metodología desarrollada por Hwang et al., (1994) se utilizó ampliamente para estimar pérdidas de edificios en *Memphis, Tennessee*. La metodología requiere, para comenzar, la selección de un terremoto apropiado. El siguiente paso es reunir información del edificio. Posteriormente se le asigna una puntuación a la edificación utilizando las pautas del ATC-21. Con estas puntuaciones se crean unos índices de vulnerabilidad sísmica (SVI) que clasifican los edificios con valores de 1,2 ó 3. Entre mayor es el número, mayor riesgo sísmico. Luego, al igual que los otros métodos, por medio de curvas de fragilidad, se predice la probabilidad del estado de daño de la estructura. Hwang et al., (1994) definió cinco estados de daño: (1) daño no estructural, (2) daño estructural ligero, (3) daño estructural moderado, (4) daño estructural severo y (5) colapso. Para cada uno de estos estados de daños definió su correspondiente razón de daño (*damage ratio*) que se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6: Relación de daños correspondientes para varios estados de daños
(adaptado de Hwang et al. 1994)**

<i>Damage State</i>	<i>Damage Ratio (%)</i>	<i>Central Damage Ratio (%)</i>
<i>1. Nonstructural Damage</i>	0.05-1.25	0.3
<i>2. Slight Structural Damage</i>	1.25-7.50	3.5
<i>3. Moderate Structural Damage</i>	7.5-20	10
<i>4. Severe Structural Damage</i>	20-90	65
<i>5. Collapse</i>	90-100	95

Una vez se han definido las probabilidades para cada estado de daño se calculan los costos directos de reparación del edificio estudiado.

2.3.5 Pérdidas de Componentes No Estructurales

Los costos de reparación provienen de los costos de reparación de miembros estructurales y de los componentes no estructurales. Takahashi et al., (2004) evaluó cuales son las pérdidas económicas debido a daños sísmicos de los elementos no estructurales. Para simular los daños, el proceso de reparación y el costo de reparación total a lo largo de la vida de un edificio, modeló una estructura como un simple sistema de masas con un modelo no lineal. Presumió que los daños estructurales son representados de acuerdo al índice Park (Park et al., 1985.), y que los daños de elementos no estructurales dependen de la deriva o la aceleración pico del suelo y no afectan la respuesta estructural del edificio. El resultado muestra como al incrementar la capacidad dúctil de una estructura, cambian los costos de reparación de los elementos no estructurales. También se dejar ver como la razón de los costos para componentes no estructurales con respecto al total de los costos de reparación depende del tipo de sistema estructural.

También se indica que si los elementos no estructurales no se diseñan adecuadamente se podría presentar que los costos de reparación de este tipo de elementos excedan los costos de miembros estructurales. Sin embargo, Takahashi (2004) nos dice que el impacto de los costos de reparación de elementos no estructurales en el costo de ciclo de vida de una edificación todavía no es bien reconocido.

En zonas de alto riesgo sísmico, estimar las pérdidas de elementos no estructurales es muy importante para los diseñadores de edificios y dueños ya que el porcentaje de costos de reparación de elementos no estructurales debido a los daños ocasionados por un terremoto son muy altos. (Kanda et al., 1997) reportaron la razón de pérdidas para elementos estructurales, no estructurales y contenido de 210 edificios que sufrieron pérdidas en el terremoto Hyogo-Ken Nambu en el año 1995. Ellos indicaron que el porcentaje de pérdidas de los elementos no estructurales llegaron a ser un 40% del total de las pérdidas. En la Figura 2 se muestra la razón de pérdida que ellos obtuvieron. Además se presentan los resultados obtenidos por (Miranda, 2002) el cual mostró, el resultado de comparación de costos de elementos estructurales, no estructurales y contenido de edificios típicos tales como, hospitales, edificio de oficinas y hoteles.

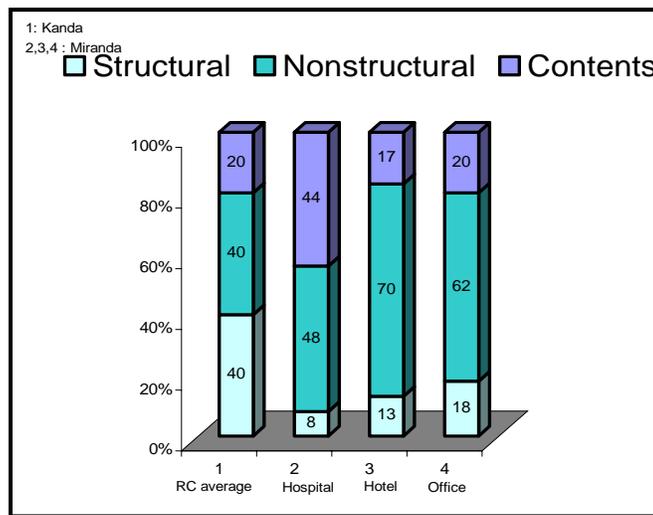


Figura 2: Comparación de costos de reparación sísmica para cada componente (adaptado Miranda et al., (2002))

Se puede observar de la Figura que las pérdidas de los componentes no estructurales tiene un impacto alto en el costo de reparación debido al impacto de un terremoto.

La importancia de componentes no estructurales es ahora bien reconocida por investigadores e ingenieros en la práctica. El tema recibió especial atención después del terremoto de San Fernando en 1971 cuando este reveló que los daños de elementos no estructurales no solamente pueden producir

enormes pérdidas económicas, sino que también representan una amenaza para la seguridad de vidas humanas.

Como resultado de las pérdidas ocasionadas por pasados terremotos y al alto monto de inversión realizado en componentes no estructurales, se ha puesto considerable atención en este tema para así desarrollar un mejor entendimiento del comportamiento sísmico de los elementos no estructurales y de una manera realista evaluar su vulnerabilidad para poder desarrollar una estrategia efectiva de rehabilitación. (Whittaker et al., 2003)

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1 INTRODUCCIÓN

Para poder cumplir con los objetivos propuestos en este proyecto, se requiere en primer lugar de un estudio estructural de los siguientes edificios seleccionados para esta investigación: las escuelas superiores de San Sebastián y Las Palmas (Cataño) y el Hospital La Concepción ubicado en San Germán. El estudio estructural se llevó a cabo como parte de otro proyecto en el Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura del RUM bajo el título Análisis y diseño elástico de edificios de alta importancia ocupacional sometidos a cargas sísmicas en Puerto Rico (Hernández , 2007)

El estudio estructural para cada edificio se realizó en diferentes etapas. La primera etapa consistió en un análisis elástico de las estructuras. Para llevar a cabo este análisis lineal, se obtuvieron las propiedades y dimensiones de cada elemento estructural indicado en los planos estructurales de cada edificio con el propósito de realizar un modelo estructural de cada una de las estructuras. El programa que se utilizó para llevar a cabo el análisis lineal fue *ETABS* desarrollado por “*Computer and Structures*”. Luego con los resultados del análisis se compararon los requerimientos de acero que demanda el análisis con los provistos en los planos de construcción. Los elementos que no cumplieron con los requerimientos indicados por el programa se reforzaron o se proveyó elementos estructurales adicionales, tales como paredes de hormigón o pórticos de acero. Esto con el propósito de rigidizar la estructura y reducir la demanda de acero en los elementos estructurales existentes para no tener que reforzar los elementos individualmente.

Las estructuras ya reforzadas por medio de muros adicionales, cerchas de acero o por la ampliación de los elementos estructurales, se volvieron a analizar linealmente con el propósito de verificar que estas se están comportando dentro del rango elástico. De esta manera, si los cambios estructurales realizados cumplieron con la condición de que trabaje la estructura en el rango elástico, se procedió a dar una

propuesta de rehabilitación estructural para cada una de las edificaciones. Tales propuestas de rehabilitación son precisamente las que se estudiaron a fondo en este proyecto de investigación.

En primer lugar se determinó si era viable hacer las propuestas en términos de costos. Como se verá en el Capítulo 6 que hace referencia al Hospital La Concepción, la primera propuesta sugerida para rehabilitar esta estructura no fue económicamente viable debido al alto costo que demandaba. Por lo que se solicitó una nueva propuesta de rehabilitación.

Con los planos de rehabilitación propuestos se obtuvieron los estimados de costo de rehabilitación de las estructuras y los estimados de costo de construir las edificaciones nuevamente, pero con la condición de que trabajen elásticamente. Para encontrar el segundo costo se requirió en primer lugar, encontrar el costo de la estructura tal y como se encuentra en estos momentos. Una manera de conseguir este costo de construcción, en el caso del Hospital La Concepción, fué utilizando el método de estimado de costo por pie cuadrado de la publicación *RS Means*. En el caso de las escuelas se hizo con los costos los por pie cuadrado suministrados por Botero (2005) para diferentes tipos de escuelas en Puerto Rico. Otra opción es emplear, si se tiene disponible, el costo que se incurrió para construir los edificios, por medio de los índices de costos de construcción por año que proporciona la publicación *RS Means* se logra estimar el costo probable de construcción a la fecha que se pretende construir de nuevo la estructura. Finalmente, ya una vez se consigue el costo de construcción de la estructura se le añade el costo que surge de implementar los nuevos elementos estructurales que hacen que la estructura funcione elásticamente. Por lo tanto de las propuestas de rehabilitación se consiguen dos estimados de costos:

- estimado de rehabilitación de las estructuras y
- el estimado de construir nuevamente la estructura pero trabajando en el rango elástico.

Es importante mencionar que tanto la rehabilitación como construir la estructura nuevamente se refiere a trabajos a realizar previos a un evento sísmico.

La segunda etapa del estudio estructural consistió en estimar los posibles daños que se presentan después de un evento sísmico. Para estimar los costos de reparación de las diferentes estructuras después de un evento sísmico, se evaluó el grado de daño estructural de las estructura tal como fue diseñada, es decir sin reforzar, bajo cargas sísmicas severas. El sismo que se aplicó fue un terremoto definido para Puerto Rico, que se desarrolló en el Recinto Universitario de Mayagüez. El programa provee resultados de los efectos del sismo y se puede determinar si la estructura colapsa y se puede cuantificar e identificar los elementos afectados. El programa utilizado para simular el sismo es *Perform 3D (non-linear análisis and performance assessment for 3D Structures)* Este programa usa los datos del terremoto y curvas histeréticas de cada elemento para este tipo de estructuras. Respecto a como estimar las pérdidas de elementos no estructurales se utilizó la metodología recomendada por el *Hazus Manual*, ya que en Puerto Rico actualmente no se han desarrollado curvas de fragilidad para este tipo de elementos. También se utilizó el juicio ingenieril y datos de otros estudios.

Con esta información se consiguieron entonces los estimados de costo para los tres escenarios descritos anteriormente:

- estimado de costo de rehabilitar las estructuras pre-evento sísmico para que se comporten en el rango elástico,
- estimado de costo de construir estructura para que hormigón trabaje en el rango elástico (EHRE).
- estimado de reparar las estructuras después de presentarse un evento sísmico, y

El procedimiento que se aplicó fue el siguiente:

3.2 FASES

3.2.1 Fase 1: Obtener las Cantidades de Cada Partida

El primer paso para realizar un estimado de costo es estimar las cantidades de cada una de las partidas requeridas de acuerdo al diseño propuesto. Tomando en cuenta que se analizaran tres escenarios diferentes, las cantidades que se encontraron son distintas para cada uno de los casos. Los cálculos de

cantidades de obra requeridas se hicieron tomando como base los resultados obtenidos de los diseños estructurales de las edificaciones.

Para el cálculo del estimado de costo de construir las estructuras nuevamente pero ajustados al rango elástico no se requirió obtener cuantías de partidas ya que se utilizó el método de costo por pie cuadrado. De cada uno de los respectivos planos se obtuvo áreas de construcción en pies cuadrados y se estimó el costo de acuerdo a los precios por pie cuadrado indicados por la publicación RS Means 2006 utilizando los ajustes para Puerto Rico o los datos. A este costo se le añadió el costo de las partidas involucradas en reforzar la estructura para que trabaje en su rango elástico. Para el caso de las escuelas se estimó este costo utilizando los precios por pie cuadrado suministrados por el trabajo de Botero (2005).

3.2.2 Fase 2: Organizar Cada una de las Partidas con sus Costos Respectivos de Acuerdo al Master format del 95

Una vez se definen las partidas requeridas para hacer las rehabilitaciones y reparaciones propuestas, éstas se organizaron utilizando el formato *Master Format* del 95. El *Master format* del 95 es un formato maestro que contiene la estructura de división del trabajo en construcción (*Work Breakdown Structure* ó *WBS*). El formato es una lista de códigos y títulos para organizar en una secuencia estandarizada la información sobre requerimientos, productos y actividades de la construcción. La estructura consta de las siguientes 16 divisiones:

1. Condiciones generales (*General Requirements*)
2. Solar (*Site construction*)
3. Hormigón (*Concrete*)
4. Mampostería (*Masonry*)
5. Metal (*Metals*)
6. Madera y Plásticos (*Wood and Plastics*)
7. Protección térmica y de humedad (*Thermal and moisture protection*)
8. Puertas y ventanas (*Doors and windows*)

9. Terminaciones (*Finishes*)
10. Especialidades (*Specialties*)
11. Equipo (*Equipment*)
12. Muebles (*Furnishing*)
13. Construcciones especiales (*Special construction*)
14. Sistemas de transporte (*Conveying system*)
15. Mecánica (*Mechanical*)
16. Eléctricos (*Electrical*)

3.2.3 Fase 3: Estimar los Costos de Reparación o Rehabilitación

Para encontrar los costos de cada partida se decidió utilizar dos fuentes de datos de costos de construcción que se utilizan en Puerto Rico, las cuales se citan a continuación:

- *RS Means, Building Construction Cost Data (64th Edition) 2006,*
- *Bids of Puerto Rico (www.bidspr.com) Noviembre del 2005.*

El primero corresponde a una edición anual que se publica en los EEUU donde se encuentran recopilados costos para diferentes partidas de la construcción. Este incluye además, Tablas con factores que permiten ajustar dichos precios a Puerto Rico. El segundo es una base de datos que se realiza en Puerto Rico y que está en constante actualización.

El costo de cada partida, incluye los siguientes tres componentes:

- Costo de mano de obra
- Costo de materiales
- Costo de equipo

Para el cálculo de los estimados de costos de las rehabilitaciones propuestas para la escuela San Sebastián y Las Palmas se utilizaron ambas bases de datos con el propósito de ver si existen grandes

diferencias en costos. Se encontró que la diferencia en costos fue mínima por lo que se utilizaron para los demás estimados únicamente la fuente de datos RS Means.

Después de obtener los estimados preliminares con todas las partidas incluidas, se ajustaron los costos de cada una de las partidas obtenidos por medio de los factores de ajuste (porcentajes) indicados por la publicación *RSMeans-Repair and Remodeling Cost Data*. Estos factores sugeridos se utilizaron para ajustar los precios en los estimados de costo de rehabilitación y reparación. Los factores de ajuste se discutieron en el Capítulo 2 y son los siguientes:

1. *cut & match to match existing constructions*
2. *dust & noise protection,*
3. *equipment usage curtailment,*
4. *material handling & storage limitations,*
5. *Protection of existing work,*
6. *temporary shoring & bracing,*
7. *shift work requirements.*

Además de utilizar estos factores de ajuste (factores de rehabilitación y reparación) se tomó en cuenta un factor de ingeniería el cual se definió en el Capítulo 2 y hace referencia al sobre costo que se genera por honorarios de diseño e inspección.

3.2.4 Fase 4: Estimar el Tiempo de Construcción Requerido Para Hacer las Rehabilitaciones o Reparaciones de las Edificaciones.

Teniendo presente que el costo está también asociado al tiempo de construcción se estimó dicho tiempo de construcción para cada escenario diferente. Para realizar esto se utilizó el programa *SureTrak Project Manager*. La programación de las actividades se hizo siguiendo el método de programación de actividades *critical path method* CPM descrito en los libros:

- *Construction Methods & Management* (Nunnally, 1993.)
- *Scheduling with Suretrak* (Marchman, 2000.)

3.2.5 Fase 5: Análisis de Resultados

Una vez obtenidos todos los estimados de costos descritos anteriormente se hizo un análisis para cada una de las estructuras de tal forma que nos permita saber cual es la opción más viable en cuanto a mitigación se refiere. Este análisis sólo incluye el costo de construcción, reparación o reemplazo. No se incluirán aspectos como contenido de las estructuras ni otros tipos de pérdidas.

CAPÍTULO IV: ESCUELA SUPERIOR URBANA SAN SEBASTIÁN

4.1 INTRODUCCIÓN

La escuela de San Sebastián está compuesta por tres estructuras dispuestas como se muestra en la Figura 3. Cada estructura está compuesta por dos pisos, con losas en una dirección, las cuales están soportadas por columnas de concreto que se encuentran espaciadas cada 12 pies, y por unos pocos muros de concreto reforzado. Las dimensiones de las columnas son 12 pulgadas por 18 pulgadas respecto a la sección transversal, las cuales están apoyadas sobre zapatas rectangulares de 4 por 5 pies. Es importante mencionar, que las tres edificaciones que componen la escuela San Sebastián son independientes y similares en su estructura, por lo cual en el análisis estructural de la escuela que realizó el estudiante José Hernández, como parte de su proyecto de investigación, trabajó con la estructura de mayor tamaño (estructura 1 en la Figura 3) que tiene 216 pies de longitud por 36 pies de ancho. Teniendo en cuenta lo anterior, se presumió que los cambios que exija el análisis de la estructura de mayor tamaño ocurrirán también en las otras dos estructuras que conforman la escuela San Sebastián. De esta manera, la propuesta de rehabilitación y reparación para las otras dos estructuras se hizo teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de la estructura de mayor tamaño.

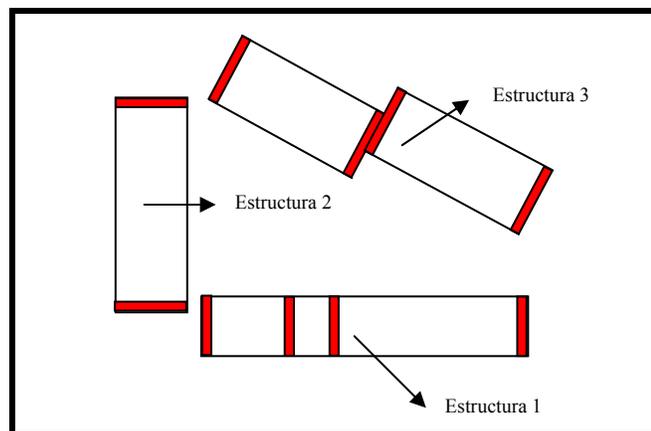


Figura 3: Disposición estructuras escuela San Sebastián

Como se mencionó anteriormente en este estudio se realizaron tres estimaciones de costo:

1. Estimado costo de rehabilitación el cual se estima antes que se presente un evento sísmico y trabaje en el rango elástico, dada la estructura actual construida.
2. Estimado de costo de construir nuevamente la estructura para que el hormigón trabaje elásticamente (EHRE).
3. Estimado de costo de reparación, después de presentado un evento sísmico, dada la estructura actual construida.

Con el resultado de los estimados de costo señalados anteriormente se realizó un análisis de costo para determinar la alternativa más viable.

4.2 REHABILITACIÓN PARA LOGRAR UN COMPORTAMIENTO ELÁSTICO.

Para lograr un comportamiento elástico de la escuela San Sebastián, la cual ya está construida, se hizo un análisis lineal con el programa ETABS desarrollado por “*Computer and Structures*” con el fin de verificar la vulnerabilidad de la estructura. El estudio fue realizado por Hernández (2007). La Figura 4 muestra el modelo estructural de la edificación.

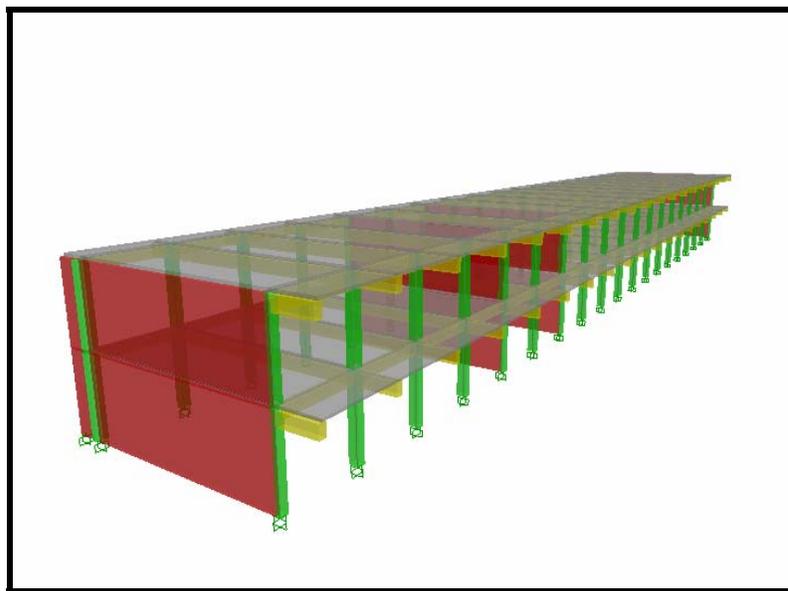


Figura 4: Modelo estructural escuela superior San Sebastián.

El análisis lineal de la estructura se realizó tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- **Carga Viva;** 50 psf en salones y 20 psf en el techo

- **Carga Muerta;** El programa toma en cuenta el peso propio de los elementos de la estructura. Además de esto, se realizó el conteo de las paredes de bloques y otros elementos que no forman parte de la estructura y se incluyó esto en la carga muerta.
- **Carga Lateral;** Se utilizó la carga lateral que genera el programa para el código vigente dado los siguientes parámetros:

1. perfil del Suelo: SD
2. factor de Zona Sísmica: 0.3
3. periodo de la estructura: Calculado por el programa para un $C_t = 0.03$
4. factor de Importancia : 1.25
5. factor R: 2

Se colocaron las cargas laterales en las direcciones de los dos ejes (x e y) con y sin excentricidad para un total de cuatro posibles cargas laterales.

Como este modelo fue desarrollado con respecto a la estructura de mayor tamaño de la escuela, las recomendaciones obtenidas después del análisis sólo reflejan la incorporación de los nuevos elementos estructurales para esta edificación. Los resultados plantean la necesidad de incorporar muros estructurales de 8 pulgadas de espesor y la utilización de crucetas de acero (*steel trusses*) de sección tubular HSS 6x6x ¼., con el objetivo de aumentar la rigidez lateral de las estructuras. En la Figura 5 se puede observar el esquema de rehabilitación propuesto para la edificación de mayor tamaño de la escuela San Sebastián después de realizado el análisis. Se puede distinguir que de un lado de la estructura se propone incorporar 3 muros estructurales y del otro costado 3 crucetas de acero ya que nos permiten continuar con el uso de las ventanas existentes así como también nos proporcionan rigidez a la estructura.

Las otras dos estructuras que forman parte de la escuela y que son estructuralmente iguales a la estructura que fue modelada, presentan también en su rehabilitación la incorporación de muros y crucetas de acero. La cantidad de estos elementos estructurales para cada una de las estructuras se hizo en proporción al tamaño de la estructura que fue modelada.

En resumen la rehabilitación propuesta para toda la escuela San Sebastián sugiere finalmente la construcción de 9 muros de concreto reforzado y 9 crucetas de acero distribuidas de la siguiente manera:

- 3 muros soportados sobre pilotes y 3 crucetas de acero en la estructura 1 de la escuela.
- 2 muros soportados sobre pilotes y 2 crucetas en la estructura 2 de la escuela y
- 4 muros sobre pilotes y 4 crucetas en la estructura 3 de la escuela.

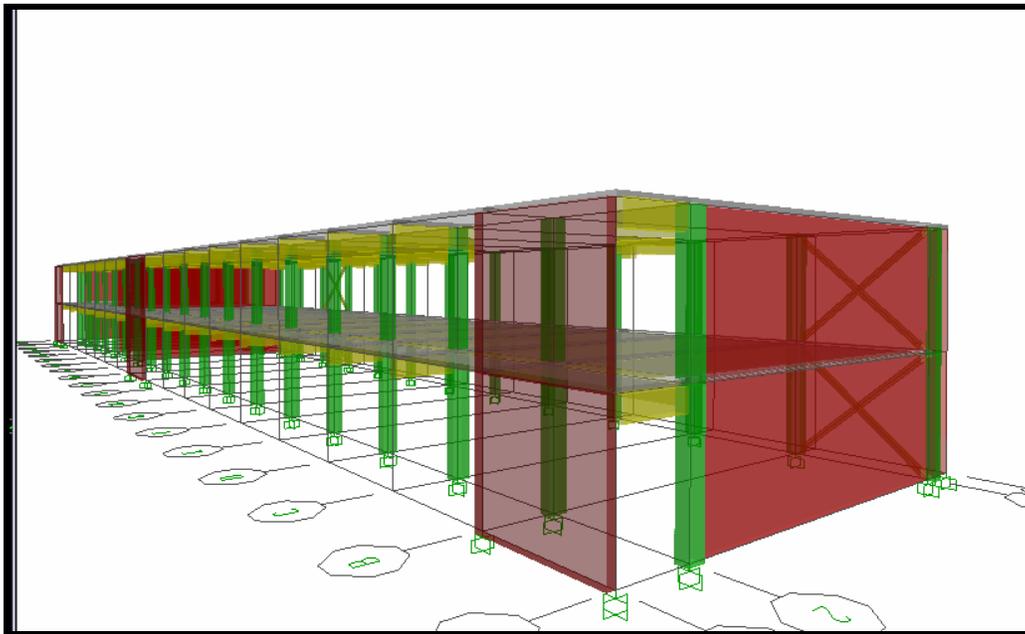


Figura 5: Esquema de rehabilitación para la escuela de San Sebastián

4.2.1 Estimado Costo de Rehabilitación

De acuerdo a la metodología propuesta para este estudio, lo primero que se debe hacer para realizar un estimado costo es estimar las cantidades de obra de cada una de las partidas. Para poder llevar a cabo esta tarea, se evaluaron los planos estructurales, arquitectónicos, hidráulicos y mecánicos. Las partidas se identifican tomando como base las divisiones del *Master Format* del 95. Luego se encuentran los costos de cada una de estas partidas utilizando las fuente de información de precios unitarios de construcción: RSMMeans y Bids de Puerto Rico. Se decidió, por lo tanto, hacer dos estimados de costos de rehabilitación; uno con datos de la publicación RSMMeans y el otro con datos de la base de datos Bids de Puerto Rico, con el fin de ver la diferencia en costos que se presenta utilizando una u otra. Más adelante se puede observar

que la diferencia en costos encontrado fue mínima, por lo que se decidió que para el cálculo de los restantes estimados de costos se utilizara únicamente la fuente de datos de RSMMeans.

El estimado de costo de rehabilitación se divide en:

- costos directos,
- costos indirectos del proyecto,
- costos indirectos y ganancia del contratista,
- Factor de Ingeniería

4.2.1.1 Costos Directos

Los costos directos son aquellos que están directamente relacionados con el proyecto. El costo de cada una de las partidas está compuesto por tres componentes: mano de obra, materiales y equipo. Sin embargo se puede presentar que una partida sea subcontratada por lo que el costo de la partida sería el costo del subcontrato.

Como se mencionó antes, el costo de rehabilitar una estructura luego de un desastre natural es mayor que el costo de construirla por primera vez. Esto se debe a varios factores que están indicados en la publicación *Repair and Remodeling Estimating Methods (4th edition)*. Las partidas que hacen parte de los costos directos para el estimado de costo de rehabilitación son ampliadas por dichos factores de rehabilitación. Los factores que provocan el aumento en los costos directos se discutieron en el Capítulo 2. En la Tabla 7 se muestran los factores de rehabilitación utilizados en el cálculo del estimado de costo de rehabilitación con sus respectivos porcentajes que incrementan los costos de materiales y mano de obra.

Tabla 7: Factores de rehabilitación y porcentajes utilizados para ajustar las partidas de costo directo

Factor Rehabilitación	Mat.	Mano de obra
<i>1. Cut and patch existing construction</i>	5%	9%
<i>2. Dust protection</i>	4%	11%
<i>3. Equipment usage</i>	3%	10%

Tabla 8: Factores de rehabilitación y porcentajes utilizados para ajustar las partidas de costo directo (continuación)

4. <i>Material handling and storage limitations</i>	6%	7%
5. <i>Protection of Adjacent Areas</i>	5%	7%
6. <i>Shift work</i>	-	30%
7. <i>Temporary shoring and bracing</i>	5%	12%

Las partidas incluidas en el costo directo se muestran en la Tabla 8.

Tabla 9: Partidas utilizadas para el cálculo de los costos directos de la escuela San Sebastián

Clasificación Partidas de construcción	
2. Solar	3. Hormigón
Excavación	Losa
• Movilización y Desmovilización	• Losa primer piso
• Movilización equipo pequeño	• Losa segundo piso
• Excavación para <i>footings</i>	• Cubierta
• Compactación	• Pavimento concreto
• Relleno	Muros de corte (shear wall)
• Retiro de tierra no útil (colocar en camión)	• Muros de corte
• Retiro de tierra no útil (transporte)	Pile Cap
Demoliciones	• Pile Cap
• Demolición losa primer piso	• Bloques hormigón para anclar cerchas
• Demolición losa segundo piso	5. Metales
• Demolición losa cubierta	• Acero Estructural
• Demolición pavimento de concreto	• Placas, conexiones etc.
• Demolición Parapeto Segundo Piso	• Anclajes
• Cortar losa primer piso	9. Terminaciones
• Cortar losa segundo piso	• Pulido de Pisos
• Cortar losa cubierta	• Interior Cement Plaster Walls
• Cortar pavimento de concreto	• Exterior Cement Plaster Walls
• Cortar losa para bloques hormigón	• Pintura primer interiores
• Acarreo escombros	• Pintura primer exteriores
• Impuesto municipal vertedero	• Limpieza
Pilotes	• Impermeabilización de techo
• <i>Subcontractor Mobilization & Insurance</i>	
• <i>Layout Pilotes</i>	
• Pilotes	
• <i>Test Pilote</i>	

<ul style="list-style-type: none"> Markup over Subcontract 	
---	--

El precio unitario de cada partida, los porcentajes de incremento debido a los factores de rehabilitación, así como el total de los costos directos se muestran más adelante en las secciones donde se muestran los estimados de costo hechos con RS Means y Bids de Puerto Rico.

4.2.1.2 Costos Indirectos del Proyecto

Los costos indirectos del proyecto, a diferencia de los costos directos, no están directamente relacionados con la producción. El listado de los costos indirectos usados se muestra en la Tabla 9. El costo individual de las partidas se muestra más adelante en el estimado de costo final.

Tabla 10: Partidas utilizadas para el cálculo de los costos indirectos del proyecto

1. Condiciones Generales	
<ul style="list-style-type: none"> Oficina de campo temporera 	<ul style="list-style-type: none"> General Foreman
<ul style="list-style-type: none"> Seguro Responsabilidad Pública 	<ul style="list-style-type: none"> Secretario de Oficina
<ul style="list-style-type: none"> Seguro Riesgo Contratista 	<ul style="list-style-type: none"> Verja temporera (6 ft. altura)
<ul style="list-style-type: none"> Fianzas 	<ul style="list-style-type: none"> Facilidades agua potable
<ul style="list-style-type: none"> Fondo Seguro del Estado 	<ul style="list-style-type: none"> CPM (<i>critical path method</i>)
<ul style="list-style-type: none"> Patente Municipal 	<ul style="list-style-type: none"> Avance de Progreso
<ul style="list-style-type: none"> Arbitrio Municipal 	<ul style="list-style-type: none"> Conexiones agua
<ul style="list-style-type: none"> Rótulo proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> Conexiones eléctricas
<ul style="list-style-type: none"> Seguridad 1 turno 	<ul style="list-style-type: none"> “Trailer” para oficinas
<ul style="list-style-type: none"> Teléfono y fax 	<ul style="list-style-type: none"> “Trailer” para almacén
<ul style="list-style-type: none"> Herramientas pequeñas 	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza diaria
<ul style="list-style-type: none"> Laboratorio pruebas 	<ul style="list-style-type: none"> Caja menor
<ul style="list-style-type: none"> <i>Punch list</i> 	<ul style="list-style-type: none"> “Layout”
<ul style="list-style-type: none"> Ingeniero de proyecto 	

4.2.1.3 Costos indirectos y Ganancia del Contratista

La ganancia y costos directos del contratista se expresan usualmente como un porcentaje de los costos directos del proyecto. En nuestro caso se decidió utilizar el porcentaje máximo propuesto por la publicación RS Means (*Repair and Remodeling Cost Data 2004*) que hace referencia a este tipo de proyectos el cual equivale a un porcentaje del 30 por ciento de los costos directos.

4.2.1.4 Factor de Ingeniería

Como se discutió en el Capítulo II, el factor de Ingeniería incluye costos de diseño y se estimó usando los valores recomendados por el Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico (CIAPR). Los honorarios sugeridos para proyectos de rehabilitación están dentro de la categoría cinco, que de acuerdo a la clasificación es la que representa mayor complejidad y detalles.

En la Tabla 10 se presentan los valores de los honorarios y servicios durante la construcción sugeridos para la Categoría 2 con respecto al costo del proyecto.

Tabla 11: Honorarios sugeridos por CIAPR

Costo Proyecto (\$)	Honorarios (\$) diseño final	Servicios durante la construcción (\$)
\$ 600,000	\$ 58,862	\$ 13,851
\$ 650,000	\$ 63,327	\$ 14,566
\$ 700,000	\$ 67,612	\$ 15,416
\$ 750,000	\$ 71,897	\$ 16,260

Para determinar el porcentaje a usar en el estimado de costos, primero tenemos que encontrar el costo del proyecto. Como se verá más adelante el resultado de la suma de los costos directos más los costos indirectos del proyecto y los costos indirectos y ganancia del contratista es de \$ 679.183. Si aproximamos este costo a \$ 700,000 entonces según la Tabla 9 los honorarios y servicios durante la construcción sugeridos por CIAPR para este costo de proyecto es:

- Honorarios = \$ 67,612
- Servicios durante la construcción = \$ 15,416

La suma de ambos valores = \$ 67,612 + \$ 15,416 = \$ 83,028

Por lo tanto el porcentaje para proyectos Categoría II = $\frac{\$ 83,028}{\$ 679,183} \times 100 = 12.25 \%$

Sin embargo CIAPR indica que para encontrar el factor correspondiente a la categoría V, se debe multiplicar el valor encontrado para la categoría II por 1.30. De esta manera el factor de ingeniería a utilizar para nuestro cálculo del estimado de costo es el siguiente:

- Factor Ingeniería = $12.25 * 1.30 = 15.90 \%$

4.2.1.5 Estimado Costo Rehabilitación Usando RS Means y BIDS Puerto Rico

Como se mencionó iniciando este capítulo, para estimar los costos de rehabilitación de la escuela San Sebastián se empleó el uso de dos bases de datos:

- La Publicación RS Means y
- Bids de Puerto Rico.

Se decidió trabajar, adicionalmente, el estimado de costo de rehabilitación con Bids de Puerto Rico, con el fin de compararlo con los costos de RS Means, teniendo en cuenta que Bids es una base de datos de costos locales. Como se verá más adelante, la diferencia que resultó de utilizar ambas fuentes fue mínima por lo que se decidió que para los restantes estimados de este proyecto se usa únicamente la fuente de información suministrada por la publicación RS Means.

4.2.1.5.1 RS Means

Cada uno de los estimados está dividido en: costos directos, costos indirectos del proyecto, costos indirectos y ganancia del contratista y finalmente por un monto adicional que resulta de emplear el uso del factor de ingeniería.

Para poder entender el costo de cada una de las partidas, se incluyó una columna titulada Sub código la cual indica de que parte de la publicación fue obtenida la información. Sin embargo, las partidas de la división condiciones generales provienen todas de Bids de Puerto Rico ya que se consideran más precisas debido a que considera aspectos locales. Para el costo de los pilotes se utilizó una cotización del suplidor ya que es un trabajo bien especializado.

A continuación se muestra el estimado de costo usando los datos de la publicación RS Means. El costo final del proyecto de rehabilitación \$ 787,174 incluye el aporte de los diferentes factores (factores de rehabilitación y factor de Ingeniería). Debido al tamaño del estimado de costo se mostrará por partes. La Tabla 11 muestra los costos correspondientes a la división condiciones generales que como se mencionó antes se utilizaron los datos de Bids para estimar esta división en los estimados de Bids y RS Means. La Tabla 12 muestra los costos relacionados con la división Solar y finalmente en la Tabla 13 se indican los costos relacionados con las divisiones: Hormigón, Metales y Terminaciones. Esta Tabla 13 contiene además los costos indirectos del proyecto, costos indirectos y ganancia del contratista, el ajuste por factor de ingeniería y el costo total del proyecto.

Tabla 12: Condiciones Generales para el estimado de costo rehabilitación escuela San Sebastián

Estimado de Costo Rehabilitacion Escuela San Sebastian									
ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
1. Condiciones Generales									\$ 116,836.00
Oficina de campo temporera	1	LS	1,500.00	5,500.00				\$ 7,000.00	\$ 7,000.00
Seguro Responsabilidad Pública	0.0052	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 2,774.44
Riesgo Contratista (<i>Builders Risk</i>)	0.002	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 1,280.51
Fianzas	0.021	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 11,204.47
Fondo Seguro del Estado	0.071	Porc.						\$ 159,387.09	\$ 11,316.48
Patenta Municipal	0.004	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 2,134.18
Arbitrio Municipal	0.005	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 2,667.73
Rótulo proyecto	1	EA	225.00	875.00				\$ 1,100.00	\$ 1,100.00
Seguridad 1 turno.	5	Mes	1,500.00					\$ 1,500.00	\$ 7,500.00
Teléfono y fax	5	Mes			240.00			\$ 240.00	\$ 1,200.00
Herramientas pequeñas	0.001	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 266.77
Laboratorio pruebas	0.003	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 1,333.87
Punch list	0.002	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 1,227.16
Ingeniero de proyecto	5	Mes	4,200.00					\$ 4,200.00	\$ 21,000.00
<i>General Foreman</i>	5	Mes	3,150.00					\$ 3,150.00	\$ 15,750.00
Secretario de Oficina	5	Mes	1,575.00					\$ 1,575.00	\$ 7,875.00
Verja temporera (6 ft altura)	300	LF	5.00	9.50				\$ 14.50	\$ 4,350.00
Facilidades agua potable	5	Mes	115.00	150.00				\$ 265.00	\$ 1,325.00
CPM (<i>critical path method</i>)	0.0023	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 1,227.16
Avance de Progreso	0.0024	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 1,280.51
Conexiones agua	1	LS	185.00					\$ 185.00	\$ 185.00
Conexiones eléctricas	1	LS	160.00					\$ 160.00	\$ 160.00
<i>Trailer</i> para oficinas	5	Mes		780.00				\$ 780.00	\$ 3,900.00
<i>Trailer</i> para almacén	5	Mes	245.00					\$ 245.00	\$ 1,225.00
Limpieza diaria	5	Mes	950.00	45.00				\$ 995.00	\$ 4,975.00
Caja menor	0.0023	Porc.						\$ 533,546.00	\$ 1,227.16
<i>Layout</i>	3	días	450					\$ 450.00	\$ 1,350.00

Tabla 13: División Solar para el estimado de costo rehabilitación escuela San Sebastián usando RS Means

Estimado de Costo Rehabilitacion Escuela San Sebastian										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	2 Solar (Site)									\$ 266,409.00
Excavación										
02305-250-0020	Movilización y Desmovilización	2	EA		56.5	112	0.984	1.160	\$ 193.44	\$ 386.89
02305-250-1100	Movilización equipo pequeño	2	EA		27.5	10.65	0.984	1.160	\$ 50.99	\$ 101.99
02315-462-6030	Excavación para footings	522	CYD	9.55		6.10	0.984	1.160	\$ 20.57	\$ 10,736.53
02315-320-0600	Compactación	362	ECY	1.10		0.13	0.984	1.160	\$ 1.81	\$ 653.64
02315-120-2020	Relleno	362	LCY	0.41		0.33	0.984	1.160	\$ 0.95	\$ 343.92
02315-462-9026	Retiro de tierra no útil (colocar en camión)	160	LCY	1.4325		0.61	0.984	1.160	\$ 2.79	\$ 445.61
02315-490-0560	Retiro de tierra no útil (transporte)	160	LCY	5.8		12.2	0.984	1.160	\$ 20.85	\$ 3,336.15
Demoliciones										
02220-130-0280	Demolición losa primer piso	1728	SF	2.37		0.31	0.984	1.160	\$ 3.92	\$ 6,773.35
02220-130-0400	Demolición losa segundo piso	180	SF	2.97		0.39	0.984	1.160	\$ 4.91	\$ 884.45
02220-130-0400	Demolición losa cubierta	72	SF	2.97		0.39	0.984	1.160	\$ 4.91	\$ 353.78
02220-130-0400	Demolición pavimento de concreto	1620	SF	2.97		0.39	0.984	1.160	\$ 4.91	\$ 7,960.04
02220-130-2040	Demolición Parapeto Segundo Piso	288	SF	1.29		1.29	0.984	1.160	\$ 3.24	\$ 932.22
02220-360-0400	Cortar losa primer piso	576	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	\$ 1.63	\$ 940.53
02220-360-0400	Cortar losa segundo piso	138	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	\$ 1.63	\$ 225.34
02220-360-0400	Cortar losa cubierta	120	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	\$ 1.63	\$ 195.94
02220-360-0400	Cortar pavimento de concreto	567	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	\$ 1.63	\$ 925.84
02220-360-0400	Cortar losa para bloques hormigón	53	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	\$ 1.63	\$ 86.54
02315-490-0550	Acarreo escombros	42	CYD	3.89		8.68	0.984	1.160	\$ 14.47	\$ 607.91
Bids	Impuesto municipal vertedero-dato de Bids	42	CYD	10.00			1.000	1.000	\$ 15.50	\$ 651.00
Factores de ajuste para Rehabilitación										
01250-400-0500	Factor Cut & Patch to match existing constructions	1	Porc.	0.09	0.05					
01250-400-2350	Factor Temporary Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05					
01250-400-1750	Factor Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05					
01250-400-0850	Factor dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04					
01250-400-1150	Factor Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03					
01250-400-1450	Factor Material handling & storage limitación	1	Porc.	0.06	0.05					
	Suma Factores			0.55	0.27					
Pilotes										
Gabriel Fuentes	Subcontractor Movilización & Insurance	1	LS						\$ 20,997.58	\$ 20,997.58
01107-700-1100	Layout Pilotes	1	DAY	565		58	0.891	0.000	\$ 555.09	\$ 555.09
Gabriel Fuentes	Pilotes	36	EA			5075	1.000	1.000	\$ 5,075.00	\$ 182,700.00
Gabriel Fuentes	Best Pilote	1	EA			18800	1.000	1.000	\$ 18,800.00	\$ 18,800.00
Gabriel Fuentes	Markup over Subcontract	0.15	PC						\$ 45,427.67	\$ 6,814.15

Tabla 14: Divisiones Hormigón, Metales y Terminaciones para el estimado de costo rehabilitación usando RS Means. Incluye costo total

Estimado de Costo Rehabilitacion Escuela San Sebastian										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSION
3 Hormigón										\$ 76,674.00
losa										
03310-240-4650	Losa primer piso	27	CYD	50.5	106	0.35	0.225	1.145	\$ 177.56	\$ 4,727.31
03310-240-2700	Losa segundo piso	3	CYD	360	245	0.35	0.225	1.145	\$ 493.49	\$ 1,480.48
03310-240-2700	Cubierta	1	CYD	360	245	0.35	0.225	1.145	\$ 493.49	\$ 493.49
02750-300-0020	Pavimento concreto	63	SY	0.91	21.5	0.9	0.225	1.145	\$ 33.01	\$ 2,079.56
Shear walls										
03300-240-4250	Muros de corte	67	CYD	203	259	26.5	0.225	1.145	\$ 466.84	\$ 31,278.35
Pile Cap										
03310-240-5900	Pile Cap	160	CYD	50.5	139	0.28	0.225	1.145	\$ 227.42	\$ 36,386.98
03310-240-5900	Bloques hormigón para anclar cerchas	1	CYD	50.5	139	0.28	0.225	1.145	\$ 227.42	\$ 227.42
Factores de ajuste para Rehabilitación										
01250-400-0500	Factor Cut & Patch to match existing constructions	1	Porc.	0.09	0.05					
01250-400-0500	Factor Material handling & storage limitación	1	Porc.	0.03	0.1					
01250-400-2350	Factor Temporary Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05					
01250-400-1750	Factor Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05					
01250-400-0850	Factor dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04					
01250-400-1150	Factor Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03					
	Suma Factores			0.52	0.32					
5 Metales										
05120-260-5100	Acero Estructural	26050	LBS	0.27	0.95	0.18	0.304	1.148	\$ 1.62	\$ 42,177.00
05120-260-5100	Placas, conexiones etc.	3126	PC	0.27	0.95	0.18	0.304	1.148	\$ 1.62	\$ 5,061.22
05090-300-1435	Anclajes	72	EA	24.5	47	5.5	0.304	1.148	\$ 84.21	\$ 6,063.47
Factores de ajuste para Rehabilitación										
01250-400-0500	Factor Cut & Patch to match existing constructions	1	Porc.	0.09	0.05					
01250-400-0500	Factor Material handling & storage limitación	1	Porc.	0.03	0.1					
01250-400-2350	Factor Temporary Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05					
01250-400-1750	Factor Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05					
01250-400-0850	Factor dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04					
01250-400-1150	Factor Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03					
	Suma Factores			0.52	0.32					
9 Terminaciones										
03350-300-0150	Pulido de Pisos	825	SF	0.44			0.187	2.503	\$ 0.08	\$ 67.88
09220-200-1000	Interior Cement Plaster Walls	2538	SF	0.68	0.37	0.06	0.187	2.503	\$ 1.06	\$ 2,702.73
09220-200-1000	Exterior Cement Plaster Walls	2538	SF	0.68	0.37	0.06	0.187	2.503	\$ 1.06	\$ 2,702.73
09910-920-840	Pintura primer interiores	2538	SF	0.32	0.11		0.187	2.503	\$ 0.34	\$ 850.66
09910-910-410 y	Pintura primer exteriores	2538	SF	0.07	0.31		0.187	2.503	\$ 0.79	\$ 2,002.53
01740-500-0050	Limpieza	100	MSF	20.5	1.7	1.34	0.187	2.503	\$ 8.34	\$ 833.92
	Impermeabilización de techo	100	SF	0.34	0.24		0.187	2.503	\$ 0.66	\$ 66.43
Sub total Costo Directo										
										\$ 405,612.00
Costos Indirectos del proyecto										
										\$ 116,836.00
V. SubTotal										
										\$ 522,448.00
Indirectos del Contratista y Ganancia		0.300	PC						\$ 522,448.00	\$ 156,734.40
Factor Ingenieria		0.152	PC						\$ 679,183.00	\$ 107,991.00
Costo Total										\$ 787,174.00

4.2.1.5.1 Bids de Puerto Rico

De igual forma, como se sugirió en la metodología de este proyecto también se utilizó la fuente de datos de precios unitarios de construcción Bids de Puerto Rico. El propósito de estimar con esta otra fuente es compararlos con los costos de RS Means.

Se debe tener en cuenta, que como se trata de una base de datos que provee exclusivamente precios de partidas de construcción, esta no proporciona factores de ajuste para proyectos de rehabilitación o reparación. Por esta razón, para el cálculo del estimado de costo de rehabilitación se usaron los factores provistos por RS Means. Los porcentajes para considerar el factor de ingeniería, los costos indirectos y ganancia del contratista son los mismos que fueron empleados en el estimado de costo de rehabilitación usando RS Means. El costo de los pilotes se estimó de una cotización de un proveedor, al igual que en el estimado de RS Means.

En las Tablas 14, 15 y 16 se muestran el estimado de costo. La Tabla 14 muestra la división Condiciones Generales que corresponde a los costos indirectos del proyecto. La Tabla 15 contiene las partidas que forman parte a la división Solar y finalmente en la Tabla 16 aparecen los costos relacionados con las divisiones: Hormigón, Metales y Terminaciones. Además, se encuentra el costo total de la rehabilitación. El costo total para hacer la rehabilitación de la escuela San Sebastián usando Bids resultó en \$ 825,911. Se observa que este costo total conseguido es bastante similar al costo obtenido con RS Means de \$ 787,174. La diferencia corresponde aproximadamente a 5 por ciento del costo rehabilitación RS Means.

Se decidió entonces, con base en la proximidad de los resultados, utilizar para los restantes estimados de este proyecto la base de datos que provee la publicación RS Means debido a que esta se trata de una serie de publicaciones que además de proporcionar precios unitarios de construcción, también suministra datos relacionados a proyectos de rehabilitación y reparación.

Tabla 15: Condiciones Generales para el estimado de costo rehabilitación escuela San Sebastián usando Bids de Puerto Rico.

Estimado de Costo Rehabilitacion Escuela San Sebastian								
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	Condiciones Generales							\$ 103,434.00
Bids	Oficina de campo temporera	1	EA	1,500.00	5,500.00		\$ 7,000.00	\$ 7,000.00
Bids	Seguro responsabilidad pública	0.0052	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 2,844.62
Bids	Seguro riesgo contratista (Builders Risk)	0.002	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 1,312.90
Bids	Fianzas	0.021	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 11,487.88
Bids	Fondo Seguro del Estado	0.071	Porc.				\$ 138,590.35	\$ 9,839.91
Bids	Patenta Municipal	0.004	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 2,188.17
Bids	Arbitrio Municipal	0.005	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 2,735.21
Bids	Rótulo proyecto	1	EA	225.00	875.00		\$ 1,100.00	\$ 1,100.00
Bids	Seguridad 1 turnos	5	Mes	1,500.00			\$ 1,500.00	\$ 7,500.00
Bids	Teléfono y fax	5	Mes			240.00	\$ 240.00	\$ 1,200.00
Bids	Herramientas pequeñas	0.001	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 273.52
Bids	Laboratorio pruebas	0.003	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 1,367.61
Bids	<i>Punch list</i>	0.002	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 1,258.20
Bids	Ingeniero de proyecto	5	Mes	4,200.00			\$ 4,200.00	\$ 21,000.00
Bids	General Foreman	5	Mes	3,150.00			\$ 3,150.00	\$ 15,750.00
Bids	Secretario de Oficina	5	Mes	1,575.00			\$ 1,575.00	\$ 7,875.00
Bids	Verja temporera (6" altura)	600	LF	5.00	9.50		\$ 14.50	\$ 8,700.00
Bids	Facilidades agua potable	5	Mes	115.00	150.00		\$ 265.00	\$ 1,325.00
Bids	<i>Critical path method (CPM)</i>	0.0023	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 1,258.20
Bids	<i>Progress Schedule</i>	0.0024	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 1,312.90
Bids	Conexiones agua	1	LS	185.00			\$ 185.00	\$ 185.00
Bids	Conexiones eléctricas	1	LS	160.00			\$ 160.00	\$ 160.00
Bids	Trailer para oficinas	5	Mes		780.00		\$ 780.00	\$ 3,900.00
Bids	Trailer para almacén	5	Mes	245.00			\$ 245.00	\$ 1,225.00
Bids	Limpieza diaria	5	Mes	950.00	45.00		\$ 995.00	\$ 4,975.00
Bids	Caja menor	0.0023	Porc.				\$ 547,042.00	\$ 1,258.20
Bids	<i>Layout</i>	3	dias	450			\$ 450.00	\$ 1,350.00

Tabla 16: División Solar para el estimado de costo rehabilitación escuela San Sebastián usando Bids de Puerto Rico.

Estimado de Costo Rehabilitacion Escuela San Sebastian								
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	1 Solar (Site)							\$ 252,433.00
Excavación								
Bids	Excavación para zapatas	522	CYD	9.00			\$ 13.95	\$ 7,281.90
Bids	Relleno para fundación	362	CYD	2.5			\$ 3.88	\$ 1,402.75
Demoliciones								
Bids	Demolición losa primer piso	36	CYD	105.00			\$ 162.75	\$ 5,859.00
Bids	Demolición losa segundo piso	3.5	CYD	105.00			\$ 162.75	\$ 569.63
Bids	Demolición losa cubierta	1.0	CYD	105.00			\$ 162.75	\$ 162.75
Bids	Demolición pavimento de concreto	26.0	CYD	105.00			\$ 162.75	\$ 4,231.50
Bids	Demolición Parapeto Segundo Piso	4.0	CYD	70.00			\$ 108.50	\$ 434.00
Bids	Acarreo escombros	6.0	TRIP			130	\$ 130.00	\$ 780.00
Bids	Impuesto municipal vertedero	61.0	CYD	10.00			\$ 15.50	\$ 945.50
Factores de ajuste para Rehabilitación								
01250-400	<i>Cut & Patch to match existing constructions</i>	1	Porc.	0.09	0.05			
01250-400	<i>Temporay Shoring and bracing</i>	1	Porc.	0.12	0.05			
01250-400	<i>Protection of existing work</i>	1	Porc.	0.07	0.05			
01250-400	<i>Dust & noise protection</i>	1	Porc.	0.11	0.04			
01250-400	<i>Equipment usage curtailment</i>	1	Porc.	0.1	0.03			
01250-400	<i>Material handling & storage limitación</i>	1	Porc.	0.06	0.05			
	Suma Factores			0.55	0.27			
				Estos factores se aplican al subtotal en columna TOTAL UNITARIO				
Pilotes								
Gabriel Fu	Mobilización y seguros subc.	1.0	Global				\$ 20,997.58	\$ 20,997.58
Bids	Layout Pilotes	256.0	SF	4	2		\$ 6.00	\$ 1,536.00
Gabriel Fu	Micropiles	36.0	EA				\$ 5,075.00	\$ 182,700.00
Gabriel Fu	Test Pilote	1.0	EA	18800			\$ 18,800.00	\$ 18,800.00
Gabriel Fu	Mark-up sobre subcontrato pilotes	0.15	Porc.				\$ 44,878.58	\$ 6,731.79

Total Unitario=
 $CMO*(1+0.55)+CE+CM*(1+0.27)$

Tabla 17: Divisiones Hormigón, Metales y Terminaciones estimado de costo rehabilitación escuela San Sebastián usando Bids PR. Incluye valor total

Estimado de Costo Rehabilitacion Escuela San Sebastian								
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	TOTAL UNITARIO	EXTENSION
	3 Hormigón							\$ 97,610.00
losa								
Bids	Losa primer piso	27.0	CYD	42	203	3	\$ 334.80	\$ 9,039.60
Bids	Losa segundo piso	3.0	CYD	75	257	5	\$ 458.24	\$ 1,374.72
Bids	Losa techo	1.0	CYD	75	257	5	\$ 458.24	\$ 458.24
Bids	Concreto pavimento	10.0	CYD	32	180	3	\$ 289.24	\$ 2,892.40
Shear walls								
	Fundida muros de corte	67.0	CYD	93	207	7	\$ 421.60	\$ 28,247.20
Pile Cap								
Bids	Pile Cap	160	CYD	50	194	2	\$ 334.08	\$ 53,452.80
Bids	Bloques hormigón para anclar cerchas	1	CYD	75	257	5	\$ 458.24	\$ 458.24
Otros								
Bids	Parapetos	4.0	CYD	93	207	7	\$ 421.60	\$ 1,686.40
Factores de ajuste para Rehabilitación								
01250-400-0500	Cut & Patch to match existing constructions	1	Porc.	0.09	0.05			
01250-400-0500	Material handling & storage limitación	1	Porc.	0.03	0.1			
01250-400-2350	Temporay Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05			
01250-400-1750	Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05			
01250-400-0850	Dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04			
01250-400-1150	Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03			
	Suma Factores			0.52	0.32			
				Estos factores se aplican al subtotal en columna		Total Unitario		
	5 Metales							\$ 88,468.00
Bids	Acero estructural(HSS 6x6x1/4)	26,050.0	LBS	0.52	1.05		\$ 2.18	\$ 56,695.22
Bids	Placas, conexiones etc.	0.12	Porc.				\$ 56,695.22	\$ 6,803.43
Bids	Refuerzo Pile Cap	8500	LBS	0.23	0.55		\$ 1.08	\$ 9,142.60
Bids	Refuerzo muros	7700	LBS	0.23	0.55		\$ 1.08	\$ 8,282.12
Bids	Anclajes	72	EA	24.5	47	5.5	\$ 104.78	\$ 7,544.16
Factores de ajuste para Rehabilitación								
01250-400-0500	Cut & Patch to match existing constructions	1	Porc.	0.09	0.05			
01250-400-0500	Material handling & storage limitación	1	Porc.	0.03	0.1			
01250-400-2350	Temporay Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05			
01250-400-1750	Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05			
01250-400-0850	Dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04			
01250-400-1150	Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03			
	Suma Factores			0.52	0.32			
				Estos factores se aplican al subtotal en columna		Total Unitario		
	9 TERMINACIONES							\$ 9,352.00
Bids	Pulido de pisos	825	SF	0.18	0.07		\$ 0.25	\$ 206.25
Bids	Interior Cement Plaster Walls	2538	SF	0.71	0.62		\$ 1.33	\$ 3,375.54
Bids	Exterior Cement Plaster Walls	2538	SF	0.81	0.62		\$ 1.43	\$ 3,629.34
Bids	Pintura primer interiores 2 manos	5076	SF				\$ 0.11	\$ 558.36
Bids	Pintura primer exteriores 2 manos	5076	SF				\$ 0.11	\$ 558.36
Bids	Limpieza	100	MSF	7	1.34		\$ 8.34	\$ 834.00
Bids	Impermeabilización de techo	100	SF	0.2	1.7		\$ 1.90	\$ 190.00
	Costos Directos							\$ 447,863.00
	Costo C. Indirectos							\$ 103,434.00
	V. SubTotal							\$ 551,297.00
	Indirectos del Contratista y Ganancia	0.30	Porc.				\$ 551,297.00	\$ 165,390.00
	Factor Ingenieria	0.152	PC				\$ 716,687.00	\$ 109,224.00
	Costo Total							\$ 825,911.00

4.2.2 Programación Actividades para la Rehabilitación Escuela San Sebastián

El tiempo estimado de construcción para la rehabilitación de esta escuela se estimó utilizando el método *Critical Path Method* (CPM) mediante el uso del programa SURETRAK.

De acuerdo a la propuesta de rehabilitación discutida anteriormente, se propone la incorporación de nueve paredes estructurales y nueve cerchas de acero. Como los muros propuestos son todos de la misma dimensión, las actividades que comprende construir un muro son las mismas para los demás muros. De esta manera para la ejecución de estos muros se presenta un esquema de actividades repetitivas. La Figura 6 muestra un segmento de como se hizo la programación de las actividades utilizando el método de programación CPM. Se observa por ejemplo que para la ejecución de la actividad A del muro dos se requiere que se acabe la actividad A del muro uno.

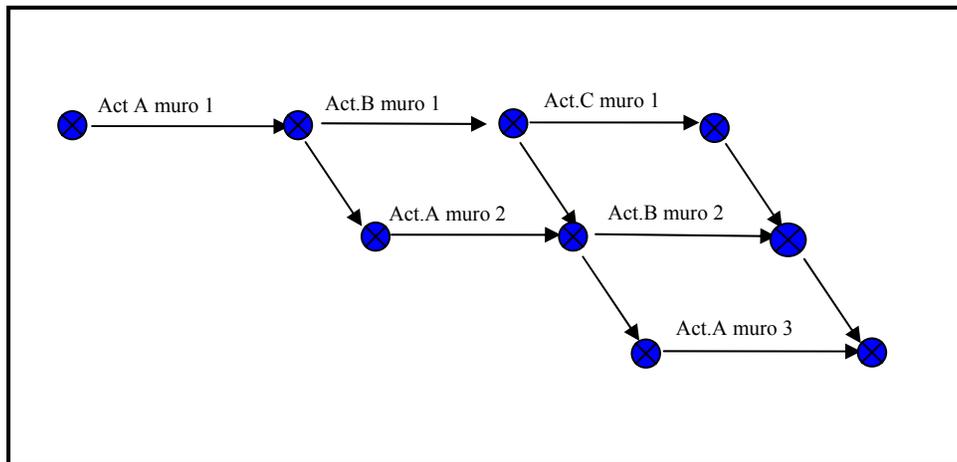


Figura 6: Segmento del esquema de programación para las actividades repetitivas

La Tabla 17 enumera las actividades que se requieren para hacer cada pared propuesta en la rehabilitación. También se indica la productividad asignada a cada actividad, las cantidades requeridas y finalmente la duración que se obtiene por medio de los dos parámetros anteriores. Se decidió tomar como unidad de duración mínima un día.

Tabla 18: Lista de actividades que se requieren para hacer una pared

Descripción	Unidad	Cantidad	Prod.(unid/día)	Duración (días)
1. Demoler losa primer piso	SF	192	100	2
2. Layout y Excavación	CYD	58	24	3
3. Prueba pilotes	EA	1	1	1
4. Instalación 4 pilotes	EA	4	2	2
5. Pile Cap	CYD	18	9	2
6. Pared carga y losa 2do piso y cubierta	CYD	7	1.2	6
7. Relleno y losa primer piso	CF	81	50	2
8. Empañetado	SF	564	360	2

Además de las actividades anteriores el proyecto de rehabilitación requiere de otra serie de actividades que no son repetitivas. En la Tabla 18 se citan dichas actividades, al igual que datos referentes a cantidad, productividad y duración de las diferentes actividades.

Tabla 19: Actividades no repetitivas (rehabilitación escuela San Sebastián)

Descripción	Unidad	Cantidad	Productividad	Duración (días)
• Inicio Proyecto (ficticia)				0
• Movilización	DAY	3	1	3
• Preparar área	DAY	2	1	2
• Acarreo escombros	CYD	42	45	1
• Impermeabilización y pintura	SF	5176	1036	5
• Limpieza y <i>Punch List</i>	MSF	100	10	10
• Fabricar acero	LBS	26050	2600	10
• Excavación para bloques hormigón.	CYD	5	24	1
• Bloques de hormigón y anclajes	EA	36	20	2
• Instalación acero <i>braces</i> . (crucetas).	LBS	26050	2000	14
• Relleno y losa	CF	39	50	1

Una vez se consiguen las duraciones de cada actividad se ingresan las actividades al programa SURETRAK. Para la programación se decidió utilizar la relación Terminación-a-Comienzo (Finish-to-start) que indica que una actividad no puede empezar hasta que la anterior haya terminado.

La duración resultante de hacer la programación de las actividades para la rehabilitación de la escuela San Sebastián fue de 103 días calendario. Se presumió que el proyecto de rehabilitación comienza el día tres de septiembre del 2007 por lo tanto este se terminaría para el día 14 de enero del 2008.

En las Figuras 7, 8 y 9 se muestran la forma en que se programaron las actividades en el programa SURETRAK. En el costado izquierdo de las Figuras se encuentra la distribución de las actividades en secciones. En la sección que dice “General” y “Cerchas” se listan las actividades que no son repetitivas en el proyecto. La sección “Cerchas” se refiere a las actividades que están involucradas con la construcción de las crucetas de acero. Finalmente están las secciones denominadas “Pared”, que van del uno al nueve, que se refiere a los nueve muros propuestos en la rehabilitación de la escuela. En cada sección se indica los siguientes datos:

- **Activity ID:** A cada actividad se le asignó un código que facilita la clasificación de las actividades.
- **Descripción:** Se refiere al nombre que tiene cada una de las actividades de cada sección.
- **Duración de la actividad:** Se utilizó como unidad base de tiempo 1 día. Por ejemplo si observamos la actividad excavación para la sección “Cerchas”, tenemos que la productividad es de 24 yardas cúbicas por día (CYD/DÍA) y la cantidad a excavar es de 5 yardas cúbicas (CYD).

De acuerdo a esto la duración sería $\frac{5CYD}{24 CYD / día} = 0.23 \text{ días}$, sin embargo se decidió emplear

como mínimo 1 día para la ejecución de cada actividad. De la misma manera no se utilizaran fracciones de días, es decir, que en el caso por ejemplo que tuviéramos una duración de 1.15 días, este se aproximará al entero siguiente que será 2 días.

- **Unidad de la actividad**
- **Cantidad:** Se refiere al número de unidades que se requieren para ejecutar la actividad perteneciente a cada sección.
- **Productividad:** Se obtuvo la productividad de cada actividad con base en información suministrada en la publicación RS Means y aplicando juicio ingenieril. Muchas veces las productividades que proporciona RS Means son muy altas debido a que utiliza brigadas de gran

tamaño. En esos casos se decidió reducir la productividad propuesta por la publicación ajustando está a una brigada razonable para nuestro proyecto. Es decir, lo primero que se averigua es la cantidad de hombres y equipo necesario que indica la brigada propuesta por RS Means para una determinada partida. Luego, en el caso de que el tamaño de la brigada propuesta por la publicación fuera muy grande, entonces, se procedía a reducir el número de hombres para de esta manera calcular la nueva productividad a utilizar para el cálculo del estimado de tiempo para los distintos proyectos.

- Comentarios: Aquí se menciona información útil como cuando se decide reducir la productividad propuesta por RS Means o cuando se asignó un rezago a la actividad (*lag time*). Esto se hace con el fin de ayudar al lector a entender la programación.

En el lado derecho de las Figuras se encuentra el diagrama de barras, el cual está basado en días calendario. Cada barra muestra la duración de cada actividad. Se observa que estas barras están unidas con flechas que nos indican que actividad le precede a otra. Las barras de color rojo representan las actividades que forman parte de la ruta crítica del proyecto.

En la parte superior de la Figura 7 se muestra la duración obtenida para la realización de todo el proyecto en días calendario.

La Figura 10 muestra el diagrama conseguido aplicando el método de la ruta crítica (*Critical Path Method, CPM*), el cual muestra a través de una red la secuencia lógica de las actividades en el proyecto. Las actividades en color rojo representan aquellas actividades que pertenecen a la ruta crítica del proyecto, es decir, aquellas actividades que no tienen tiempo flotante.

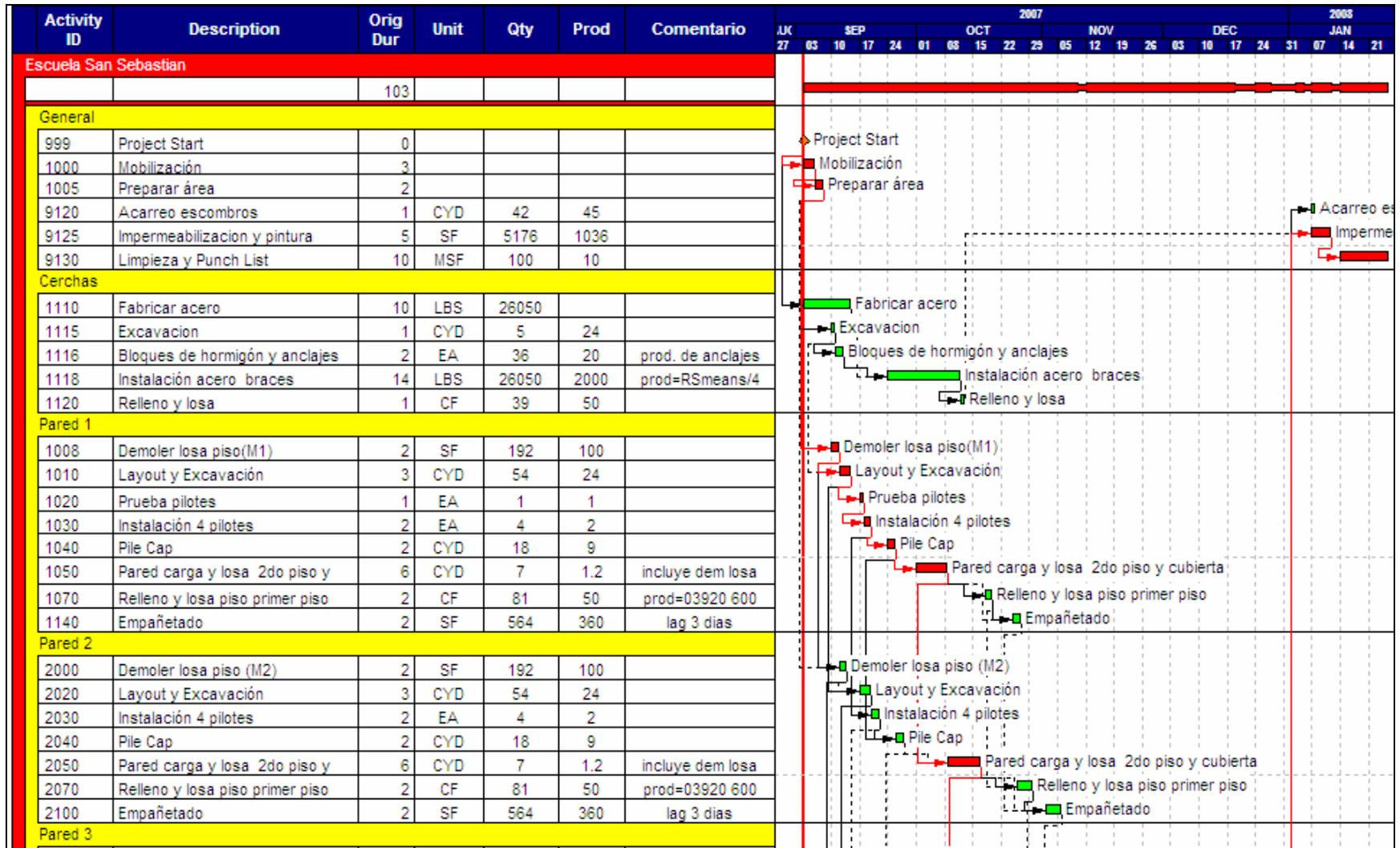


Figura 7: Programación actividades rehabilitación escuela San Sebastián

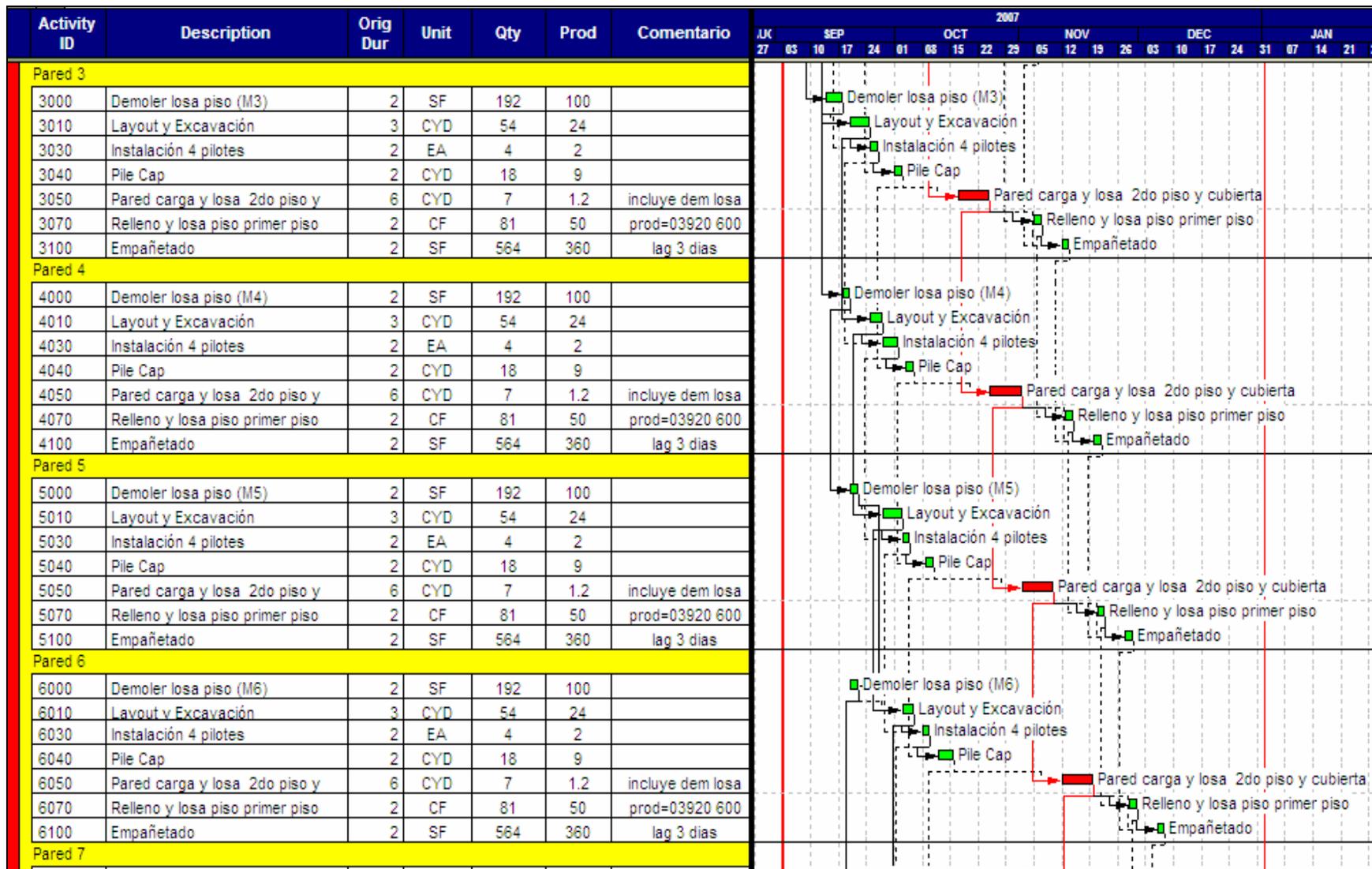


Figura 8: Continuación programación actividades de la rehabilitación escuela San Sebastián

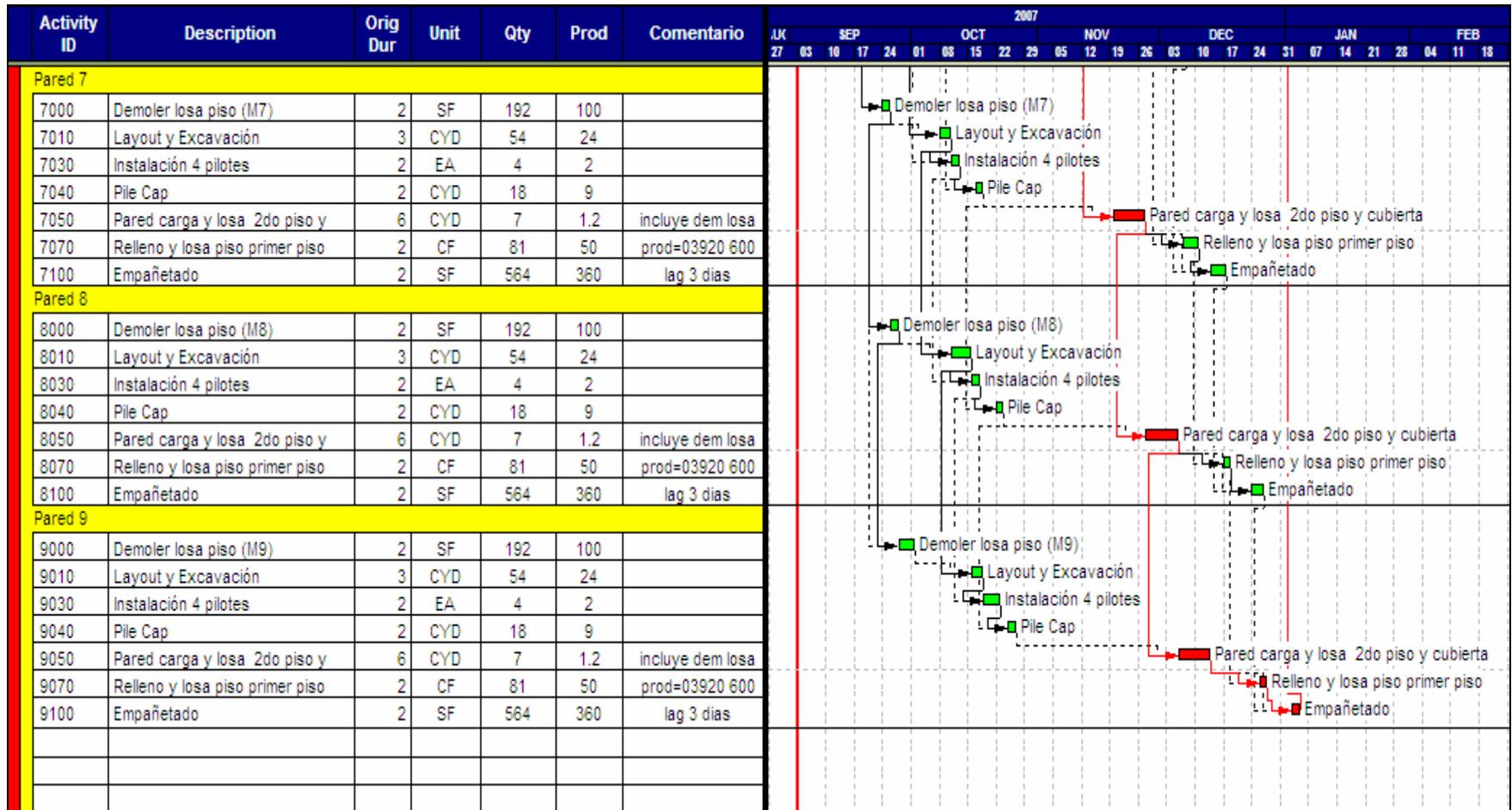


Figura 9: Continuación programación actividades de la rehabilitación escuela San Sebastián

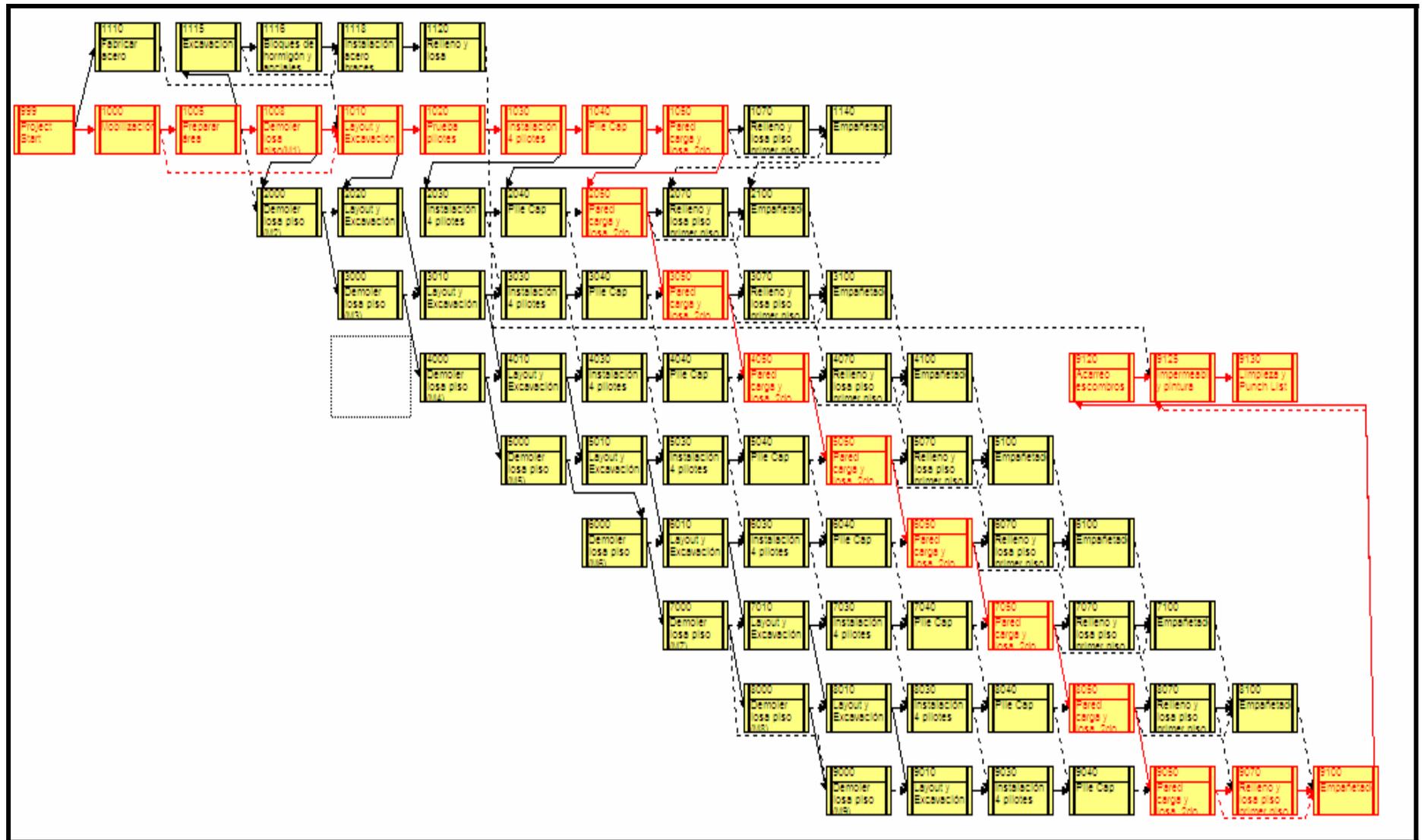


Figura 10: CPM para la rehabilitación escuela San Sebastián

4.3 DISEÑO ELÁSTICO DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO

Otro de los escenarios mencionados en este proyecto de investigación se refiere al costo que resulta de construir las estructuras nuevamente pero con la estructura diseñada para que los elementos de hormigón armado actúen en su rango elástico (EHRE). En el inciso 4.2 se discutió el escenario que se refiere a la rehabilitación de la estructura, en donde se propuso incorporar unos elementos estructurales nuevos con el objetivo de que la estructura se comporte elásticamente. Estos mismos elementos estructurales propuestos en el estimado de rehabilitación son los mismos que se proponen para este nuevo escenario de construcción.

El costo de este escenario resulta de sumar el estimado de costo de construcción en el año 2003 bajo las condiciones de diseño existentes para esa fecha, más el estimado de costo de los elementos estructurales adicionales que permiten que la estructura se comporte elásticamente. Por consiguiente:

- Costo construir escuela EHRE = costo escuela 2003 + costo elementos estructurales adicionales.

Se estimó los costos de construcción para el año 2003 debido a que los costos por pie cuadrado de escuelas superiores en Puerto Rico suministrado por la Autoridad de Edificios Públicos de Puerto Rico (A.E.P) en Botero (2006) hacen referencia a esa fecha. Los costos por pie cuadrado se muestran en la Tabla 19.

Tabla 20: Costo por pie² para diferentes escuelas superiores en Puerto Rico. Botero (2006)

Nombre Escuela	Localización	Costo por ft ²
Escuela Superior Vocacional con educación especial	Guayama	\$ 108.92
Escuela Superior Vocacional Luís Muñoz Rivera	Utua	\$ 120.51
Escuela Superior Stella Marques	Salinas	\$ 133.41
Escuela Superior Dr. Pedro Perea Fajardo.	Mayagüez	\$ 121.87
Escuela Superior Vocacional	San Lorenzo	\$ 106.68
Promedio		\$ 118.28

De esta forma para estimar el costo de construcción en el año 2003, primero se obtuvo el área de la escuela San Sebastián en pies cuadrados. Esto se obtuvo de las dimensiones de los planos arquitectónicos. Posteriormente, se obtuvo el promedio del costo por pie cuadrado de la Tabla 19.

Para obtener nuestro estimado para el año 2006 se utilizaron los índices (*Historical Cost Indexes*) sugeridos por la publicación *Building Construction Cost Data* (RS Means 2006). A continuación se muestran los cálculos:

- Área construída Escuela San Sebastián = 39, 660 ft²
- Costo promedio por ft² = \$ 118 / ft²
- Costo escuela 2003 = 39 660 ft² * \$118/ft² = \$ 4,679,900
- Costo escuela 2006 = $\frac{155.9}{132} * \$ 4,679,900 = \$ 5,527,200$

Una vez conseguido el estimado de costo de construcción de la escuela para el año 2006, solo nos falta adicionar el costo que surge de colocar los elementos estructurales para que este se comporte elásticamente. Es decir los elementos estructurales que se propusieron en la rehabilitación de la estructura que son:

- la incorporación de 9 muros estructurales y
- la incorporación 9 crucetas de acero.

El costo adicional que surge de incorporar estos elementos es menor que el que se obtuvo para la rehabilitación de la escuela debido a que se trata de una edificación que se va construir nueva. Por lo tanto, no se requieren partidas que tengan que ver con demoliciones, que como se vio en el estimado de rehabilitación, significan un costo considerable. Además, se entiende que no se presenta ningún tipo de limitación al momento de ejecutar la obra por lo que no se requiere utilizar para el cálculo de este estimado los factores de rehabilitación o reparación, que como se vio en el estimado de costo de rehabilitación, amplían significativamente los costos unitarios de las partidas. A continuación se indica el

procedimiento que se siguió para obtener el estimado de costo que surge de incorporar estos elementos estructurales.

4.3.1 Estimado de Costo de los Elementos Estructurales Adicionales para que Trabaje EHRE

Es importante tener claro que el siguiente estimado de costo refleja únicamente el costo adicional que surge de incorporar los muros y las crucetas de acero con el fin de que la escuela se comporte elásticamente.

El estimado de costo para esta alternativa de diseño se hizo siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para el cálculo del estimado de rehabilitación. Los costos directos de las partidas para todas las divisiones se sacaron de la publicación *Building Construction Cost Data (RS Means, 2006)*, a excepción de la división Condiciones Generales que se obtuvieron de la base de datos Bids de Puerto Rico. Las divisiones utilizadas en el estimado fueron: Condiciones Generales, Solar, Hormigón, Metales y Terminaciones.

Se utilizaron factores de ajuste por localización para Puerto Rico para ajustar los costos de mano de obra, materiales y equipos suministrados por RS Means. El estimado se dividió en:

- costos directos,
- costos indirectos del proyecto,
- costos indirectos y ganancia del contratista, y
- factor de ingeniería.

Los costos directos del proyecto salen de la suma de los costos de las divisiones, solar, hormigón, metales y terminaciones mientras que los costos indirectos del proyecto provienen de la suma de las partidas pertenecientes a la división condiciones generales.

Los costos indirectos y ganancia del contratista corresponden a un porcentaje del 30 por ciento de la suma de los costos directos y corresponde al porcentaje propuesto por la publicación RS Means para este tipo de proyectos.

El factor de ingeniería se estimó usando los valores por CIAPR. Los honorarios sugeridos para este tipo de proyecto se encuentran dentro de la categoría dos que representa proyectos de complejidad promedio. El costo de la construcción de la escuela, los honorarios sugeridos por concepto de diseño y servicios durante la construcción para el costo de este proyecto se muestra a continuación en la Tabla 20.

Tabla 21: Factor Ingeniería utilizados para el calculo del estimado de costo diseño elástico

Costo Proyecto (\$)	Honorarios (\$) diseño final	Servicios durante la construcción (\$)
\$ 500,000	\$ 49,866	\$ 12,465
\$ 550,000	\$54,396	\$ 13,136

Los cálculos fueron los siguientes:

- costo proyecto = \$ 499,266
- honorarios diseño final = \$ 49,866
- servicios durante la construcción = \$ 12,465
- factor de Ingeniería = $\frac{\$ 49.866 + \$ 12,465}{\$ 499,266} * 100\% = 12.49 \%$

En las Tablas 21 y 22 se muestra el estimado de costo que surgió de incorporar los nuevos elementos estructurales. El costo obtenido fue de \$ 554,875 y se sumó al costo encontrado de la escuela para el año 2006 (\$ 5,527,200) para así conseguir el costo total de construir la escuela bajo estas condiciones de diseño.

- Costo construir escuela elásticamente= \$ 5, 527,200 + \$ 554,875 = **\$ 6, 082,080**

De esta manera se estima que la escuela de San Sebastián diseñada con EHRE tendría un costo aproximado de \$ 6, 082,080 en el año 2006.

Tabla 22: División Condiciones Generales para el cálculo del estimado de costo con diseño EHRE de escuela San Sebastián

Estimado costo elastico Escuela San Sebastián										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	Condiciones Generales									\$ 81,858.50
Bids	Oficina de campo temporera	1	LS	1,500.00	5,500.00				7,000.00	\$ 7,000.00
Bids	Seguro Responsabilidad Pública	0.0052	Porc.						388,673.00	\$ 2,021.10
Bids	Riesgo Contratista (<i>Builders Risk</i>)	0.002	Porc.						388,673.00	\$ 932.82
Bids	Fianzas	0.021	Porc.						388,673.00	\$ 8,162.13
Bids	Fondo Seguro del Estado	0.071	Porc.						103,431.67	\$ 7,343.65
Bids	Patenta Municipal	0.004	Porc.						388,673.00	\$ 1,554.69
Bids	Arbitrio Municipal	0.005	Porc.						388,673.00	\$ 1,943.37
Bids	Rótulo proyecto	1	EA	225.00	875.00				1,100.00	\$ 1,100.00
Bids	Seguridad 1 turnos	3.5	Mes	1,500.00					1,500.00	\$ 5,250.00
Bids	Teléfono y fax	3.5	Mes			240.00			240.00	\$ 840.00
Bids	Herramientas pequeñas	0.001	Porc.						388,673.00	\$ 194.34
Bids	Laboratorio pruebas	0.003	Porc.						388,673.00	\$ 971.68
Bids	<i>Punch list</i>	0.002	Porc.						388,673.00	\$ 893.95
Bids	Ingeniero de proyecto	3.5	Mes	4,200.00					4,200.00	\$ 14,700.00
Bids	<i>General Foreman</i>	3.5	Mes	3,150.00					3,150.00	\$ 11,025.00
Bids	Secretario de Oficina	3.5	Mes	1,575.00					1,575.00	\$ 5,512.50
Bids	Facilidades agua potable	3.5	Mes	115.00	150.00				265.00	\$ 927.50
Bids	Conexiones agua	1	LS	185.00					185.00	\$ 185.00
Bids	Conexiones eléctricas	1	LS	160.00					160.00	\$ 160.00
Bids	<i>Critical path method (cpm)</i>	0.0023	Porc.						388,673.00	\$ 893.95
Bids	Progress Schedule	0.0024	Porc.						388,673.00	\$ 932.82
Bids	<i>Trailer</i> para oficinas	3.5	Mes		780.00				780.00	\$ 2,730.00
Bids	<i>Trailer</i> para almacén	3.5	Mes	245.00					245.00	\$ 857.50
Bids	Limpieza diaria	3.5	Mes	950.00	45.00				995.00	\$ 3,482.50
Bids	Caja menor	0.0023	Porc.						388,673.00	\$ 893.95
Bids	<i>Layout</i>	3	dias	450					450	\$ 1,350.00

Tabla 23: Divisiones Solar, Hormigón, Metales y Terminaciones para el cálculo del estimado de costo diseño EHRE de escuela San Sebastián

Estimado costo elastico Escuela San Sebastian										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
1 Solar (Site)										\$ 199,734.00
Excavación										
02315-462-6030	Excavación para footings	522	CYD	9.55		6.10	0.918	1.164	14.37	\$ 7,499.42
02315-320-0600	Compactación	362	ECY	1.10		0.13	0.918	1.164	1.13	\$ 408.75
02315-120-2020	Relleno para fundación	362	LCY	0.41		0.33	0.918	1.164	0.68	\$ 245.91
02315-462-9026	Retiro de tierra no útil (colocar en camión)	160	LCY	1.43		0.61	0.984	1.160	2.01	\$ 321.57
02315-490-0560	Retiro de tierra no útil (transporte)	160	LCY	5.8		12.2	0.984	1.160	17.71	\$ 2,833.92
Pilotes										
02455-900-200	Movilización grúa	1	EA	3800		2625	0.918	1.164	5,898.15	\$ 5,898.15
01107-700-1100	Layout Pilotes	1	DAY	565		58	0.891	0.000	555.09	\$ 555.09
02455-600-0400	Pilotes	36	EA			5075	0.918	1.164	4,658.85	\$ 167,718.60
02455-800-700	Cutoffs steel piles	36	EA	14.6			0.918	1.164	13.40	\$ 482.50
02455-800-800	Test Pilote	1	EA			15000	0.918	1.164	13,770.00	\$ 13,770.00
3 Hormigón										\$ 49,230.00
Shear walls										
03300-240-4250	Muros de corte	63	CYD	203	259	26.5	0.225	1.145	348.19	\$ 21,936.13
03310-240-5900	Pile Cap	160	CYD	50.5	139	0.28	0.225	1.145	170.58	\$ 27,292.88
5 Metales										\$ 40,353.00
05120-260-5100	Acero Estructural	26050	LBS	0.27	0.95	0.18	0.304	1.148	1.23	\$ 31,973.77
05120-260-5100	Placas, conexiones etc.	3126	PC	0.27	0.95	0.18	0.304	1.148	1.23	\$ 3,836.85
05090-300-1435	Anclajes	72	EA	24.5	47	5.5	0.304	1.148	63.08	\$ 4,541.47
9 TERMINACIONES										\$ 8,259.00
09220-200-1000	Interior Cement Plaster Walls	2538	SF	0.68	0.37	0.06	0.187	2.503	1.06	\$ 2,702.73
09220-200-1000	Exterior Cement Plaster Walls	2538	SF	0.68	0.37	0.06	0.187	2.503	1.06	\$ 2,702.73
09910-920-840	Pintura primer interiores	2538	SF	0.32	0.11		0.187	2.503	0.34	\$ 850.66
09910-910-410 y 420	Pintura primer exteriores	2538	SF	0.07	0.31		0.187	2.503	0.79	\$ 2,002.53
Sub total Costo Directo										\$ 297,576.00
Costos Indirectos del proyecto										\$ 81,859.00
SubTotal										\$ 379,435.00
Indirectos del Contratista y Ganancia		0.300	PC						379,435.00	\$ 113,831.00
Factor Ingenieria		0.124	PC						493,266.00	\$ 61,609.00
COSTO Total										\$ 554,875.00

4.3.2 Programación Actividades Diseño EHRE para Escuela San Sebastián

La programación se hizo siguiendo el método de programación de la ruta crítica (*Critical Path Method CPM*) y el programa SURETRAK.

Al igual que para el estimado de costo, sólo se programó las actividades que hacen referencia a la colocación de los elementos estructurales adicionales propuestos para que la estructura se comporte elásticamente-nueve muros estructurales y nueve crucetas de acero- ya que el estimado de costo encontrado se basó únicamente en la incorporación de estos nuevos elementos estructurales. Encontrar el tiempo que toma poner estos elementos estructurales es bien importante ya que de este depende los costos de varias partidas de la división Condiciones Generales del estimado de costo, que basan su costo en el tiempo que lleva la ejecución del proyecto.

Las actividades que se requieren para hacer un muro se listan en la Tabla 23, junto con la unidad, cantidad, productividad y duración de cada actividad. Estas actividades se consideran repetitivas teniendo en cuenta que se deben construir 9 muros. Más adelante se muestra el esquema que se utilizó para hacer la programación, en donde se aprecia las diferentes secciones en que fue dividida la programación.

Tabla 24: Actividades para hacer una pared en el estimado diseño EHRE escuela SS

Descripción	Unidad	Cantidad	Productividad	Duración (días)
1. <i>Layout</i> y Excavación	CYD	58	24	3
2. Prueba pilotes	EA	1	1	1
3. Instalación 4 pilotes	EA	4	2	2
4. <i>Pile Cap</i>	CYD	18	9	2
5. Pared carga	CYD	7	2	6
6. Relleno y losa primer piso	CF	81	50	2
7. Empañetado	SF	564	360	2

En la Tabla 24 se muestran las actividades que no son repetitivas, en donde también se indica la unidad, cantidad, productividad.

Tabla 25: Actividades no repetitivas para la programación diseño EHRE escuela

Descripción	Unidad	Cantidad	Productividad	Duración (días)
• Inicio Proyecto (ficticia)				0
• Movilización	DAY	3	1	3
• Preparar área	DAY	2	1	2
• Acarreo escombros	CYD	42	45	1
• Impermeabilización y pintura	SF	5176	1036	5
• Limpieza y <i>Punch List</i>	MSF	100	10	10
• Fabricar acero	LBS	26050	2600	10
• Excavación para bloques hormigón	CYD	5	24	1
• Bloques de hormigón y anclajes	EA	36	20	2
• Instalación acero <i>braces</i> . (cruquetas)	LBS	26050	2000	14
• Relleno y losa zona <i>braces</i>	CF	39	50	1

La productividad asignada para cada actividad se sacó de la publicación RS Means. En ciertos casos se redujo la productividad propuesta por el libro ya que las brigadas al cual hace referencia son muy grandes.

Las Figuras 11, 12 y 13 muestran la programación de las actividades. En el lado izquierdo de la Figura se observa el listado de las actividades, el cual fue organizado en diferentes secciones. Las secciones, General y Cerchas se refieren a actividades que no son repetitivas. La sección cerchas indica actividades que están relacionadas con la elaboración y colocación de las cruetas de acero. Las secciones con el nombre “Pared” van del uno a la nueve y muestran las actividades que se requieren para hacer un muro o pared estructural.

En el lado derecho de las Figuras se muestra el diagrama de *Gantt* en donde aparece la duración de las actividades en días calendario siguiendo un formato de barras. Las barras de color rojo indican las actividades que son críticas, es decir que no tienen tiempo flotante, por lo contrario, las barras de color verde indican que la actividad tiene un tiempo flotante.

Cada barra esta seguida de una flecha que se une a otra actividad indicando que para que una actividad comience se requiere que la predecesora haya terminado en su totalidad. Esto quiere decir que

para la programación de estas actividades se usó la relación lógica Terminación-a-Comienzo (*Finish-to-start*) que indica que una actividad no se puede empezar hasta que la anterior termine.

Finalmente en la Figura 14 se muestra la programación usando el método de la ruta crítica (CPM) el cual muestra la secuencia lógica de las actividades.

El resultado obtenido de esta programación indicó que se necesitan 75 días calendario para instalar los propuestos elementos estructurales si la construcción de la escuela se hiciera nuevamente, es decir el tiempo adicional necesario para construir las paredes y las crucetas de acero.

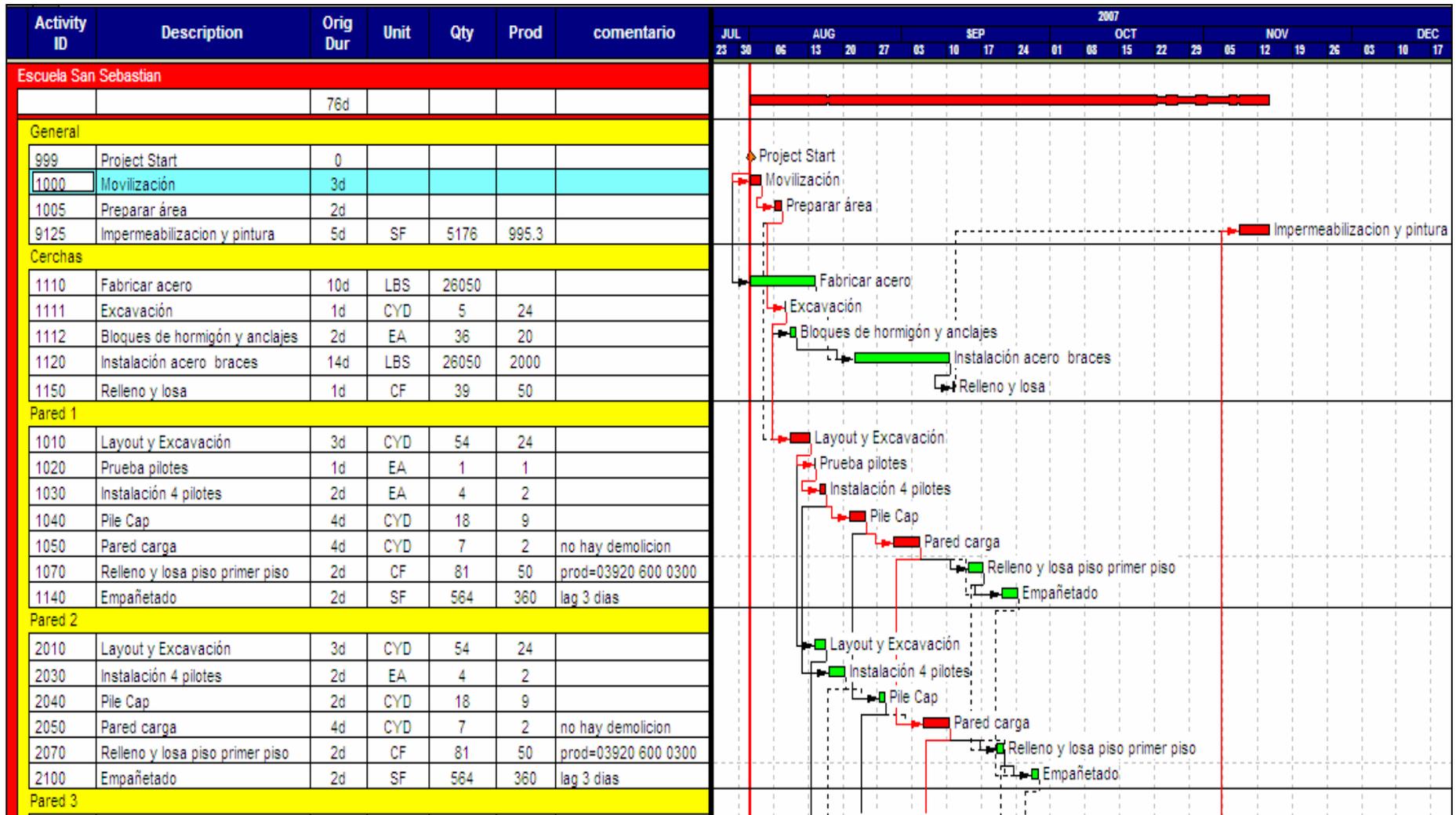


Figura 11: Programación actividades diseño EHRE para escuela San Sebastián

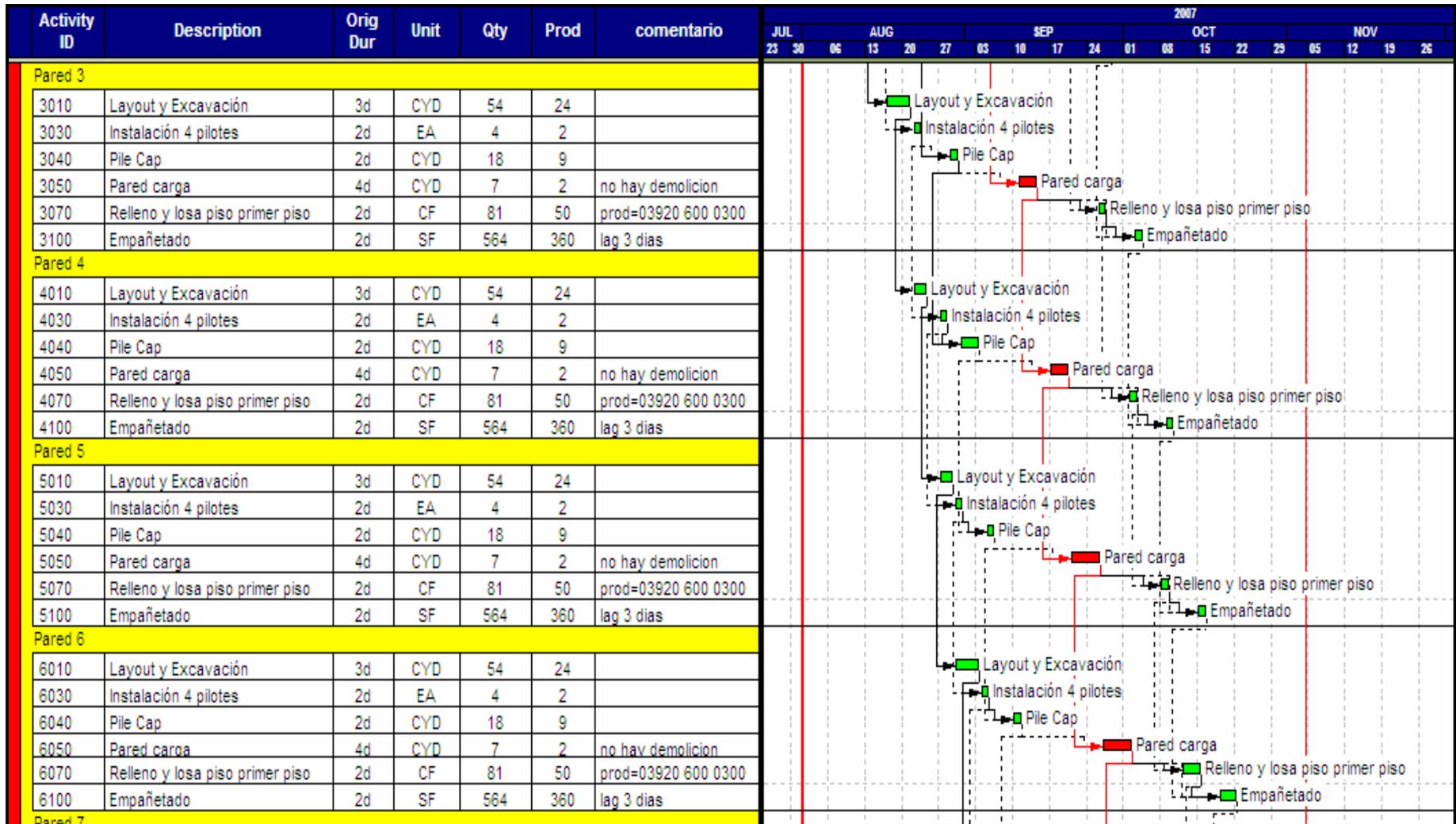


Figura 12: Continuación programación diseño EHRE escuela San Sebastián

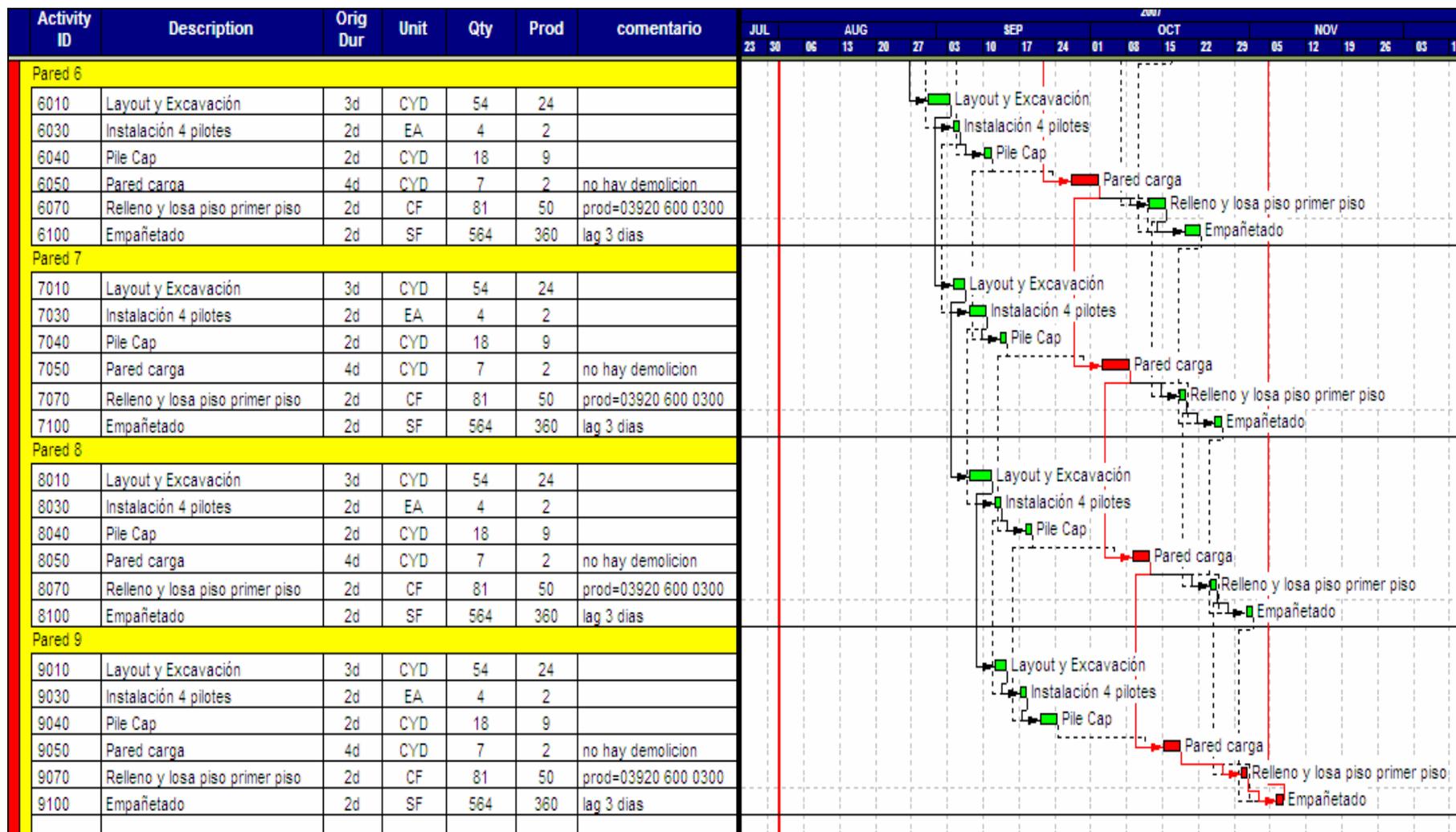


Figura 13: Continuación programación diseño EHRE escuela San Sebastián

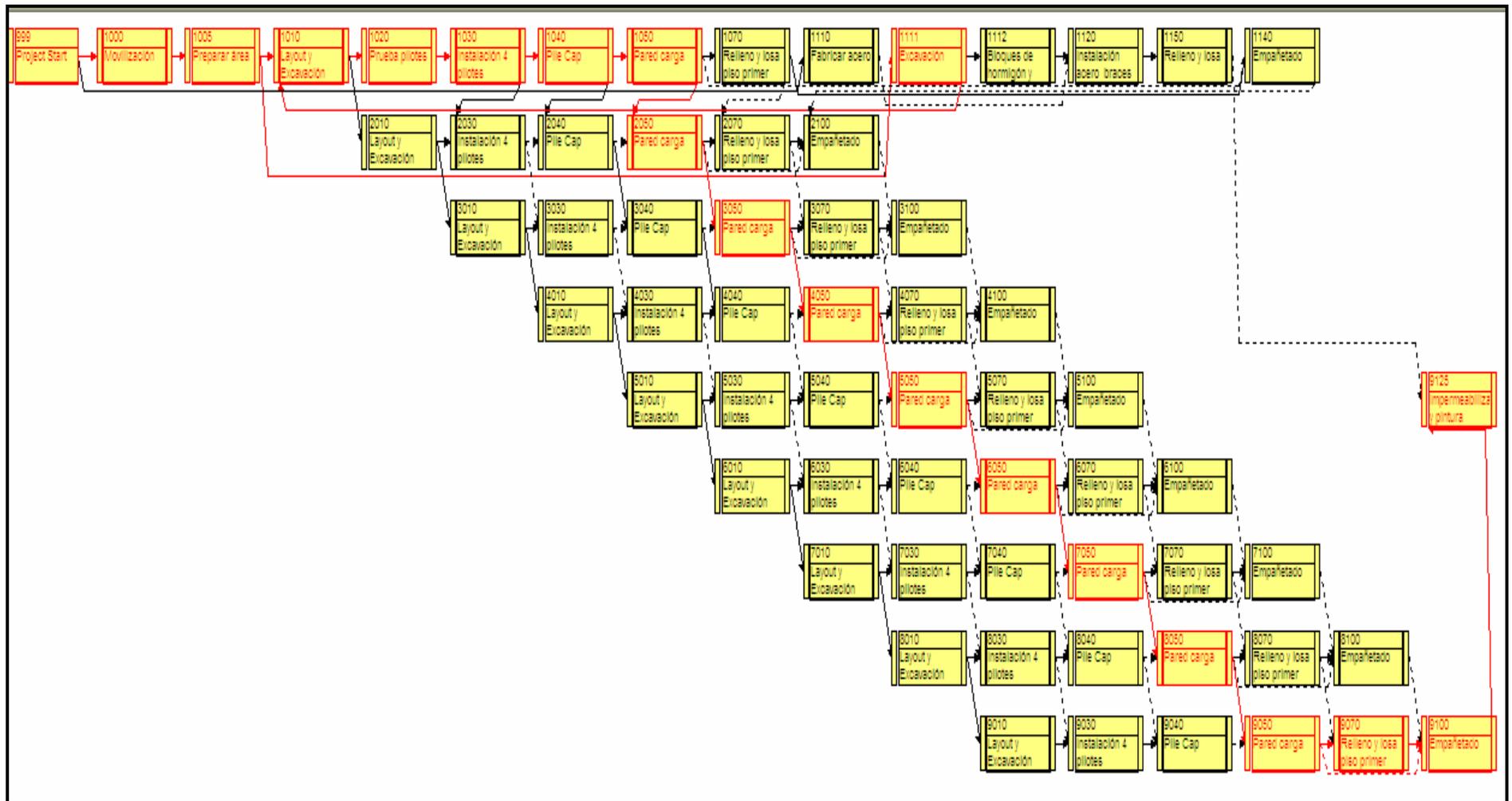


Figura 14: CPM para diseño elástico escuela San Sebastián. (elementos estructurales adicionales)

4.4 REPARACIÓN ESCUELA DESPUÉS DE PRESENTARSE UN EVENTO SÍSMICO.

Hasta este momento se han encontrado dos estimados de costos. Primero el costo que se requiere para rehabilitar la escuela para que este quede trabajando dentro del rango elástico de la estructura y segundo el costo que se requiere para construir la escuela nuevamente pero comportándose elásticamente. De esta manera solo falta encontrar el costo que se requiere para reparar la estructura después de presentarse un terremoto para poder analizar cual alternativa de las discutidas anteriormente es la más beneficiosa en términos de costos.

El programa de computador que se utilizó para llevar acabo el análisis no lineal dinámico fue PERFORMANCE 3D desarrollado por *CSI Computers and Structures*, el cual fue operado por el estudiante José Hernández, bajo la dirección del Dr. José Guevara.

Al igual que se hizo con el análisis lineal de la escuela, solo se modeló uno de los tres edificios que pertenecen a la escuela teniendo en cuenta que todos son estructuralmente similares y trabajan independientemente. Por lo tanto, se presume que los resultados obtenidos de la simulación de este edificio ante la presencia de un terremoto pasará en las otras dos edificaciones pertenecientes a la escuela San Sebastián.

El terremoto de diseño seleccionado para llevar acabo este estudio corresponde a un terremoto artificial desarrollado para el área de Mayagüez y San Juan por la estudiante Janira Irizarry Padilla (1999). El terremoto tiene una duración de 10.24 segundos y una aceleración pico del suelo (*peak ground acceleration PGA*) de 0.46 g.

El programa muestra que al someter la estructura al terremoto de diseño, la escuela falla en 8.44 segundos del inicio del terremoto, debido principalmente, a la falta de rigidez en una de las direcciones.

Por lo tanto, se asume que la estructura colapsa y es claro que no existe vía alguna para reparar la estructura. De esta manera, el estimado de reparación presentado para la escuela San Sebastián presenta los costos que se requieren para limpiar el solar y los costos de construir la escuela nuevamente (costo de reemplazo).

Es importante mencionar que para obtener el cálculo del estimado de costo de reparación sólo se tomó en consideración los costos de elementos estructurales y elementos no estructurales. No se tuvo en cuenta las cuantías que representan el contenido de la escuela.

Por otra parte como se trata de un estimado de costo de reparación basado en los daños producidos ante la presencia de un terremoto, es imposible predecir en que momento se presentará un evento como este, sin embargo, se sabe que el periodo de recurrencia de un terremoto para la Isla de Puerto Rico de acuerdo al código de construcción UBC es de aproximadamente de 78 años y que el ultimo terremoto de gran magnitud que se presento en la Isla fue en octubre del año 1918. En Puerto Rico entre 1670 y el presente han ocurrido cuatro terremotos de gran intensidad; en 1670, 1787, 1867 y 1918. Esto refleja un promedio de 83 años para terremotos destructivos. Sin embargo, hay que señalar que cada uno de estos eventos se generó a lo largo de una falla diferente, por lo que no se puede hacer una predicción sobre su recurrencia (Martínez et al. 2001; Clinton et al; 2006).

Por consiguiente dada la incertidumbre que hay acerca de predecir una fecha probable de un terremoto, con el fin de entregar un estimado de reparación fehaciente, se decidió hacer el estimado de reparación para la escuela San Sebastián presumiendo que el terremoto se presenta en la actualidad. Por lo tanto se utilizó para el cálculo del estimado los valores recomendados por la publicación RS Means (edición 2006) para encontrar el estimado de reparación.

Además se indican posibles valores de inflación en costos de construcción para Puerto Rico para 5, 10 y 20 años. Para hacer la predicción de estos valores de inflación se utilizó los índices de costos de construcción históricos de los últimos 50 años (1956 a 2006) suministrados por la publicación RS Means.

4.4.1 Estimado de Reparación

Como se mencionó anteriormente el resultado obtenido después de realizar el análisis no lineal dinámico, en el cual se somete la estructura a un terremoto, muestra que la estructura colapsa. Esto significa que el costo de reparación es igual al costo de reemplazo de la estructura más los costos que se incurren para limpiar el solar.

Para conseguir el costo de reemplazo primero se obtuvo el área en pies cuadrados de la estructura de la escuela San Sebastián. Posteriormente se multiplicó el área obtenida por el costo por pie cuadrado obtenido anteriormente de la Tabla 19, el cual corresponde a un costo de \$ 118.28 por pie cuadrado. Este costo por pie cuadrado corresponde a un promedio de costos de diferentes escuelas superiores en Puerto Rico que se obtuvo para el año 2003, por lo que se requirió utilizar los índices de costos históricos de construcción indicados en la publicación *Building Construction Cost Data (RS Means 2007)* para de esta manera obtener el costo de reemplazo para el año 2007. A continuación se muestran los cálculos:

- área construida Escuela San Sebastián = 39,660 ft²
- costo promedio por ft² = \$ 118.28 / ft²
- Costo escuela 2003 = 39,660 ft² * \$118.28/ft² = \$ 4,679,900
- Costo escuela 2006 = $\frac{155.9}{132} * \$ 4,679,900 = \$ 5,527,200$

Por último para completar el estimado de reparación se hizo un estimado de las labores de limpieza del solar para sumar al precio de reposición ya que se presume que la escuela se vuelve a construir en el mismo lugar.

Para realizar el estimado de costo de limpieza del solar de la escuela San Sebastián se asignaron una serie de partidas las cuales se obtuvieron de la publicación *Building Construction Cost Data (RS Means 2006)* y Bids de Puerto Rico. La Tabla 25 muestra las partidas seleccionadas de RS Means para obtener los costos directos del estimado, las cantidades que demandan cada partida y la unidad propuesta para cada partida de acuerdo RS Means. En la Tabla 26 se indican las partidas que hacen parte de los costos indirectos (Condiciones Generales) del proyecto y fueron obtenidos de la base de datos Bids de Puerto Rico.

Tabla 26: Partidas seleccionadas para obtener costos directos del estimado de limpieza del solar escuela SS

Partidas	Unidad	Cantidad
Demolición escuela sin incluir cimentación.	CF	445757
Demolición cimentación	LF	3304
Demolición losa de piso	SF	21744
Demolición concreto pavimento	SF	1320
Disposición escombros en sitio (cimentación)	CYD	616
Acarreo escombros	CYD	616
Movilización y desmovilización	EA	2
Movilización equipo pequeño	EA	2
Excavación para footings	CYD	632

La Tabla 27 muestra el estimado de costo para la limpieza del solar donde se observa los costos asignados a cada partida. El estimado indica que se requiere un costo de \$ 363,848 para limpiar el solar.

Tabla 27: Partidas seleccionadas para obtener los costos indirectos del estimado de limpieza solar escuela SS

Partidas	Unidad	Cantidad
Seguro de responsabilidad pública	Porc.	0.0052
Riesgo Contratista	Porc.	0.002
Fianzas	Porc.	0.021
Fondo seguro del estado	Porc.	0.071
Patente municipal	Porc.	0.004
Arbitrio municipal	Porc.	0.005
Herramientas pequeñas	Porc.	0.001
Caja menor	Porc.	0.0023
Layout	días	1

Tabla 28: Estimado costo de limpieza solar

Estimado de Costo limpieza solar Escuela San Sebastian										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	VALOR MANO DE OBRA	VALOR MATERIALES	VALOR EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSION
1. Condiciones Generales										\$ 28,459.00
Bids	Seguro Responsabilidad Pública	0.0052	Porc.						\$ 251,424.00	\$ 1,307.40
Bids	Riesgo Contratista (<i>Builders Risk</i>)	0.002	Porc.						\$ 251,424.00	\$ 603.42
Bids	Fianzas	0.021	Porc.						\$ 251,424.00	\$ 5,279.90
Bids	Fondo Seguro del Estado	0.071	Porc.						\$ 251,424.00	\$ 17,851.10
Bids	Patenta Municipal	0.004	Porc.						\$ 251,424.00	\$ 1,005.70
Bids	Arbitrio Municipal	0.005	Porc.						\$ 251,424.00	\$ 1,257.12
Bids	Herramientas pequeñas	0.001	Porc.						\$ 251,424.00	\$ 125.71
Bids	Caja menor	0.0023	Porc.						\$ 251,424.00	\$ 578.28
Bids	Layout	1	dias	450					\$ 450.00	\$ 450.00
2 Solar (Site)										\$ 251,424.00
Excavación										
02305-250	Movilización y Desmovilización	2	EA		56.5	112	0.984	1.160	\$ 175.75	\$ 351.50
02305-250	Movilización equipo pequeño	2	EA		27.5	10.65	0.984	1.160	\$ 42.38	\$ 84.76
02315-462	Excavación para footings	632	CYD	9.55		6.10	0.984	1.160	\$ 15.40	\$ 9,732.55
Demoliciones										
02220-110	Demolicion Escuela (no incluye cimentación)	445757	CF	0.13		0.15	0.984	1.160	\$ 0.28	\$ 122,814.97
02220-130	Demolición cimentación	3304	LF	8.5		4.71	0.984	1.160	\$ 13.00	\$ 42,947.51
02220-130	Demolicion losa de piso	21744	SF	2.22		0.29	0.984	1.160	\$ 2.47	\$ 53,704.20
02220-130	Demolición concreto pavimento	1320	SF	2.97		0.39	0.984	1.160	\$ 3.31	\$ 4,364.24
02220-130	Disposición escombros (cimentación)	616	CYD	2.21		3.97	0.984	1.160	\$ 6.08	\$ 3,742.93
02315-490	Acarreo escombros	616	CYD	3.89		8.68	0.984	1.160	\$ 12.37	\$ 7,619.23
Bids	Impuesto municipal vertedero-dato de Bids	616	CYD	10.00			0.984	1.160	\$ 9.84	\$ 6,061.44
Sub total Costos Directos										\$ 251,424.00
Costos Indirectos del proyecto										\$ 28,459.00
SubTotal										\$ 279,883.00
	Indirectos del Contratista y Ganancia	0.300	PC						\$ 279,883.00	\$ 83,965.00
Costo Total										\$ 363,848.00

Por lo tanto, de los resultados conseguidos anteriormente el estimado de reparación para la escuela San Sebastián para el año 2006 resulta de sumar el costo de reemplazo más el estimado de costo de limpiar el solar. Los cálculos se muestran a continuación:

- Costo de reemplazo escuela San Sebastián (2006) = \$ 5, 527,200
- Estimado costo limpieza solar (2006) = \$ 363,848
- Estimado de reparación (2006)= \$ 5, 527,200 + \$ 363,848 = **\$ 5, 891,048**

Sin embargo el estimado de costo de reparación encontrado sólo refleja el costo que se tendría si el terremoto ocurriera en el año 2006. Para tener una idea de cuanto podría representar este costo de \$5,891,048 en cinco, diez y veinte años se emplearon los índices históricos de construcción de los últimos cincuenta años suministrados por la publicación RS Means para extrapolar y estimar los índices futuros. La Tabla 28 muestra los índices históricos de costos de construcción proporcionados por RS Means desde

el año 1956 hasta el año 2006, utilizados para estimar los posibles valores de inflación para los años 2012, 2017 y 2027.

Tabla 29: Índices de costos históricos de construcción.
(adaptado de RS Means Building Construction Cost Data 2006)

Año	índice	Año	índice	Año	índice	Año	índice
2007		1994	104.4	1981	70	1968	24.9
2006	162	1993	101.7	1980	62.9	1967	23.5
2005	151.6	1992	99.4	1979	57.8	1966	22.7
2004	143.7	1991	96.8	1978	53.5	1965	21.7
2003	132.0	1990	94.3	1977	49.5	1964	21.2
2002	128.7	1989	92.1	1976	46.9	1963	20.7
2001	125.1	1988	89.9	1975	44.8	1962	20.2
2000	120.9	1987	87.7	1974	41.4	1961	19.08
1999	117.6	1986	84.2	1973	37.7	1960	19.7
1998	115.1	1985	82.6	1972	34.8	1959	19.3
1997	112.8	1984	82	1971	32.1	1958	18.8
1996	110.2	1983	80.2	1970	28.7	1957	18.4
1995	107.6	1982	76.1	1969	26.9	1956	17.6

Lo primero que se hizo para estimar estos valores de inflación fue graficar los valores mostrados en la Tabla 28. La Figura 15 muestra la curva obtenida. En el eje y se encuentran indican los índices de construcción y en eje x se muestra el año al cual hace referencia cada índice.

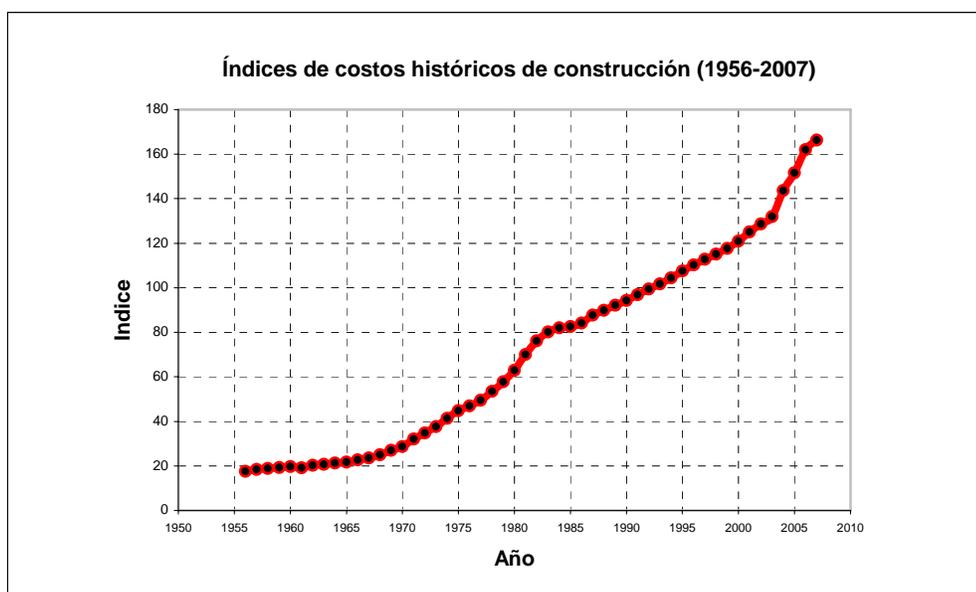


Figura 15: Índices de costos históricos de construcción (1956-2006)

Posteriormente con ayuda del programa Excel, se encontró la curva de tendencia que más se ajuste a la curva obtenida (Figura 16). Con la curva de tendencia (color azul) se estimó los posibles índices de construcción para los años 2012, 2017 y 2027. La ecuación que resultó de esta curva fue la siguiente:

- $y = 0.0302x^2 - 116.8x + 112938$ con un factor de determinación $R^2 = 0.9849$

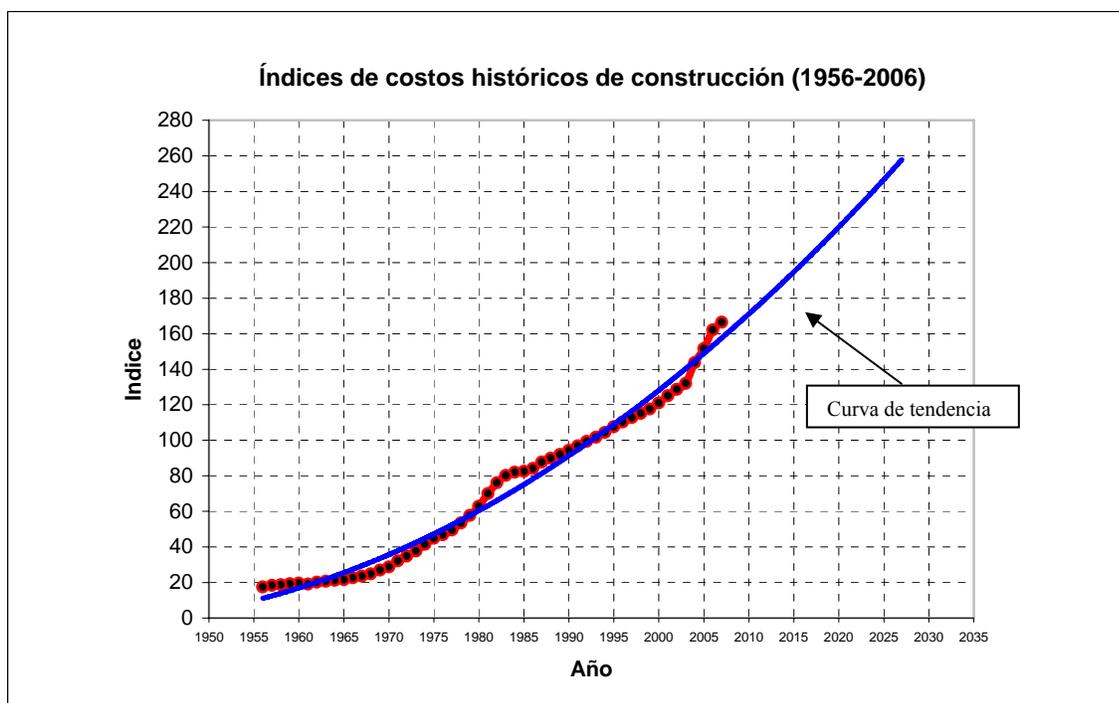


Figura 16 : Curva de tendencia de los índices de costo de construcción

Teniendo en cuenta que en la ecuación la variable independiente (x) representa el año al cual estamos buscando el índice de costo y que la variable dependiente (y) indica el índice que deseamos encontrar. Por lo tanto, tabulando para los años deseados se obtuvo los siguientes índices (Tabla 29).

Tabla 30: Índices de costo de construcción probables para los años 2012, 2017 y 2027

Año	Índice de costo de construcción
2012	190.35
2017	214.73
2027	268.02

De esta manera, con los índices encontrados y respecto al índice de costo del 2006 podemos encontrar la posible inflación para los años en cuestión. Las posibles inflaciones son las siguientes:

- Inflación 2012 = $\frac{190.35-162}{162} * 100\% = 17.5 \%$
- Inflación 2017 = $\frac{214.73-162}{162} * 100\% = 32.55 \%$
- Inflación 2027 = $\frac{268.02-166.3}{166.3} * 100\% = 65.44 \%$

Finalmente con estos porcentajes de inflación probables, se obtuvo los costos probables de reparación de la escuela San Sebastián si se presentará un terremoto en estas fechas. Los cálculos se muestran a continuación:

- Costo de reparación Escuela. SS. (2006) = \$ 5, 891,000
- Costo de reparación Escuela. SS. (2012) = \$ 5, 891,000 * (1 + 17.50%) = \$ 6,921,925
- Costo de reparación Escuela. SS. (2017) = \$ 5, 891,000 * (1 + 32.55%) = \$ 7,808,520
- Costo de reparación Escuela. SS. (2027) = \$ 5, 891,000 * (1 + 65.44%) = \$ 9,746,070

Lo anterior se resume en la Tabla 30.

Tabla 31: Costos de reparación probables usando los índices de la curva de tendencia para los años 2006, 2012, 2017 y 2027

Año	Costo de reparación (\$)
2006	\$ 5, 891,048
2012	\$ 6,921,925
2017	\$ 7,808,520
2027	\$ 9,746,070

Para llevar a valor presente (VP) los estimados de costo de reparación indicados en la Tabla 30, se decidió utilizar como tasa de descuento el valor sugerido por la OMB (*Office of Managment and Budget*) en su Apéndice C Circular A-94 el cual indica las siguientes tasas de descuento (Tabla 31):

Tabla 32: Tasas de descuento sugeridos por la OMB

Años	Tasa de descuento
3 Años	3.8%
5 Años	3.9%
7 Años	4.0%
10 Años	4.0%
30 Años	4.2%

De la Tabla se concluye que la tasa de descuento a utilizar es del 4 por ciento. La ecuación para obtener el VP es la siguiente:

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n} = VF * \frac{1}{(1+i)^n}$$

Los costos de reparación descontados al 2007 se muestran a continuación en la Tabla 32.

Tabla 33: Costos de reparación descontados

Año	VF= Costo reparación	n	i	1/(1+i) ⁿ	VP= Costo reparación 2006
2012	\$ 6,921,925	5	4%	0.8219	\$5,689,130.16
2017	\$ 7,808,520	10	4%	0.6755	\$5,274,655.60
2027	\$ 9,746,070	20	4%	0.4564	\$4,448,106.53

Se puede notar de los resultados que los costos de reparación descontados al año 2007 para los años 2012, 2017 y 2027 están por debajo del costo de reparación de la escuela para el año 2006 que es de \$5,891,000.

4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis mostrado a continuación pretende ver cuanto más beneficioso en terminos de costos de construcción es cada una de las alternativas presentadas en este capítulo. Es decir, distinguir los beneficios de cada uno de los siguientes escenarios estudiados:

- rehabilitar la escuela pre-evento sísmico,

- construir estructura originalmente para que elementos en hormigón armado tengan comportamiento elastico (EHRE) y
- dejar la escuela tal y como fue diseñada en su momento de construcción y estimar los costos de reparación despues de presentarse un terremoto.

4.5.1 Analisis resultados

Partiendo del año 2006 los estimados obtenidos son los siguientes:

- estimado de costo escuela 2006 = \$ 5, 527,200
- rehabilitación escuela = \$ 787,174
- estimado de costo construir escuela elásticamente 2006 = \$ 6, 082,075
- estimado costo de reparación 2006 = \$ 5, 891,000

De acuerdo a estas cifras y teniendo en cuenta el costo de la escuela en el año 2006 se indican el costo que demanda cada alternativa de diseño para poder establecer cual es la más conveniente en términos de costo de construcción.

1) Rehabilitación Escuela

- costo escuela 2006 = \$ 5, 527,200
- costo rehabilitación 2006 = \$ 787,174
- costo alternativa 2006= \$ 5,527,200 + \$ 787,174 = **\$ 6, 314,374**

2) Estimado de costo construir escuela elásticamente

- costo escuela 2006 = \$ 5, 527,200
- costo de los elementos estructurales adicionales 2006 = \$ 554,875
- costo alternativa = \$ 5, 527,200 + \$ 554,875 = **\$ 6 ,082,075**

3) Estimado de costo estructura después de un terremoto

- costo escuela 2006 = \$ 5, 527,200
- estimado costo limpieza solar 2006 = \$ 363,840
- costo reemplazo 2006= \$ 5, 527,200 + \$ 363,840 = \$ 5, 891,040
- costo alternativa 2006 = \$ 5, 527,200 + \$ 5, 891,040 = **\$ 11,418,240**

Con la información anterior podemos decir que para este caso solo se puede comparar los costos de las alternativas 1 y 3 para saber cual es más viable, ya que la escuela San Sebastián está actualmente construída. De esta manera, comparando los costos de ambas alternativas, es claro que la alternativa que se refiere a rehabilitar la escuela es la más económica en términos de costos de construcción. Por lo tanto, con base en los resultados del análisis no lineal que mostró que la estructura colapsa ante la presencia de evento sísmico, se recomienda rehabilitar la escuela. Además el costo de rehabilitación de la estructura representa sólo un 15 por ciento del costo de construcción de la escuela. El resultado de que la escuela colapsa nos indica que la escuela no fue diseñada correctamente originalmente. Como se mencionó la filosofía de diseño indica que el diseño por el código actual permite cierto nivel de daños pero debería prevenir colapso.

La alternativa 2 nos revela que si se tuviera que construir una escuela con características similares a la escuela San Sebastián, se debería considerar construir esta elásticamente dado que la diferencia en costo con respecto a construirla bajo condiciones de diseño que sugiere el código UBC es tan solo de \$ 554, 900 el cual representa tan solo un 10 por ciento mas del costo de construcción de la escuela.

Finalmente la alternativa tres que se refiere a dejar la escuela sin hacer nada muestra que se incurriría en un alto costo después de verse la estructura sometida a un terremoto. Se observa que el costo casi se duplica con respecto a las otras dos alternativas ya que el costo de esta alternativa resulta de sumar, el estimado de costo de reparación más el costo de la escuela en el año 2006.

Para hacer un análisis completo de cual alternativa es mas beneficiosa se requiere incluir otros factores, como por ejemplo los costos que tendrá la estructura a lo largo de su vida, los costos de operación, mantenimiento, costos de ingresos que deja de recibir por motivos de rehabilitación, o reparación, costos de perdidas de equipos, perdidas de vidas humanas etc. Que están fuera del alcance de este estudio.

CAPÍTULO V: ESCUELA SUPERIOR URBANA LAS PALMAS

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se incluyen, siguiendo los objetivos de este trabajo de investigación, los siguientes estimados de costos:

- Estimado de costo de rehabilitación de la escuela Las Palmas,
- Estimado de costo de construir nuevamente la estructura para que elementos en hormigón armado trabajen elásticamente (EHRE).
- Estimado de reparación escuela Las Palmas después de presentarse un terremoto.

También se muestra la programación de las actividades para los proyectos de rehabilitación y diseño elástico de la escuela Las Palmas.

Al final del capítulo se hace una discusión de los resultados obtenidos.

Debido a la similitud que existe entre la escuela Las Palmas y la escuela San Sebastián se decidió para este capítulo no repetir las definiciones de los términos que se utilizaron en el Capítulo IV. Por consiguiente, se recomienda al lector que se remita a los Capítulos II y IV para buscar las definiciones de los términos utilizados en este capítulo. El procedimiento para obtener los estimados de costos y la programación de las actividades fue el mismo que se utilizó en la escuela San Sebastián.

5.2 ESCUELA LAS PALMAS

La escuela Las Palmas se encuentra ubicada en la ciudad de Cataño. Está compuesta por cuatro estructuras de las cuales tres son de dos pisos y una de un piso. Las estructuras constan de losas en una dirección soportadas por columnas de concreto de 12 pulgadas por 24 pulgadas que están espaciadas cada 12 pies. Cada estructura mide aproximadamente 36 pies de ancho con un voladizo de 6 pies y tiene dos muros de concreto reforzado en la dirección transversal. Las estructuras están soportadas por pilotes los cuales están fijos a las zapatas. El modelo estructural se muestra en la Figura 17.

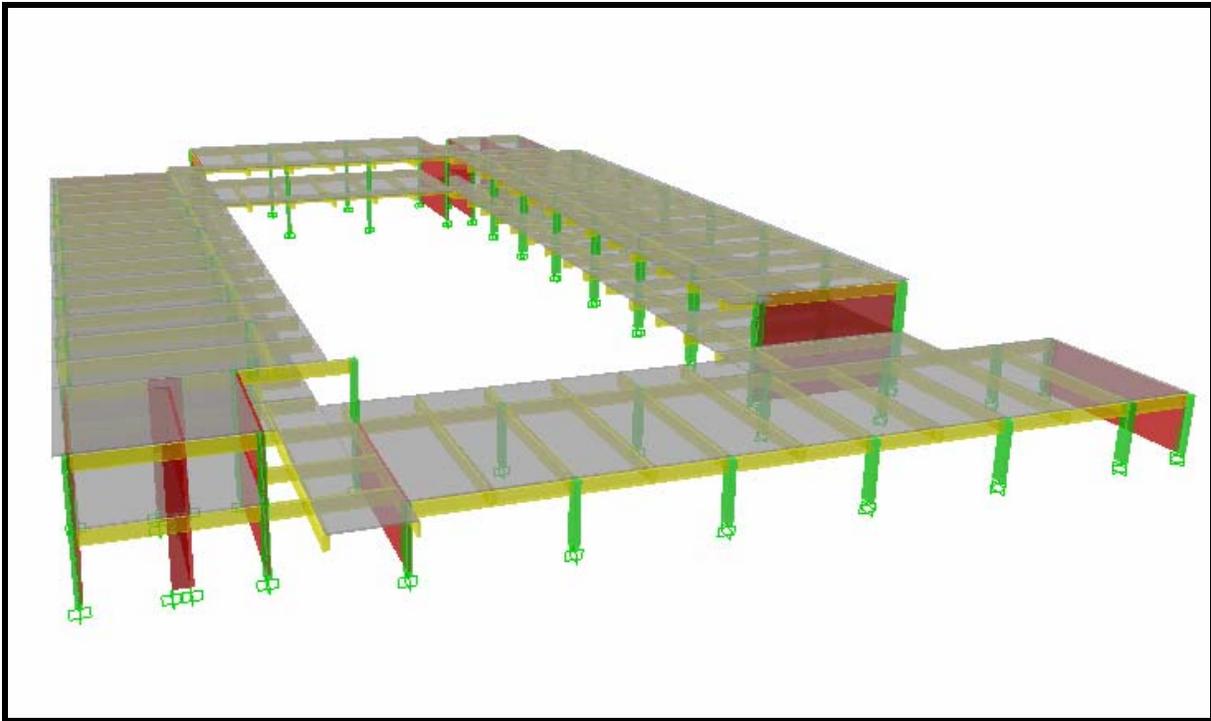


Figura 17: Modelo estructural de la escuela Las Palmas (adaptado de Hernández 2007)

5.3 REHABILITACIÓN PARA LOGRAR UN COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

La rehabilitación propuesta se hizo en base en los resultados obtenidos por Hernández (2007) del análisis lineal de la escuela. Al igual que en la escuela San Sebastián, se empleó el programa ETABS desarrollado por “*Computer and Structures*” con el fin de verificar la vulnerabilidad de la estructura. Se aplicaron en el análisis lineal los siguientes parámetros:

El análisis lineal de la estructura se realizó tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- **carga Viva;** 50 psf en salones y 20 psf en el techo
- **carga Muerta;** El programa toma en cuenta el peso propio de los elementos de la estructura. Además de esto, se realizó el conteo de las paredes de bloques y otros elementos que no forman parte de la estructura y se incluyó esto en la carga muerta.
- **carga Lateral;** Se utilizó la carga lateral que genera el programa para el código vigente dado los siguientes parámetros:

- perfil del Suelo: SD
- factor de Zona Sísmica: 0.3
- periodo de la estructura: Calculado por el programa para un $C_t = 0.03$
- factor de Importancia : 1.25
- factor R: 2

Se colocaron las cargas laterales en las direcciones de los dos ejes (x e y) con y sin excentricidad para un total de cuatro posibles cargas laterales.

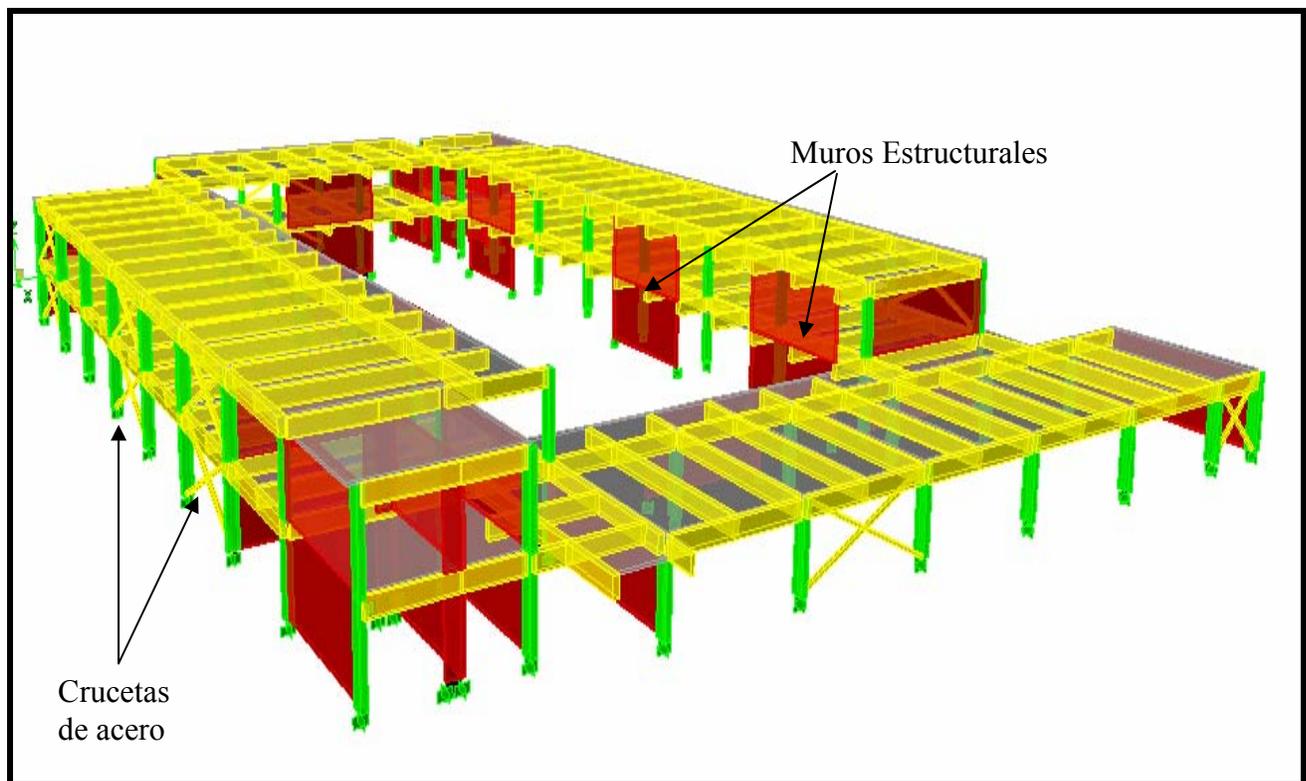


Figura 18: Rehabilitación propuesta para la escuela Las Palmas. (adaptado de Hernández (2007))

Los resultados del análisis lineal proponen incorporar 6 muros estructurales de 8 pulgadas de espesor y 24 de pies de longitud y la utilización de 6 crucetas de acero (*steel trusses*) de sección tubular HSS 6x6x 1/4, distribuidos en las 4 estructuras de la escuela con el objetivo de aumentar la rigidez lateral de las estructuras y lograr de esta manera un comportamiento elástico. También se recomienda separar las

cuatro estructuras por medio de juntas expansivas con el fin de reducir la torsión que se produce. En la Figura 19 se puede observar el esquema de rehabilitación propuesto para la edificación.

5.3.1 Estimado Costo de Rehabilitación

Siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó para la escuela San Sebastián, primero se evaluaron los planos estructurales, arquitectónicos, hidráulicos y mecánicos con el fin de estimar las cantidades de cada una de las partidas. Luego se identificaron las partidas tomando como base las divisiones del *Master Format* del 95 y se encontraron los costos de cada una de estas partidas utilizando la fuente de información de precios unitarios de construcción *RMeans*. Como se mencionó anteriormente para los siguientes estimados de costo se utilizó únicamente ésta fuente de información.

El estimado de costo de rehabilitación se divide en:

- costos directos,
- costos indirectos del proyecto,
- costos indirectos y ganancia del contratista, y
- factor de Ingeniería.

5.3.1.1 Costos Directos

Las divisiones del *Master Format* que se utilizaron para obtener el costo directo de este estimado de costo son: 2-Solar, 3-Hormigón, 5-Metal y 9-Terminaciones. Las partidas asignadas fueron modificadas por los factores de rehabilitación. Dichos factores provocan un aumento en el costo de cada una de las partidas seleccionadas en el estimado de costos. Para el costo de los pilotes se utilizó una cotización de un suplidor local ya que es un trabajo bien especializado.

En la Tabla 33 se muestran las partidas seleccionadas para obtener los costos directos del estimado de costo de rehabilitación de la escuela Las Palmas.

Tabla 34: Partidas utilizadas para el cálculo de los costos directos de la escuela Las Palmas

Partidas de construcción	
2. Solar	Pilotes
Excavación	<i>Markup over Subcontract</i>
Movilización y desmovilización	3. Hormigón
Movilización equipo pequeño	Losa
Excavación para zapatas	Losa primer piso
Compactación	Losa segundo piso
Relleno para fundación	Cubierta
Retiro de tierra no útil (colocar en camión)	Pavimento concreto
Retiro de tierra no útil (transporte)	Junta expansiva sísmica
Demoliciones	Muros de corte (<i>shear wall</i>)
Demolición losa primer piso	Muros de corte
Demolición losa segundo piso	Pile Cap
Demolición losa cubierta	<i>Pile Cap</i>
Demolición pavimento de concreto	Bloques hormigón para anclar cerchas
Demolición parapeto segundo piso y pretil cubierta	5. Metales
Cortar losa primer piso	Acero Estructural
Cortar losa segundo piso	Placas, conexiones etc.
Cortar losa cubierta	Anclajes
Cortar pavimento de concreto	9. Terminaciones
Cortar losa para bloques hormigón	Pulido de Pisos
Acarreo escombros	<i>Interior Cement Plaster Walls</i>
Corte junta expansión (1")	<i>Exterior Cement Plaster Walls</i>
Impuesto municipal vertedero	Pintura primer interiores
Pilotes	Pintura primer exteriores
<i>Subcontractor Mobilization & Insurance</i>	Limpieza
<i>Layout Pilotes</i>	Impermeabilización de techo
Test Pilote	<i>Epoxy</i>

El precio unitario de cada partida, los porcentajes de incremento debido a los factores de rehabilitación, así como el total de los costos directos se muestran más adelante en las secciones donde se muestran los estimados de costo.

5.3.1.2 Costos Indirectos del Proyecto

Las partidas que forman parte de los costos indirectos del proyecto (Tabla 34) hacen referencia a la división uno del *Master Format del 95* Condiciones Generales (*General Conditions*) y fueron obtenidas de la base de datos Bids de Puerto Rico ya que se consideran más precisas debido a que considera aspectos locales.

Tabla 35: Partidas utilizadas para el cálculo de los costos indirectos escuela Las Palmas

Partidas de construcción para calculo costo indirecto	
1. Condiciones Generales	Ingeniero de proyecto
Oficina de campo temporera	<i>General Foreman</i>
Seguro Responsabilidad Pública	Secretario de Oficina
Seguro Riesgo Contratista	Verja temporera (6 ft. altura)
Fianzas	Facilidades agua potable
Fondo Seguro del Estado	CPM (<i>critical path method</i>)
Patente Municipal	Avance de Progreso
Arbitrio Municipal	Conexiones agua
Rótulo proyecto	Conexiones eléctricas
Seguridad 1 turno	<i>Trailer</i> para oficinas
Teléfono y fax	<i>Trailer</i> para almacén
Herramientas pequeñas	Limpieza diaria
Laboratorio pruebas	Caja menor
Punch list	<i>Layout</i>

5.3.1.3 Costos Indirectos y Ganancia del Contratista

La ganancia y costos directos del contratista se expresan usualmente como un porcentaje de los costos directos del proyecto. Al igual que en la escuela San Sebastián se utilizó el porcentaje máximo propuesto por la publicación RS Means (*Repair and Remodeling Cost Data 2004*) que equivale a un porcentaje del 30 por ciento de los costos directos.

5.3.1.4 Factor de Ingeniería

Cómo se discutió anteriormente, el factor de ingeniería se estimó con base en valores recomendados por CIAPR y se indicó que los honorarios y servicios sugeridos para proyectos de rehabilitación se encuentran dentro de la categoría cinco.

Como se verá más adelante el resultado de sumar los costos directos, costos indirectos del proyecto y la ganancia del contratista para este proyecto de rehabilitación fue de \$ 654,081. Por lo tanto de acuerdo a la Tabla 10 mostrada en el capítulo IV los honorarios y servicios sugeridos durante la construcción para la categoría II son:

- Honorarios = \$ 63,327
- Servicios durante la construcción = \$ 14,566

La suma de ambos valores = \$ 63,327 + \$ 14,566 = \$ 77,893

Por lo tanto el porcentaje para proyectos Categoría II = $\frac{\$ 77,893}{\$ 644,304} \times 100 = 12.08\%$

El CIAPR indica que para encontrar el factor correspondiente a la categoría V, se debe multiplicar el valor encontrado para la categoría II por 1.30. De esta manera el factor de ingeniería a utilizar para nuestro cálculo del estimado de coste es el siguiente:

- Factor Ingeniería = $12.08 * 1.30 = 15.70\%$

5.3.1.5 Estimado Costo Rehabilitación

El estimado de costo de rehabilitación está dividido en:

- costos directos,
- costos indirectos del proyecto,
- costos indirectos y ganancia del contratista y
- factor de Ingeniería

A continuación se muestra el estimado de costo de rehabilitación de la escuela superior Las Palmas. El costo final obtenido fue de \$ 744,043.

El estimado de costo se muestra por partes debido al tamaño de este. La Tabla 35 muestra los costos correspondientes a la división Condiciones Generales, que como se mencionó antes, hacen referencia a los costos indirectos del proyecto. La Tabla 36 contiene los costos de la división Solar y finalmente la Tabla 37 indica los costos de las divisiones: Hormigón, Metales y Terminaciones, además de los costos indirectos del proyecto, costos indirectos y ganancia del contratista, el ajuste por factor de ingeniería y el costo total del proyecto.

Tabla 36: División Condiciones Generales para el estimado de costo de rehabilitación escuela Las Palmas

Estimado de Costo Rehabilitacion Esc. Las Palmas										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	Condiciones Generales									\$ 128,642.00
Bids	Oficina de campo temporera	1	EA	1,500.00	5,500.00				7,000.00	\$ 7,000.00
Bids	Seguro Responsabilidad Pública	0.0052	Porc.						503,139.00	\$ 2,616.32
Bids	Riesgo Contratista (<i>Builders Risk</i>)	0.002	Porc.						503,139.00	\$ 1,207.53
Bids	Fianzas	0.021	Porc.						503,139.00	\$ 10,565.92
Bids	Fondo Seguro del Estado	0.071	Porc.						164,649.25	\$ 11,690.10
Bids	Patenta Municipal	0.004	Porc.						503,139.00	\$ 2,012.56
Bids	Arbitrio Municipal	0.005	Porc.						503,139.00	\$ 2,515.70
Bids	Rótulo proyecto	1	EA	225.00	875.00				1,100.00	\$ 1,100.00
Bids	Seguridad 1 turnos	6	Mes	1,500.00					1,500.00	\$ 9,000.00
Bids	Teléfono y fax	6	Mes			240.00			240.00	\$ 1,440.00
Bids	Herramientas pequeñas	0.001	Porc.						503,139.00	\$ 251.57
Bids	Laboratorio pruebas	0.003	Porc.						503,139.00	\$ 1,257.85
Bids	<i>Punch list</i>	0.002	Porc.						503,139.00	\$ 1,157.22
Bids	Ingeniero de proyecto	6	Mes	4,200.00					4,200.00	\$ 25,200.00
Bids	<i>General Foreman</i>	6	Mes	3,150.00					3,150.00	\$ 18,900.00
Bids	Secretario de Oficina	6	Mes	1,575.00					1,575.00	\$ 9,450.00
Bids	Verja temporera (6" height)	300	LF	5.00	9.50				14.50	\$ 4,350.00
Bids	Facilidades agua potable	6	Mes	115.00	150.00				265.00	\$ 1,590.00
Bids	<i>Critical path method (cpm)</i>	0.0023	Porc.						503,139.00	\$ 1,157.22
Bids	<i>Progress schedule</i>	0.0024	Porc.						503,139.00	\$ 1,207.53
Bids	Conexiones agua	1	LS	185.00					185.00	\$ 185.00
Bids	Conexiones eléctricas	1	LS	160.00					160.00	\$ 160.00
Bids	<i>Trailer para oficinas</i>	6	Mes		780.00				780.00	\$ 4,680.00
Bids	<i>Trailer para almacén</i>	6	Mes	245.00					245.00	\$ 1,470.00
Bids	Limpieza diaria	6	Mes	950.00	45.00				995.00	\$ 5,970.00
Bids	Caja menor	0.0023	Porc.						503,139.00	\$ 1,157.22
Bids	<i>Layout</i>	3	dias	450					450	\$ 1,350.00

Tabla 37: División Solar para el estimado de costo de rehabilitación escuela Las Palmas

Estimado de Costo Rehabilitacion Esc. Las Palmas										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	1 Solar (Site)									\$ 251,636.00
02305-250-0020	Movilización y desmovilización	2	EA		56.5	112	0.984	1.160	175.75	\$ 351.50
02305-250-1100	Movilización equipo pequeño	2	EA		27.5	10.65	0.984	1.160	42.38	\$ 84.76
02315-462-6030	Excavación	519	CYD	9.55		6.10	0.984	1.160	43.31	\$ 22,477.52
02315-320-0600	Compactación	335	ECY	1.10		0.13	0.984	1.160	4.43	\$ 1,482.39
02315-120-2020	Relleno para fundación	335	LCY	0.41		0.33	0.984	1.160	1.93	\$ 645.34
02315-462-9026	Retiro de tierra no útil (colocar en camión)	184	LCY	1.4325		0.61	0.984	1.160	6.20	\$ 1,140.11
02315-490-0560	Retiro de tierra no útil (transporte)	184	LCY	5.8		12.2	0.984	1.160	34.66	\$ 6,377.88
Demoliciones										
02220-130-0280	Demolición losa primer piso	1728	SF	2.37		0.31	0.984	1.160	9.56	\$ 16,525.55
02220-130-0400	Demolición losa segundo piso	240	SF	2.97		0.39	0.984	1.160	11.99	\$ 2,876.64
02220-130-0400	Demolición losa cubierta	80	SF	2.97		0.39	0.984	1.160	11.99	\$ 958.88
02220-130-2040	Demolición Parapeto Segundo Piso y pretil cubierta	695	SF	1.29		1.29	0.984	1.160	6.31	\$ 4,384.56
02220-130-0400	Demolición pavimento de concreto	1620	SF	2.97		0.39	0.984	1.160	11.99	\$ 19,417.33
02220-130-4200	Disponer en site	25	CYD	2.21		3.97	0.984	1.160	12.54	\$ 313.50
02220-360-0400	Cortar losa primer piso	312	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	2.73	\$ 851.23
02220-360-0400	Cortar losa segundo piso	144	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	2.73	\$ 392.88
02220-360-0400	Cortar losa cubierta	120	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	2.73	\$ 327.40
02220-360-0400	Cortar losa para bloques hormigón	53	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	2.73	\$ 144.60
02220-360-0400	Cortes Junta expansión (1")	273.0	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	2.73	\$ 744.83
02315-490-0550	Acarreo escombros	50	CYD	3.89		8.68	0.984	1.160	23.74	\$ 1,186.87
Bids	Impuesto municipal vertedero-dato de Bids	50	CYD	10.00			1.000	1.000	39.70	\$ 1,985.00
Factores de ajuste para Rehabilitación										
01250-400-0500	<i>Cut & Patch to match existing constructions</i>	1	Porc.	0.09	0.05					
01250-400-2350	<i>Temporary Shoring and bracing</i>	1	Porc.	0.12	0.05					
01250-400-1750	<i>Protection of existing work</i>	1	Porc.	0.07	0.05					
01250-400-0850	<i>Dust & noise protection</i>	1	Porc.	0.11	0.04					
01250-400-1150	<i>Equipment usage curtailment</i>	1	Porc.	0.1	0.03					
	Suma Factores			0.49	0.22					
Pilotes										
Gabriel Fuentes	<i>Subcontractor Mobilization & Insurance</i>	1	LS						20997.58	\$ 20,997.58
01107-700-1100	<i>Layout Pilotes</i>	1	DAY	565		58	0.891	0.000	555.09	\$ 555.09
Gabriel Fuentes	<i>Pilotes</i>	24	EA			5075	1.000	1.000	5,075.00	\$ 121,800.00
Gabriel Fuentes	<i>Test Pilote</i>	1	EA			18800	1.000	1.000	18,800.00	\$ 18,800.00
Gabriel Fuentes	<i>Markup over Subcontract</i>	0.15	PC						45,427.67	\$ 6,814.15

Total Unitario= (C.Mano de obra x Ajuste Mano de Obra y Equipo) + (C.Mano de Obra x (1 + Factor Rehabilitación Mano de obra)) + (C.Equipo x Ajuste Mano de Obra y Equipo) + (C. Material x Ajuste Material) x (1 + Factor Rehabilitación Materiales)

Tabla 38: División Hormigón, Metales y Terminaciones para el estimado de costo de rehabilitación escuela Las Palmas

Estimado de Costo Rehabilitacion Esc. Las Palmas											
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN	
3 Hormigón											\$ 96,402.00
losa											
03310-240-4650	Losa primer piso	27	CYD	50.5	106	0.35	0.225	1.145	177.56	\$	4,734.88
03310-240-2700	Losa segundo piso	4.5	CYD	360	245	0.35	0.225	1.145	493.49	\$	2,220.71
03310-240-2700	Losa cubierta	1.5	CYD	360	245	0.35	0.225	1.145	493.49	\$	740.24
02750-300-0020	Pavimento concreto	180	SY	0.91	21.5	0.9	0.225	1.145	33.01	\$	5,941.59
03310-240-5900	Pile Cap	181	CYD	50.5	139	0.28	0.225	1.145	227.42	\$	41,162.77
03310-240-5900	Bloques hormigón para anclar cerchas	1	CYD	50.5	139	0.28	0.225	1.145	227.42	\$	227.42
03210-200-0100	Epoxy	1	TON		365		0.225	1.930	929.87	\$	929.87
03150-250-0100	Junta expansiva sísmica	273	LF	1.46	0.9		0.225	1.930	2.79	\$	762.26
Shear walls											
03300-240-4250	Muros de corte	80	CYD	203	259	26.5	0.225	1.145	466.84	\$	37,347.29
	Pretil cubierta	5	CYD	203	259	26.5	0.225	1.145	466.84	\$	2,334.21
Factores de ajuste para Rehabilitacion											
01250-400-0500	Cut & Patch to match existing constructions	1	Porc.	0.09	0.05						
01250-400-0500	Material handling & storage limitation	1	Porc.	0.03	0.1						
01250-400-2350	Temporary Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05						
01250-400-1750	Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05						
01250-400-0850	dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04						
01250-400-1150	Factor Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03						
	Suma Factores			0.52	0.32						
5 Metales											\$ 51,753.00
05120-260-5100	Acero Estructural	20140	LBS	0.27	0.95	0.18	0.304	1.148	1.62	\$	32,608.14
05120-260-5100	Placas, conexiones etc.	2417	PC	0.27	0.95	0.18	0.304	1.148	1.62	\$	3,912.98
05810-350-0500	Junta expansiva ensamble metálico	273	LF	8.4	19.6		0.304	1.148	33.58	\$	9,168.03
05090-300-1435	Anclajes	72	EA	24.5	47	5.5	0.304	1.148	84.21	\$	6,063.47
Factores de ajuste											
01250-400-0500	Cut & Patch to match existing constructions	1	Porc.	0.09	0.05						
01250-400-0500	Material handling & storage limitation	1	Porc.	0.03	0.1						
01250-400-2350	Temporary Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05						
01250-400-1750	Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05						
01250-400-0850	Dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04						
01250-400-1150	Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03						
	Suma Factores			0.52	0.32						
9 TERMINACIONES											\$ 12,846.00
Acabados											
03350-300-0150	Pulido de Pisos	864	SF	0.44			0.187	2.503	0.08	\$	71.09
09220-200-100	Interior Cement Plaster Walls	2712	SF	0.68	0.37	0.06	0.187	2.503	1.06	\$	2,888.02
09220-200-101	Exterior Cement Plaster Walls	2712	SF	0.68	0.37	0.06	0.187	2.503	1.06	\$	2,888.02
09910-920-840	Pintura primer interiores	5424	SF	0.32	0.11		0.187	2.503	0.34	\$	1,817.96
09910-910-410 y 42	Pintura primer exteriores	5424	SF	0.07	0.31		0.187	2.503	0.79	\$	4,279.64
01740-500-0050	Limpieza	100	MSF	20.5	1.7	1.34	0.187	2.503	8.34	\$	833.92
09910-910-0390	Impermeabilización de techo	100	SF	0.34	0.24		0.187	2.503	0.66	\$	66.43
Sub total C. Directos											\$ 366,976.00
Costos Indirectos del proyecto											\$ 128,642.00
V. SubTotal											\$ 495,618.00
	Indirectos del Contratista y Ganancia	0.300	PC						495,618.00	\$	148,686.00
	Factor Ingenieria	0.155	PC						644,304.00	\$	99,739.00
Costo Total											\$ 744,043.00

5.3.2 Programación de Actividades para la Rehabilitación Escuela Las Palmas

La propuesta de rehabilitación para la escuela Las Palmas propone la incorporación de seis muros de concreto reforzado y seis cerchas de acero localizados en las cuatro estructuras de la edificación. Los muros propuestos son todos de igual dimensión por lo tanto, las actividades que se requieren para la construcción son iguales para todos los muros. De esta manera se nos presenta en la programación del proyecto un esquema de actividades repetitivas.

La programación al igual que en la escuela San Sebastián se hizo siguiendo el procedimiento del método *Critical Path Method* (CPM) y el programa SURETRAK. De la misma manera se decidió utilizar la relación Terminación-a-Comienzo (*Finish-to-start*).

La Tabla 38 enumera las actividades que se requieren para hacer cada muro de concreto. También se indica la productividad asignada a cada actividad, las cantidades requeridas y finalmente la duración. La unidad de duración mínima para llevar acabo una actividad es de un día. Si resultase la duración en fracciones de días, se aproximará al entero día siguiente. Por ejemplo:

$$\text{duración (días) demolición losa 1er piso} = \frac{192 \text{ SF}}{100 \text{ SF/día}} = 1.92 \text{ días} \approx 2 \text{ días}$$

Tabla 39: Lista de actividades que se requieren para hacer un muro de concreto

Descripción	Unidad	Cantidad	Prod.(unid/día)	Duración (días)
1. Demoler losa primer piso	SF	288	100	3
2. <i>Layout</i> y Excavación	CYD	86.5	24	4
3. Instalación 4 pilotes	EA	4	2	2
4. <i>Pile Cap</i>	CYD	30.5	9	4
5. Pared carga y losa 2do piso y cubierta	CYD	13	1.2	11
6. Relleno y losa primer piso	CF	122	50	3
7. Empañetado	SF	904	360	3
8. Pretil cubierta	CYD	5	5	1

Por otro lado se encuentran aquellas actividades que no son repetitivas. En la Tabla 39 se citan dichas actividades, al igual que datos referentes a cantidad, productividad y duración de cada una de las actividades.

Tabla 40: Actividades no repetitivas (rehabilitación escuela San Sebastián)

Descripción	Unidad	Cantidad	Productividad	Duración (días)
• Inicio Proyecto (ficticia)	-	-	-	0
• Movilización	DAY	2	1	2
• Preparar área	DAY	2	1	2
• Acarreo escombros	CYD	50	50	1
• Impermeabilización y pintura	SF	10948	1036	11
• Limpieza y <i>Punch List</i>	MSF	100	10	10
• Fabricar acero	LBS	20140	2000	10
• Excavación para bloques hormigón.	CYD	3	24	1
• Bloques de hormigón y anclajes	EA	24	20	2
• Instalación crucetas (<i>braces</i>).	LBS	20140	2000	11
• Relleno y losa	CF	26	50	1
• Corte e instalación junta expansiva	LF	273	45.5	6

En las Figuras 19 y 20 se muestra la forma en que se programaron las actividades con ayuda del programa SURETRAK. En el costado izquierdo de las Figuras se encuentra la distribución de las actividades en secciones. En la sección que dice “General”, “Cerchas” y “Finales” se listan las actividades que no son repetitivas en el proyecto. La sección “Cerchas” se refiere a las actividades que están involucradas con la construcción de las crucetas de acero. La sección “Finales” se refiere a las actividades finales que tiene el proyecto. Por último están las secciones denominadas “Pared”, que van del uno al seis de acuerdo al número de muros de concreto propuestos en la rehabilitación.

En cada sección se indica los siguientes datos: *Activity ID*, *Descripción*, *Duración de la actividad*, *Unidad de la actividad*, *Cantidad*, *Productividad* y *Comentarios*.

En el lado derecho se muestra el diagrama de barras donde el largo de cada barra representa la duración de cada actividad. Cada barra está unida con flechas que nos indica que actividad le precede a otra. Las barras de color rojo representan las actividades que forman parte de la ruta crítica del proyecto.

La Figura 21 muestra el diagrama conseguido aplicando el método de la ruta crítica (*Critical Path Method, CPM*), el cual muestra a través de una red la secuencia lógica de las actividades en el proyecto. Las actividades en color rojo representan aquellas actividades que pertenecen a la ruta crítica del proyecto, es decir, aquellas actividades que no tienen tiempo flotante.

La duración que resultó de la programación de las actividades para la rehabilitación de la escuela Las Palmas fue de 123 días calendario (aproximadamente seis meses). Asumiendo que el proyecto de rehabilitación comienza el día tres de septiembre del 2007, este se terminaría para el día 22 de febrero del 2008.

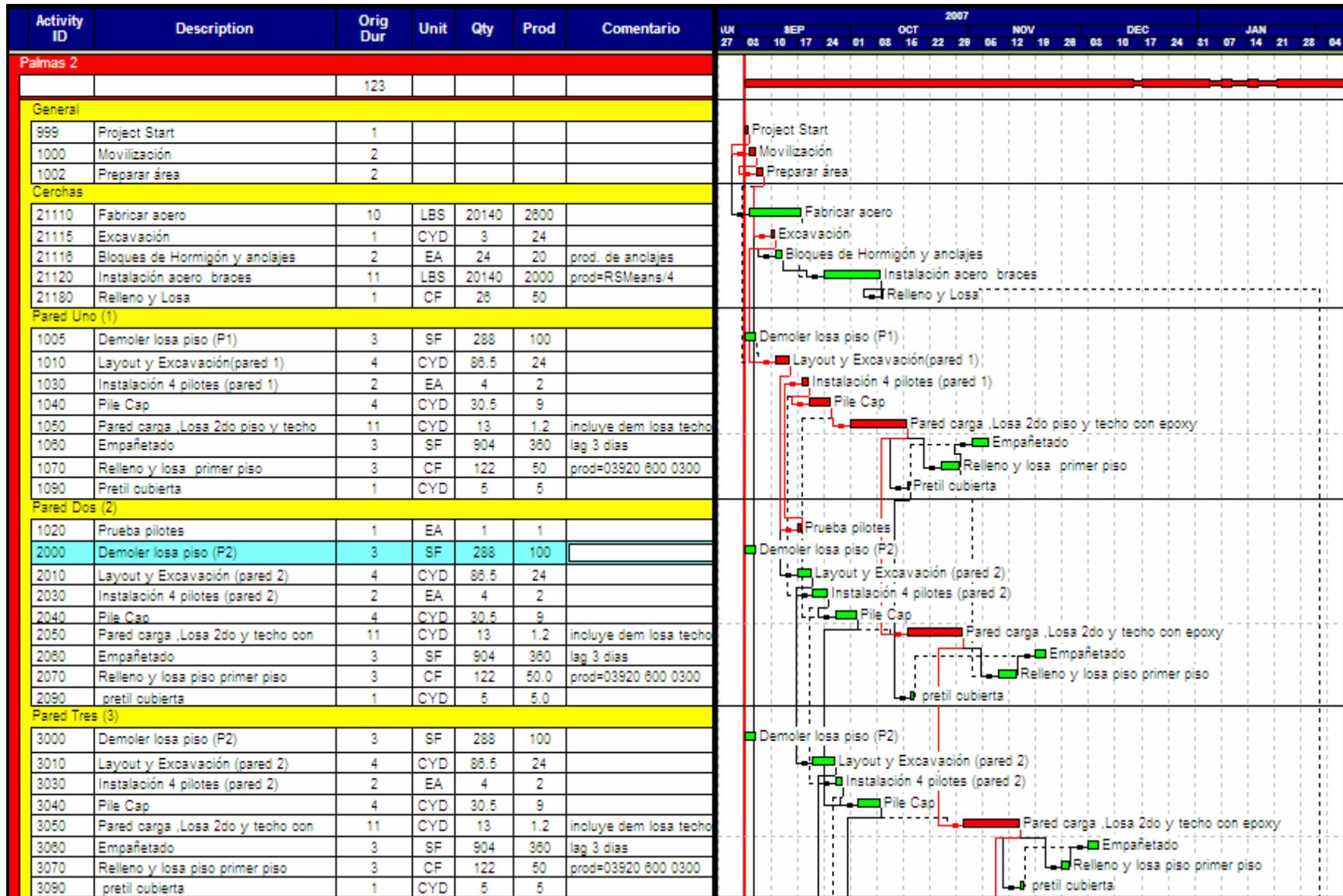


Figura 19: Programación actividades rehabilitación escuela Las Palmas

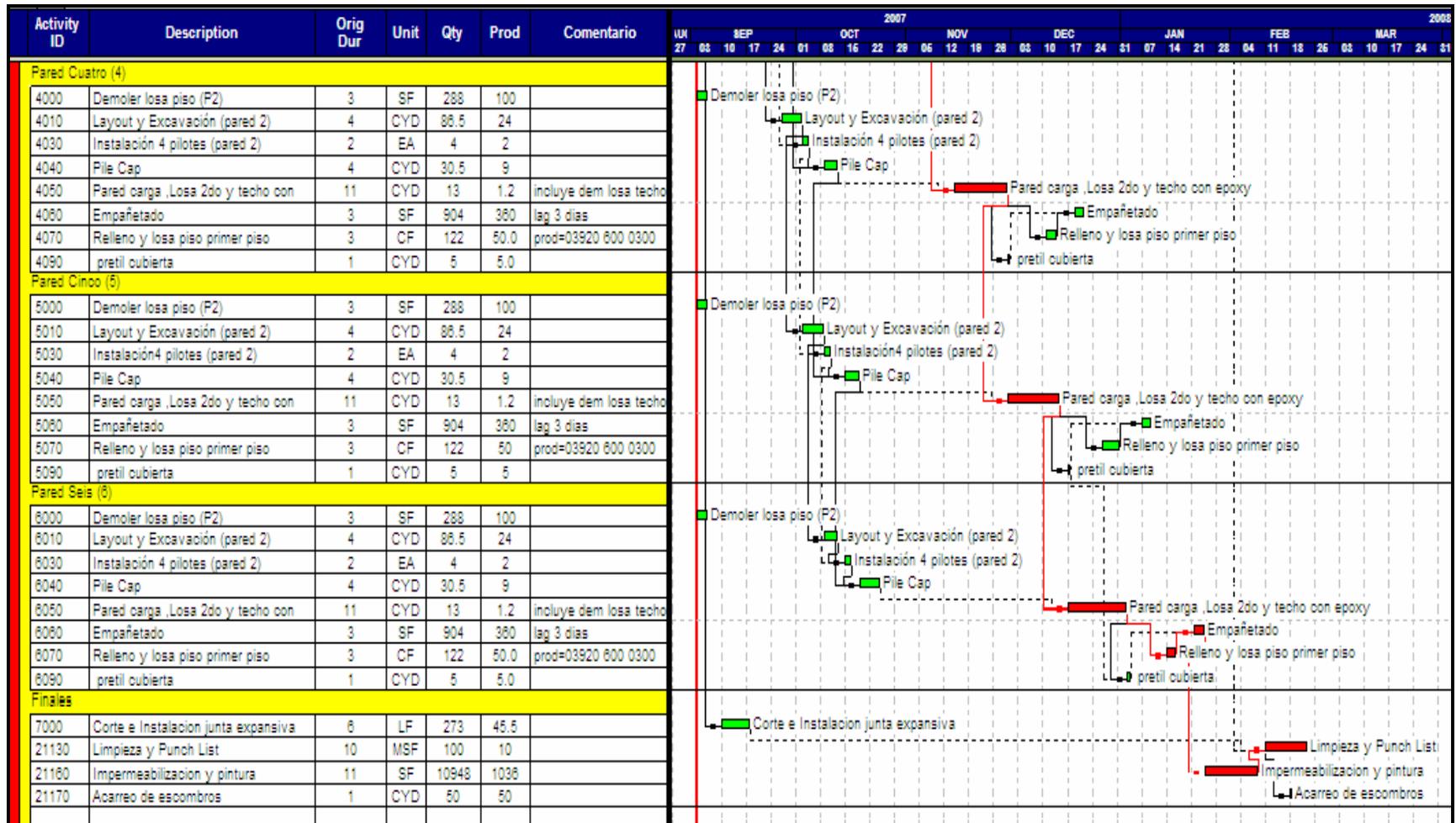


Figura 20: Continuación programación actividades rehabilitación escuela Las Palmas

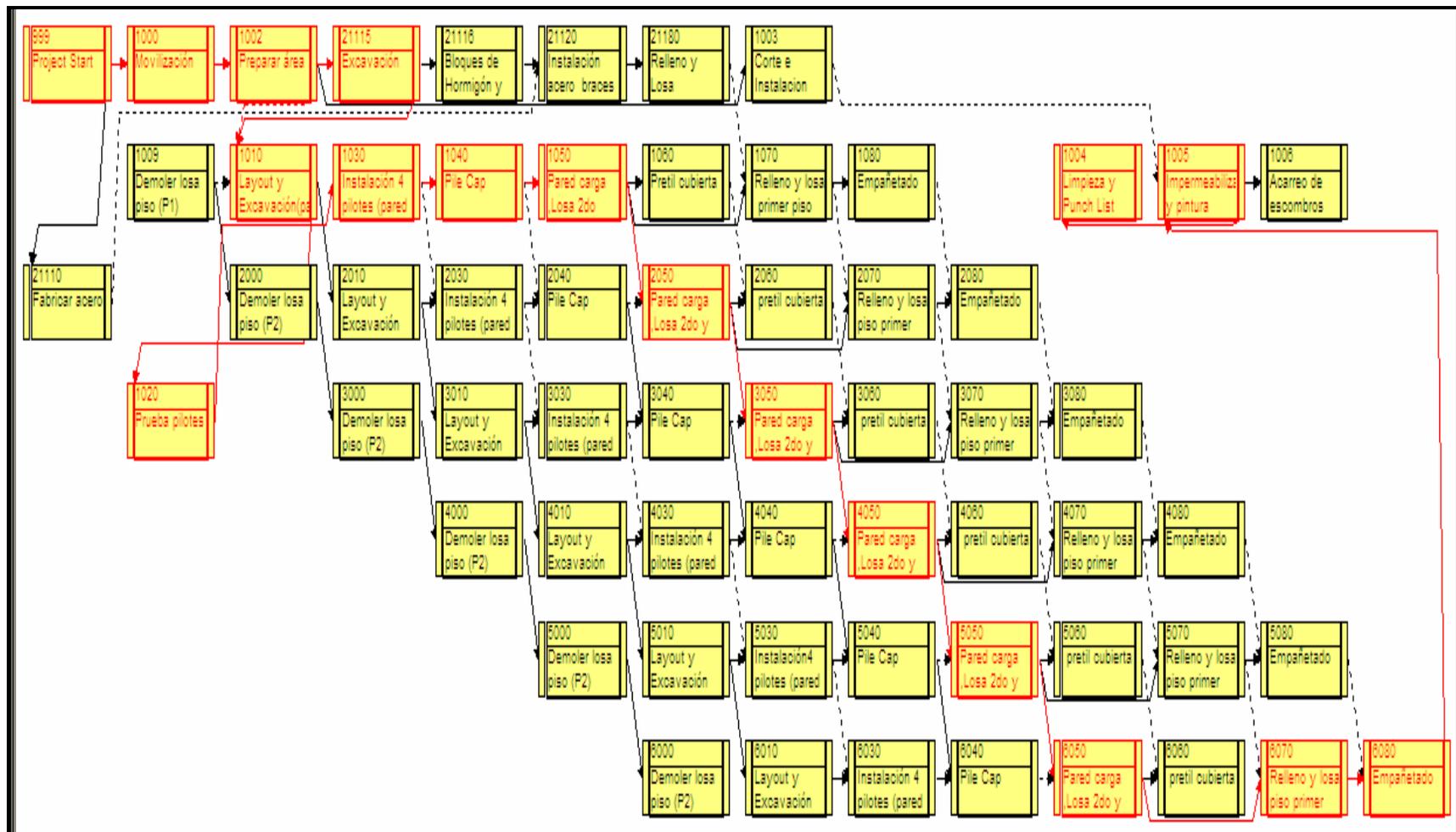


Figura 21: CPM para la rehabilitación escuela Las Palmas

5.4 DISEÑO ELÁSTICO DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO

Como se discutió anteriormente, este escenario se refiere al costo de construir las estructuras nuevamente pero con la estructura diseñada para que los elementos en hormigón armado trabajen en su rango elástico (EHRE).

El costo de este escenario, es la suma del estimado de costo de construcción de la escuela para el año 2003 (costo promedio por pie cuadrado de la Tabla 13) más el estimado de costo de los elementos estructurales adicionales que permiten que la estructura se comporte elásticamente (elementos estructurales propuestos en la rehabilitación). Por consiguiente:

- Costo construir escuela EHRE = costo escuela 2003 + costo elementos estructurales adicionales.

Para obtener el estimado para el año 2006 se utilizaron los índices (*Historical Cost Indexes*) sugeridos por la publicación *Building Construction Cost Data* (RS Means 2006). A continuación se muestran los cálculos:

- área construida Escuela Las Palmas = 37,600 ft²
- costo promedio por ft² = \$ 118.28 / ft²
- costo escuela 2003 = 37,600 ft² * \$118.28/ft² = \$ 4,447,350
- costo escuela 2006 = $\frac{155.9}{132} * \$ 4,447,350 = \$ 5,252,590$

Por último se requiere es el costo que surge de colocar los elementos estructurales para que la escuela se comporte elásticamente, dichos elementos son:

- la incorporación de 6 muros estructurales
- la incorporación 6 crucetas de acero.
- Separación de las cuatro estructuras de la escuela por medio de juntas expansivas.

A continuación se indica el procedimiento que se siguió para obtener el estimado de costo que surge de incorporar estos elementos estructurales.

5.4.1 Estimado de Costo de Elementos Estructurales Adicionales para que Trabaje con EHRE

Es importante tener claro que el siguiente estimado de costo refleja únicamente el costo adicional que surge de incorporar los muros, las crucetas de acero y las juntas expansivas con el fin de que la escuela se comporte elásticamente.

- El estimado de costo para esta alternativa de diseño se hizo siguiendo el mismo procedimiento que se utilizó en los estimados de costos encontrados para la escuela San Sebastián. El estimado se dividió por lo tanto en:
 - costos directos,
 - costos indirectos del proyecto,
 - costos indirectos y ganancia del contratista, y
 - factor de ingeniería.

Las divisiones utilizadas en el estimado fueron: Condiciones Generales, Solar, Hormigón, Metales y Terminaciones.

Se utilizaron factores de ajuste por localización para Puerto Rico para ajustar los costos de mano de obra, materiales y equipos suministrados por RS Means.

Para los costos indirectos y ganancia del contratista se utilizó el porcentaje recomendado por RS Means que corresponde al 30 por ciento de los costos directos.

El factor de ingeniería se empleó únicamente en el estimado de costo que resulta de incorporar los elementos estructurales y se estimó usando los valores recomendados por CIAPR. Para este tipo de proyecto los honorarios y servicios sugeridos se encuentran dentro de la categoría dos que representa proyectos de complejidad promedio. El costo que resultó de estimar estos elementos estructurales sin contar el factor de ingeniería es de \$ 425,202.

Tabla 41: Factor Ingeniería utilizados para el cálculo del estimado de costo diseño elástico

Costo Proyecto (\$)	Honorarios (\$) diseño final	Servicios durante la construcción (\$)
\$ 425,000	\$ 43,053	\$ 11,392
\$ 450,000	\$ 45,331	\$ 11,750

Por lo tanto de la Tabla 40 obtenemos:

- honorarios diseño final = $\frac{\$ 43,053 + \$ 45,331}{2} = \$ 44,192$
- servicios durante la construcción = $\frac{\$ 11,392 + \$ 11,750}{2} = \$ 11,571$
- factor de Ingeniería = $\frac{\$ 44.192 + \$ 11,571}{\$ 425,202} * 100\% = 12.70 \%$

En las Tablas 41 y 42 se muestra el estimado de costo que resultó de incluir los nuevos elementos estructurales con el factor de ingeniería obtenido. El estimado de costo obtenido fue de \$ 479,203 y se sumó al costo encontrado de la escuela para el año 2006 (\$ 5,252,600) para así conseguir el costo definitivo de construir la escuela bajo estas condiciones de diseño.

Costo construir escuela Las Palmas elásticamente= \$ 5,252,600 + \$ 479,203 = **\$ 5,731, 803**

Tabla 42: División Condiciones Generales para el cálculo del estimado de costo con diseño HRE de escuela San Sebastián

Estimado de Costo diseno elastico Escuela Las Palmas										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	Condiciones Generales									\$ 90,970.00
Bids	Oficina de campo temporera	1	EA	1,500.00	5,500.00				7,000.00	\$ 7,000.00
Bids	Seguro Responsabilidad Pública	0.0052	Porc.						329,751.00	\$ 1,714.71
Bids	Riesgo Contratista (<i>Builders Risk</i>)	0.002	Porc.						329,751.00	\$ 791.40
Bids	Fianzas	0.021	Porc.						329,751.00	\$ 6,924.77
Bids	Fondo Seguro del Estado	0.071	Porc.						115,351.57	\$ 8,189.96
Bids	Patenta Municipal	0.004	Porc.						329,751.00	\$ 1,319.00
Bids	Arbitrio Municipal	0.005	Porc.						329,751.00	\$ 1,648.76
Bids	Rótulo proyecto	1	EA	225.00	875.00				1,100.00	\$ 1,100.00
Bids	Seguridad 1 turnos	5	Mes	1,500.00					1,500.00	\$ 7,500.00
Bids	Teléfono y fax	5	Mes			240.00			240.00	\$ 1,200.00
Bids	Herramientas pequeñas	0.001	Porc.						329,751.00	\$ 164.88
Bids	Laboratorio pruebas	0.003	Porc.						329,751.00	\$ 824.38
Bids	<i>Punch list</i>	0.002	Porc.						329,751.00	\$ 758.43
Bids	Ingeniero de proyecto	5	Mes	4,200.00					4,200.00	\$ 21,000.00
Bids	<i>General Foreman</i>	5	Mes	3,150.00					3,150.00	\$ 15,750.00
Bids	Facilidades agua potable	5	Mes	115.00	150.00				265.00	\$ 1,325.00
Bids	<i>Critical path method (cpm)</i>	0.0023	Porc.						329,751.00	\$ 758.43
Bids	<i>Progress schedule</i>	0.0024	Porc.						329,751.00	\$ 791.40
Bids	<i>Trailer para oficinas</i>	5	Mes		780.00				780.00	\$ 3,900.00
Bids	<i>Trailer para almacén</i>	5	Mes	245.00					245.00	\$ 1,225.00
Bids	Limpieza diaria	5	Mes	950.00	45.00				995.00	\$ 4,975.00
Bids	Caja menor	0.0023	Porc.						329,751.00	\$ 758.43
Bids	<i>Layout</i>	3	dias	450					450	\$ 1,350.00

Tabla 43: Divisiones Solar, Hormigón, Metales y Terminaciones para el cálculo del estimado de costo diseño EHRE de escuela San Sebastián

Estimado de Costo diseno elastico Escuela Las Palmas										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
1 Solar (Site)										\$ 151,905.00
Excavación										
02315-462	Excavación	519	CYD	9.55		6.10	0.984	1.160	15.40	\$ 7,992.39
02315-320	Compactación	335	ECY	1.10		0.13	0.984	1.160	1.21	\$ 405.46
02315-120	Relleno para fundación	335	LCY	0.41		0.33	0.984	1.160	0.73	\$ 243.93
02315-462	Retiro de tierra no útil (colocar en camión)	184	LCY	1.4325		0.33	0.984	1.160	1.73	\$ 319.11
02315-490	Retiro de tierra no útil (transporte)	184	LCY	5.8		0.33	0.984	1.160	6.03	\$ 1,109.87
Pilotes										
02455-900	Movilización grúa	1	EA	3800		2625	0.984	1.164	6,322.20	\$ 6,322.20
01107-700	Layout Pilotes	1	DAY	565		58	0.891	0.000	555.09	\$ 555.09
02455-600	Pilotes	24	EA			5075	0.984	1.164	4,993.80	\$ 119,851.20
02455-800	Cutoffs steel piles	24	EA	14.6			0.984	1.164	14.37	\$ 344.79
02455-800	Ensayo Pilote	1	EA			15000	0.984	1.164	14,760.00	\$ 14,760.00
3 Hormigón										\$ 37,802.00
Shear walls										
03300-240	Muros de corte	80	CYD	203	259	26.5	0.225	1.145	348.19	\$ 27,855.40
03310-240	Pile Cap	54	CYD	50.5	139	0.28	0.225	1.145	170.58	\$ 9,211.35
03310-240	Bloques hormigón para anclar cerchas	1	CYD	50.5	139	0.28	0.225	1.145	170.58	\$ 170.58
03150-250	Junta expansiva sísmica	273	LF	1.46	0.9		0.225	1.930	2.07	\$ 563.88
5 Metales										\$ 34,527.00
05120-260	Acero Estructural (serchas)	20140	LBS	0.27	0.95	0.18	0.304	1.148	1.23	\$ 24,719.84
05120-260	Placas, conexiones etc.	2417	PC	0.27	0.95	0.18	0.304	1.148	1.23	\$ 2,966.38
05810-350	Junta expansiva ensamble metálico	273	LF	8.4	19.6		0.304	1.148	25.05	\$ 6,839.85
05090-300	Anclajes	72	EA	24.5	47	5.5	0.304	1.148	63.08	\$ 4,541.47
9 TERMINACIONES										\$ 11,874.00
09220-200	Interior Cement Plaster Walls	2712	SF	0.68	0.37	0.06	0.187	2.503	1.06	\$ 2,888.02
09220-200	Exterior Cement Plaster Walls	2712	SF	0.68	0.37	0.06	0.187	2.503	1.06	\$ 2,888.02
09910-920	Pintura primer interiores	5424	SF	0.32	0.11		0.187	2.503	0.34	\$ 1,817.96
09910-910	Pintura primer exteriores	5424	SF	0.07	0.31		0.187	2.503	0.79	\$ 4,279.64
Sub total C. Directos										\$ 236,108.00
Costos Indirectos del proyecto										\$ 90,970.00
V. SubTotal										\$ 327,078.00
Indirectos del Contratista y Ganancia		0.300	PC						327,078.00	\$ 98,124.00
Factor Ingenieria		0.127	PC						425,202.00	\$ 54,001.00
Costo Total										\$ 479,203.00

5.4.2 Programación Actividades Diseño EHRE Para Escuela San Sebastián

Siguiendo el método de programación de la ruta crítica (*Critical Path Method CPM*) y con ayuda del programa SURETRAK se programó las actividades que hacen referencia a la colocación de los elementos estructurales adicionales propuestos para que la estructura se comporte elásticamente.

En la Tabla 43 se muestran las actividades que se requieren para hacer un muro de concreto y que son consideradas repetitivas teniendo en cuenta que se van hacer 6 muros. También se indica en la Tabla la unidad, cantidad, productividad y duración de cada actividad. Nótese que la productividad para ciertas actividades aumento con respecto a la productividad que se asignó a las mismas actividades en la rehabilitación de la escuela. Esto se debe a que como en este escenario se va a construir la escuela nuevamente por lo tanto se asume que no se presenta ningún obstáculo en el momento de llevar acabo las actividades. Las actividades se muestran en el programa SURETRAK en las secciones denominadas “Pared”

Tabla 44: Actividades para hacer un muro de concreto en el estimado diseño EHRE escuela Las Palmas

Descripción	Unidad	Cantidad	Prod.(unid/día)	Duración (días)
1. <i>Layout</i> y Excavación	CYD	86.5	55	2
2. Instalación 4 pilotes	EA	4	2	2
3. <i>Pile Cap</i>	CYD	30.5	9	4
4. Pared carga	CYD	13	2	7
5. Relleno	CF	122	50	3
6. Empañetado	SF	904	360	3

Por otro lado en la Tabla 44 se muestran las actividades que no se consideran repetitivas. Estas actividades aparecen en la programación en las secciones “General” y “Cerchas”.

Tabla 45: Actividades no repetitivas (diseño EHRE escuela Las Palmas)

Descripción	Unidad	Cantidad	Productividad	Duración (días)
• Inicio Proyecto (ficticia)	-	-	-	0
• Movilización	DAY	2	1	2
• Preparar área	DAY	2	1	2

Tabla 46: Actividades no repetitivas (diseño EHRE escuela Las Palmas) continuación

• Impermeabilización y pintura	SF	10948	1036	11
• Fabricar acero	LBS	20140	2000	10
• Excavación para bloques hormigón.	CYD	3	24	1
• Bloques de hormigón y anclajes	EA	24	20	2
• Instalación acero <i>braces</i> . (cruquetas).	LBS	20140	2000	11
• Relleno y losa	CF	26	50	1
• Corte e instalación junta expansiva	LF	273	45.5	6

Las Figuras 22 y 23 muestran la programación de las actividades. En el lado izquierdo de la Figura se observa el listado de las actividades, el cual fue organizado en diferentes secciones. En el lado derecho de las Figuras se muestra el diagrama de *Gantt*. Las barras de color rojo (más oscuro en copia blanco y negro) indican las actividades que son críticas.

Para la programación se usó la relación lógica Terminación-a-Comienzo (*Finish-to-start*) que indica que una actividad no se puede empezar hasta que la anterior termine.

Finalmente en la Figura 24 se muestra la programación usando el método de la ruta crítica (CPM) el cual muestra la secuencia lógica de las actividades.

El resultado obtenido de esta programación indicó que se necesitan 85 días calendario (cuatro meses) para instalar los propuestos elementos estructurales si la construcción de la escuela se hiciera nuevamente, es decir el tiempo adicional necesario para construir las paredes y las cruetas de acero. Se presumió en el programa que el proyecto comienza el 3 de septiembre del 2007 y se terminaría el 31 de diciembre del 2007.

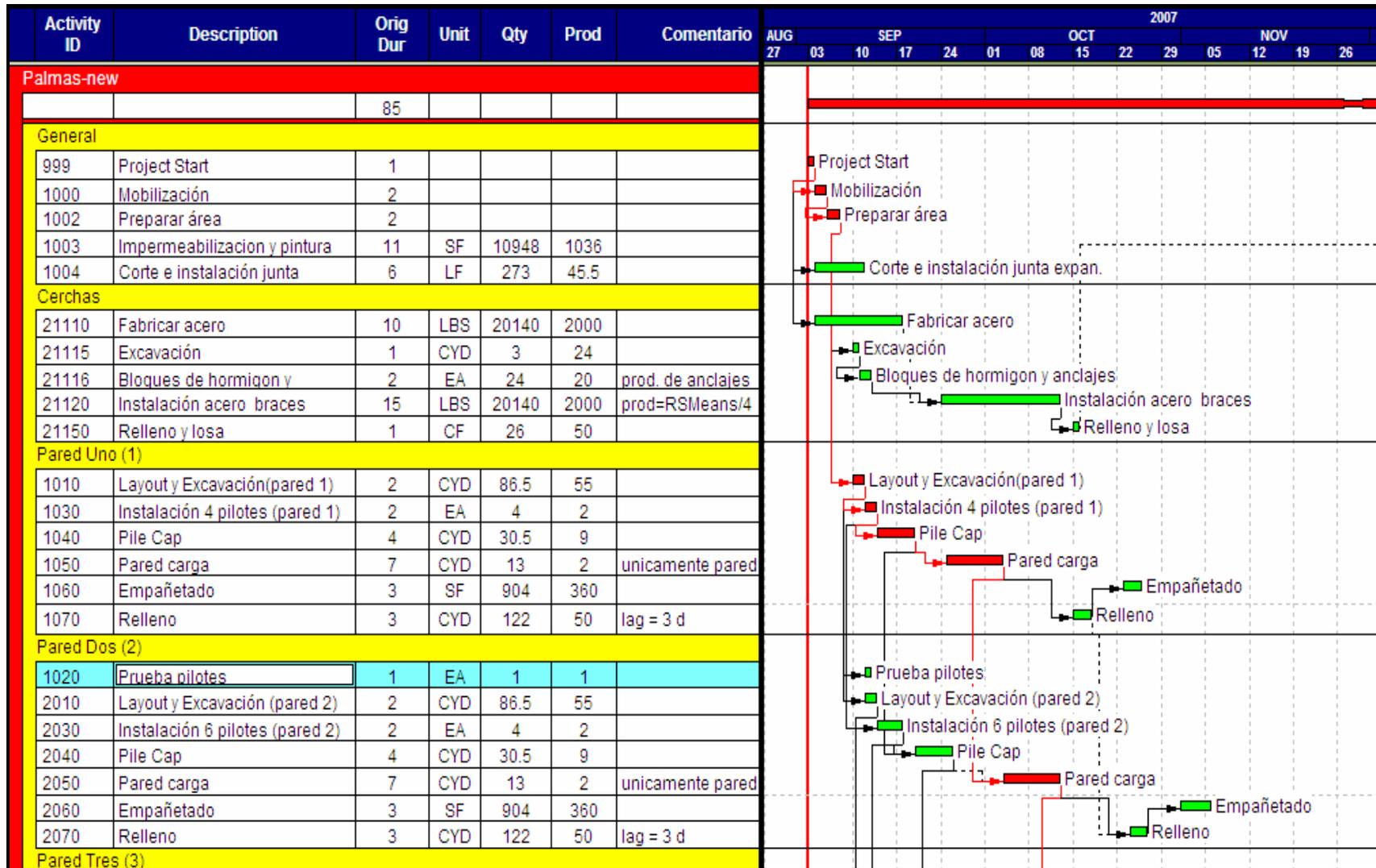


Figura 22: Programación actividades diseño EHRE para escuela Las Palmas

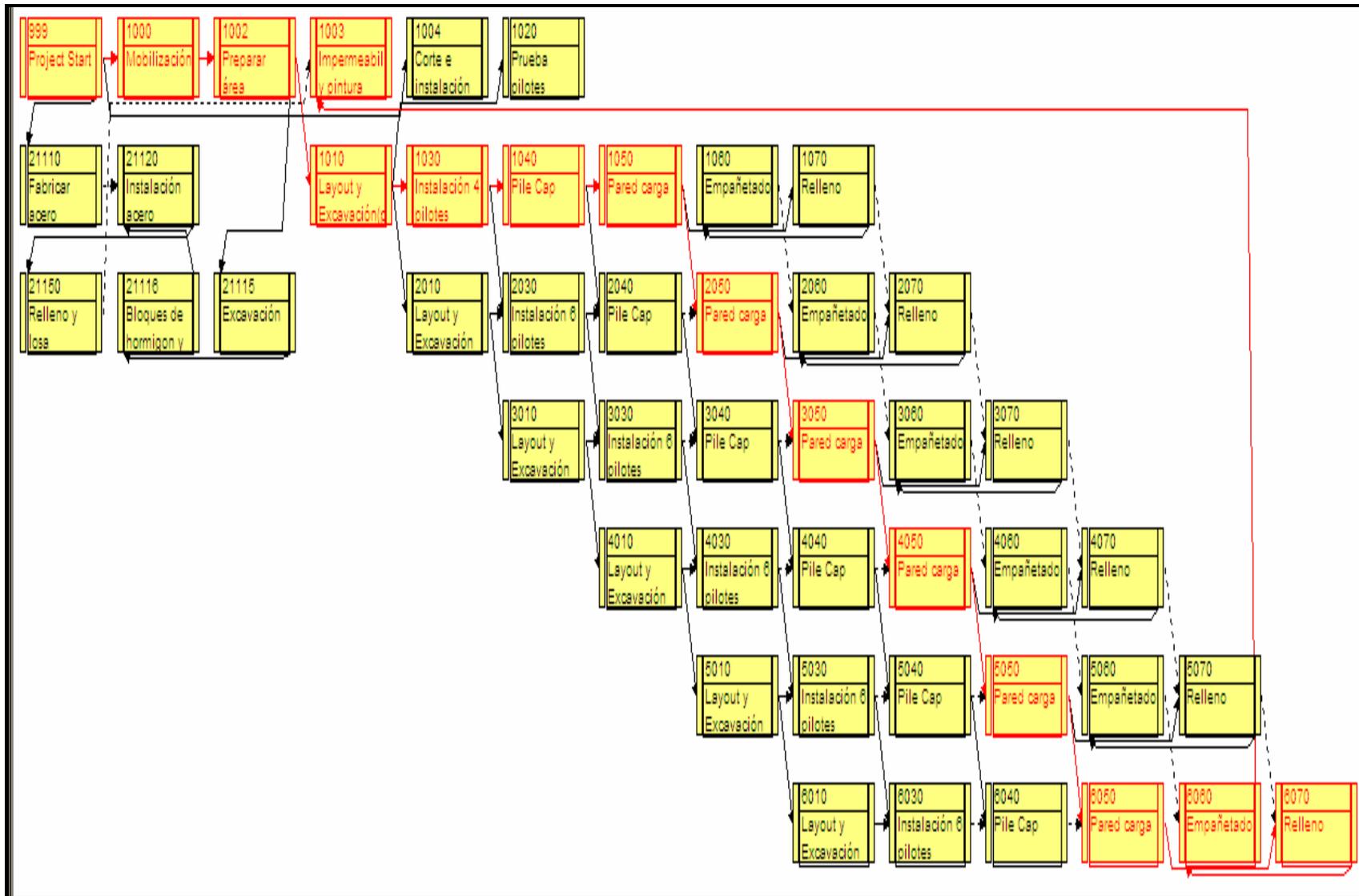


Figura 24: CPM para diseño elástico escuela Las Palmas

5.5 REPARACIÓN ESCUELA DESPUÉS DE PRESENTARSE UN EVENTO SÍSMICO

Para obtener los posibles daños que presenta la escuela después de un evento sísmico se llevó a cabo un análisis no lineal dinámico (Hernández 2007) del modelo estructural de la escuela por medio del programa de computador PERFORMANCE 3D desarrollado por *CSI Computers and Structures*.

El terremoto de diseño seleccionado es el mismo utilizado en la escuela San Sebastián y que fue desarrollado por la estudiante Janira Irizarri Padilla (1999). Recordando el terremoto tiene una duración de 10.24 segundos y una aceleración pico del suelo (*peak ground acceleration PGA*) de 0.46 g.

Los resultados del análisis no lineal (Hernández 2007) indicaron que la estructura no sufrió daños considerables. La Figura 25 muestra los elementos estructurales de la escuela Las Palmas que sufrieron daños. Se entiende que un elemento presenta daño cuando los elementos superan la deformación máxima permitida (punto de cedencia) en la curva esfuerzo deformación del elemento. Los resultados indicaron que solo cuatro vigas sufrieron daños. Las vigas de color azul indican que la deformación obtenida es igual al uno por ciento de la deformación última por encima del punto de cedencia. Las de color verde representan el dos por ciento de la deformación última por encima del punto de cedencia.

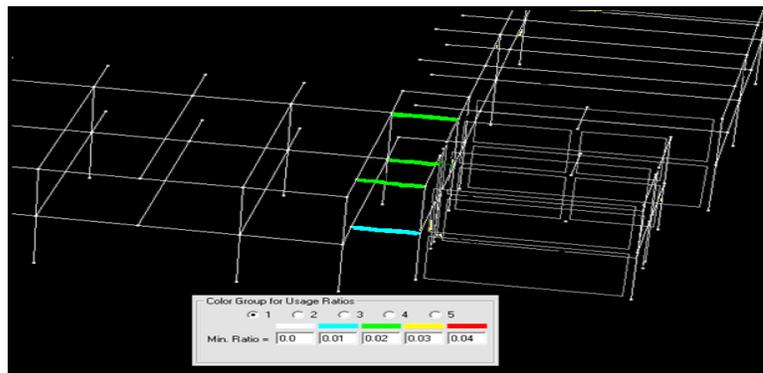


Figura 25: Elementos estructurales que sufrieron daños después del terremoto

Para poder visualizar mejor las vigas que sufrieron daños, se muestran las siguientes dos figuras. La Figura 26 muestra una imagen en 3D de la escuela Las Palmas, en el recuadro se señala el sector de la escuela donde se presentaron los daños. La Figura 27 es una vista más clara del sector y se indican las cuatro vigas que presentaron daños y se deben reparar.

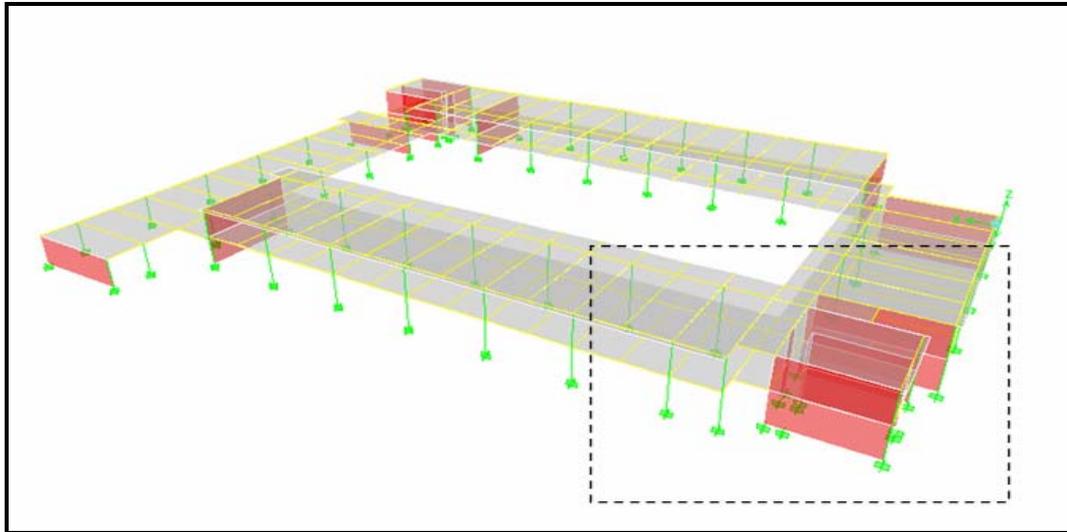


Figura 26: Vista en 3D escuela Las Palmas

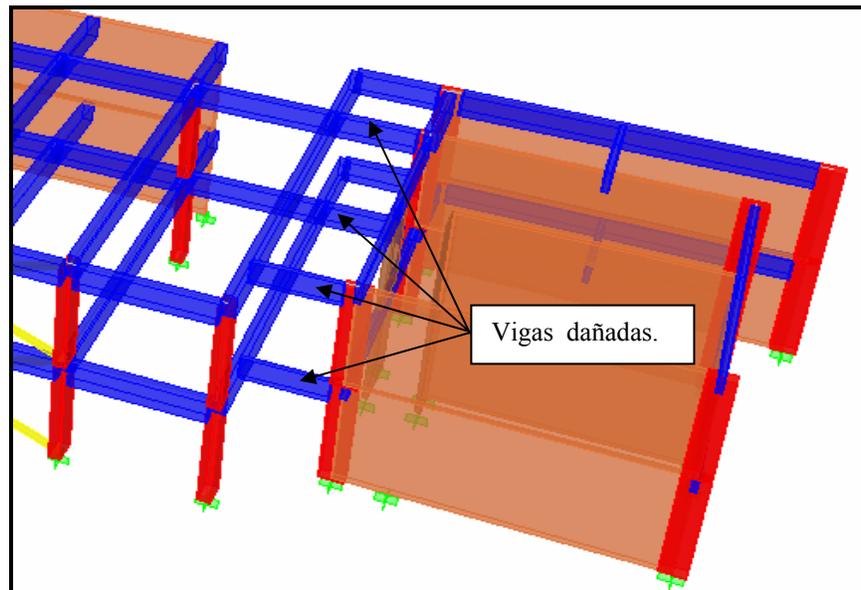


Figura 27: Vista de las 4 vigas afectadas por el terremoto

Dada la incertidumbre que hay acerca de predecir una fecha probable de un terremoto, se decidió hacer el estimado de reparación para la escuela Las Palmas presumiendo que el terremoto se presenta en el año 2006.

5.5.1 Estimado de Reparación

Para conseguir el estimado de costo de reparación se consideraron los costos de elementos estructurales y elementos no estructurales. No se tuvo en cuenta los costos que representan el contenido de

la escuela. Para este caso el estimado de reparación, es la suma de los costos que resulten de reparar las cuatro vigas antes señaladas y los costos de reparar los elementos no estructurales.

Costo elementos Estructurales

Los resultados del análisis no lineal indican que se requiere reparar cuatro vigas de la escuela. Como se mencionó, los daños de las vigas son menores y según la deformación que presentó estos elementos, se puede concluir que se encuentran en un estado de daño leve. Conservadoramente se presume que la tercera parte de la longitud de cada una de las vigas presenta grietas (tamaño de 1/4 de pulgada) y para la reparación se recomienda utilizar un agente adhesivo como el epoxy. Las dimensiones de las vigas a reparar son 6 in * 12 in * 8 ft de longitud. La partida de construcción que se utilizó para reparar las vigas se obtuvo de la publicación *RS Means Repair and Remodeling Cost Data (2004)*. Para ajustar los costos de dicha partida de construcción al 2007 se utilizó los índices de costos de materiales de construcción propuestos por RS Means que fueron mencionados en el Capítulo IV. A continuación se indica la partida utilizada con su respectivo costo para los años 2004 y 2006.

**Tabla 47: Partida de construcción utilizada para la reparación de las vigas
(RS Means Repair and Remodeling cost data)**

Código RS Means	Partida	Unidad	Costo total 2004	Costo total 2006
03930-300-0110	<i>Epoxy injection.</i> ¼ in ancho, 12 in profundidad.	LF	\$ 29.57	\$ 34.14

El estimado completo de reparación de elementos estructurales se muestra en la Tabla 46. Es importante tener en cuenta que para este estimado de costo se empleó el uso de los factores de reparación definidos en el Capítulo II.

Tabla 48: Estimado costo de reparación elementos estructurales para la escuela Las Palmas

Estimado de Costo Reparación elementos estructurales										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	3.Hormigón									\$ 470.00
	Vigas									
03900-300-0110	Crack repair (Epoxy injection)	11	LF	20.37	10.76	3.01	0.984	1.160	\$ 44.50	\$ 469.88
	Factores de ajuste para Reparación									
01250-400-0500	Factor Cut & Patch to match existing const	1	Porc.	0.09	0.05					
01250-400-0500	Factor Material handling & storage limitació	1	Porc.	0.03	0.1					
01250-400-1750	Factor Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05					
01250-400-0850	Factor dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04					
	Suma Factores			0.3	0.24					
	9 Terminaciones									\$ 225.00
09220-200-1000	Interior Cement Plaster	160	SF	0.68	0.37	0.06	0.187	2.503	\$ 1.06	\$ 170.38
09910-920-840	Pintura primer interiores	160	SF	0.32	0.11		0.187	2.503	\$ 0.34	\$ 53.63
	Costos Directos									\$ 695.00
	Indirectos del Contratista y Ganancia	0.300	PC						\$ 695.00	\$ 209.00
	Costo Total									\$ 904.00

Costo elementos No Estructurales

Los costos de los componentes no estructurales se obtuvieron siguiendo las recomendaciones del *Hazus Manual (FEMA)* el cual indica que con la deriva del edificio (*drift ratio*) se puede definir en que estado de daño se encuentra la estructura y de esta forma estimar un costo de reparación de estos elementos en función del costo de reemplazo de la estructura.

Para conseguir el costo de reemplazo primero se obtuvo el área en pies cuadrados del área construida de la escuela Las Palmas. Posteriormente se multiplicó el área obtenida por el costo por pie cuadrado obtenido anteriormente de la Tabla 13, el cual corresponde a un costo de \$ 118. 28 por pie cuadrado. Luego como este costo por pie cuadrado corresponde a un promedio de costos de diferentes escuelas superiores en Puerto Rico que se obtuvo para el año 2003, se requirió utilizar los índices de costos históricos de construcción indicados en la publicación *Building Construction Cost Data (RS Means*

2006) para de esta manera obtener el costo de reemplazo para el año 2006. A continuación se muestran los cálculos:

- área construida Escuela Las Palmas = 37 600 ft²
- costo promedio por ft² = \$ 118.28 / ft²
- Costo escuela 2003 = 37 600 ft² * \$118.28/ft² = \$ 4,447,350
- Costo escuela 2006 = $\frac{155.9}{132} * \$ 4,447,350 = \$ 5,252,590$

Finalmente con la deriva (*drift ratio*) obtenida después del análisis no lineal el cual corresponde a un valor de 0.0028 y de acuerdo a los valores de *drift ratio* proporcionados por *Hazus Manual* (Tabla 47) para elementos no estructurales, se puede saber en que nivel de daño se encuentra la escuela.

Tabla 49: Drift ratio. (adaptado Hazus99-SR2 Technical Manual)

<i>Drift ratio</i>			
<i>Slight</i>	<i>Moderate</i>	<i>Extensive</i>	<i>Complete</i>
0.004	0.008	0.025	0.050

Se observa de la Tabla 47 que la razón de deriva de la escuela 0.0028 está por debajo del valor correspondiente a daño leve (*slight damage*) que es de 0.004. Sin embargo se entiende que ante la eventualidad de un sismo los elementos que primero sufren daño en una edificación son los elementos no estructurales. Por esta razón, teniendo en cuenta que el análisis no lineal indicó que alguno de los elementos estructurales de la edificación presentó daños, suponemos entonces que se presentan daños en los elementos no estructurales.

Hazus Manual indica que los costos de reparación de estos elementos en un estado de daño leve corresponden a 0.9 por ciento del costo de reemplazo de la edificación. Sin embargo para nuestro caso la relación de deriva (0.0028) está por debajo del valor correspondiente a daño leve (0.004), por lo que se deduce que el porcentaje de daño va ser menor.

- Relación de deriva = $0.0028 = 70\%$ de daño leve (*drift ratio de 0.004*) ($= 63\% \approx 70\%$).
- Costo reparación elementos no estructurales = $0.7\% \times \$ 5,250,600 = \$ 36,442$

Estimado de reparación

Por consiguiente el estimado de reparación de la escuela Las Palmas se obtiene sumando el estimado de reparar los elementos estructurales y los elementos no estructurales. De esta manera el estimado final de reparación es de:

- ESTIMADO DE COSTO REPARACIÓN (2006) = $\$ 904 + \$ 36,442 = \$ 37,346$

Debido a que el costo de reparación es tan bajo con respecto al costo de la escuela no se indicará el costo para los años 2012, 2017 y 2027.

5.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis mostrado a continuación pretende comparar cuanto más beneficioso en términos de costos de construcción es cada una de las alternativas presentadas en este capítulo. Es decir, distinguir los beneficios de cada uno de los siguientes escenarios estudiados:

- 1) rehabilitar la escuela pre-evento sísmico,
- 2) construir la escuela nuevamente pero comportandose elasticamente y
- 3) dejar la escuela tal y como fue diseñada en su momento de construcción y estimar los costos de reparación despues de presentarse un terremoto.

5.6.1 Análisis de Resultados

A continuación se indican el costo que demanda cada alternativa de diseño para poder establecer cual es la más conveniente en términos de costo de construcción.

Rehabilitación Escuela

- costo escuela 2006 = $\$ 5,252,590$
- costo rehabilitación 2006 = $\$ 744,043$
- costo alternativa 2006 = $\$ 5,252,590 + \$ 744,043 \approx \$ 5,996,633$

Estimado de costo construir escuela elásticamente

- costo escuela 2006 = \$ 5,252,590
- costo de los elementos estructurales adicionales 2006 = \$ 479,203
- costo alternativa = \$ 5,252,590 + \$ 479,203 = **\$ 5,731, 793**

Estimado de costo estructura después de un terremoto

- costo escuela 2006 = \$ 5,252,590
- estimado costo reparación 2006 = \$ 37,346
- costo alternativa 2006 = \$ 5,252,590 + \$ 37,346 = **\$ 5,289,936**

Al igual que con la escuela San Sebastián para los resultados obtenidos, sólo se puede comparar los costos de las alternativas 1 y 3 en función de ver cual es más viable, ya que como se sabe, la escuela Las Palmas ya se encuentra actualmente construida y como se vió la alternativa 2 indica cual sería el costo de construir la escuela nuevamente pero comportándose EHRE.

Entonces, comparando los costos de las alternativas 1 y 3 se puede concluir que la alternativa 3 que hace referencia a la reparación de la edificación después de que suceda un terremoto es la más económica. Como se vio el costo que se incurriría en la reparación es pequeño ya que los daños fueron mínimos. De esta manera, se recomienda para está estructura no hacer trabajos de rehabilitación.

De la alternativa 2, podemos mencionar que no hay una gran diferencia en costos entre construir siguiendo la metodología tradicional es decir de acuerdo a los códigos vigentes de construcción y entre la metodología de construir la escuela para que esta trabaje en el rango clástico (EHRE). La diferencia en costo con respecto a construirla bajo condiciones de diseño que sugiere el código UBC es tan solo de \$479,203 el cual representa aproximadamente un 8.5 por ciento mas del costo de construcción de la escuela.

CAPÍTULO VI: HOSPITAL LA CONCEPCIÓN

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los estimados de costo obtenidos de acuerdo a los tres escenarios mencionados en los objetivos de este proyecto para el Hospital La Concepción. Los estimados de costos son:

- 1) Estimado de costo de rehabilitación del Hospital La Concepción,
- 2) Estimado de costo construir Hospital para que trabaje elásticamente (EHRE).
- 3) Estimado de reparación Hospital La Concepción después de presentarse un terremoto.

Al final del capítulo se presenta una discusión de los resultados obtenidos.

El procedimiento utilizado para obtener los estimados de costos y la programación de las actividades fue el mismo que se utilizó en las dos escuelas anteriores.

6.2 HOSPITAL LA CONCEPCIÓN

El Hospital La Concepción se encuentra localizado en la ciudad de San Germán. Es una estructura de cuatro pisos, soportado por un sistema combinado de columnas y vigas con muros de concreto reforzado que resisten las cargas laterales. Los muros están distribuidos principalmente a lo largo de las cuatro fachadas del edificio y en el área de los ductos de los ascensores y escaleras. La cimentación del edificio está formada por un sistema de zapatas. Los muros de concreto están soportados por zapatas continuas, mientras que las columnas se apoyan sobre zapatas individuales. La Figura 28 muestra el modelo estructural desarrollado para el hospital.

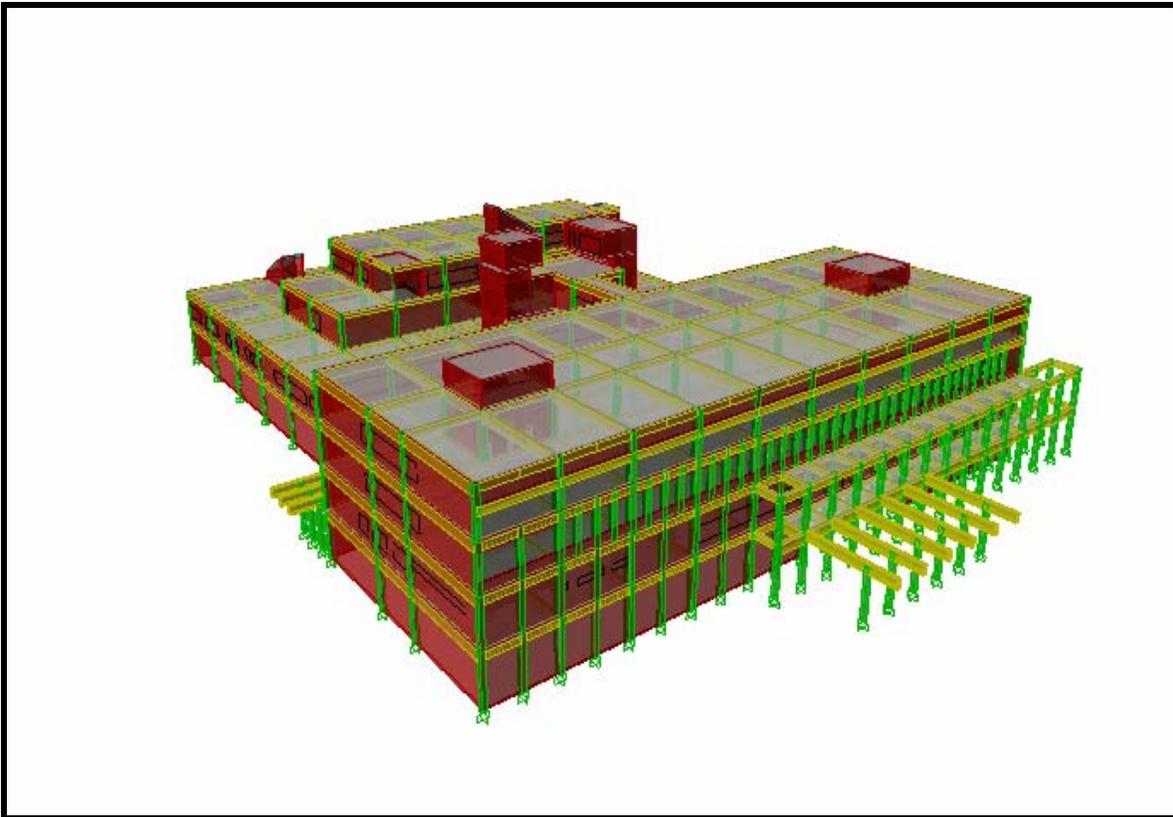


Figura 28 : Modelo estructural hospital La Concepción

6.3 REHABILITACIÓN PARA LOGRAR UN COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

La rehabilitación mostrada a continuación (Figura 29) para el hospital fue propuesta por Hernández (2007) y permite que el hormigón se comporte en el rango elástico. El procedimiento utilizado para hacer el análisis lineal fue el mismo que se empleó para las escuelas por lo que no se repetirá nuevamente el procedimiento.

De esta manera, para lograr un comportamiento lineal de la edificación se propuso ensanchar 12 pulgadas hacia afuera los muros de concreto que se encuentran a lo largo del perímetro del hospital, exceptuando el costado frente del hospital donde se encuentra la entrada principal, en donde se decidió utilizar crucetas de acero de sección HSS 12x12x¼. El ensanchamiento de los muros se debe hacer desde la cimentación hasta la loza del segundo piso. Esto exige un cambio en las dimensiones existentes de las zapatas. Para las crucetas de acero se recomienda construir unos dados de concreto para fijar estas al

suelo. Éstas se colocaran únicamente en el primer nivel del hospital. A continuación se muestra un esquema (Figura 29) de cómo debe rehabilitarse el hospital.

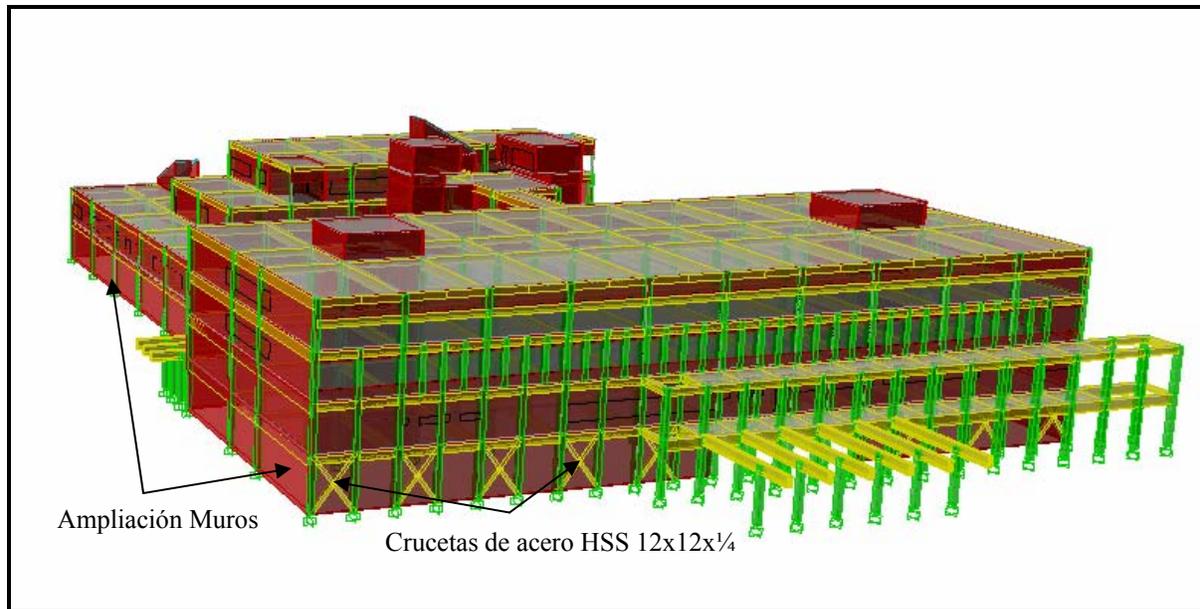


Figura 29: Rehabilitación propuesta para hospital La Concepción. (adaptado de Hernández (2007))

6.3.1 Estimado del Costo de Rehabilitación

Siguiendo el mismo procedimiento que se empleó para las escuelas, se evaluaron los planos estructurales, arquitectónicos, hidráulicos y mecánicos con el fin de estimar las cantidades de obra de cada una de las partidas. Luego se identificaron las partidas tomando como base las divisiones del *Master Format* del 95 y se encontraron los costos de cada una de estas partidas utilizando la fuente de información de precios unitarios de construcción *RSMears*.

El estimado de costo de rehabilitación se divide en:

- costos directos,
- costos indirectos del proyecto,
- costos indirectos y ganancia del contratista, y
- Factor de Ingeniería.

6.3.1.1 Costos Directos

Las divisiones que se utilizaron para estimar el costo directo son: 2-Solar, 3-Hormigón, 5-Metal, 8-Puertas y Ventanas y 9-Terminaciones. Los costos unitarios de las partidas asignadas a cada división fueron modificados por los factores de rehabilitación produciendo un aumento en el costo. Los factores de rehabilitación se encuentran explicados ampliamente en el capítulo II.

A continuación, en la Tabla 48, se muestran las partidas seleccionadas para obtener el costo directo del estimado de costo de rehabilitación del Hospital La Concepción.

Tabla 50: Partidas de construcción seleccionadas para el cálculo del costo directo

Partidas de construcción	
2 Solar (Site)	T reductora 10" X 8"
Excavación	T reductora 10" X 6"
Movilización y desmovilización	T reductora 6" X 4"
Movilización equipo pequeño	Codo 45° 8"
Excavación para <i>footings</i> Área B	3 Hormigón
Excavación para <i>footings</i> Área A	Sidewalk
Compactación	<i>Side walk</i>
Relleno para fundación	<i>Side walk</i> zona crucetas
Retiro de tierra no útil (colocar en camión)	Muros
Retiro de tierra no útil (transporte)	Engrosamiento muros
Demolición	Footing
Demolición <i>sidewalk</i> al lado de los muros	Ampliación Zapata Edif. B
Demolición <i>sidewalk</i> zona crucetas	Apoyo crucetas
Cortar concreto fuera de los límites muros	5 Metales
Cortar concreto fuera zona crucetas	Acero Estructural Crucetas (HSS 12x12x1/4)
Movilizar material para acarrear	Placas, conexiones etc.
Acarreo escombros	Anclaje con epoxy Zapatas
Impuesto municipal vertedero	Anclaje con epoxy Paredes
Tubería	Anclaje con epoxy Columnas
Remover tubería	8. Puertas y Ventanas
Tubería PVC 12" (sanitaria)	Remover ventanas
Tubería PVC 10" (sanitaria)	Colocar ventanas
Tubería PVC 8" (sanitaria)	9 Terminaciones
Tubería 6" PVC(sanitaria)	<i>Exterior Cement Plaster Walls</i>
Tubería 4" PVC(sanitaria)	Pintura primer exteriores
T reductora 12" X 8"	Limpieza

El precio unitario de cada partida, se muestra más adelante en los estimados de costo.

6.3.1.2 Costos Indirectos del Proyecto

Como se mencionó anteriormente, las partidas que forman parte de los costos indirectos del proyecto corresponden a la división uno del *Master Format del 95* (Condiciones Generales) y fueron conseguidas de la base de datos Bids de Puerto Rico. La Tabla 35 contiene las partidas seleccionadas para el cálculo de este costo.

Tabla 51: Partidas utilizadas para el cálculo de los costos indirectos Hospital La Concepción

Partidas de construcción para calculo costo indirecto	
1. Condiciones Generales	Ingeniero de proyecto
Oficina de campo temporera	<i>General Foreman</i>
Seguro Responsabilidad Pública	Secretario de Oficina
Seguro Riesgo Contratista	Verja temporera (6 ft. altura)
Fianzas	Facilidades agua potable
Fondo Seguro del Estado	CPM (<i>critical path method</i>)
Patente Municipal	Avance de Progreso
Arbitrio Municipal	Conexiones agua
Rótulo proyecto	Conexiones eléctricas
Seguridad 1 turno	“Trailer” para oficinas
Teléfono y fax	“Trailer” para almacén
Herramientas pequeñas	Limpieza diaria
Laboratorio pruebas	Caja menor
Punch list	“Layout”

6.3.1.3 Costos Indirectos y Ganancia del Contratista

Al igual que en las escuelas, el porcentaje que hace referencia a los costos indirectos y ganancia del contratista se estimó en un 30 por ciento de los costos directos. Dicho porcentaje es el máximo propuesto por la publicación RS Means para proyectos que involucran rehabilitación o reparación.

6.3.1.4 Factor de Ingeniería

El factor de ingeniería se estimó con base en valores recomendados por el CIAPR. Los honorarios y servicios sugeridos para este tipo de proyecto (rehabilitación) se encuentran dentro de la categoría cinco.

Más adelante se observa que el resultado de sumar el costo directo, el costo indirecto del proyecto y la ganancia del contratista para este proyecto de rehabilitación se estimó en

\$1, 562,256. De la Tabla 36, que indica los honorarios y servicios sugeridos durante la construcción para la categoría II, se obtiene:

Tabla 52: Honorarios sugeridos por CIAPR

Costo Proyecto (\$)	Honorarios (\$) diseño final	Servicios durante la construcción (\$)
\$ 1,400,000	\$ 126,758	\$ 28,767
\$ 1,500,000	\$ 135,035	\$ 30,557
\$ 1,600,000	\$ 143,245	\$ 32,348

- Honorarios = $\frac{\$ 135,035 + \$ 143,245}{2} = \$ 139,140$
- Servicios durante la construcción = $\frac{\$ 30,557 + \$ 32,348}{2} = \$ 31,453$

La suma de ambos valores = \$ 139,140 + \$ 31,453 = \$ 170,593

Por lo tanto el porcentaje para proyectos Categoría II = $\frac{\$ 170,593}{\$1, 562,256} \times 100 = 11.0\%$

La Guía de Practica Profesional del CIAPR indica que para encontrar el factor correspondiente a la Categoría V, se debe multiplicar el valor encontrado para la Categoría II por 1.30. Por lo tanto el factor de ingeniería a utilizar para nuestro cálculo del estimado de costo es el siguiente:

- Factor Ingeniería = $11.0 * 1.30 = 14.30\%$

6.3.1.5 Estimado del Costo de Rehabilitación

El estimado del costo de rehabilitación se dividió en:

- Costos directos,
- Costos indirectos del proyecto,
- Costos indirectos y ganancia del contratista, y
- Factor de Ingeniería.

El estimado de costo final para la rehabilitación del Hospital La Concepción incluyendo el aporte de los factores de rehabilitación y el factor de ingeniería es de \$ **1, 785,659**. Debido a la longitud del estimado de costo, este se muestra en varias Tablas. En la Tabla 51 se muestra los costos indirectos del proyecto, incluidos en la división Condiciones Generales. La Tabla 52 contiene los costos de las partidas de construcción de la división Solar y finalmente, la Tabla 53 indica los costos relacionados con las divisiones: Hormigón, Metales, Puertas y Ventanas y Terminaciones, además de los costos indirectos del proyecto, costos indirectos y ganancia del contratista, el ajuste por factor de ingeniería y el costo total del proyecto.

Tabla 53: Condiciones Generales Hospital La Concepción

Estimado de Costo Rehabilitacion Hospital la Concepcion										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	1. Condiciones Generales									\$ 224,359.00
Bids	Oficina de campo temporera	2	EA	1,500.00	5,500.00				7,000.00	\$ 14,000.00
Bids	Seguro Responsabilidad Pública	0.0052	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 6,025.60
Bids	Riesgo Contratista (<i>Builders Risk</i>)	0.002	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 2,781.05
Bids	Fianzas	0.021	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 24,334.17
Bids	Fondo Seguro del Estado	0.071	Porc.						\$ 297,756.85	\$ 21,140.74
Bids	Patenta Municipal	0.004	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 4,635.08
Bids	Arbitrio Municipal	0.005	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 5,793.85
Bids	Rótulo proyecto	1	EA	225.00	875.00				1,100.00	\$ 1,100.00
Bids	Seguridad 1 turnos	9	Mes	1,500.00					1,500.00	\$ 13,500.00
Bids	Teléfono y fax	9	Mes			240.00			240.00	\$ 2,160.00
Bids	Herramientas pequeñas	0.001	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 579.39
Bids	Laboratorio pruebas	0.003	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 2,896.93
Bids	<i>Punch list</i>	0.002	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 2,665.17
Bids	Ingeniero de proyecto	9	Mes	4,200.00					4,200.00	\$ 37,800.00
Bids	<i>General Foreman</i>	9	Mes	3,150.00					3,150.00	\$ 28,350.00
Bids	Secretario de Oficina	9	Mes	1,575.00					1,575.00	\$ 14,175.00
Bids	Verja temporera (6" altura)	800	LF	5.00	9.50				14.50	\$ 11,600.00
Bids	Facilidades agua potable	9	Mes	115.00	150.00				265.00	\$ 2,385.00
Bids	<i>Critical path method (cpm)</i>	0.0023	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 2,665.17
Bids	<i>Progress Schedule</i>	0.0024	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 2,781.05
Bids	Conexiones agua	1	LS	185.00					185.00	\$ 185.00
Bids	Conexiones eléctricas	1	LS	160.00					160.00	\$ 160.00
Bids	<i>Trailer</i> para oficinas	9	Mes		780.00				780.00	\$ 7,020.00
Bids	<i>Trailer</i> para almacén	9	Mes	245.00					245.00	\$ 2,205.00
Bids	Limpieza diaria	9	Mes	950.00	45.00				995.00	\$ 8,955.00
Bids	Caja menor	0.0023	Porc.						\$ 1,158,770.00	\$ 2,665.17
Bids	<i>Layout</i>	4	dias	450					450	\$ 1,800.00

Tabla 54: División Solar estimado de costo rehabilitación hospital La Concepción

Estimado de Costo Rehabilitacion Hospital la Concepcion										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	2 Solar (Site)									\$ 27,944.00
Excavación										
02305-250-0020	Movilización y desmovilización	2	EA		56.5	112	0.984	1.160	175.75	\$ 351.50
02305-250-1100	Movilización equipo pequeño	2	EA		27.5	10.65	0.984	1.160	42.38	\$ 84.76
02315-462-6030	Excavación para zapatas Área B	412	CYD	9.55		6.10	0.984	1.160	15.40	\$ 6,344.64
02315-462-6030	Excavación para footings Área A	29	CYD	9.55		6.10	0.984	1.160	15.40	\$ 446.59
02315-320-0600	Compactación	441	ECY	1.10		0.13	0.984	1.160	1.21	\$ 533.75
02315-120-2020	Relleno para fundación	142	LCY	0.41		0.33	0.984	1.160	0.73	\$ 103.40
02315-462-9026	Retiro de tierra no útil (colocar en camión)	299	LCY	1.4325		0.61	0.984	1.160	2.01	\$ 600.94
02315-490-0560	Retiro de tierra no útil (transporte)	299	LCY	5.8		12.2	0.984	1.160	17.71	\$ 5,295.89
Demoliciones										
02220-240-4100	Demolición aceras al lado de los muros	125	SY	4.50		1.41	0.984	1.160	5.82	\$ 726.93
02220-240-4100	Demolición aceras zona crucetas	11	SY	4.50		1.41	0.984	1.160	5.82	\$ 63.97
02220-360-0400	Cortar concreto fuera de los limites muros	305	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	1.24	\$ 377.54
02220-360-0400	Cortar concreto fuera zona crucetas	112	LF	0.51	0.38	0.3	0.984	1.160	1.24	\$ 138.64
0220-320-0300	Movilizar material para acarrear	25	CYD	3.89		4.79	0.984	1.160	8.54	\$ 213.53
02220-130-4250	Acarreo escombros	42	CYD	3.40		7.6	0.984	1.160	10.82	\$ 454.61
Bids PR	Impuesto municipal vertedero	42	CYD	10.00			1.000	1.000	10.00	\$ 420.00
Tubería										
02220-240-2900	Remover tubería	358	LF	4.11		1.29	0.984	1.160	5.31	\$ 1,902.27
02510-750-4560	Tubería PVC 12" (sanitaria)	20	LF	5.75	18.8		0.984	1.160	27.47	\$ 549.32
02510-750-4550	Tubería PVC 10" (sanitaria)	247	LF	4.86	13.3		0.984	1.160	20.21	\$ 4,991.93
02510-750-4540	Tubería PVC 8" (sanitaria)	75	LF	4.05	8.8		0.984	1.160	14.19	\$ 1,064.49
02510-750-2200	Tubería 6" PVC(sanitaria)	12	LF	2.36	8.3		0.984	1.160	11.95	\$ 143.40
02510-750-2180	Tubería 4" PVC(sanitaria)	4	LF	1.99	3.85		0.984	1.160	6.42	\$ 25.70
02510-750-8360	T reductora 12" X 8"	1	EA	8.3	430		0.984	1.160	506.97	\$ 506.97
02510-750-8340	T reductora 10" X 8"	2	EA	8.3	310		0.984	1.160	367.77	\$ 735.53
02510-750-8330	T reductora 10" X 6"	3	EA	8.3	288		0.984	1.160	342.25	\$ 1,026.74
02510-750-8300	T reductora 6" X 4"	1	EA	7.45	153		0.984	1.160	184.81	\$ 184.81
02510-750-8240	Codo 45° 8"	2	EA	14.95	270		0.984	1.160	327.91	\$ 655.82
Factores de ajuste para Rehabilitación										
01250-400-0500	Factor Cut & Patch	1	Porc.	0.09	0.05					
01250-400-2350	Factor Temporary Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05					
01250-400-1750	Factor Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05					
01250-400-0850	Factor dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04					
01250-400-1150	Factor Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03					
	Suma Factores			0.49	0.22					

Total Unitario= (C.Mano de obra x Ajuste Mano de Obra y Equipo) + (C.Mano de Obra x (1 + Factor Rehabilitación Materiales)) + (C.Equipo x Ajuste Mano de Obra y Equipo) + (C. Material x Ajuste Material) x (1 + Factor Rehabilitación Materiales)

Tabla 55: División Hormigón, Metales , Puertas y Ventanas yTerminaciones para el estimado de costo de rehabilitación hospital LC

Estimado de Costo Rehabilitacion Hospital la Concepcion											
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN	
3 Hormigón											\$ 452,840.00
Sidewalk											
02775-275-0400	Side walk	1068	SF	1.53	2.26		0.225	2.145	6.71	\$	7,167.08
02775-275-0400	Side walk zona crucetas	96	SF	1.53	2.26		0.225	2.145	6.71	\$	644.23
Muros											
03300-240-4270	Engrosamiento muros	486	CYD	176	159	18.05	0.225	2.145	527.12	\$	256,178.50
Footing											
03300-240-3850	Ampliación Zapata Edif. B	294	CYD	47	242	0.26	0.225	2.145	631.60	\$	185,691.43
03300-240-3850	Apoyo crucetas	5	CYD	47	242	0.26	0.225	2.145	631.60	\$	3,158.02
Factores de ajuste											
01250-400-0500	Factor Cut & Patch	1	Porc.	0.09	0.05						
01250-400-0500	Factor Material handling & storage limitation	1	Porc.	0.03	0.1						
01250-400-2350	Factor Temporary Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05						
01250-400-1750	Factor Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05						
01250-400-0850	Factor dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04						
01250-400-1150	Factor Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03						
Suma Factores				0.52	0.32						
5 Metales											\$ 449,212.00
05120-260-5300	Acero Estructural Crucetas (HSS 12x12x1/4)	14200	LBS	0.15	0.95	0.1	0.304	1.148	1.17	\$	16,565.72
05120-260-5100	Placas, conexiones etc.	1704	Porc.	0.15	0.95	0.1	0.304	1.148	1.17	\$	1,987.89
05090-300-1435	Aclaje con epoxy Zapatas	1963	EA	24.5	47	5.5	0.304	1.148	90.86	\$	178,350.33
05090-300-1435	Aclaje con epoxy Paredes	1786	EA	24.5	47	5.5	0.304	1.148	90.86	\$	162,268.82
05090-300-1435	Aclaje con epoxy Columnas	991	EA	24.5	47	5.5	0.304	1.148	90.86	\$	90,038.30
Factores de ajuste											
01250-400-0500	Factor Cut & Patch	1	Porc.	0.09	0.05						
01250-400-0500	Factor Material handling & storage limitation	1	Porc.	0.03	0.1						
01250-400-2350	Factor Temporary Shoring and bracing	1	Porc.	0.12	0.05						
01250-400-1750	Factor Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05						
01250-400-0850	Factor dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04						
01250-400-1150	Factor Equipment usage curtailment	1	Porc.	0.1	0.03						
Suma Factores				0.52	0.32						
8. Puertas y Ventanas											\$ 352.00
08060-120-5040	Remover y colocar ventana	15	EA	142			0.165	1.535	23.43	\$	351.45
9 Terminaciones											\$ 40,238.00
Acabados											
09220-200-1000	Exterior Cement Plaster Walls	1276	SY	6.15	3.33	0.53	0.187	2.503	9.58	\$	12,229.38
09910-910-410 y 420	Pintura primer exteriores	34440	SF	0.07	0.31		0.187	2.503	0.79	\$	27,173.85
01740-500-0050	Limpieza	100	MSF	20.5	1.7	1.34	0.187	2.503	8.34	\$	833.92
Costo Directo											\$ 977,376.00
Costo Indirecto											\$ 224,359.00
V. SubTotal											\$ 1,201,735.00
Indirectos del Contratista y Ganancia		0.300	PC						1,201,735.00	\$	360,521.00
Factor Ingenieria		0.143	PC						1,562,256.00	\$	223,403.00
Costo Total											\$ 1,785,659.00

6.3.2 Programación de Actividades Para la Rehabilitación Hospital La Concepción

Como se discutió anteriormente, la rehabilitación del Hospital La Concepción propone ensanchar hacia fuera los muros perimetrales del edificio 12 pulgadas y la incorporación de crucetas de acero en el área frontal. Se decidió programar las actividades para ensanchar los muros en tramos de 100 pies. Así, de acuerdo a los planos del hospital y los sectores donde se va ensanchar los muros, resultan ocho tramos de aproximadamente 100 pies cada uno. La Tabla 54 muestra las actividades que se requieren para ensanchar el muro para cada tramo. También se indica la productividad asignada a cada actividad, las cantidades requeridas y la duración. Es importante mencionar que de los ocho tramos hay uno que pasa por la zona de emergencias y requiere de dos actividades adicionales a las citadas en la Tabla 54 que son demoler la acera existente y construir acera zona emergencias.

Tabla 56: Lista de actividades que se requieren para ensanchar el muro por tramo

Descripción	Unidad	Cantidad	Prod.(unid/día)	Duración (días)
1. Excavación	CYD	69.75	24	3
2. Reinstalar tubería sanitaria	LF	45	45	1
3. Anclajes Zapatas y Muros	EA	585	40	15
4. Ampliación zapata	CYD	37.5	20	2
5. Engrosamiento muro	CYD	62	4	16
6. Empañetado muro	SY	160	67	3
7. Relleno	LCY	52	195	1

En la Tabla 55 se incluyen las actividades que se requieren para instalar las crucetas de acero en la entrada principal del hospital. Nótese que se requiere demoler la acera existente para poder realizar la excavación necesaria para construir la cimentación de las crucetas. Por último, en la Tabla 56, se listan las actividades generales del proyecto de rehabilitación.

Tabla 57: Actividades que se requieren para instalar crucetas de acero

Descripción	Unidad	Cantidad	Productividad	Duración (días)
• Demolición acera.	SY	30	50	1
• Excavación	CYD	20	24	1
• Anclajes y cimentación crucetas	CYD	5	20	1
• Instalación crucetas	EA	24	8	3
• Relleno y construcción acera.	SF	264	510	2

Tabla 58: Actividades generales

Descripción	Unidad	Cantidad	Productividad	Duración (días)
• Inicio Proyecto (ficticia)	-	-	-	0
• Movilización	DAY	3	1	3
• Preparar área	DAY	4	1	4
• Fabricar acero	LBS	14200	1500	10
• Acarreo escombros	CYD	40	20	2
• Pintura muros	SF	34440	1148	30
• Limpieza y <i>Punch List</i>	MSF	100	25	4
• Retirar ventanas	EA	15	3.75	4
• Instalar ventanas	EA	15	3.75	4
• Retiro tierra no útil	LCY	31	31	1

La programación de las actividades se hizo de acuerdo al método de la ruta crítica (*Critical Path Method*) y el programa SURETRAK. Se decidió utilizar la relación Terminación-a-Comienzo (*Finish-to-start*) que indica que una actividad no puede comenzar hasta que la anterior termine.

Para facilitar la comprensión de la programación de las actividades por medio del programa SURETRAK se clasificaron las actividades en secciones. En el lado izquierdo de las Figuras 30, 31 y 32 se muestra la distribución de las actividades en secciones y del lado derecho se muestra el diagrama de barras que muestra la duración de cada actividad. Cada barra está unida con flechas que nos indica que actividad precede a otra. Las barras de color rojo representan las actividades que forman parte de la ruta

crítica del proyecto. En cada sección se indica los siguientes datos: *Activity ID, Descripción, Duración de la actividad, Unidad de la actividad, Cantidad, Productividad y Comentarios.*

La Figura 33 expone el diagrama CPM con la secuencia lógica de las actividades en el proyecto. Las actividades en color rojo (más oscuros en copia blanco y negro) representan aquellas actividades que pertenecen a la ruta crítica del proyecto, es decir, aquellas actividades que no tienen tiempo flotante.

La duración total de la rehabilitación del Hospital La Concepción es de 187 días calendario (aproximadamente nueve meses). Presumiendo que el proyecto de rehabilitación comienza el día tres de septiembre del 2007, este se terminaría el día 22 de Mayo del 2008.

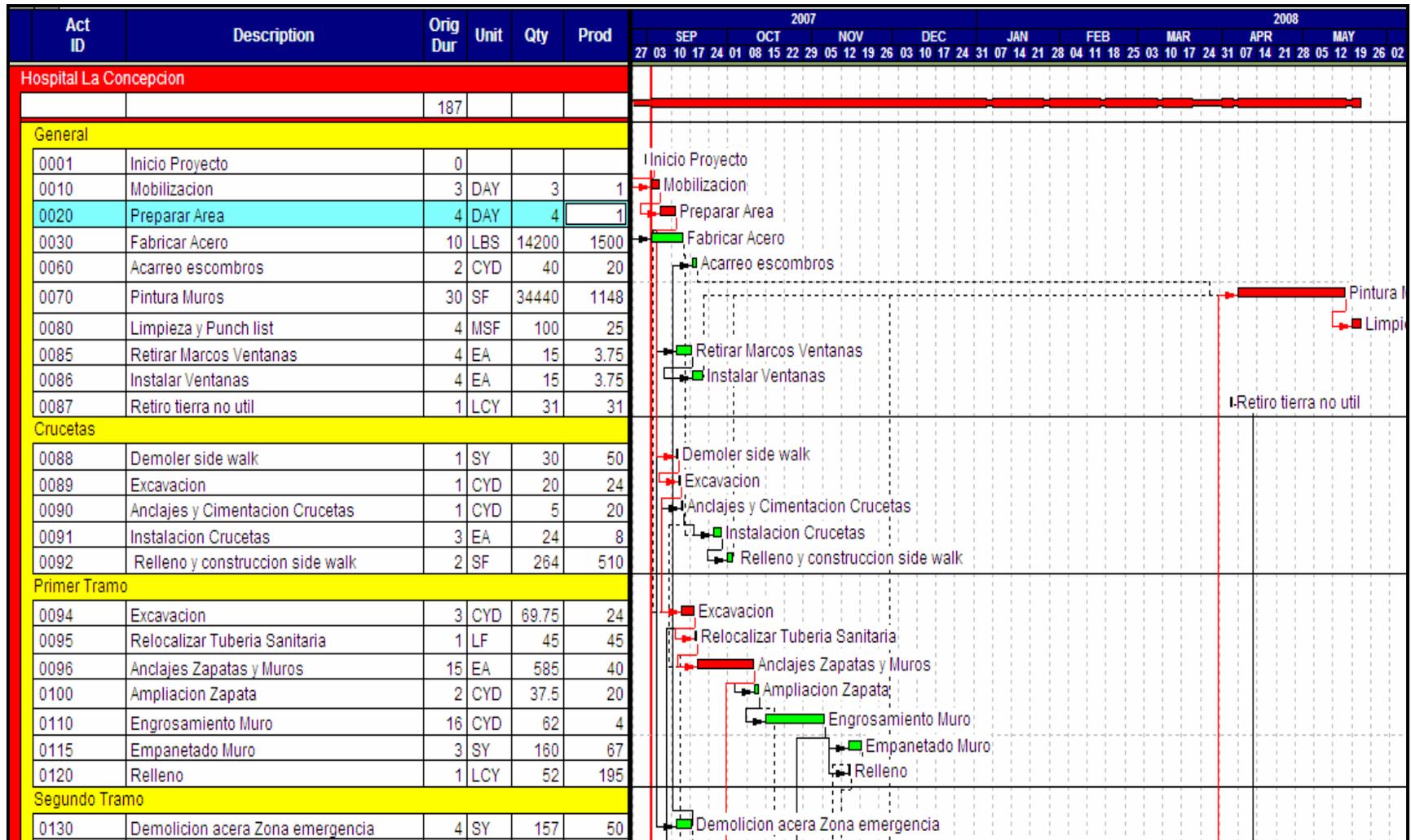


Figura 30: Programación actividades rehabilitación hospital La Concepción

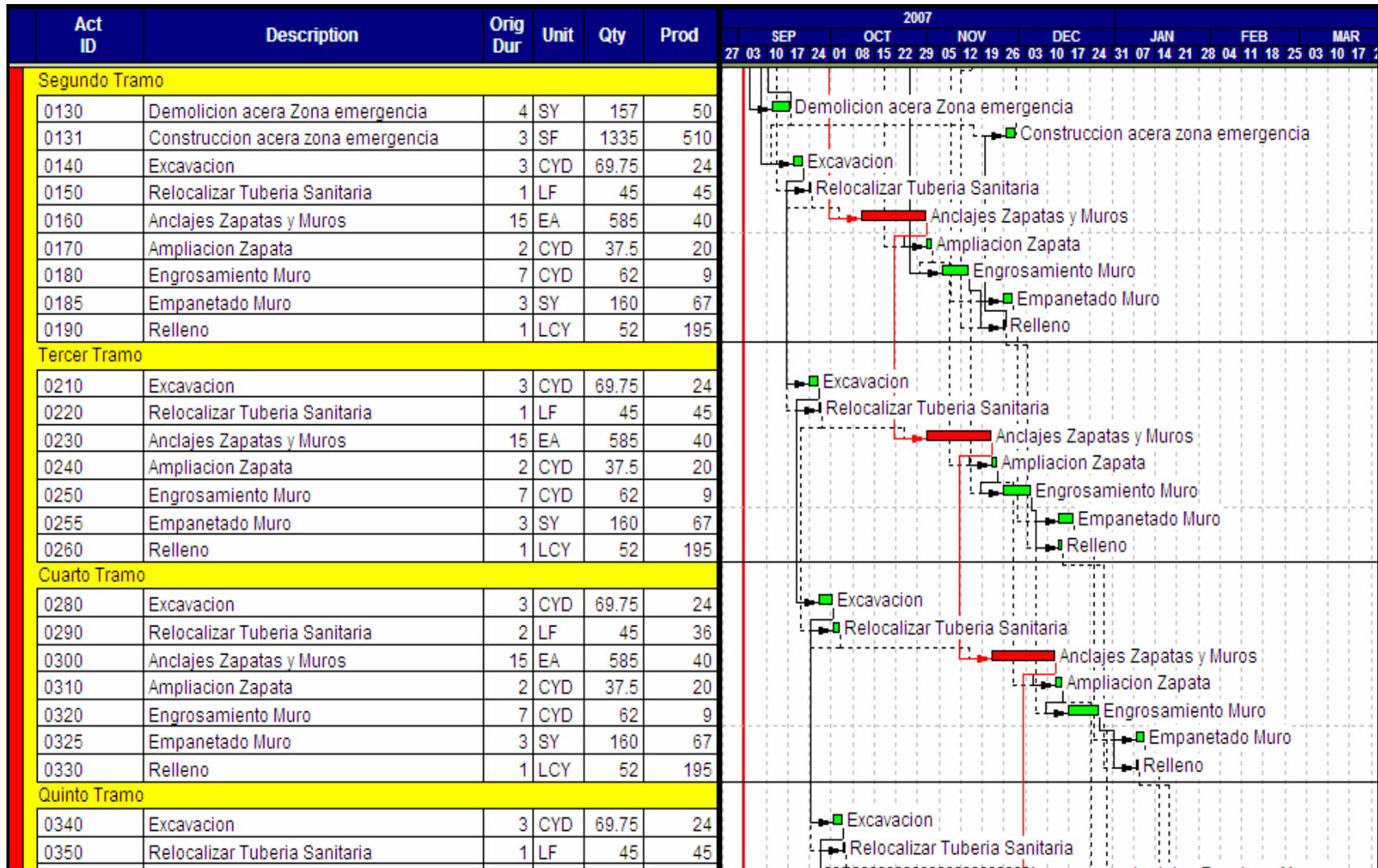


Figura 31: Programación actividades rehabilitación hospital La Concepción. (continuación)

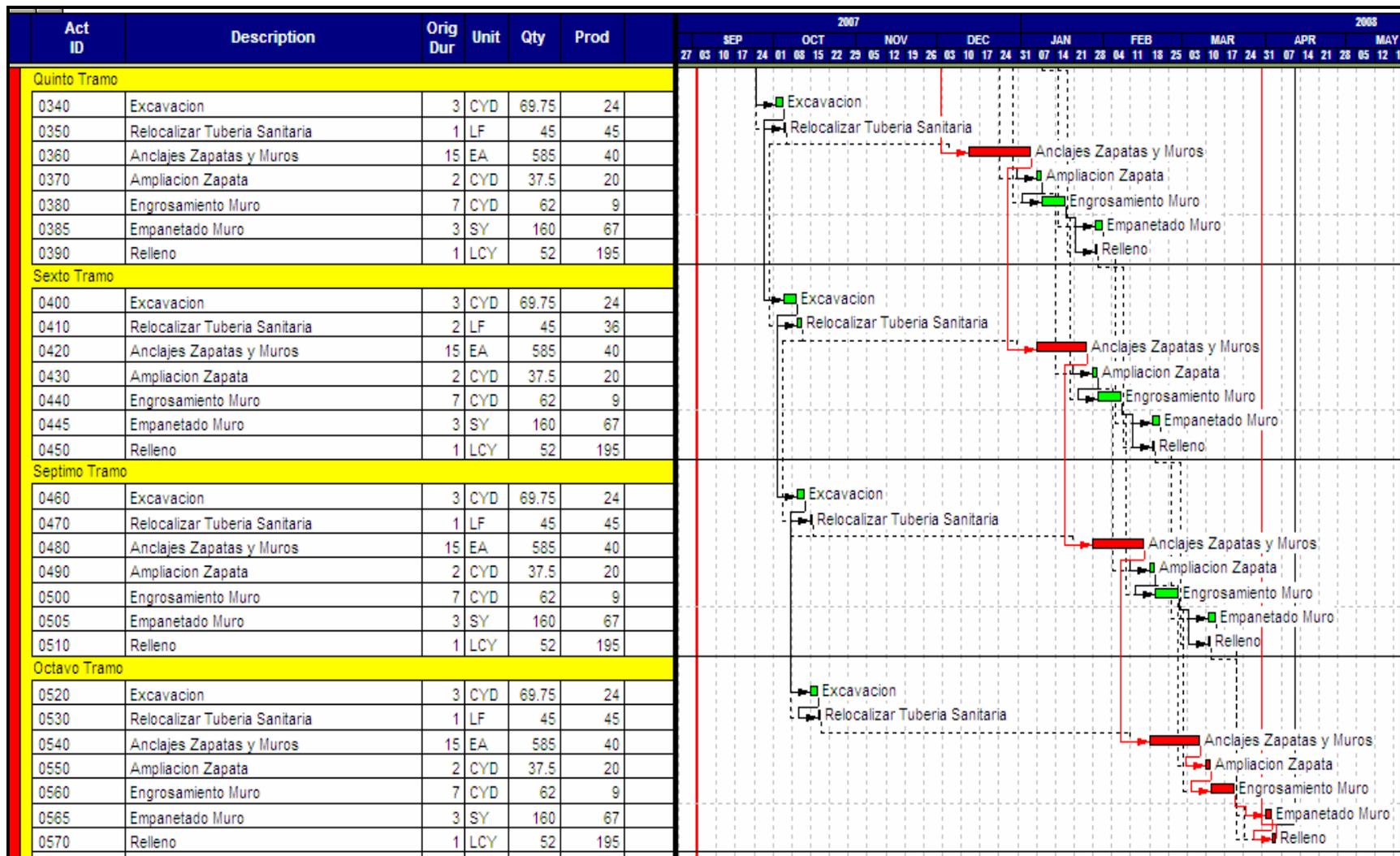


Figura 32: Programación actividades rehabilitación Hospital La Concepción. (continuación)

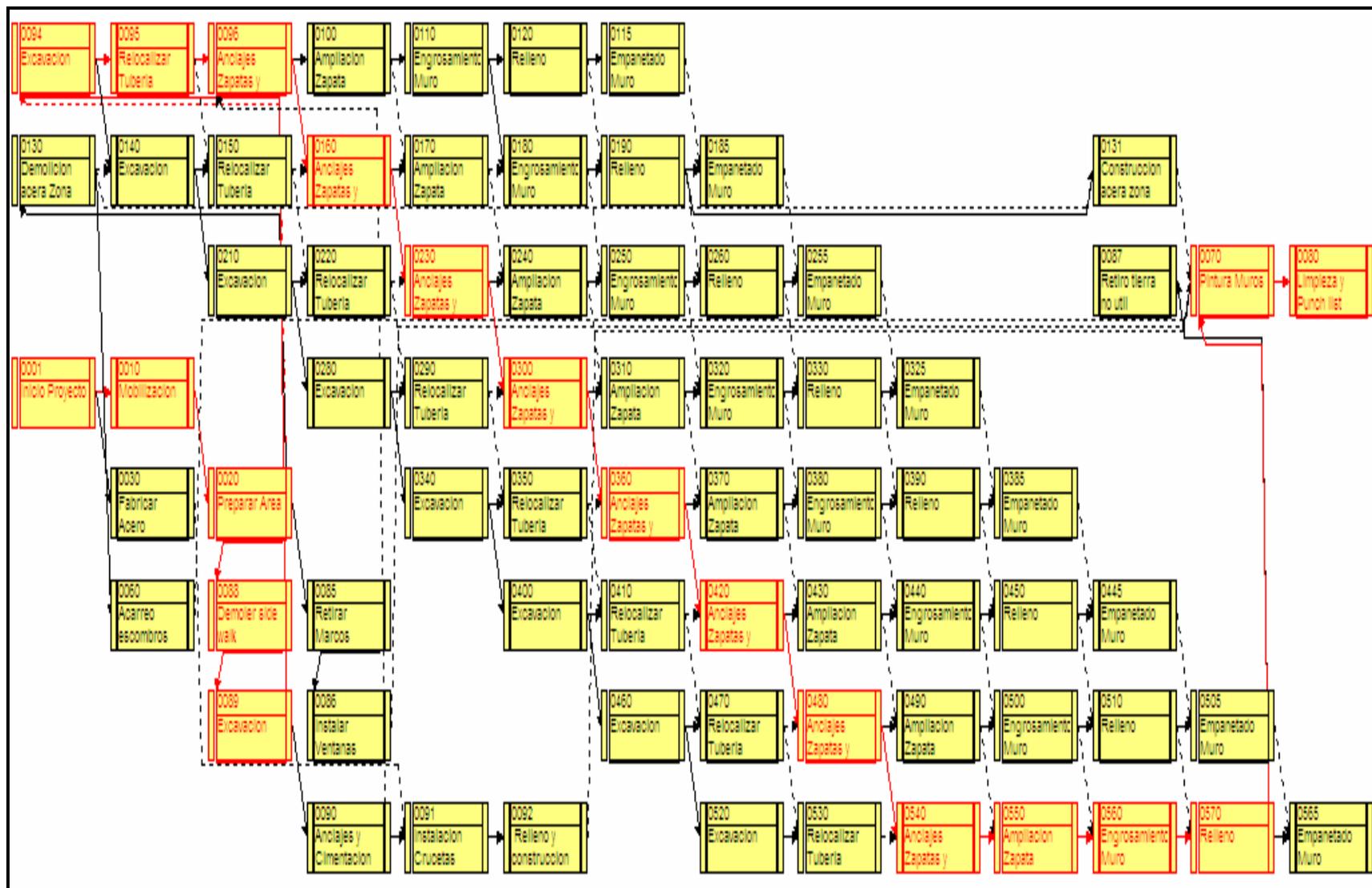


Figura 33: CPM para la rehabilitación hospital LC

6.4 DISEÑO ELÁSTICO DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO

Este escenario se refiere al costo que resulta de construir la edificación nuevamente siguiendo un diseño para que los elementos de hormigón armado tengan un comportamiento en el rango elástico (EHRE).

La manera como se obtuvo el estimado de costo de este escenario fue primero encontrando el costo aproximado del hospital en el 2006 sabiendo que el costo de construcción del mismo para el año 1999 fue de \$ 38,000,000. Posteriormente se le sumó el costo de los elementos estructurales propuestos en la rehabilitación que garantizan que el hormigón de la estructura trabaje en el rango elástico. Sin embargo, es claro que para este escenario el costo que resulta de incorporar estos elementos estructurales es menor que el conseguido en la rehabilitación, ya que para este caso la estructura va ser construida nuevamente y por consiguiente no se requiere tener en cuenta los factores de rehabilitación, que como vimos aumentan el costo.

Por lo tanto:

- Costo construir Hospital EHRE = costo Hospital 2006 + costo elementos estructurales adicionales.

Para obtener el costo probable del hospital para el año 2006 se utilizaron los índices (*Historical Cost Indexes*) sugeridos por la publicación *Building Construction Cost Data* (RS Means 2006) indicados en la Tabla 11 en el Capítulo IV. El índice del 2006 es 162 mientras que el del año 1999 corresponde a 117.6. A continuación se muestran los cálculos:

- Costo hospital 2006 = $\frac{162}{117.6} * \$ 38,000,000 = \$ 52,346,940$

El estimado de costo de los elementos estructurales con EHRE contiene las siguientes partidas:

- Ampliación muros perimetrales del edificio (1 pie hacia afuera)
- Incorporación crucetas de acero en el área frontal del hospital.

Es importante entender que la ampliación de los muros del hospital implica modificar la cimentación, produciendo un aumento en el estimado de costo, del mismo modo las crucetas de acero requieren también una cimentación para poder fijarlas. Para más información acerca de los detalles del diseño referirse a Hernández (2007).

A continuación se describe el estimado de costo de la estructura con EHRE.

6.4.1 Estimado de Costo de los Elementos Estructurales Adicionales Para que Trabaje EHRE.

El estimado de costo para esta alternativa de diseño se hizo siguiendo el mismo procedimiento utilizado en los estimados de costos para las escuelas. El estimado se dividió en:

1. costos directos
2. costos indirectos del proyecto
3. costos indirectos y ganancia del contratista y
4. factor de ingeniería

Las divisiones utilizadas en el estimado fueron: Condiciones Generales, Solar, Hormigón, Metales y Terminaciones. Se utilizaron factores de ajuste por localización para Puerto Rico para ajustar los costos de mano de obra, materiales y equipos suministrados por RS Means.

Para encontrar los costos indirectos y ganancia del contratista se utilizó el porcentaje recomendado por RS Means que corresponde al 30 por ciento de los costos directos. El factor de ingeniería se ajustó de acuerdo CIAPR teniendo en cuenta que para este caso, el proyecto se encuentra dentro de la categoría dos que representa proyectos de complejidad promedio. De esta forma el costo que resultó sin contar el factor de ingeniería fue de \$ 619,944. De la Tabla siendo conservadores obtenemos:

Tabla 59: Factor Ingeniería utilizado para el calculo del estimado de costo diseño elástico

Costo Proyecto (\$)	Honorarios (\$) diseño final	Servicios durante la construcción (\$)
\$ 600,000	\$58,862	\$ 13,851
\$ 650,000	\$ 63,327	\$ 14,566

- honorarios diseño final = \$ 63,327
- servicios durante la construcción = \$ 14,566
- factor de Ingeniería = $\frac{\$ 63,327 + \$ 14,566}{\$ 619,944} * 100\% = 12.57\%$

En las Tabla 58 se muestra el estimado de costo que resultó de incluir los nuevos elementos estructurales incluyendo el factor de ingeniería.

Costo estimado de construir Hospital LC con EHRE = \$ 52,346,940 + \$ 695,620 = **\$ 53, 042,560**

Tabla 60: Estimado de costo diseño EHRE hospital La Concepción

Estimado de costo Hospital L..C diseno elastico										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
	Condiciones Generales									\$ 98,463.00
Bids	Seguro Responsabilidad Pública	0.0052	Porc.						457,161.00	2,377.24
Bids	Riesgo Contratista (<i>Builders Risk</i>)	0.002	Porc.						457,161.00	1,097.19
Bids	Fianzas	0.021	Porc.						457,161.00	9,600.38
Bids	Fondo Seguro del Estado	0.071	Porc.						92,825.82	6,590.63
Bids	Patenta Municipal	0.004	Porc.						457,161.00	1,828.64
Bids	Arbitrio Municipal	0.005	Porc.						457,161.00	2,285.81
Bids	Herramientas pequeñas	0.001	Porc.						457,161.00	228.58
Bids	Laboratorio pruebas	0.003	Porc.						457,161.00	1,142.90
Bids	<i>Punch list</i>	0.002	Porc.						457,161.00	1,051.47
Bids	Ingeniero de proyecto	6	Mes	4,200.00					4,200.00	25,200
Bids	<i>General Foreman</i>	6	Mes	3,150.00					3,150.00	18,900
Bids	Secretario de Oficina	6	Mes	1,575.00					1,575.00	9,450
Bids	Facilidades agua potable	6	Mes	115.00	150.00				265.00	1,590.00
Bids	<i>Critical Path Method (CPM)</i>	0.0023	Porc.						457,161.00	1,051.47
Bids	<i>Progress schedule</i>	0.0024	Porc.						457,161.00	1,097.19
Bids	<i>Trailer</i> para oficinas	6	Mes		780.00				780.00	4,680.00
Bids	<i>Trailer</i> para almacén	6	Mes	245.00					245.00	1,470.00
Bids	Limpieza diaria	6	Mes	950.00	45.00				995.00	5,970.00
Bids	Caja menor	0.0023	Porc.						457,161.00	1,051.47
Bids	<i>Layout</i>	4	días	450					450	1800
	1 Solar (Site)									\$ 12,964.00
Excavación										
02315-462-6030	Excavación para zapatas Área B	412	CYD	9.55		6.10	0.984	1.160	15.40	6,344.64
02315-462-6030	Excavación para zapatas Área A	29	CYD	9.55		6.10	0.984	1.160	15.40	446.59
02315-320-0600	Compactación	142	ECY	1.10		0.13	0.984	1.160	1.21	171.87
02315-120-2020	Relleno para fundación	142	LCY	0.41		0.33	0.984	1.160	0.73	103.40
02315-462-9026	Retiro de tierra no útil (colocar en camión)	299	LCY	1.4325		0.61	0.984	1.160	2.01	600.94
02315-490-0560	Retiro de tierra no útil (transporte)	299	LCY	5.8		12.2	0.984	1.160	17.71	5,295.89
	3 Hormigón									\$ 345,360.00
Muros										
03300-240-4270	Engrosamiento muros	486	CYD	176	159	18.05	0.225	2.145	384.72	186,972.10
03300-240-3850	Apoyo crucetas	5	CYD	47	242	0.26	0.225	2.145	529.72	2,648.62
Footing										
03300-240-3850	Ampliación Zapata Edif. B	294	CYD	47	242	0.26	0.225	2.145	529.72	155,738.71
	5 Metales									\$ 18,554.00
05120-260-5300	Acero Estructural Crucetas (HSS 12x12x1/4)	14200	LBS	0.15	0.95	0.1	0.304	1.148	1.17	16,565.72
05120-260-5100	Placas, conexiones etc.	1704	Porc.	0.15	0.95	0.1	0.304	1.148	1.17	1,987.89
	Costo Directo									\$ 376,878.00
	Costo Indirecto									\$ 98,463.00
	V. SubTotal									\$ 475,341.00
	Indirectos del Contratista y Ganancia	0.300	PC						475,341.00	\$ 142,603.00
	Factor Ingenieria	0.118	PC						617,944.00	\$ 77,676.00
	Costo Total									\$ 695,620.00

6.5 REPARACIÓN HOSPITAL DESPUÉS DE PRESENTARSE UN EVENTO SÍSMICO

El procedimiento para obtener los posibles daños que presenta el hospital después de un evento sísmico fue el mismo utilizado para las escuelas. El análisis no lineal dinámico fue realizado por Hernández (2007). Debido a la complejidad y el tamaño del modelo estructural se decidió analizar dos pórticos representativos del hospital. La Figura 34 muestra los pórticos seleccionados para el análisis no lineal.

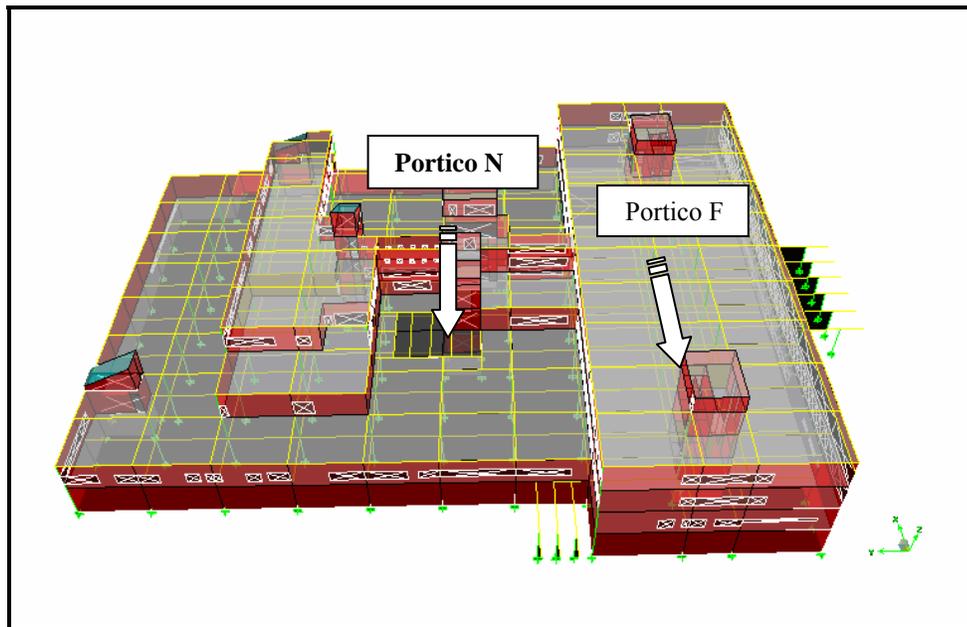


Figura 34: Pórticos seleccionados para análisis no lineal hospital LC.
(adaptado de Hernández (2007))

Las Figuras 35 y 36 muestran los daños que presentaron los elementos estructurales de los pórticos seleccionados. Un elemento presenta daño cuando supera la deformación máxima permitida (punto de cedencia) en la curva esfuerzo deformación del elemento. Los elementos marcados en color azul indican que la deformación es igual al 0.5 por ciento de la deformación última por encima del punto de cedencia. Los elementos de color verde el uno por ciento, los de color amarillo dos por ciento y finalmente los de color rojo el tres por ciento. Es importante mencionar que de acuerdo a los resultados obtenidos, los daños presentados son menores y para la reparación se recomienda utilizar un agente adhesivo como el epoxy.

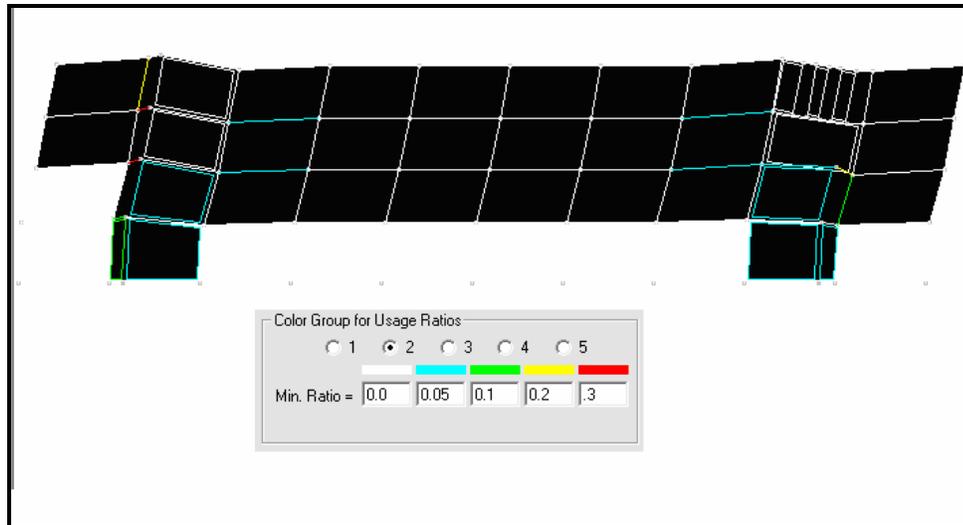


Figura 35: Elementos estructurales que sufrieron deformación del pórtico F. (adaptado de Hernández (2007))

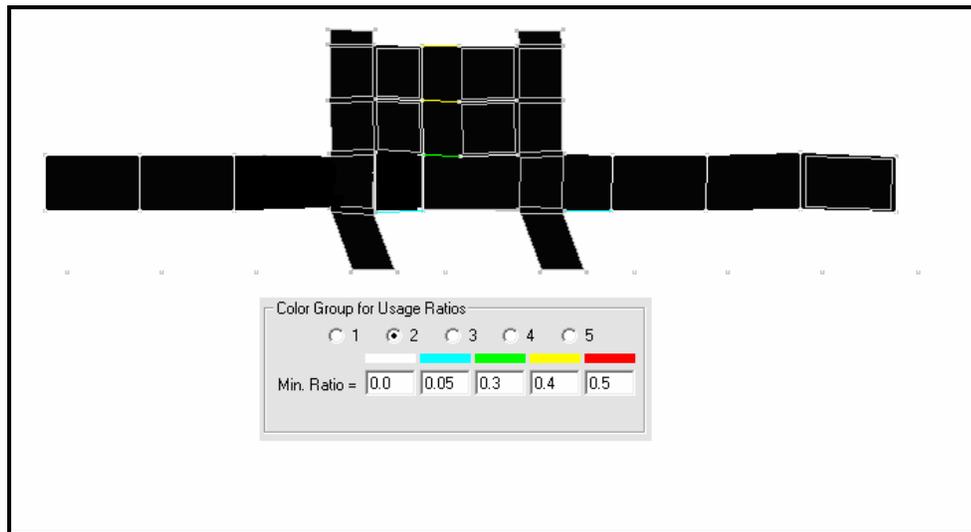


Figura 36: Elementos estructurales que sufrieron deformación del pórtico N. (adaptado de Hernández (2007))

De la Figura 34 podemos ver que existen cuatro pórticos iguales al F y siete similares al pórtico N. Para poder extrapolar el daño en estos pórticos al resto del hospital, es necesario obtener el número de los elementos dañados en los pórticos. Es decir, con los daños obtenidos para cada pórtico y sabiendo el número de pórticos semejantes a F y N en el hospital, podemos conseguir un estimado del daño en todo el hospital. El listado de los daños que tuvieron los pórticos F y N se lista a continuación:

Pórtico F

- Viga de 16 pulg.*36 pulg.* 288 pulg.-----4 unidades

- Viga 16 pulg.*36 pulg.*40 pulg.-----3 unidades
- Columna 24 pulg.*24 pulg.*168 pulg.----- 3 unidades
- Muro 10 pulg. espesor----- 4 unidades

Pórtico N

- Viga de 12 pulg.*24 pulg.* 144 pulg. -----2 unidades
- Viga de 16 pulg.*24 pulg.* 144 pulg. ----- 2 unidades

Por lo tanto los daños probables para todo el hospital tomando en cuenta que hay en el hospital 4 pórticos tipo F y hay 7 pórticos tipo N:

- Viga de 16 pulg.*36 pulg.* 288 pulg. ----- 4 unidades * 4 = 16 unidades
- Viga 16 pulg.*36 pulg.*40 pulg.----- 3 unidades * 4 = 12 unidades
- Columna 24 pulg.*24 pulg.*168 pulg.-----3 unidades * 4 = 12 unidades
- Muro 10 pulg. espesor ----- 4 unidades * 4 = 16 unidades
- Viga de 12 pulg.*24 pulg.* 144 pulg. -----2 unidades * 7 = 14 unidades
- Viga de 16 pulg.*24 pulg.* 144 pulg. ----- 2 unidades * 7 = 14 unidades

6.5.1 Estimado de Reparación

Se decidió hacer el estimado de reparación para el hospital La Concepción presumiendo que el terremoto ocurre en el año 2006. Para conseguir el estimado de costo de reparación se consideraron los costos de elementos estructurales y elementos no estructurales. No se tuvo en cuenta los costos que representan el contenido del hospital.

Costo Elementos Estructurales

De acuerdo a la deformación que presentaron los elementos, se puede concluir que el hospital se encuentra en un estado de daño leve. Para la reparación de los elementos, se presumió que una tercera parte de la longitud de cada uno de los elementos presenta grietas (tamaño de 1/4 de pulgada). La partida de construcción que se utilizó para reparar los elementos estructurales se obtuvo de la publicación *RS Means Repair and Remodeling Cost Data (2004)*. El estimado completo de reparación de elementos

estructurales se muestra en la siguiente Figura 37. Es importante tener en cuenta que para este estimado de costo se incluye los factores de reparación definidos en el Capítulo II.

Estimado de Costo Reparación elementos estructurales										
SUB CODIGO	ACTIVIDAD	CANT	UNIDAD	COSTO MANO DE OBRA	COSTO MATERIALES	COSTO EQUIPO	Ajuste Mano Obra + Equipo	Ajuste Materiales	TOTAL UNITARIO	EXTENSIÓN
Condiciones Generales										\$ 3,745.00
Bids	Seguro Responsabilidad Pública	0.0052	Porc.						34,546.00	179.64
Bids	Riesgo Contratista (<i>Builders Risk</i>)	0.002	Porc.						34,546.00	82.91
Bids	Fondo Seguro del Estado	0.071	Porc.						18,184.97	1,291.13
Bids	Patenta Municipal	0.004	Porc.						34,546.00	138.18
Bids	Arbitrio Municipal	0.005	Porc.						34,546.00	172.73
Bids	Caja menor	0.0023	Porc.						34,546.00	79.46
Bids	Layout	4	dias	450					450	1800
3.Hormigón										\$ 16,679.00
Vigas 16*36*288										
03900-300-0110	Crack repair (Epoxy injection)	127	LF	20.37	10.76	3.01	0.984	1.160	\$ 44.50	\$ 5,638.59
Vigas 16*36*40										
03900-300-0110	Crack repair (Epoxy injection)	14	LF	20.37	10.76	3.01	0.984	1.160	\$ 53.80	\$ -
Vigas 12*24*144										
03900-300-0110	Crack repair (Epoxy injection)	55	LF	20.37	10.76	3.01	0.984	1.160	\$ 35.49	\$ 1,967.43
Vigas 16*24*144										
03900-300-0110	Crack repair (Epoxy injection)	55	LF	20.37	10.76	3.01	0.984	1.160	\$ 35.49	\$ 1,967.43
Columnas 24*24*168										
03900-300-0110	Crack repair (Epoxy injection)	55	LF	20.37	10.76	3.01	0.984	1.160	\$ 53.80	\$ 2,982.80
Muros										
03900-300-0110	Crack repair (Epoxy injection)	116	LF	20.37	10.76	3.01	0.984	1.160	\$ 35.49	\$ 4,122.23
Factores de ajuste para Reparación										
01250-400-0500	Factor Cut & Patch to match existing constru	1	Porc.	0.09	0.05					
01250-400-0500	Factor Material handling & storage limitación	1	Porc.	0.03	0.1					
01250-400-1750	Factor Protection of existing work	1	Porc.	0.07	0.05					
01250-400-0850	Factor dust & noise protection	1	Porc.	0.11	0.04					
	Suma Factores			0.3	0.24					
9 Terminaciones										\$ 13,352.00
09220-200-1000	Interior Cement Plaster	9536	SF	0.68	0.37	0.06	0.187	2.503	\$ 1.06	\$ 10,154.94
09910-920-840	Pintura primer interiores	9536	SF	0.32	0.11		0.187	2.503	\$ 0.34	\$ 3,196.18
Costos Directos										\$ 30,031.00
Costo Indirecto										\$ 3,745.00
Indirectos del Contratista y Ganancia										\$ 10,133.00
Costo Total										\$ 40,164.00

Figura 37: Estimado de costo reparación elementos estructurales

Costo Elementos No Estructurales

Los costos de los componentes no estructurales se obtuvieron siguiendo las recomendaciones del *Hazus Manual (FEMA)* el cual indica que con la deriva del edificio (*drift ratio*) se puede definir en que estado de daño se encuentra la estructura y de esta forma estimar un costo de reparación de estos elementos en función del costo de reemplazo de la estructura. El costo de reemplazo del hospital es de \$ 52,346,940 en el año 2006.

La deriva (*drift ratio*) obtenida después del análisis no lineal para el hospital fue de un valor de 0.0033. De acuerdo a la Tabla 32 que indica los valores de relación de deriva para estimar los daños de

elementos no estructurales proporcionados por *Hazus Manual*, se observa que para una relación de deriva de 0.0033 los daños para los elementos no estructurales del hospital se encuentra por debajo del estado leve (*slight*). Sin embargo se entiende que ante la eventualidad de un sismo los elementos que primero sufren daño en una edificación son los elementos no estructurales. Por esta razón, teniendo en cuenta que el análisis no lineal indicó que alguno de los elementos estructurales de la edificación presentó daños, suponemos entonces que se presentan daños en los elementos no estructurales.

Hazus Manual indica que los costos de reparación de estos elementos en un estado de daño leve corresponden a 0.8 por ciento del costo de reemplazo de la edificación. Sin embargo para nuestro caso la relación de deriva (0.0033) está por debajo del valor correspondiente a daño leve (0.004), por lo que se deduce que el porcentaje de daño va ser menor.

- Relación de deriva = 0.0033 = 82% de daño leve (*drift ratio de 0.004*) (= 66% \approx 70%).
- Costo reparación elementos no estructurales = 0.7% x \$ 52,346,940 = **\$ 366,429**

Estimado De Reparación Total

Por consiguiente el estimado de reparación del hospital se obtiene sumando el estimado de reparar los elementos estructurales y los elementos no estructurales. De esta manera el estimado final de reparación es de:

- Estimado de costo de reparación (2006) = \$ 40,164 + \$ 366,429 = **\$ 406,593**

Debido a que el costo de reparación es tan bajo con respecto al costo de la escuela no se indicará el costo para los años 2012, 2017 y 2027.

6.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis mostrado a continuación pretende ver cuanto más beneficioso en términos de costos de construcción es cada una de las siguientes alternativas :

- rehabilitar el hospital pre-evento sísmico,
- construir el hospital nuevamente pero con EHRE y

- reparar el hospital después de presentarse un terremoto .

6.6.1 Análisis de Resultados

A continuación se indican el costo estimado de cada alternativa de diseño para establecer cual es la más conveniente en términos de costo de construcción.

Rehabilitación Hospital

- costo hospital 2006 = \$ 52,346,940
- costo rehabilitación 2006 = \$ 1,785,659
- costo alternativa 2006 = \$ 52,346,940 + \$ 1,785,659 = **\$ 54,132,599**

Estimado de costo construir hospital elásticamente

- costo hospital 2007 = \$ 52,346,940
- costo elementos estructurales adicionales 2007 = \$ 695,620
- costo alternativa = \$ 52,346,940 + \$ 695,620 = **\$ 53,042,560**

Estimado de costo de reparación después de un terremoto

- costo hospital 2006 = \$ 52,346,940
- estimado costo reparación 2006 = \$ 406,593
- costo alternativa 2006 = \$ 52,346,940 + \$ 406,593 = **\$ 52,753,533**

De los resultados obtenidos está claro que sólo se puede comparar los costos de las alternativas 1 y 3 en función de ver cual es más viable debido a que el hospital se encuentra actualmente construido. La alternativa 2 nos indica cual sería el costo de construir el hospital nuevamente pero comportándose EHRE.

Comparando los costos de las alternativas 1 y 3 se puede concluir que la alternativa 3 que hace referencia a la reparación de la edificación después de que suceda un terremoto es la más económica. Como se vió el daño que presenta el hospital después de un evento sísmico se encuentra por debajo del estado de daño leve. El costo que se incurriría para reparar el hospital en proporción al costo de rehabilitación es mínimo por lo que se recomienda para la estructura no hacer trabajos de rehabilitación.

De la alternativa 2 se puede decir que ante la necesidad de construir un nuevo hospital siguiendo una metodología que permita que éste se comporte elásticamente (EHRE), la alternativa 2 sería viable teniendo en cuenta el alto costo inicial que tiene una estructura como un hospital. Si vemos la diferencia en costo con respecto a construirla bajo condiciones de diseño que sugiere el código UBC es tan solo de \$ 695,620 y representa aproximadamente un 1.32 por ciento del costo de construcción del hospital en el año 2006. Sin embargo para este caso particular observamos que después de realizado el análisis no lineal, la estructura es capaz de resistir muy bien el impacto de un sismo por lo que no es necesario rehabilitarla.

Para hacer un análisis completo de cual alternativa es mas beneficiosa se requieren involucrar otros factores como por ejemplo los costos que tendrá la estructura a lo largo de su vida, los costos de operación, mantenimiento, costos de ingresos que deja de recibir por motivos de rehabilitación, o reparación, costos de perdidas de equipos, perdidas de vidas humanas etc. Estos factores están fuera del alcance de este estimado.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 INTRODUCCIÓN

Este documento, presentó resultados de un proyecto de investigación que estudió las diferencias en costos que se presentan para los siguientes tres escenarios:

- Rehabilitar las estructuras pre-evento sísmico para que se comporten en el rango elástico
- Construir nuevamente las estructuras para que estas se comporten en el rango elástico.
- Reparar las estructuras post-evento sísmico, dejando estas tal y como fueron diseñadas originalmente, es decir de acuerdo al código vigente de construcción.

Este capítulo provee las conclusiones obtenidas y recomendaciones para futuros trabajos.

7.2 CONCLUSIONES

Para facilitar la comprensión de las conclusiones presentadas se muestra a continuación una Tabla resumen con los estimados de costos obtenidos en este proyecto de investigación. Los costos se indican redondeados para mostrar la magnitud.

Tabla 61: Resumen de estimados de costos

Escenarios	Escuela San Sebastian	Escuela Las Palmas	Hospital La Concepción
Costo 2006 (comportamiento inelástico)	\$ 5,500,000	\$ 5,300,000	\$ 52,300,000
Costo rehabilitación (pre-sismo)	\$ 800,000	\$ 700,000	\$ 1,800,000
Costo reparación/reemplazo (post-sismo)	\$ 5,900,000	\$ 0	\$ 400,000
I) Rehabilitación + costo inicial (2006)	\$ 6,300,000	\$ 6,000,000	\$ 54,100,000
II) Costo construirlo elásticamente (2006)	\$ 6,100,000	\$ 5,700,000	\$ 53,000,000
III) Reparación/reemplazo + costo 2006	\$ 11,400,000	\$ 5,300,000	\$ 52,700,000

Es importante entender que entre las tres alternativas presentadas, únicamente las alternativas I y III son las analizadas para ver cual es más viable en términos de costos ya que los edificios analizados están actualmente construidos. La alternativa II proporciona información acerca de cual es el costo probable de construir las edificaciones nuevamente siguiendo un diseño EHRE.

Después de realizado un análisis lineal y no lineal de las estructuras seleccionadas podemos concluir lo siguiente:

- 1) Para la escuela San Sebastián la alternativa I referente a rehabilitación de la estructura pre-evento sísmico representa la única opción viable, teniendo en cuenta que los resultados que arrojó el análisis no lineal que la escuela probablemente colapsaría ante la presencia de un terremoto.
- 2) Para el caso de la escuela Las Palmas la alternativa más económica y viable sería reparar la edificación después de presentarse un evento sísmico. Nuestro estudio muestra que la escuela se comportaría apropiadamente ante la eventualidad de un terremoto de diseño. Como se observó el estimado de costo de reparación de los elementos estructurales es mínimo. La relación de deriva que presentó el edificio después de realizado el análisis no lineal indicó que está por debajo del valor indicado en el Hazus Manual para que se presente daño en estado leve.
- 3) Para el caso del hospital La Concepción, la alternativa más económica es la reparación de la edificación después de presentarse un evento sísmico. Los costos de reparación de la edificación (\$ 400,000) representan el 0.76 por ciento del costo del hospital para el año 2006. La relación de deriva que presentó el hospital está por debajo del valor mínimo indicado por el Hazus Manual para estado leve. Sin embargo, esta alternativa no considera otros factores como son el contenido del hospital, costos de operación y mantenimiento durante el tiempo que la estructura se encuentra en reparación e inclusive la consideración de pérdidas humanas. Estos aspectos están fuera del alcance de este estudio.
- 4) La alternativa II (construir estructura con EHRE) para todas las edificaciones estudiadas nos revela que construir bajo esta filosofía de diseño no representa un costo alto. Se observa de la Tabla 59 que la diferencia que existe en costo de construcción entre construir EHRE y de la

manera tradicional es solamente de un 10.90 por ciento para la escuela San Sebastián, 7.55 por ciento para la escuela Las Palmas y 1.33 para el hospital La Concepción. Mientras más costosa es la estructura el por ciento con respecto al costo original es menor.

7.3 RECOMENDACIONES

De los resultados, observamos que hay ciertas estructuras que se pueden beneficiar considerablemente de una rehabilitación, como es el caso de la escuela San Sebastián. Por esta razón se recomienda hacer un análisis no lineal a otras edificaciones catalogadas como estructuras de nivel de importancia alto en Puerto Rico. Este permite tomar medidas correctivas (rehabilitación) antes de que ocurra un terremoto.

Nuestro estudio indica que no se justifica rehabilitar la escuela Las Palmas y el Hospital La Concepción. Sin embargo en este estudio sólo se analizaron los daños de elementos estructurales y no estructurales. Se debe tener en consideración otros aspectos que surgen como consecuencias de inhabilitar una determinada área mientras se hacen las reparaciones. Por ejemplo el Hospital La Concepción cuenta en este momento con un total de 167 camas que le suministra un ingreso diario promedio por cama de \$650. Al considerar estos factores puede que se justifique la rehabilitación de estas estructuras.

Las diferencias en costos de construcción entre construir siguiendo un diseño lineal y de acuerdo al código de construcción vigente (rango inelástico) son relativamente pequeñas. Por lo tanto recomendamos que para estructuras importantes se haga un estudio detallado de costos para considerar construirlos en el rango elástico. Estructuras como el hospital que tienen un alto costo inicial son buenos candidatos para ser construidos bajo esta filosofía.

Por último es importante resaltar que los resultados obtenidos en este trabajo de investigación están ligados a las presunciones que hizo Hernández (2007) en el desarrollo de su proyecto de investigación. Por lo tanto se recomienda hacer más estudios con diferentes

presunciones (como por ejemplo analizar las estructuras con otras configuraciones de diseño) para de esta manera establecer conclusiones de aplicación general.

Referencias

- Applied Technology Council (1988). "Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook," ATC-21, Redwood City, California.
- Bids of Puerto Rico. Cost Index. <http://www.bidspr.com>
- Bonett, Ricardo (2003). Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- Botero, J. H. (2004). "Estimados del Costo de Reconstrucción de Edificaciones Asegurables en Puerto Rico", tesis de Maestría en Ciencias, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.
- Clinton, J.F., Cua, G., Huerfano, V., von Hillebrandt-Andrade, C.G., and Martinez Cruzado, J. (2006). "The Current State of Seismic Monitoring in Puerto Rico", Seismological Research Letters, Volume 77, Number 5, September/October, pp. 532-543.
- California Health and Safety Code, 2003, "The Alfred E. Alquist Hospital Facilities Seismic Safety Act", Division 107 Statewide Health Planning and Development, California, Parte 7, Capítulo 1, Artículos 1-9.
- FEMA (1999). HAZUS Earthquake Loss Estimation Methodology: User's Manual. Federal Emergency Management Agency, Washington DC.
- Foltz, R. (2004). Estimating Seismic Damage and Repair Costs. The Citadel. Texas A&M.
- Hart (1994). Typical Costs for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, Volume I: Summary (FEMA 156), prepared by the Hart Consultant Group for the Federal Management Agency, Washington, D.C.
- Hart (1995). Typical Costs for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, Volume II: Supporting Documentation (FEMA 157), prepared by the Hart Consultant Group for the Federal Management Agency, Washington, D.C.
- Hernández, J. (2007). "Análisis y diseño elástico de edificios de alta importancia ocupacional sometidos a cargas sísmicas en Puerto Rico". Tesis de Maestría en ingeniería, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.

- Hwang, H.M., Xu, M., and Huo, J.-R. (1994), Estimation of Seismic Damage and Repair Cost of the University of Memphis Buildings, Memphis, Tennessee.
- Kerzner, Harold. (2002). Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling , 8th edition. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, 891 pp.
- King, S.A., Kiremidjian, A.S., Basoz, N., Law, K., Vucetic, M., Doroudian, M., Olson, R. A., Eldinger, J.M., Goettel, K.A. (1997). Methodologies for Evaluating the Socio-Economic Consequences of Large Earthquakes. Earthquake spectra vol. 13, no 4 (1 p.1/4), pp. 565-584.
- Kiureghian, A. D., Yuji Takahashi, Y., Ang, A. (2004). Life-cycle cost analysis based on a renewal model of earthquake occurrences. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. Vol. 33 pp.859–880 (DOI: 10.1002/eqe.383)
- Lluch, J.F. (2005). Introducción a la Gerencia de Construcción, 3^{ra} edición. Editorial de la Universidad de Puerto Rico. San Juan, 626 pp.
- Marchman, D. A. (2000). Scheduling with SureTrak. Delmar Thomson Learning, New York, 383 pp.
- Martínez Cruzado, J.A., Irizarry Padilla, J. y Portela Gautier, G, (2001). “Espectros de Diseño para las Ciudades Principales de Puerto Rico Basado en Registros de Aceleración Mundiales”, Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, UPRM, Vol. 1, No. 1, pp. 21-32.
- Master format TM Master List of Numbers and Titles for the Construction Industry (1995). Construction Specification Institute and Construction Specifications Canada.
- Mayes, R.L. (1995). “Interstory Drift Design and Damage Control Issues,” The Structural Design of Tall Buildings, Vol. 4, pp. 15-25.
- McCormack, T.C. and Rad, F.N. (1997). “An Earthquake Loss Estimation Methodology for Buildings Based on ATC-13 and ATC-21,” Earthquake Spectra, Vol. 13, No. 4, November 1997, pp. 605-621.
- Miranda E. and Taghavi S.: “Seismic Performance and Loss Assessment of Nonstructural Building Components,” Proceedings of 7th National Conference on Earthquake Engineering, Boston, MA, 2002.
- Mojica, O., Sánchez, E.M. (2006). Análisis del ciclo de vida en proyectos de ingeniería civil. Memos de Investigación. ICYA 2006-14.

- Nunally, S. W. (1993). *Construction Methods and Management*, Third edition. Prentice Hall Career & Technology. New Jersey, 463 pp.
- Park Y.J. and Ang A.HS (1985). "Mechanist seismic damage model of reinforced concrete," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 111, No.1, 1985. pp.722-739
- Porter, K.A., Kiremidjian, A.S., and LeGrue, J.S. (2001). "Assembly-Based Vulnerability of Buildings and Its Use in Performance Evaluation," *Earthquake Spectra*, Vol. 17, No. 2, May 2001, pp. 291-312.
- Randall, A. (1987). *Resource Economics: The Economic Approach to Natural Resource and Environmental Policy* (2nd Ed.) Wiley Publishing, New York.
- R.S Means Company Inc. *Repair and Remodeling Estimating Methods* (2002)., Construction Consultants and Publishers, Annual Editions, Kingston, Massachusetts.
- R.S Means Company Inc. *Repair and Remodeling Cost Data* (2004)., Construction Consultants and Publishers, Annual Editions, Kingston, Massachusetts.
- R.S Means Company Inc. *Building Construction Cost Data* (2006)., Construction Consultants and Publishers, 64th Annual Editions, Kingston, Massachusetts.
- R.S Means Square Foot Costs (2005)., Construction Consultants and Publishers, 26 th. Annual Editions, Kingston, Massachusetts.
- Sielaff, B., Nielsen, R. and Schmeckpeper, E. 2005. "Evolution of Design Code Requirements for Exterior Elements and Connections", *EERI Earthquake Spectra*, Febrero, pp 213-224
- Takahashi, N., Shiohara H. (2004). *Life Cycle Economic Loss due to Seismic Damage of Nonstructural Elements*. Paper No. 203, 13th World conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.
- VSP Associates, Inc. (1994). *Seismic Rehabilitation of Federal Buildings: A Benefist/Cost Model*, National Earthquake Hazards reduction Program. Prepared for the Federal Emergency Management Agency under contract No. EMW 92-6-3976, FEMA 255: Volume I: "A User's Manual; FEMA 256: Volume II: "Supporting Documentation"; Sacramento, California.
- Whitman, R.V., Anagnos, T., Kircher, C.A., Lagorio, H.J., Lawson, R.S., and Schneider, P. (1997). "Development of a National Earthquake Loss Estimation Methodology," *Earthquake Spectra*, Vol. 13, No. 4, November 1997, pp. 643-661.

Whittaker, A.S., Soong, T. (2003). An overview of nonstructural components research at tEHREe U.S. earthquake engineering research centers. Proceedings of seminar on seismic design, performance and retrofit of nonstructurtal components in critical facilities. ATC-29-2. Session V. Buffalo, USA.