

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR SISMO EN  
INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA MEDIANTE EL ENFOQUE DE  
INGENIERÍA SÍSMICA BASADA EN DESEMPEÑO Y BIM**

Tesis para obtener el título profesional de **Ingeniera Civil**

**AUTORA:**

**Lisselyn Cristina Córdova Arias**

**ASESORA:**

**Dra. Sandra Cecilia Santa Cruz Hidalgo**

Lima, abril 2021



*En memoria de mi querida abuelita Alejandrina Cochachi  
Fierro y mi adorado tío Fernando Arias Cochachi, quiénes  
me enseñaron con su ejemplo de vida que la virtud más  
grande de un ser humano es el amor al prójimo.*

*Viven y reinan en mi corazón.*

## **AGRADECIMIENTOS**

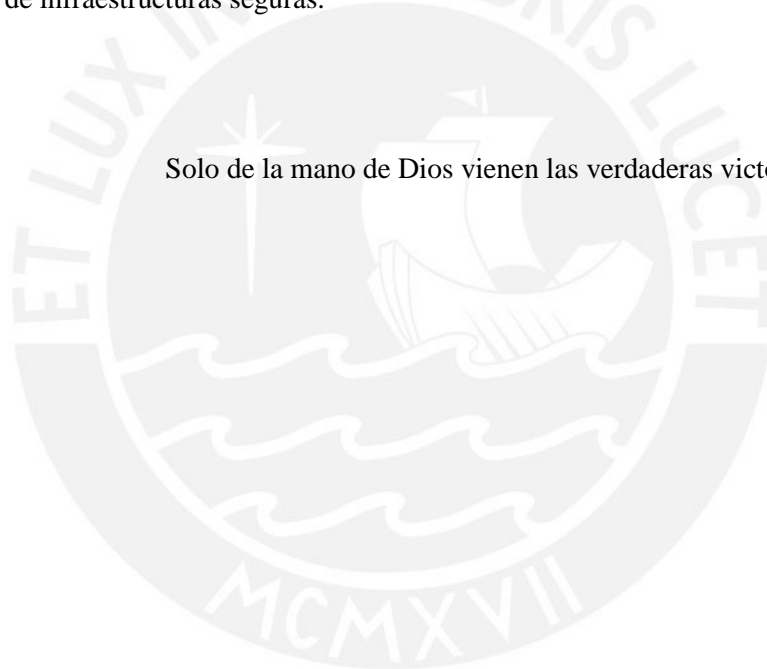
En tiempos tan difíciles como los actuales, agradezco a mi familia, amigos y mis fieles compañeros Tabo y Tabatha por ser mi mayor fuente de resiliencia.

Al Ing. Pablo Orihuela por su genuino consejo: una tesis es una inversión de tiempo, inviértelo investigando sobre un tema que te será de utilidad en el futuro.

A la Dra. Sandra Santa Cruz, a quién admiro por las razones correctas. Hace cuatro años, inicié mi camino en la investigación y tuve el privilegio de hacerlo bajo la dirección y acompañamiento de la Dra. Sandra, una excelente profesional y mejor persona aún.

Este trabajo es una reafirmación de mi compromiso con el desarrollo y construcción de ciudades resilientes a partir de infraestructuras seguras.

Solo de la mano de Dios vienen las verdaderas victorias (Isaías 54:17).





## RESUMEN

Más del 53% de las pérdidas económicas por desastres se han producido en América Latina debido a la alta vulnerabilidad de sus ciudades. En el Perú, los últimos dos desastres con pérdidas históricas fueron el terremoto de Pisco 2007 y el Fenómeno El Niño Costero 2017. Sin embargo, en ambos casos, los procesos de reconstrucción no han concluido, a pesar de los esfuerzos del Gobierno Peruano por establecer mecanismos financieros con un enfoque integral en la reducción del riesgo de desastres. Uno de los sectores más afectados es el de educación debido a la gravedad de los daños físicos en la infraestructura escolar, tal como señalan reportes de sismos pasados y estudios previos sobre evaluaciones de riesgo sísmico.

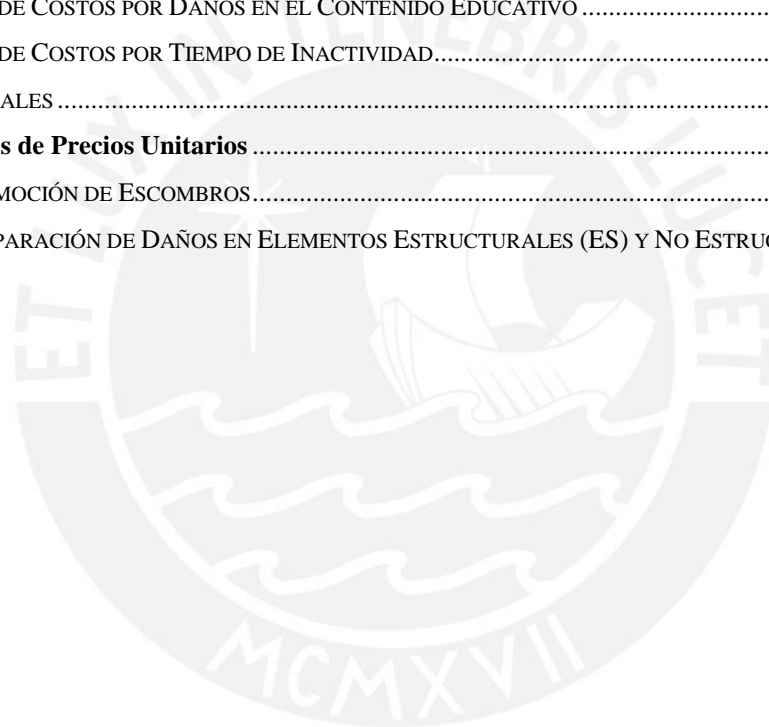
Bajo esta problemática, el objetivo de esta investigación es proponer una metodología para la estimación de pérdidas económicas en infraestructura educativa con la finalidad de contribuir en la mejora de la planificación de la reconstrucción post desastre. Para lograr este objetivo, se utilizan las metodologías Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (PBEE) y Building Information Modeling (BIM). A diferencia de otros métodos de diseño tradicionales, PBEE plantea la estimación de variables de decisión, como pérdidas económicas, en función del nivel de daño de la estructura post sismo. Además, el uso de modelos 3D BIM permite incrementar la exactitud de los costos. En ese sentido, en la metodología propuesta se calcula la pérdida económica total de la infraestructura, clasificada en daños directos e indirectos, e incluye los costos de los procesos constructivos requeridos en las etapas de rehabilitación y reconstrucción. En los daños directos se encuentran: (1) escombros generados, (2) daños estructurales y no estructurales, (3) daños en el contenido educativo, mientras que en los daños indirectos: (4) tiempo de inactividad y (5) deserción escolar.

La metodología propuesta se aplicó al estudio de caso de colegios públicos peruanos sistema modular 780-PRE, que representan una de las tipologías estructurales más vulnerables y predominantes de la costa central. Los resultados muestran que los costos de los trabajos de rehabilitación, como reparación y reforzamiento, son muy altos en todos los estados de daños de la estructura, más del 70% respecto al costo de reconstrucción. En ese sentido, es conveniente la demolición y sustitución por una estructura sismo-resistente. Otro hallazgo fue identificar que los daños directos son despreciables en comparación con los daños indirectos en infraestructura educativa. Debido al cierre de colegios, a causa de los trabajos de reconstrucción, se produce un incremento de la deserción escolar que ocasiona una reducción de pérdida de ingresos futuros a percibir.

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	i
TABLA DE CONTENIDOS.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABLAS .....	v
1. INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
HIPÓTESIS GENERAL.....	3
HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	3
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2. ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1 MARCO NORMATIVO PERUANO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.....	5
2.2 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS TEMAS TRANSVERSALES .....	8
Performance Based Earthquake Engineering (PBEE) .....	8
Estados de Daño de la Estructura.....	9
Daños Directos e Indirectos .....	11
3. METODOLOGÍA PROPUESTA: ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR SISMO EN INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA .....	14
PASO 1: ESTIMACIÓN DE COSTOS POR REMOCIÓN DE ESCOMBROS.....	16
PASO 2: ESTIMACIÓN DE COSTOS POR DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO-ESTRUCTURALES .....	17
a) Costos de reparación de elementos estructurales y no estructurales por estado de daño.....	17
b) Costo de rehabilitación: reforzamiento estructural y mantenimiento.....	19
c) Costo de reconstrucción: demolición y reposición de estructura nueva .....	19
PASO 3: ESTIMACIÓN DE COSTOS POR DAÑOS EN EL CONTENIDO EDUCATIVO .....	20
PASO 4: ESTIMACIÓN DE COSTOS POR TIEMPO DE INACTIVIDAD.....	20
PASO 5: ESTIMACIÓN DE COSTOS POR DESERCIÓN ESCOLAR.....	21
4. ESTUDIO DE CASO: COLEGIOS PÚBLICOS SISTEMA MODULAR 780-PRE .....	23
4.1 COLEGIOS PÚBLICOS SISTEMA MODULAR 780-PRE.....	23
4.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA .....	24
Paso 1: Estimación de Costos por Remoción de Escombros .....	27
Paso 2: Estimación de Costos por Daños en Elementos Estructurales y No-Estructurales.....	29
Paso 3: Estimación de Costos por Daños en el Contenido Educativo.....	35

Paso 4: Estimación de Costos por Tiempo de Inactividad .....	35
Paso 5: Estimación de Costos por Deserción Escolar .....	37
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	39
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	44
REFERENCIAS .....	46
<b>ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas .....</b>	<b>53</b>
1. ESTIMACIÓN DE COSTOS POR REMOCIÓN DE ESCOMBROS .....	54
2. ESTIMACIÓN DE COSTOS POR DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO-ESTRUCTURALES .....	55
a) Costos de reparación de elementos estructurales (ES) y no-estructurales (ENS).....	55
3. ESTIMACIÓN DE COSTOS POR DAÑOS EN EL CONTENIDO EDUCATIVO .....	61
4. ESTIMACIÓN DE COSTOS POR TIEMPO DE INACTIVIDAD.....	62
RESULTADOS FINALES .....	63
<b>ANEXO 2: Análisis de Precios Unitarios .....</b>	<b>64</b>
PARTIDAS DE REMOCIÓN DE ESCOMBROS.....	65
PARTIDAS DE REPARACIÓN DE DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES (ES) Y NO ESTRUCTURALES (ENS)...	66



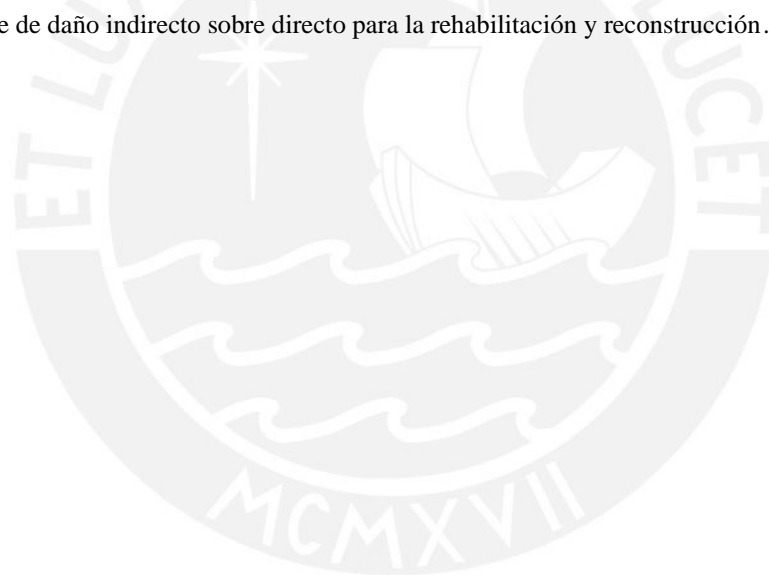
## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Consecuencias de los desastres: (a) Terremoto de Pisco 2007 (Fuente: Reuters) y (b) Fenómeno El Niño Costero 2017 (Fuente: Adsis.org) .....	5
Figura 2.2. Estructura organizacional del SINAGERD [4] .....	7
Figura 2.3. Mecanismos financieros principales del SINAGERD [4] .....	8
Figura 2.4. Metodología de la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (PBEE) .....	9
Figura 2.5. Imagen de referencia del marco metodológico PBEE [29] .....	11
Figura 2.6. Clasificación de los daños según el tiempo transcurrido post desastre (Fuente: Santa Cruz & Zeballos) .....	11
Figura 2.7. Daños directos después del sismo de Pisco 2007 [48] .....	12
Figura 2.8. Daños indirectos después del sismo de Pisco 2007: (a) Paralización de actividades escolares por colegio destruido y (b) Albergues para damnificados (Fuente: INDECI) .....	13
Figura 3.1. Marco metodológico para la estimación de pérdidas económicas post-sismo .....	15
Figura 3.2. Remoción de escombros post sismo (Fuente: INDECI) .....	16
Figura 3.3. Detalles de reparación estructural de elementos de concreto armado (Fuente: Empresa BASF) .....	18
Figura 3.4. Importancia relativa de los factores relacionados al rendimiento escolar .....	21
Figura 4.1. Distribución de edificaciones educativas según el tipo estructural asignado [35] .....	23
Figura 4.2. Colegio sistema modular 780-PRE después del sismo de Nazca 1996 [61] .....	24
Figura 4.3. Vista frontal del pabellón A de la I.E. N° 7219 Aristóteles [62] .....	24
Figura 4.4. Modelo 3D BIM del colegio 780-PRE (Autodesk Revit ®) .....	27
Figura 4.5. Columnas y vigas dañadas por estado de daño global del colegio 780-PRE .....	29
Figura 4.6. Reforzamiento estructural ACMAC del pabellón A de la I.E. 7219 Aristóteles [62] .....	33
Figura 4.7. Aulas temporales aprobadas por el PRONIED (Empresa Alquimodul) .....	36
Figura 4.8. Factores de daño (DF) por estado de daño global del colegio 780-PRE .....	40
Figura 4.9. Curva intensidad sísmica vs Pérdidas económicas del colegio 780-PRE .....	41
Figura 4.10. Costos indirectos post sismo para cada estado de daño del colegio 780-PRE .....	42

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Pérdidas económicas por el terremoto Pisco 2007 [38] .....	6
Tabla 2. Descripción de los estados de daño globales del colegio 780-PRE .....	25
Tabla 3. Matriz de Desempeño del colegio 780-PRE (Tomado de [20]) .....	26
Tabla 4. Escombros esperados por estado de daño global del colegio 780-PRE .....	27
Tabla 5. Costos unitarios de partidas de remoción de escombros .....	28
Tabla 6. Costos totales de remoción de escombros por estado de daño global del colegio 780-PRE (S/.) .....	28
Tabla 7. Costo unitario de reparación por estado de daño local de elementos estructurales: columnas y vigas (Adaptado de [19]).....	30
Tabla 8. Costos de reparación global de columnas y vigas del colegio 780-PRE (S/.).....	31
Tabla 9. Costos de reparación global de muros confinados, tabiques, puertas y ventanas del colegio 780-PRE...32	
Tabla 10. Costos totales de reparación de elementos estructurales y no-estructurales por estado de daño global del colegio 780-PRE (S/.).....	32
Tabla 11. Costos de reforzamiento estructural por estado de daño global del colegio 780-PRE (S/.) [62] .....	34
Tabla 12. Costos totales de rehabilitación por estado de daño global del colegio 780-PRE.....	34
Tabla 13. Costos totales de reconstrucción por estado de daño global del colegio 780-PRE (Fuente: PRONIED) .....	35
Tabla 14. Costo de contenido educativo por estado de daño global del colegio 780-PRE (S/.).....	35
Tabla 15. Tiempo de rehabilitación y reconstrucción por estado de daño global del colegio 780-PRE .....	36
Tabla 16. Costos por tiempo de inactividad por estado de daño global del colegio 780-PRE (S/.) .....	37
Tabla 17. Costos totales de rehabilitación por estado de daño global del colegio 780-PRE.....	39
Tabla 18. Costos totales de reconstrucción por estado de daño global del colegio 780-PRE .....	39
Tabla 19. Comparación de porcentajes de daños indirectos por sismos con otros estudios .....	42
Tabla 20. Estimación preliminar de las pérdidas económicas futuras por 1 año de deserción escolar (Adaptado de [38]) .....	43
Tabla 21. Intensidad de materiales de construcción.....	54
Tabla 22. Escombros esperados por tipo de edificación C3 [47] .....	54
Tabla 23. Escombros esperados por estados de daño global de la estructura en unidades de peso (ton) .....	54
Tabla 24. Niveles de desempeño del colegio 780-PRE.....	55
Tabla 25. Cantidad total de columnas y vigas del colegio 780-PRE.....	55
Tabla 26. Porcentaje de columnas y vigas con daño local por estado de daño global del colegio 780-PRE .....	56
Tabla 27. Costos unitarios de reparaciones locales de muros confinados (Adaptado de [19]) .....	56
Tabla 28. Cantidad total de muros confinados del colegio 780-PRE.....	57
Tabla 29. Costos totales de reparación global de muros confinados del colegio 780-PRE (S/.).....	57
Tabla 30. Costos unitarios de reparaciones locales de tabiques (Adaptado de [19]).....	57
Tabla 31. Cantidad total de tabiques y parapetos del colegio 780-PRE.....	58
Tabla 32. Costos totales de reparación global de tabiquería del colegio 780-PRE (S/.) .....	58

Tabla 33. Costos unitarios de reparaciones locales de ventanas (Adaptado de [19]) .....	58
Tabla 34. Cantidad total de ventanas del colegio 780-PRE .....	58
Tabla 35. Costos totales de reparación global de ventanas del colegio 780-PRE (S/.) .....	59
Tabla 36. Costos unitarios de reparaciones locales de puertas (Adaptado de [19]) .....	59
Tabla 37. Cantidad total de puertas del colegio 780-PRE.....	59
Tabla 38. Costos totales de reparación global de puertas del colegio 780-PRE (S/.).....	59
Tabla 39. Costos totales de reparación de elementos estructurales y no estructurales del colegio 780-PRE (S/.) .	60
Tabla 40. Presupuesto del contenido educativo (Fuente: PRONIED).....	61
Tabla 41. Presupuesto por provisión de servicio educativo en la etapa de construcción del reforzamiento estructural ACMAC [62].....	62
Tabla 42. Costo total de rehabilitación por estado de daño global del colegio 780-PRE.....	62
Tabla 43. Costo total de reconstrucción por estado de daño global del colegio 780-PRE .....	62
Tabla 44. Análisis Costo-Beneficio por estado de daño global del colegio 780-PRE.....	63
Tabla 45. Porcentaje de daño indirecto sobre directo para la rehabilitación y reconstrucción.....	63



# 1. INTRODUCCIÓN

Según la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, por sus siglas en inglés), el 53% de las pérdidas económicas mundiales por desastres climáticos se produjo en América Latina, donde más de 340 millones de personas viven en ciudades altamente vulnerables [1]. En el Perú, en los últimos 20 años se produjeron dos desastres con pérdidas económicas históricamente altas: en el 2007, el sismo de Pisco cuyas pérdidas representaron el 1.24% del PBI y en el 2017, el Fenómeno El Niño Costero con el 1.6% del PBI [2], [3]. Ante esta situación, el Gobierno del Perú ha implementado la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, que contempla el uso de mecanismos financieros, como el FONDES, para asegurar un adecuado financiamiento durante las etapas de rehabilitación y reconstrucción post desastre [4]. A pesar de ello, a la fecha, la reconstrucción en ambos casos no ha concluido, consecuentemente más de 10,000 familias continúan habitando en viviendas provisionales y ciento de miles de escolares estudiando en aulas temporales [5]–[7].

Respecto a la infraestructura educativa, un gran número de escuelas se encuentran en alto riesgo debido a que fueron diseñadas con criterios sísmicos obsoletos o construidos con controles de calidad inadecuados [8]. Prueba de ello, son los graves daños ocurridos en los edificios educativos en los últimos sismos, por ejemplo, en el terremoto de Pisco del 2007, se estimó que 23% de las aulas escolares requerían ser reconstruidos y un 20% adicional necesitaban algún tipo de rehabilitación [9]. Dadas estas condiciones no se garantiza la seguridad de la población estudiantil. Además de ello, la afectación de las escuelas debido a amenazas naturales interrumpe, indudablemente, el desarrollo normal de las actividades escolares con consecuencias negativas en los estudiantes, como la reducción de ingresos económicos futuros [10]–[12]. Para combatir esta situación, la UNDRR ha desarrollado la iniciativa mundial de Escuelas Seguras, cuyos tres objetivos principales son la reducción del riesgo de desastres, la gestión de desastres y la educación resiliente [13].

En el Perú, con el propósito de lograr una adecuada evaluación del riesgo sísmico de la infraestructura educativa, se han llevado a cabo diferentes estudios que contemplan el análisis de la vulnerabilidad sísmica de las diferentes tipologías de edificios escolares [14]–[19], la implementación de diversas técnicas de reforzamiento estructural en una o más fases de intervención (reforzamiento incremental) [20]–[22], estrategias de priorización de colegios para el reforzamiento estructural [23], uso de métodos

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

---

multicriterio de toma de decisiones para la selección de técnicas de reforzamiento [24]–[26], y la estimación de pérdidas por sismos a partir de curvas de fragilidad [19], [27]. Respecto a este último, la cuantificación del costo responde a cálculos aproximados basados en el desempeño estructural, sin considerar los gastos asociados a los procesos constructivos de reparación, rehabilitación y reposición.

Tomando en cuenta que los daños y los costos son indicadores claves del nivel de desempeño de la estructura, existe una alta necesidad por estimar las pérdidas económicas por sismos [19]. Al respecto, la metodología de la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (PBEE, por sus siglas en inglés) propone métricas de desempeño que son relevantes en la toma de decisiones sobre mitigación del riesgo sísmico [28]. De esta manera, en la última etapa de la metodología PBEE se establece la estimación de pérdidas mediante el cálculo de variables de decisión, como pérdidas económicas, tiempo de inactividad y pérdida de vidas [28], [29]. Como se mencionó anteriormente, la estimación de pérdidas no solo debería enfocarse en los daños físicos en la infraestructura, sino también en la evaluación e inclusión de aspectos constructivos, por ejemplo, durante el proceso de reparación de la estructura [30]. Para lograr este objetivo, se recomienda el uso de Building Information Modeling (BIM), que es una metodología empleada en la industria AEC cuya una de sus ventajas es mejorar el análisis de los procesos constructivos y su planificación [31].

Como parte de las lecciones aprendidas de eventos sísmicos pasados, en los diferentes reportes del terremoto de Pisco 2007 se observa que no existe una evaluación sistematizada que integre todas las fuentes de información [9]. En consecuencia, no es posible determinar el impacto económico total del desastre con la finalidad de diseñar mejores estrategias públicas para la reconstrucción y posteriormente para la prevención y mitigación de riesgos [32]. En ese sentido, la estimación de los costos debe ser lo más exacta y realista posible, además de abarcar tanto los costos directos asociados a los impactos inmediatos del desastre y los costos indirectos, a los impactos macroeconómicos [2]. Estudios previos sobre riesgo sísmico han propuesto métodos para caracterizar y cuantificar los daños directos como remoción de escombros, reparaciones en elementos estructurales y no estructurales, rehabilitación, etc. [19]–[21], [33], [34]. Sin embargo, la estimación del costo por estas actividades ha sido calculado como un porcentaje del costo de reposición de la estructura. De igual manera, sucede con los daños indirectos, no se cuantifica el impacto económico por la interrupción del uso de la infraestructura ni sus futuras consecuencias.

A la luz de estas necesidades es crucial estimar los costos directos e indirectos asociados a los daños por sismos bajo un marco conceptual que evalúe el desempeño sísmico, como el PBEE. Asimismo, en la

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

---

cuantificación de los indicadores se debe priorizar el uso de herramientas colaborativas que permitan obtener con mayor precisión la información, como BIM.

### **OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general es contribuir a mejorar la planificación de la reconstrucción post desastre mediante la estimación de pérdidas probables por sismo en infraestructura educativa según el marco conceptual de la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (PBEE) y el uso de herramientas BIM.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i) Recopilar información sobre estudios de evaluación de riesgo sísmico, reportes de sismos pasados y expedientes técnicos de proyectos de rehabilitación y construcción de infraestructura educativa
- ii) Establecer una metodología para la estimación de los costos directos e indirectos asociados a los daños por sismo en infraestructura educativa bajo el enfoque PBEE y el uso de modelos 3D BIM
- iii) Aplicar la metodología propuesta al estudio de caso sobre colegios públicos sistema modular 780-PRE

### **HIPÓTESIS GENERAL**

La estimación de costos directos e indirectos asociados a los daños después de un sismo de las edificaciones esenciales bajo el marco conceptual PBEE y el uso de herramientas BIM mejora la planificación de la reconstrucción post desastre.

### **HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- i) En ciertos estados de daño, el costo de reparación y reforzamiento puede ser tan alto que resulta conveniente demoler y reponer por una nueva.
- ii) Los costos directos pueden ser despreciables en comparación con los costos indirectos en infraestructura educativa.

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

En primer lugar, se realiza una revisión de la literatura con la finalidad de identificar los estudios sobre evaluación del riesgo sísmico en infraestructura esencial, como parte de la aplicación de la metodología

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

---

Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño. De igual manera, se recopila información sobre reportes de sismos pasados con el propósito de conocer las acciones que se llevaron a cabo como parte de la respuesta ante la emergencia. En la misma línea, se revisan expedientes técnicos de proyectos de reparación, rehabilitación y reposición de colegios públicos peruanos con el objetivo de conocer los costos de las partidas de construcción.

En segundo lugar, se estiman las pérdidas económicas asociados a los daños generados post sismo mediante la integración de los resultados de los estudios previos sobre evaluación del riesgo sísmico. Las pérdidas se calculan para los estados de daño globales de la estructura planteados por HAZUS-99: leve, moderado, extenso y completo. La metodología propuesta para la estimación de las pérdidas económicas está compuesta de 5 pasos que se clasifican en costos directos comprendidos por (1) remoción de escombros, (2) daños estructurales y no estructurales, (3) daños en el contenido educativo, y costos indirectos, (4) tiempo de inactividad y (5) deserción escolar. Uno de los aspectos distintivos de la metodología propuesta es que considera los costos asociados a los trabajos y actividades involucradas durante los procesos de rehabilitación y reconstrucción de las estructuras, a diferencia de los métodos tradicionales cuya estimación de pérdidas se basa exclusivamente en el desempeño estructural. Por ello, se incluye el uso de herramientas BIM para incrementar la precisión en las cuantificaciones de cantidades de materiales de construcción.

Por último, la metodología propuesta se aplica a un estudio de caso sobre infraestructura educativa. En este estudio se considera como estudio de caso a los colegios públicos sistema modular 780-PRE debido a su alta vulnerabilidad estructural. Además de constituir una de las tipologías predominantes de la costa central peruana, alrededor de 21 mil colegios (11% del total de edificaciones educativas peruanas) [35].

## 2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo, se describen los estudios previos que sirven de soporte para el desarrollo de la investigación, como los trabajos sobre evaluación del riesgo sísmico en edificaciones peruanas, marco normativo peruano de la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) y breve descripción de los temas transversales: Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (PBEE, por sus siglas en inglés), costos directos e indirectos.

### 2.1 MARCO NORMATIVO PERUANO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

El Perú es un país con una alta exposición a amenazas naturales, en los últimos 20 años, ha sido escenario de terremotos e inundaciones con pérdidas humanas y económicas históricamente altas (ver Figura 2.1). En el 2007, el terremoto de Pisco de Mw. 7.9 causó daños importantes en la zona sur del país. Las pérdidas económicas ascendieron al 1.24% del PBI de ese año (ver Tabla 1) [2]. Los reportes indican en total 596 fallecidos, más de 700 mil personas damnificadas, más de 192 mil viviendas afectadas y cuantiosas pérdidas materiales en infraestructura educativa, de salud, transportes y agricultura [9], [36], [37]. En el 2017, el Fenómeno El Niño Costero produjo desbordes de ríos y quebradas, generando inundaciones sobre tierras de cultivo, asentamientos informales y ciudades de la costa norte del país. Entre los daños ocasionados se reportaron 169 fallecidos, más de 283 mil damnificados, cerca de 39 mil viviendas colapsadas, 1523 colegios afectados, una pérdida económica de alrededor del 1.6% del PBI [3].



**Figura 2.1. Consecuencias de los desastres: (a) Terremoto de Pisco 2007 (Fuente: Reuters) y (b) Fenómeno El Niño Costero 2017 (Fuente: Adsis.org)**

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

**Tabla 1. Pérdidas económicas por el terremoto Pisco 2007 [38]**

Sector / Subsector	Total	Daños Directos	Daños Indirectos	Porcentaje del Total
<b>SOCIAL</b>	3 065 308 860	2 813 762 799	251 546 059	77.060%
Vivienda	2 290 682 209	2 250 321 344	40 360 865	57.586%
Educación	302 139 861	275 668 807	26 471 053	7.596%
Salud	254 415 853	242 205 159	12 210 693	6.396%
Social	176 422 234	5 578 206	170 844 028	4.435%
Deporte y Cultura	41 648 703	39 989 283	1 659 420	1.047%
<b>INFRAESTRUCTURA</b>	360 996 474	333 742 265	27 254 209	9.075%
Agua y Saneamiento	157 191 026	157 191 026		3.952%
Transporte y Comunicaciones	112 216 617	109 514 578	2 702 039	2.821%
Electricidad	91 588 831	67 036 661	24 552 170	2.302%
<b>PRODUCTIVOS</b>	58 668 370	39 080 457	19 587 913	1.475%
Agricultura	36 064 545	24 168 552	11 895 993	0.907%
Pesca	16 759 003	10 726 503	6 032 500	0.421%
Turismo	5 844 822	4 185 402	1 659 420	0.147%
Gastos en la atención de emergencia (*)	335 094 042		335 094 042	8.424%
Otros gastos de Intervención (*)	157 609 586		157 609 586	3.962%
Medio ambiente (*)	135 256	70 002	65 254	0.003%
<b>Total</b>	<b>3 977 812 588</b>	<b>3 186 655 523</b>	<b>791 157 063</b>	<b>100%</b>

Ante esta grave situación, el Gobierno del Perú instauró dos entidades encargadas de la reconstrucción de las zonas afectadas por estos dos eventos: el (1) Fondo de Reconstrucción del Sur (FORSUR) por el terremoto de Pisco y la (2) Autoridad para la Reconstrucción con Cambios (ARC) por El Niño Costero. Sin embargo, hasta la fecha, los procesos de reconstrucción todavía no concluyen. Por ejemplo, al 2019, el avance de la reconstrucción de Pisco era del 80%, es decir, alrededor de 10,000 familias continuaban viviendo en casas provisionales entregadas por el gobierno peruano [5]. Asimismo, la reconstrucción por El Niño Costero alcanza un 43% de la inversión destinada a la ARC [6] con un avance en el sector educación de solo 6% (92 colegios construidos) [7] y en el sector salud, apenas un 4% (6 obras en ejecución) [39]. Algunas de las razones del avance lento son (1) la falta de coordinación entre autoridades y los tres niveles de gobierno: nacional, regional y municipal, (2) la existencia de actos de corrupción durante las obras y servicios, y (3) la falta de involucramiento de los damnificados y afectados en la reconstrucción [40].

Desde el 2010, el Gobierno del Perú ha establecido un marco normativo para la gestión integral del riesgo de desastres (GRD) en los tres niveles de gobierno: nacional, regional y local [2]. Este marco

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

comprende la inclusión de la Política de Estado 32 “Gestión del Riesgo de Desastres” y la creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres-SINAGERD (Ley N° 29664) [41]. Como se observa en la Figura 2.2, el CENEPRED y el INDECI tienen un rol ejecutor encargado de coordinar, facilitar y supervisar la implementación de la Política Nacional de GRD y el PLANAGERD según sus propias competencias [4]. Respecto al tema financiero, se contempla la Estrategia de Gestión Financiera del Riesgo de Desastres, cuya finalidad es asegurar una adecuada capacidad financiera para los siete procesos de la GRD: Estimación del Riesgo, Prevención, Reducción del Riesgo, Preparación, Respuesta, Rehabilitación y Reconstrucción [4].

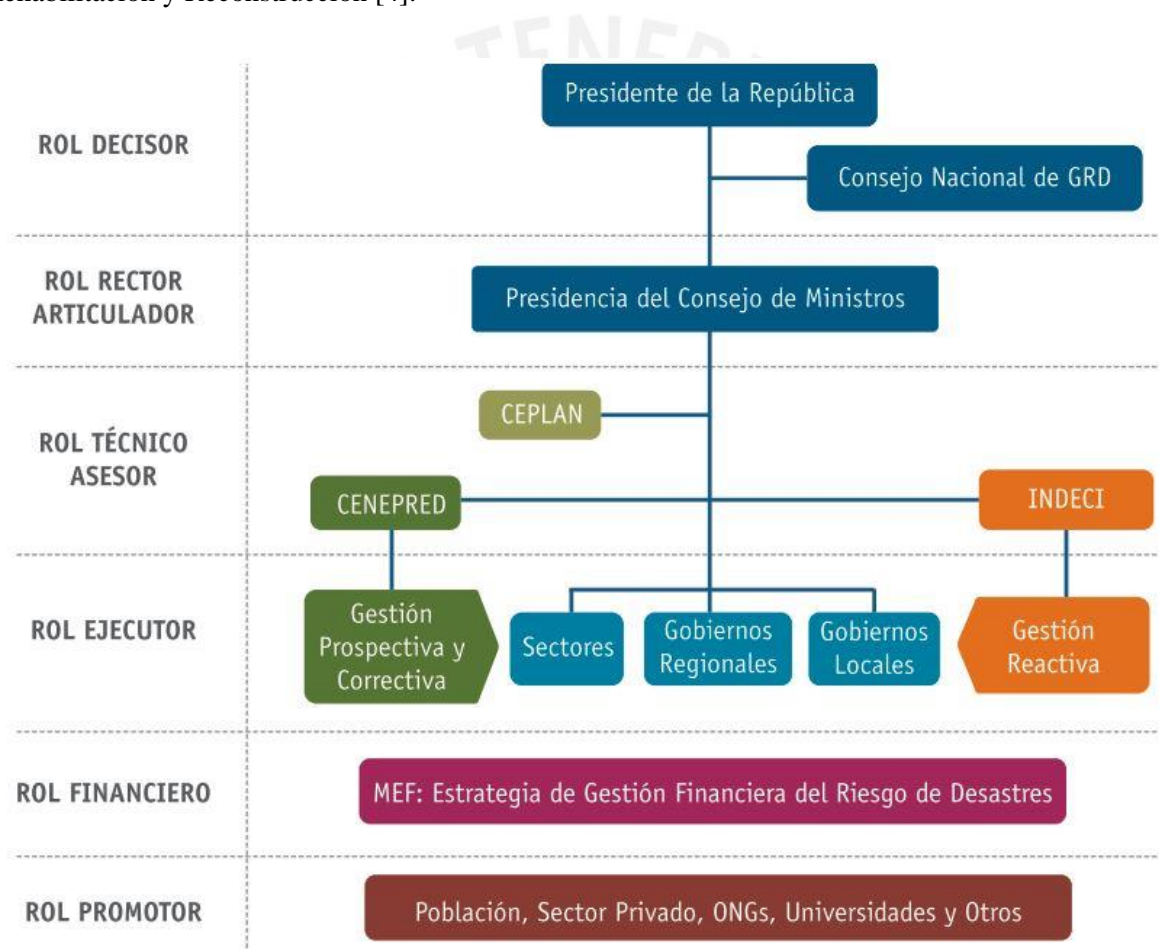


Figura 2.2. Estructura organizacional del SINAGERD [4]

En la Figura 2.3 se muestran los principales mecanismos financieros del SINAGERD, entre ellos el Programa Presupuestal 0068 (PP-0068): Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres y el Fondo de Intervenciones ante la Ocurrencia de Desastres Naturales (FONDES). El PP-0068 es la principal herramienta para asignar recursos a las intervenciones requeridas mediante la identificación, priorización y articulación de las acciones del Estado de manera más eficiente,

“planteando resultados específicos ante problemas determinados” [2], [42]. La Comisión Multisectorial del FONDES es el “órgano encargado de la priorización de los proyectos de inversión, reforzamientos y demás inversiones que no constituyen proyectos, incluyendo a la elaboración de expedientes técnicos y actividades, para la mitigación, capacidad de respuesta, rehabilitación y reconstrucción” [43], [44].



Figura 2.3. Mecanismos financieros principales del SINAGERD [4]

## 2.2 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS TEMAS TRANSVERSALES

### Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)

La ingeniería sísmica basada en desempeño (PBEE) busca mejorar la toma de decisiones sobre riesgo sísmico a través de métodos de evaluación y diseño que son más transparentes, científicos e informativos que los enfoques prescriptivos actuales [28]. PBEE implica el diseño, evaluación, construcción, monitoreo y mantenimiento de estructuras cuyo desempeño bajo cargas comunes y externas responde a las necesidades y objetivos diversos de la sociedad [45]. Uno de los aspectos distintivos de la metodología PBEE, a diferencia de otros métodos de diseño tradicionales, es que ofrece un marco probabilístico para el cálculo de Medidas de Daño (DM) y Variables de Decisión (DV). Entre las DV se encuentran las pérdidas económicas directas por costos de reparación y sustitución de la estructura, el tiempo de inactividad y el riesgo de pérdidas de vidas.

La metodología PBEE consta de cuatro análisis sucesivos: amenaza sísmica, respuesta estructural, estimación de daños y estimación de pérdidas, como se muestra en la Figura 2.4. Este procedimiento se

lleva a cabo a través de la ecuación fundamental de la ingeniería sísmica basada en desempeño (Ec. 1). Las DM permiten determinar el estado de daño de la estructura con la finalidad de calcular las DV para la mitigación del riesgo sísmico. Las estimaciones de daño y de pérdidas se realizan a partir del cálculo de Parámetros de Demanda Estructural (EDP) y Medidas de Intensidad (IM). Los EDP se refieren a derivas de entrepiso, aceleraciones y deformaciones máximas, mientras que las MI pueden ser calculadas por PGA, PGV y Sa.

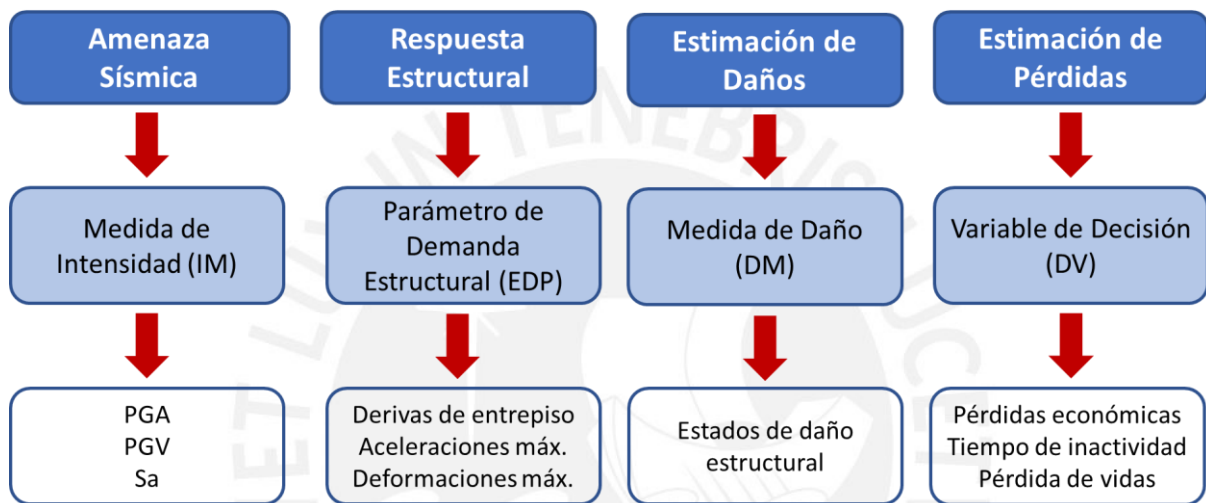


Figura 2.4. Metodología de la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño (PBEE)

$$\lambda(DV) = \int_{DM} \int_{EDP} \int_{IM} G(DV|DM) |dG(DM|EDP)| |dG(EDP|IM)| |d\lambda(IM)|$$

(Ecuación 1)

### Estados de Daño de la Estructura

El nivel de desempeño u objetivo de diseño se determina por el grado de daño que sufre un edificio luego de un sismo. Estos niveles o estados de daño son puntos discretos dentro de una escala continua que describe el desempeño esperado de la estructura y, alternativamente, también la cantidad de daño, pérdidas económicas y la interrupción del uso. De acuerdo con la Sociedad de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC) [46], se considera los siguientes niveles de desempeño sismo-resistente:

- **Operacional u ocupacional:** *Sin daño estructural*, estructura perfectamente elástica. Los servicios se encuentran sin daño y continúan operando.
- **Funcional:** *Daño leve*, pequeños daños estructurales, prácticamente elástico. La mayoría de los servicios esenciales pueden usarse inmediatamente.
- **Seguridad de vida:** *Daño moderado*. Daño estructural y no estructural importante. Incursiones en el rango inelástico con pérdida de resistencia y rigidez, pero la estructura es reparable. El sistema de seguridad funciona para los elementos no estructurales.
- **Prevención del colapso:** *Daño extenso*. Gran daño estructural. Severas incursiones inelásticas, pérdida casi total de resistencia y rigidez. No resulta práctico reparar la estructura. Los elementos no estructurales tienen peligro de colapsar.
- **Colapso:** *Daño completo*, colapsos parciales, estructura irrecuperable o colapso completo.

Para determinar el desempeño de la estructura se utiliza el nivel de daño aparente que alcanzaría el sistema estructural luego de un sismo, que están en función de los estados de daño globales de HAZUS-99: sin daño, daño leve, daño moderado, daño extenso y completo [47]. A partir de la identificación de los niveles de desempeño de la estructura es posible estimar los daños directos e indirectos post sismo, como se observa en la Figura 2.5. Por otro lado, se encuentran los estados de daño locales, que hacen referencia a los elementos estructurales y están en función de su diagrama momento curvatura, entre ellos: sin daño, daño localizado, daño menor, daño moderado, daño severo y colapso.

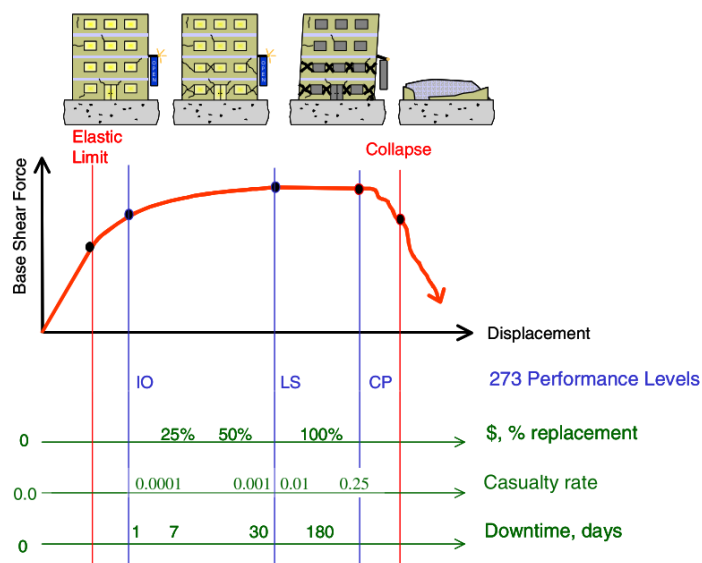


Figura 2.5. Imagen de referencia del marco metodológico PBEE [29]

### Daños Directos e Indirectos

Los daños de los desastres pueden ser clasificados según el tiempo en el que se producen en directos e indirectos, como se muestra en la Figura 2.6. Los daños directos son los impactos de los desastres que son evidentes desde el instante mismo del evento. Mientras que los daños indirectos son los otros impactos de los desastres que siguen generándose incluso un tiempo después de ocurrido el evento. Algunos de ellos, se reflejan incluso mucho tiempo después y tienen implicancias en la economía nacional, como los macroeconómicos. A continuación, se describen brevemente cada uno de ellos y muestran algunos ejemplos.

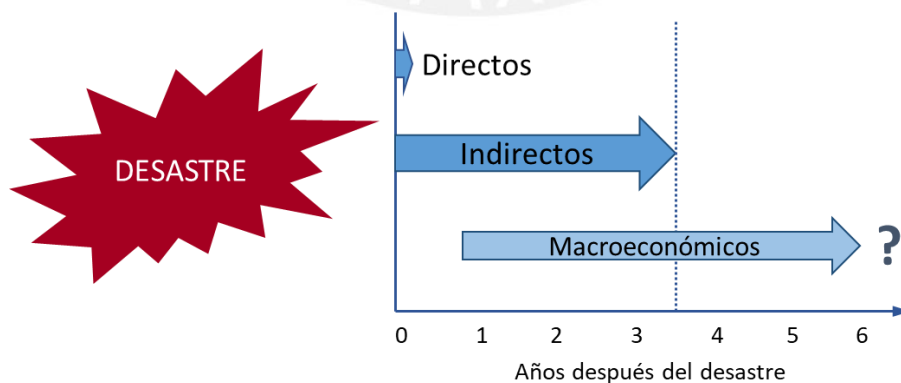


Figura 2.6. Clasificación de los daños según el tiempo transcurrido post desastre (Fuente: Santa Cruz & Zeballos)

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

---

Los efectos directos son los bienes o activos inmovilizados, destruidos o dañados directamente por el evento que ocasiona el desastre, es decir la destrucción total o parcial de infraestructura física o edificios. “Contempla, entre otros, daños en instalaciones, maquinarias, equipos, medios de transporte y almacenaje, mobiliario, destrucción de tierras de cultivo y canales de regadío, destrucción de la producción que ya estaba lista para ser cosechada, etc” [2]. Los daños directos no solo son daños materiales, también pueden ser efectos en la población. Estas pueden ser de índole físico como la muerte o daños a la salud física y mental. A pesar de que las lesiones psicológicas y físicas pueden tener tratamientos largos, las lesiones son efectos directos debido a que se ocasionaron durante el evento. En la Figura 2.7 se aprecia una comparación de la infraestructura urbana en Pisco antes y después del sismo del 2007, en la imagen de la derecha se observa algunas zonas destruidas parcial o totalmente, encerradas en los círculos rojos.



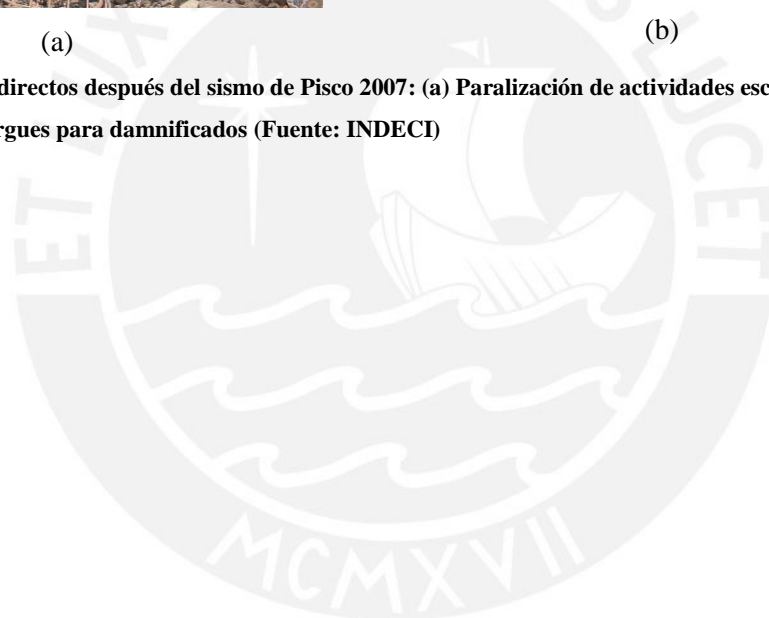
Figura 2.7. Daños directos después del sismo de Pisco 2007 [48]

Los daños indirectos son consecuencias de los desastres producto de la paralización total o parcial de actividades productivas luego de un evento desastroso. Es decir, “son todos aquellos que se refieren a los flujos de bienes y servicios que se dejan de producir o de prestar durante un lapso de tiempo y puede prolongarse durante el proceso de rehabilitación y reconstrucción” [2]. Estos ocasionan un costo extra que muchas veces pueden ser similares o mayores que los costos directos. Entre ellos, los efectos macroeconómicos que son complejos de medir, como, la pérdida de ingresos y costos de oportunidad [49]. Los daños indirectos también incluyen el aumento en los gastos asociados a la atención de la emergencia, por ejemplo, la construcción de caminos y rutas de emergencia para llevar la ayuda

humanitaria a zonas aisladas, la compra de alimentos y el gasto de su envío a la zona de desastre, el costo de alquiler de oficinas por destrucción del edificio propio, etc.



**Figura 2.8. Daños indirectos después del sismo de Pisco 2007: (a) Paralización de actividades escolares por colegio destruido y (b) Albergues para damnificados (Fuente: INDECI)**



### **3. METODOLOGÍA PROPUESTA: ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR SISMO EN INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA**

En este capítulo se describe detalladamente el marco metodológico propuesto para determinar el impacto económico según el nivel de daño de la estructura post sismo. En ese sentido, el presente estudio comprende la última etapa de la metodología PBEE relacionado con la estimación de pérdidas para el cálculo de variables de decisión (ver Figura 2.4). En esta estimación se calculan 5 tipos de pérdidas económicas, clasificados en daños directos e indirectos. Como se observa en la Figura 3.1, en los daños directos se tiene a los (1) escombros generados, (2) daños estructurales y no estructurales, (3) daños en el contenido educativo, mientras que en los daños indirectos el (4) tiempo de inactividad y la (5) deserción escolar. La suma de estos 5 costos representará la pérdida económica total de la infraestructura analizada.

Antes de comenzar con las estimaciones, es importante conocer las características de la infraestructura educativa como la tipología estructural, el área techada, el número de pabellones, pisos, aulas, la ubicación. Esto con la finalidad de relacionar el tipo de edificación con uno de los 16 sistemas estructurales descritos por HAZUS [47]. Con esta información, se podrá determinar los tipos de escombros generados y la descripción de los daños de los elementos estructurales y no estructurales. A continuación, se detallan los pasos para la estimación de los costos directos e indirectos por sismo, tomando en cuenta estudios previos sobre evaluación del riesgo sísmico en infraestructura educativa. Se recomienda que los costos intermedios se calculen por metro cuadrado.

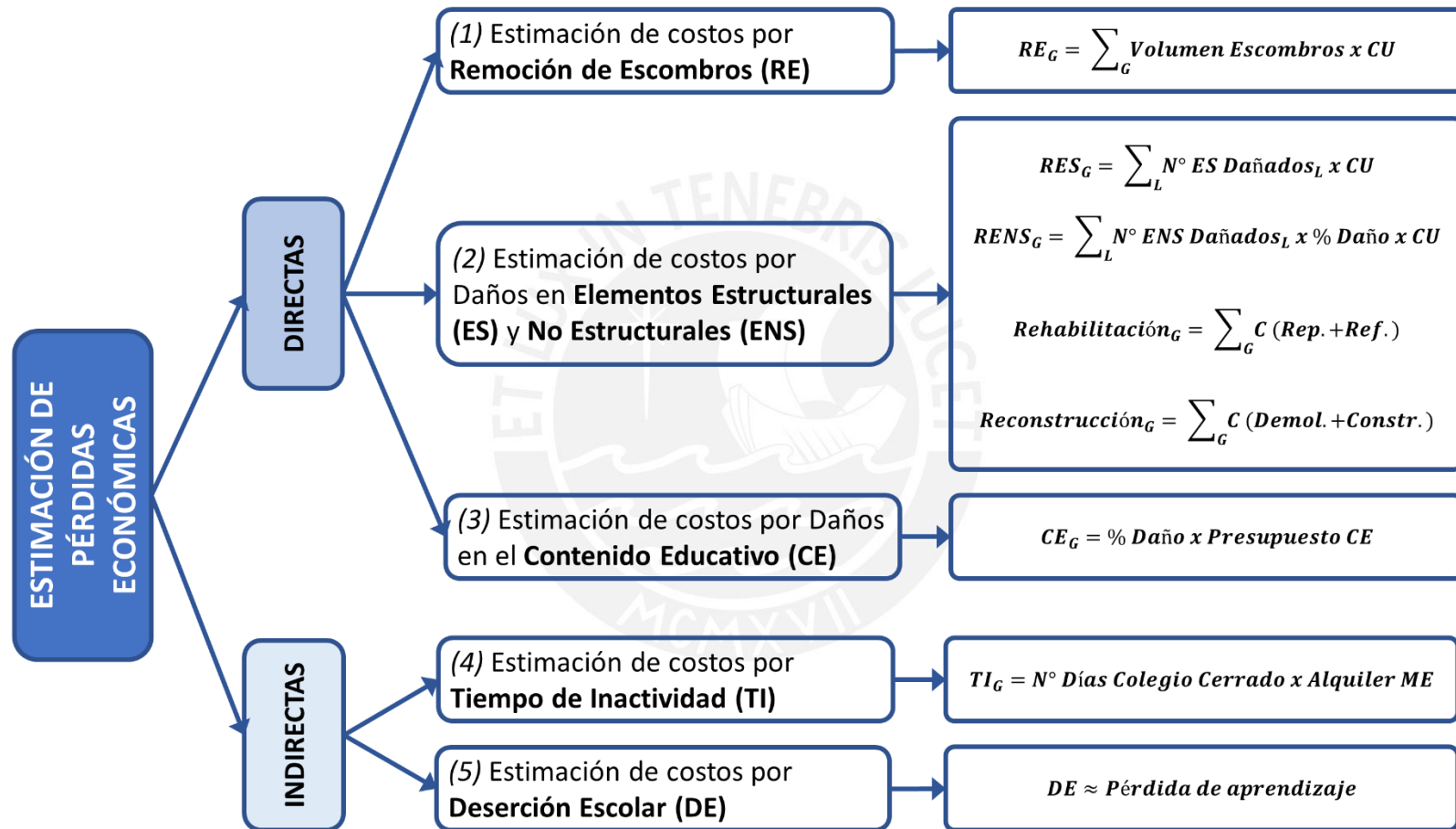


Figura 3.1. Marco metodológico para la estimación de pérdidas económicas post-sismo

### PASO 1: ESTIMACIÓN DE COSTOS POR REMOCIÓN DE ESCOMBROS

La remoción de escombros es una actividad crítica que debe iniciarse inmediatamente y continuarse durante los trabajos de rehabilitación y reconstrucción [48]. Es importante mencionar que actualmente en el Perú no existe una normativa que establezca criterios uniformes para la ejecución y retribución del servicio [48]. Según las lecciones aprendidas del sismo de Pisco 2007 [50], el pago por el trabajo de remoción de escombros se debe realizar por volumen de material desplazado a los botaderos y no por horas de transporte de los camiones de descarga. De acuerdo con el tipo de daño y la tipología de la edificación, se tendrán diferentes materiales de escombros generados, como se muestra en la Figura 3.2. Si el daño al edificio es leve o moderado, la mayor parte del daño puede deberse a elementos o contenidos no estructurales dentro del edificio. Si la estructura es de albañilería confinada se generarán pilas de ladrillos [47].



Figura 3.2. Remoción de escombros post sismo (Fuente: INDECI)

El primer paso consiste en la estimación del volumen de escombros generados aplicando el método de Mesta et al [34]. Para ello, primero, se determina el peso total de los materiales de construcción, expresada en ton/m<sup>2</sup>. En este paso, se propone el uso de modelos 3D BIM de la edificación para el metrado de la cantidad de materiales, como concreto, acero, ladrillos y mortero. A partir de esta información, se procede a estimar la cantidad de escombros generados para cada estado de daño global. Para alcanzar este objetivo, se utilizan los porcentajes de escombros esperados según la tipología de la edificación propuestos por HAZUS [47]. Dentro de este procedimiento, se diferencian a los materiales de acuerdo con su facilidad de removerlos: tipo 1 (concreto y acero) y tipo 2 (ladrillos y mortero).

Una vez determinado las cantidades de escombros se procede a calcular los costos de los trabajos para la remoción de escombros, comprendidos por: demolición manual, demolición con maquinaria, acarreo

manual y eliminación de escombros a botaderos autorizados. Para ello, se realizan los análisis de precios unitarios de estas actividades, tomando en cuenta que según el estado de daño global (G) de la estructura, se requerirán una o más actividades. Como se detalla en la Ecuación 2, los costos parciales se obtienen multiplicando los volúmenes de escombros (m<sup>3</sup>) por el costo unitario de la actividad (S/. x m<sup>3</sup>). Finalmente, los costos totales de la remoción de escombros para cada estado de daño global se obtendrán aplicando la Ecuación 3.

$$\text{Costo Remoción de Escombros } (RE)_G = \text{Volumen Escombros}_G * CU_G$$

(Ecuación 2)

$$\text{Costo Total Remoción de Escombros } G = \sum_G RE_G$$

(Ecuación 3)

## **PASO 2: ESTIMACIÓN DE COSTOS POR DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO-ESTRUCTURALES**

De acuerdo con el estado de daño de la estructura después del sismo, se plantearán estrategias para la rehabilitación y/o reconstrucción de la edificación. La rehabilitación comprende la reparación y el reforzamiento de la edificación para que tenga un desempeño estructural mejor que el actual. Mientras que, la reconstrucción consiste en la sustitución por una estructura nueva, cuyo diseño debe cumplir con los requerimientos sismo-resistentes de la norma técnica. En esta sección, la estimación está comprendido por los siguientes costos: (a) costos de reparación de elementos estructurales y no estructurales según el estado de daño, (b) costo de reforzamiento y mantenimiento y (c) costo de demolición y reposición de estructura nueva.

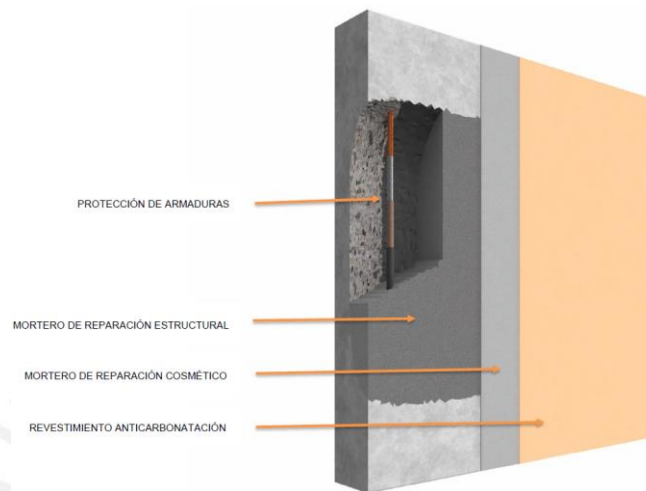
### **a) Costos de reparación de elementos estructurales y no estructurales por estado de daño**

En primer lugar, se determina el número de elementos afectados según los estados de daño globales de la estructura. Como primer paso, a partir de resultados de estudios de riesgo sísmico previos, se identifican las aceleraciones máximas del suelo (PGA) asociadas a los desplazamientos que definen los cambios en los estados de daño de la curva de capacidad (fuerza-desplazamiento). Con los valores de las aceleraciones se ingresan a las matrices de daño locales para determinar el porcentaje de elementos afectados según cada estado de daño.

### CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA PROPUESTA

---

En segundo lugar, se calculan los costos de reparación de los elementos estructurales dañados. Para ello, se realizan los análisis de precios unitarios de las intervenciones requeridas. Por ejemplo, en la Figura 3.3. se muestra los detalles de reparación estructural de un elemento de concreto armado.



**Figura 3.3. Detalles de reparación estructural de elementos de concreto armado (Fuente: Empresa BASF)**

Como se indica en la Ecuación 4, el costo de reparación de elementos estructurales locales (ES) resulta de la multiplicación del número de elementos dañados por el costo unitario de la intervención requerida. Por último, aplicando la Ecuación 5 se obtienen los costos de reparación de los elementos estructurales para los estados de daño global como la sumatoria de los costos de reparación locales (ENS).

$$\text{Costo Reparación Local } (RES)_L = N^{\circ} \text{ Elemento Estructural Dañado}_L * CU_L$$

(Ecuación 4)

$$\text{Costo Reparación Global}_G = \sum_L RES_L$$

(Ecuación 5)

Para el caso de elementos no estructurales, como tabiques, pisos, puertas y ventanas, no se ha encontrado en los estudios previos información cuantitativa sobre los niveles de daño esperados. Debido a ello, se propone considerar la descripción del daño de la estructura para la asignación de un porcentaje de daño cualitativo. Se establece la Ecuación 6 para el cálculo del costo de reparación de elementos no

estructurales como la multiplicación de la cantidad de elementos no estructurales dañados (ENS) por el porcentaje de daño asignado (% D) y por el costo unitario de la actividad.

$$\text{Costo Reparación Global (RENS)}_G = N^{\circ} \text{ Elemento NoEstructural} * \% \text{ Daño}_G * CU_G$$

(Ecuación 6)

#### b) Costo de rehabilitación: reforzamiento estructural y mantenimiento

El costo de reforzamiento estructural y mantenimiento dependerá de la técnica de rehabilitación seleccionada. Este costo debe considerar las partidas de estructura, arquitectura e instalaciones, así como las obras exteriores requeridas. Para la estimación de este costo se debe revisar expedientes técnicos de proyectos similares con la finalidad de identificar ratios de construcción por metro cuadrado.

#### c) Costo de reconstrucción: demolición y reposición de estructura nueva

De acuerdo con la normativa vigente, la nueva infraestructura educativa debe ser sismo-resistente y cumplir con todos los requerimientos técnicos y exigencias de calidad. De igual manera que para la estimación del costo de rehabilitación, se debe utilizar ratios de expedientes técnicos de proyectos pasados para determinar el costo de demolición de la estructura dañada y la construcción de una nueva.

Finalmente, se tiene tres tipos de costos según el estado de daño global de la estructura. El costo de rehabilitación de la estructura existente comprendido por los costos de (a) reparación y (b) reforzamiento (Ecuación 7). Mientras que, el costo de reconstrucción por el de (c) demolición y reposición de la estructura nueva (Ecuación 8). La decisión de reparar o reforzar una edificación no solamente depende de consideraciones técnicas, sino también de un análisis costo-beneficio [66].

$$\text{Costo Rehabilitación}_G = \sum_G \text{Costo (reparación + reforzamiento)}$$

(Ecuación 7)

$$\text{Costo Reconstrucción}_G = \sum_G \text{Costo (demolición + construcción nueva)}$$

(Ecuación 8)

### **PASO 3: ESTIMACIÓN DE COSTOS POR DAÑOS EN EL CONTENIDO EDUCATIVO**

El contenido educativo hace referencia al mobiliario y equipamiento escolar. En la revisión de la literatura, no se ha encontrado una descripción de los daños que podrían generarse en el contenido educativo después de un sismo, y mucho menos se ha estimado cuantitativamente el nivel de daño. De igual manera que se realizó con los elementos no estructurales, se asigna un porcentaje de daño cualitativo (% D) en función de la decisión adoptada del paso 2, es decir, la rehabilitación o la reconstrucción de la estructura. La estimación del costo por daños en el contenido educativo se obtiene aplicando la Ecuación 9 como un porcentaje del presupuesto total por el mobiliario escolar y equipamiento (PCE).

$$\text{Costo Contenido Educativo } (CE)_G = \% \text{ Daño}_G * \text{Presupuesto } CE_G$$

(Ecuación 9)

### **PASO 4: ESTIMACIÓN DE COSTOS POR TIEMPO DE INACTIVIDAD**

El tiempo de inactividad del colegio después de un sismo perjudica el desarrollo normal de las actividades escolares. En las zonas cuyos colegios presenten mayores daños, la instalación de aulas temporales es una solución inmediata de bajo costo para asegurar la continuidad o reinicio de las clases [48]. En términos económicos, se propone cuantificar el impacto del tiempo de inactividad del colegio en función del alquiler por día de las aulas temporales mientras duren los trabajos de rehabilitación o reconstrucción.

En primer lugar, se debe determinar la cantidad de días que durarán los trabajos de rehabilitación y/o reconstrucción. En ese sentido, para los trabajos de reparación se debe contar con la evaluación de especialistas para establecer las intervenciones necesarias y el tiempo requerido. Si el daño en los elementos estructurales y no estructurales son leves, moderados o incluso extensos, es posible considerar la reparación de dichos elementos y el reforzamiento de toda la estructura. Por otro lado, para la determinación del tiempo de duración de los trabajos de reforzamiento, demolición y nueva construcción, se recomienda analizar el cronograma de actividades de expedientes técnicos de proyectos similares.

En segundo lugar, se debe establecer el costo del alquiler de aulas temporales por día. Para ello, se propone la revisión de expedientes técnicos de proyectos similares para conocer el costo de provisión

de las aulas temporales, incluidos los gastos por transporte, instalación y desinstalación. Finalmente, la estimación de costos por tiempo de inactividad se obtiene aplicando la Ecuación 10 como la multiplicación del número de días sin uso de la estructura por el costo de alquiler del aula temporal.

$$\text{Costo Tiempo de Inactividad}_G = N^{\circ} \text{ Días Colegio Cerrado}_G * C. \text{Alquiler ME}_G$$

(Ecuación 10)

#### PASO 5: ESTIMACIÓN DE COSTOS POR DESERCIÓN ESCOLAR

El costo indirecto asociado a la deserción escolar post desastre es una estimación económica compleja que tendrá un impacto futuro en los niveles de productividad de un país [51]. En el Perú, según diversos estudios, las principales razones que conllevan a la deserción escolar son problemas económicos, problemas familiares, trabajo, baja percepción de la calidad de la oferta educativa, falta de interés en los estudios, bajo rendimiento escolar [52]–[55]. Esta situación se agrava especialmente en contextos rurales.

En ese sentido es importante analizar el impacto del estado de la infraestructura educativa post desastre como un factor de riesgo para la deserción debido a la interrupción en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. En relación con esto, la teoría económica, el rendimiento escolar está condicionado por dos factores: (1) características del alumno, como contexto socioeconómicos y culturales, familiares, hábitos y aptitudes de estudio, y (2) características del colegio, como la infraestructura y la plana docente [55]. Según Brunner y Alacqua [56], la importancia de relativa de estos dos factores está en función del nivel de desarrollo del país, tal como se muestra en la Figura 3.4. Eso significa que, en países en desarrollo como el Perú, la inversión en infraestructura educativa tiene un impacto favorable en el rendimiento escolar [57].

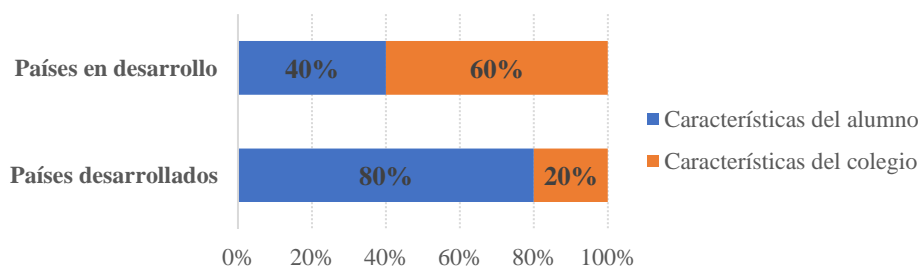
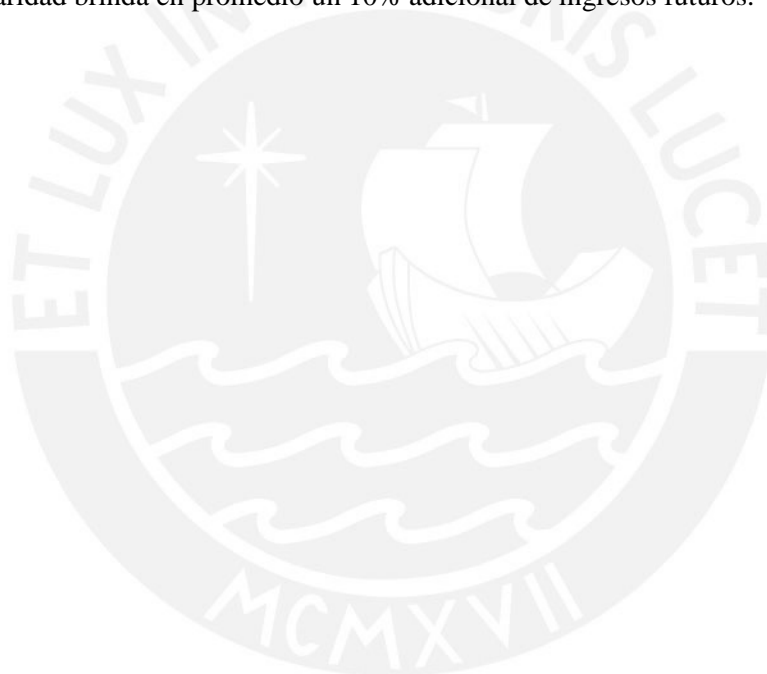


Figura 3.4. Importancia relativa de los factores relacionados al rendimiento escolar

### CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA PROPUESTA

---

En línea con lo anterior, los daños en los colegios post sismo ocasionan que permanezcan cerrados por un período de tiempo mientras se lleven a cabo los trabajos de rehabilitación y/o reconstrucción. Por ejemplo, después de cuatro años del terremoto de Pakistán del 2005, se observó una pérdida de aprendizaje de casi 2 años en aquellos estudiantes cuyas escuelas permanecieron cerradas por un promedio de 80 días [10]. Los colegios cerrados conducen a una mayor tasa de deserción, aproximadamente dos veces más altas que los colegios que no cerraron [11]. Finalmente, aquellos estudiantes que se encuentren expuestos a zonas de mayor riesgo de desastres presentan mayores probabilidades de abandonar sus estudios escolares [12]. En términos económicos, la tasa de retorno a la educación se estima en un 10% del Producto Bruto Interno (PBI) mundial [58]. En otras palabras, cada año de escolaridad brinda en promedio un 10% adicional de ingresos futuros.



## 4. ESTUDIO DE CASO: COLEGIOS PÚBLICOS SISTEMA MODULAR 780-PRE

En este capítulo, se aplica la metodología propuesta al estudio de caso colegios públicos sistema modular 780-PRE, que fueron construidos con la primera Norma Peruana de Diseño Sismorresistente oficializada en 1977, cuyos criterios de diseño sísmico son obsoletos y de baja calidad constructiva [59]. A continuación, se describe brevemente las características de estos colegios y su estado situacional, además se presenta y discuten los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología.

### 4.1 COLEGIOS PÚBLICOS SISTEMA MODULAR 780-PRE

De acuerdo con el Censo de Infraestructura Educativa del 2014 [35], el 42% de las edificaciones educativas existentes han sido diseñadas y construidas con criterios de diseño sísmico obsoletos y pocos rigurosos, anterior a la norma de 1998. En otras palabras, la mitad de las edificaciones educativas son altamente vulnerables por su tipología estructural. Especialmente, el sistema modular 780-PRE que comprende alrededor de 21 mil colegios, característicos de la costa central peruana, como indica la Figura 4.1. Estos colegios en sismos pasados han sufridos graves daños debido a su poca rigidez lateral y al problema estructural de columna corta [15], [60].

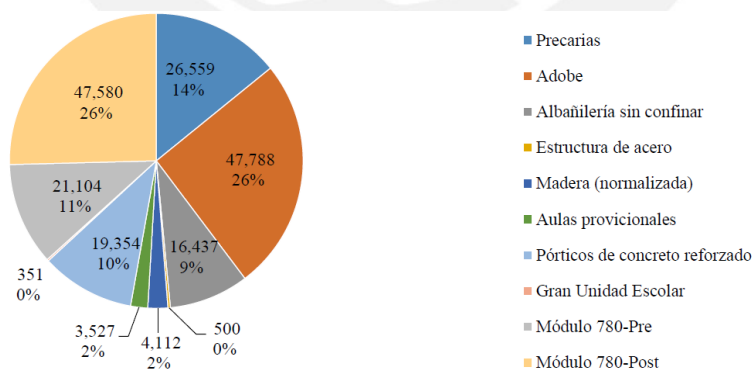


Figura 4.1. Distribución de edificaciones educativas según el tipo estructural asignado [35]

Los colegios 780-PRE consisten en pórticos de concreto armado en la dirección longitudinal, y de muros de albañilería confinada con pórticos de concreto armado en la dirección transversal [20]. En la Figura 4.2 se aprecia el módulo típico 780-PRE, que tiene forma rectangular de 2 o 3 niveles con 3

aulas por piso, cuyas aulas son cuadradas de aproximadamente de 7.80 metros de lado y la altura es de 3.35 metros.

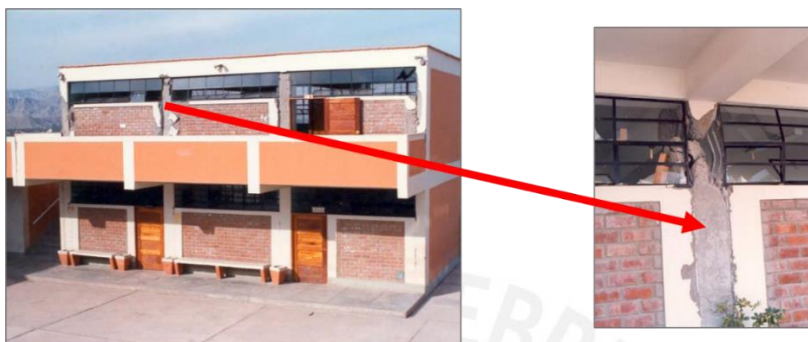


Figura 4.2. Colegio sistema modular 780-PRE después del sismo de Nazca 1996 [61]

### 4.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

La estimación de pérdidas económicas se aplicó al Pabellón A de la I.E. N° 7219 Aristóteles, ubicado en el distrito de San Juan De Miraflores. Este pabellón fue reforzado estructuralmente como parte del Programa Nacional de Infraestructura Educativa (PRONIED) para la sustitución, rehabilitación y reforzamiento de infraestructura en instituciones educativas. En la Figura 4.3, se observa el Pabellón A, que cuenta con un área techada de 430.06 m<sup>2</sup>, dos niveles de tres aulas por piso conectadas por una escalera.

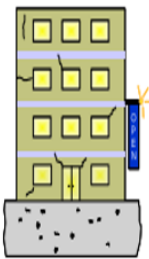
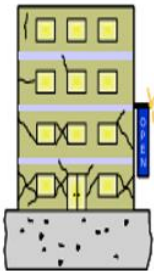
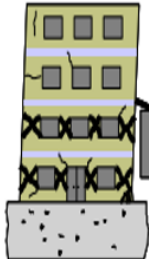


Figura 4.3. Vista frontal del pabellón A de la I.E. N° 7219 Aristóteles [62]

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

En la Tabla 2 se describen los niveles de desempeño en función del estado de daño global que alcanzaría el colegio 780-PRE luego de un sismo. Es importante conocer el nivel de daño de la estructura para que la identificación y la estimación de costos de las actividades requeridas en los procesos de rehabilitación y reconstrucción sea más precisa.

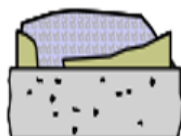
Tabla 2. Descripción de los estados de daño globales del colegio 780-PRE

Niveles de Desempeño	Descripción del daño (Adaptado de [20], [47])
<b>Funcional</b> 	<b>Estado de Daño: Leve</b> Pequeños daños estructurales, prácticamente elástico. La mayoría de los servicios esenciales pueden usarse inmediatamente. La estructura conserva sustancialmente la resistencia y rigidez originales. Columnas con daños localizados (70%), menores (20%) y moderados (10%). Vigas solo daño localizado. Leves fisuras en fachadas, tabiques y techos (20%). Todos los sistemas importantes para el funcionamiento normal están funcionales. Grietas finas diagonales (a veces horizontales) en la mayoría de las paredes de relleno, grietas en las interfaces de relleno del marco (80%).
<b>Seguridad de vida</b> 	<b>Estado de Daño: Moderado</b> Daño estructural y no estructural importante. IncurSIONES en el rango inelástico con pérdida de resistencia y rigidez, pero la estructura es reparable. El sistema de seguridad funciona para los elementos no estructurales. Columnas con daños menores (68%), moderados (17%) y severos (15%). Vigas solo daño localizado. Leves fisuras en fachadas, tabiques y techos (20%), así como elementos estructurales. La mayoría de las superficies de las paredes de relleno exhiben grietas diagonales u horizontales más grandes (80%), algunas paredes exhiben aplastamiento de ladrillos alrededor de las conexiones vigas-columnas. Se pueden observar grietas de cortantes diagonales en vigas o columnas de hormigón.
<b>Prevención del colapso</b> 	<b>Estado de Daño: Extenso</b> Gran daño estructural. Severas incurSIONES inelásticas, pérdida casi total de resistencia y rigidez. No resulta práctico reparar la estructura. Columnas con daños menores (67%), moderados (13%) y severos (20%). Vigas solo daño localizado. Los elementos no estructurales tienen peligro de colapsar. Sin fallas fuera del plano de las paredes o vuelco de los parapetos. Daño a tabiques (80%). El edificio puede estar más allá de la reparación económica. Funcionan los elementos que soportan la carga de gravedad. La mayoría de las paredes de relleno presentan grandes grietas, algunos

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

ladrillos pueden desprenderse y caer, algunas paredes de relleno pueden salirse del plano, algunas paredes pueden caer parcial o totalmente (80%).

### Colapso



#### Estado de Daño: Completo







Colapsos parciales, estructura irrecuperable o colapso completo. Poca rigidez y resistencia residual, pero funcionan las columnas y muros de carga. Grandes derivas permanentes. Algunas salidas bloqueadas. Los rellenos y los parapetos no arriostrados fallaron o en una falla incipiente (100%).

La estructura se ha derrumbado o está en peligro inminente de derrumbe debido a una combinación de falla total de los muros de relleno y falla no dúctil de las vigas y columnas de concreto.

\*Imágenes tomadas de [29]

Mientras que en la Tabla 3 se presenta la matriz de desempeño del colegio 780-PRE ante dos niveles de peligro sísmico: ocasional y raro. Los resultados del análisis indican que la estructura tendría un desempeño funcional ante un sismo ocasional y colapsaría en un sismo raro. Sin embargo, el desempeño funcional en un sismo frecuente podría ser aceptable para una edificación común, más no para una edificación educativa, categorizada como esencial [20], [59].

Tabla 3. Matriz de Desempeño del colegio 780-PRE (Tomado de [20])

Tipo 780-PRE  Estructura esencial 		Niveles de Desempeño de la Estructura				
		Operacional	Funcional	Seguridad de vida	Prevención del colapso	Colapso
Nivel de Intensidad sísmica	Sismo Ocasional PGA = 0.20 g					
	Sismo Raro PGA = 0.45 g					

A continuación, se presentan las estimaciones de las pérdidas económicas directas e indirectas para los estados de daño descritos anteriormente. El detalle de los cálculos y los análisis de precios unitarios se encuentran en el Anexo 1 y 2, respectivamente.

### Paso 1: Estimación de Costos por Remoción de Escombros

En primer lugar, se calculó el peso de los materiales de construcción, como concreto, acero, ladrillos y mortero por metro cuadrado de la edificación. Esta información se obtuvo del modelo 3D BIM del colegio 780-PRE (ver Figura 4.4). Los cálculos intermedios se encuentran detallados en el Anexo 1.

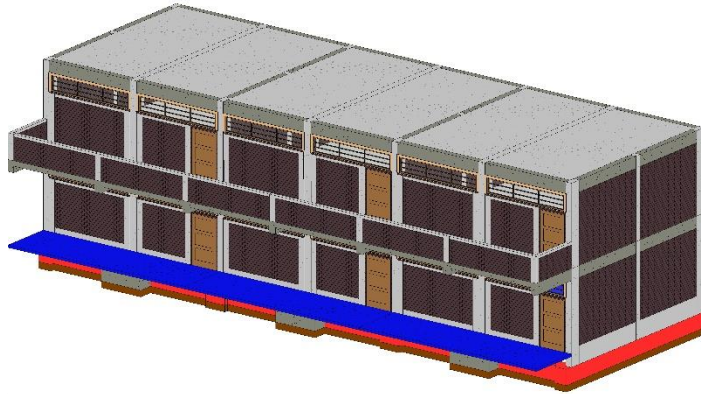


Figura 4.4. Modelo 3D BIM del colegio 780-PRE (Autodesk Revit ®)

Después de ello, se estimó el volumen total de escombros generados para estado de daño (ver Tabla 4) aplicando la metodología de Mesta et al [34]. Para este procedimiento, se seleccionó la tipología Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls (C3) del catálogo de Hazus [45]. Adicionalmente, los totales de escombros estimados en unidades de peso (ton) se convirtieron a unidades de volumen (m<sup>3</sup>) utilizando el factor de conversión de demolición de 1.60, valor recomendado por FEMA. Es importante mencionar que, por ejemplo, 1 m<sup>3</sup> de concreto nuevo cuando se convierte en escombros no es exactamente 1 m<sup>3</sup> debido a los vacíos generados entre los pedazos de material.

Tabla 4. Escombros esperados por estado de daño global del colegio 780-PRE

Estado de Daño Global	Total de Escombros (ton)	Total de Escombros (m <sup>3</sup> )
Leve	18.61	<b>29.78</b>
Moderado	97.03	<b>155.25</b>
Extenso	255.09	<b>408.15</b>
Completo	471.44	<b>754.30</b>

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

En segundo lugar, se estimaron los costos parciales de las actividades involucradas en la remoción de escombros aplicando la Ecuación 2, en la Tabla 5 se presentan los costos unitarios.

**Tabla 5. Costos unitarios de partidas de remoción de escombros**

<b>Partida constructiva</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario (S/.)</b>
<b>Remoción de escombros</b>		
C1: Demolición Manual	m3	157.48
C2: Demolición con Maquinaria Pesada	m3	16.99
C3: Acarreo manual de material proveniente de demolición	m3	30.33
C4: Eliminación de escombros a botadero autorizado	m3	40.52

Finalmente, mediante la aplicación de la Ecuación 3 se obtienen los costos totales de las actividades de remoción de escombros por estado de daño global de la estructura, como se observa en la Tabla 6.

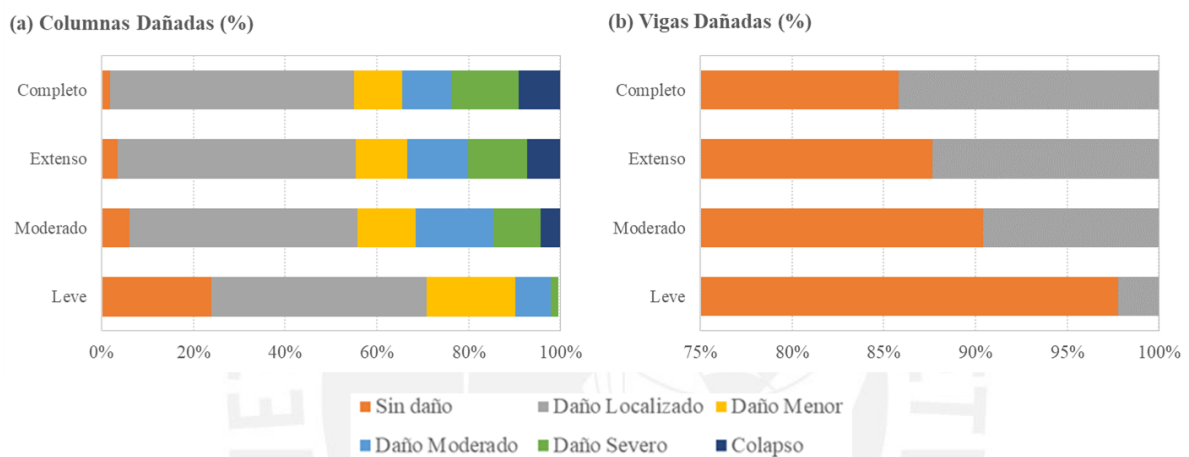
**Tabla 6. Costos totales de remoción de escombros por estado de daño global del colegio 780-PRE (S/.)**

<b>Estado de Daño Global</b>	<b>Descripción Tipo de trabajo</b>	<b>C1: Demolición Manual</b>	<b>C2: Demolición Maquinaria</b>	<b>C3: Acarreo Manual</b>	<b>C4: Eliminación Escombros</b>	<b>Costos Totales Escombros</b>	<b>Costos Escombros x m2</b>
Leve	No aplica demolición	0.00	0.00	903.32	1,206.80	2,110.11	<b>4.91</b>
Moderado	No aplica demolición	0.00	0.00	4,709.08	6,291.17	11,000.25	<b>25.58</b>
Extenso	Demolición manual	64,273.84	0.00	12,379.81	16,538.99	93,192.64	<b>216.70</b>
Completo	Demolición con maquinaria. No acarreo manual	0.00	12,817.02	0.00	30,565.37	43,382.40	<b>100.88</b>

**Paso 2: Estimación de Costos por Daños en Elementos Estructurales y No-Estructurales**

*a) Costos de reparación de elementos estructurales y no estructurales*

A partir de la evaluación del riesgo sísmico de colegios 780-PRE elaborado por Loa et al [20], se obtienen los porcentajes de elementos estructurales dañados, como columnas y vigas, para diferentes aceleraciones máximas (ver Figura 4.5). De esta manera, se determina la cantidad de elementos estructurales afectados para cada estado de daño global.



**Figura 4.5. Columnas y vigas dañadas por estado de daño global del colegio 780-PRE**

Para el costo de reparación, se tomaron como referencia los valores propuestos por Chacón y Paz [19]. Sin embargo, estos fueron actualizados debido a que se les adicionó los costos unitarios de partidas que no habían sido considerados, como el picado de elementos, encofrado y desencofrado, apuntalamiento de la estructura y demolición de columnas y vigas. En la Tabla 7, se muestran los daños de los elementos, las acciones de reparación requeridas y los costos unitarios de las columnas y vigas.

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

Tabla 7. Costo unitario de reparación por estado de daño local de elementos estructurales: columnas y vigas  
(Adaptado de [19])

Daño Local	Descripción del Daño	Acciones de reparación	Columnas (S/.)	Vigas (S/.)
Daño Localizado		1. Reparación no estructural (acabados): -MasterEmaco N5200 -Tarrajeo -Pintura	101.00	38.00
Daño Menor		1. Reparación no estructural (acabados): -Resina epóxica -Tarrajeo -Pintura	717.00	248.00
Daño Moderado		1. Preparación de superficie 2. Protección de armadura 3. Reparación estructural: -Recubrimiento -Grietas -Reemplazo acero -Encofrado 4. Reparación no estructural (acabados): -tarrajeo -pintura	1,451.00	659.00

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

Daño Severo		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preparación de superficie</li> <li>2. Protección de armadura</li> <li>3. Reparación estructural:               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Recubrimiento</li> <li>-Grietas</li> <li>-Reemplazo acero</li> <li>-Encofrado</li> </ul> </li> <li>4. Reparación no estructural (acabados):               <ul style="list-style-type: none"> <li>-tarrajeo</li> <li>-pintura</li> </ul> </li> </ol>	2,306.00	1,098.00
Colapso		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apuntalamiento</li> <li>2. Preparación de superficie</li> <li>3. Protección de armadura</li> <li>4. Reparación estructural:               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Recubrimiento</li> <li>-Grietas</li> <li>-Reemplazo acero</li> <li>-Encofrado</li> </ul> </li> <li>5. Reparación no estructural (acabados):               <ul style="list-style-type: none"> <li>-tarrajeo</li> <li>-pintura</li> </ul> </li> </ol>	2,026.00	1,226.00

\*Imágenes tomadas de [21]

Por último, los costos de reparación de elementos estructurales locales se obtienen aplicando la Ecuación 4. En la Tabla 8, se presentan los costos totales de reparación para los estados de daño global por metro cuadrado, mediante la Ecuación 5.

**Tabla 8. Costos de reparación global de columnas y vigas del colegio 780-PRE (S/.)**

Estado de Daño Global	Costo Reparación Columnas y Vigas	Costo Reparación Columnas y Vigas x m2 (S/.)
Leve	13,349.87	<b>31.04</b>
Moderado	28,369.77	<b>65.97</b>
Extenso	30,663.47	<b>71.30</b>
Completo	32,192.61	<b>74.86</b>

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

En el caso de otros elementos estructurales (ES), como muros de albañilería confinada, y elementos no estructurales (ENS), como tabiques, puertas, ventanas, pisos, no existe una evaluación cuantitativa del daño. Por esa razón, se asignó un porcentaje de daño a estos elementos a partir de un análisis cualitativo del estado de daño global de la estructura. En el Anexo 1 se encuentra detallado el procedimiento de los cálculos intermedios y los porcentajes asignados. En la Tabla 9 se presentan los costos de reparación de estos elementos por metro cuadrado.

**Tabla 9. Costos de reparación global de muros confinados, tabiques, puertas y ventanas del colegio 780-PRE**

Estado de Daño Global	Elementos Estructurales (ES): Muros confinados		Elementos No-Estructurales (ENS): Tabiques, puertas y ventanas	
	Costo Reparación ES	Costo Reparación ES x m2	Costo Reparación ENS	Costo Reparación ENS x m2
Leve	5,587.20	<b>12.99</b>	3,556.80	<b>8.27</b>
Moderado	7,891.20	<b>18.35</b>	10,137.80	<b>23.57</b>
Extenso	15,507.20	<b>36.06</b>	61,275.80	<b>142.48</b>
Completo	26,776.80	<b>62.26</b>	87,171.00	<b>202.69</b>

Finalmente, se suman los costos según su categoría y se obtienen los costos totales de reparación de los ES (columnas, vigas, muros confinados) y los ENS (tabiques, puertas y ventanas), como se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10. Costos totales de reparación de elementos estructurales y no-estructurales por estado de daño global del colegio 780-PRE (S/.)**

Estado de Daño Global	Costo Reparación ES x m2 (a)	Costo Reparación ENS x m2 (b)	Costo Total Reparación x m2 (a+b) (S/.)
Leve	44.03	8.27	<b>52.30</b>
Moderado	84.32	23.57	<b>107.89</b>
Extenso	107.36	142.48	<b>249.84</b>
Completo	137.12	202.69	<b>339.81</b>

### ***b) Costos de rehabilitación: reforzamiento estructural y mantenimiento***

En la estimación del costo de rehabilitación, se empleó información oficial del proyecto “Reforzamiento estructural de aula, construcción de cerco de ladrillo/concreto en la I.E. 7219 Aristoteles - San Juan De Miraflores, Departamento Lima” a cargo del PRONIED. En la Figura 4.6, se observa el reforzamiento sísmico del colegio con la técnica “Reforzamiento con marco y arriostres concéntricos de acero – ACMAC”. Esta técnica fue propuesta como parte del proyecto “Proposed update of the National Building Regulations to incorporate the incremental reinforcement in type 780 school buildings built before 1997” impulsado por el Banco Mundial [59].



**Figura 4.6. Reforzamiento estructural ACMAC del pabellón A de la I.E. 7219 Aristóteles [62]**

Como se ha indicado, los costos del reforzamiento estructural, mantenimiento y obras exteriores para un colegio sistema modular 780-PRE se obtuvieron del expediente técnico del proyecto I.E. 7219 Aristóteles. En la Tabla 11 se presenta los costos totales de rehabilitación para cada estado de daño global. Los montos son los mismos en cada estado porque se está considerando que primero se repararán los elementos dañados.

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

Tabla 11. Costos de reforzamiento estructural por estado de daño global del colegio 780-PRE (S/.) [62]

Estado de Daño Global	Costo Reforzamiento x m2 (a)	Costo Mantenimiento x m2 (b)	Costo Obras Exteriores x m2 (c)	Costo Total Reforzamiento x m2 (a+b+c)
Leve	917.67	15.11	287.88	<b>1220.66</b>
Moderado	917.67	15.11	287.88	<b>1220.66</b>
Extenso	917.67	15.11	287.88	<b>1220.66</b>
Completo	917.67	15.11	287.88	<b>1220.66</b>

A partir de la aplicación de la Ecuación 7, se calculan los costos totales de rehabilitación del colegio 780-PRE, como la sumatoria de los costos de reparación más reforzamiento estructural, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Costos totales de rehabilitación por estado de daño global del colegio 780-PRE

Estado de Daño Global	Costo Total Reparación x m2 (S/.)	Costo Total Reforzamiento x m2 (S/.)	Costo Total Rehabilitación x m2 (S/.)
Leve	52.30	1220.66	<b>1,272.96</b>
Moderado	107.89	1220.66	<b>1,328.55</b>
Extenso	249.84	1220.66	<b>1,470.50</b>
Completo	339.81	1220.66	<b>1,560.47</b>

### *c) Costos de reconstrucción: demolición y reposición de estructura nueva*

De igual manera sucedió con los costos de reconstrucción, se utilizaron presupuestos de expedientes técnicos de proyectos de construcción de colegios sismo-resistentes, módulos 780-POST, como parte del PRONIED. En la Tabla 13 se presentan los costos de reconstrucción, como indica la Ecuación 8 resulta de la sumatoria de los costos de demolición de la estructura dañada y construcción del colegio nuevo por metro cuadrado.

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

Tabla 13. Costos totales de reconstrucción por estado de daño global del colegio 780-PRE (Fuente: PRONIED)

Estado de Daño Global	Costo Demolición x m2 (a)	Costo Nueva Construcción x m2 (b)	Costo Reconstrucción x m2 (a+b) (S/.)
Leve	49.24	1717.72	<b>1766.96</b>
Moderado	49.24	1717.72	<b>1766.96</b>
Extenso	49.24	1717.72	<b>1766.96</b>
Completo	49.24	1717.72	<b>1766.96</b>

### Paso 3: Estimación de Costos por Daños en el Contenido Educativo

Primero, se elaboró el presupuesto del contenido educativo de un pabellón con 3 aulas por piso con un total de 180 alumnos, el monto fue de S/. 134,033.40 e incluye pizarras, sillas, mesas, estantes y armarios. Después de ello, se procedió a asignar un porcentaje de daño cualitativo, que está en función del nivel de daño de la edificación en general. Por ejemplo, si el daño es leve o moderado, se consideró que el mobiliario está en buenas condiciones y puede seguir siendo utilizado, por eso se asignó un porcentaje de daño menor (5%). Sin embargo, si el daño es extenso o completo, el mobiliario se debe reemplazar por completo. Por último, la estimación de costos por daño en el contenido educativo se obtuvo aplicando la Ecuación 9 (ver Tabla 14).

Tabla 14. Costo de contenido educativo por estado de daño global del colegio 780-PRE (S/.)

Estado de Daño Global	Descripción Daño Cualitativo	% Daño Cualitativo	Costo Total Contenido Educativo	Costo Total Contenido Educativo x m2
Leve	Contenido Operativo	5%	6,701.67	<b>15.58</b>
Moderado	Contenido Operativo	5%	6,701.67	<b>15.58</b>
Extenso	Contenido Repuesto	100%	134,033.40	<b>311.66</b>
Completo	Contenido Repuesto	100%	134,033.40	<b>311.66</b>

### Paso 4: Estimación de Costos por Tiempo de Inactividad

En primer lugar, se calcularon los días que el colegio estará inoperativo debido a los trabajos que se realizarán durante la etapa de recuperación post sismo. En el caso de los trabajos de reparación se consultó a un especialista en reparación de elementos de concreto armado. Mientras que para el tiempo de los trabajos de reforzamiento, demolición y construcción nueva se revisaron expedientes técnicos de proyectos similares del PRONIED. En la Tabla 15, se muestra de manera resumida la estimación

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

de la cantidad de días totales requeridos para los trabajos de rehabilitación y reconstrucción. Es importante tomar en cuenta que el tiempo destinado a estas labores estará sujeto al escenario del desastre, es decir, a la disponibilidad de mano de obra, materiales y accesibilidad a las zonas afectas por el sismo. Dentro de esta planificación, solo se está considerando el trabajo de campo, no la interrupción de las clases desde el día de ocurrido el evento sísmico.

Tabla 15. Tiempo de rehabilitación y reconstrucción por estado de daño global del colegio 780-PRE

Estado de Daño Global	Rehabilitación: Reparación + Reforzamiento		Reconstrucción: Demolición + Nueva Construcción	
	Días	Meses	Días	Meses
Leve	120	4	210	7
Moderado	130	5	210	7
Extenso	160	6	210	7
Completo	210	7	210	7

Respecto al costo, se trabajó con el presupuesto elaborado por el PRONIED para la partida destinada a la provisión de servicio educativo en la etapa de construcción mediante aulas temporales (ver Figura 4.7). En el Anexo 1 se encuentra el detalle del costo del uso del aula temporal por día, que comprende el precio del módulo, además del transporte, instalación y desinstalación. La estimación del costo por tiempo de inactividad del colegio 780-PRE se calculó aplicando la Ecuación 10 (ver Tabla 16).



Figura 4.7. Aulas temporales aprobadas por el PRONIED (Empresa Alquimodul)

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

Tabla 16. Costos por tiempo de inactividad por estado de daño global del colegio 780-PRE (S/.)

Estado de Daño Global	Costo Total Rehabilitación	Costo Total Rehabilitación x m2	Costo Total Reconstrucción	Costo Total Reconstrucción x m2
Leve	429,600.00	<b>998.93</b>	751,800.00	<b>1,748.13</b>
Moderado	465,400.00	<b>1,082.17</b>	751,800.00	<b>1,748.13</b>
Extenso	572,800.00	<b>1,331.91</b>	751,800.00	<b>1,748.13</b>
Completo	751,800.00	<b>1,748.13</b>	751,800.00	<b>1,748.13</b>

### Paso 5: Estimación de Costos por Deserción Escolar

De acuerdo con el Programa Nacional de Infraestructura Educativa al 2025, la brecha de infraestructura escolar asciende a S/. 109 mil millones, sin contar los daños que podrían generar futuros desastres [35], [57]. Ante un escenario con las mismas características del sismo de Pisco del 2007, en Lima, el 92% de edificaciones educativas públicas quedarían inoperativas, lo que implicaría que el 89% de la población estudiantil, alrededor de 545 mil estudiantes, no podrían continuar con el desarrollo normal de sus clases [63]. En términos de funcionalidad, los colegios deben contar con servicios públicos de calidad. Sin embargo, más de dos tercios de locales escolares tienen inadecuado acceso a agua y saneamiento, principalmente, en zonas rurales, y el 83% deficiencias en los servicios higiénicos [35]. Además de ello, el 19% de colegios no cuenta con suficientes carpetas y el 46% con pizarras, solo el 16% de locales se encuentra en buen estado [57].

En el 2017, el Fenómeno del Niño Costero golpeó fuertemente la costa norte del Perú, ocasionando pérdidas de vidas y materiales históricamente altas [3]. En relación con la infraestructura educativa, 1523 colegios quedaron inoperativos, a pesar de ello, a la fecha solo se han reconstruido 92 colegios, que equivalen al 6% del total en este sector [7]. Ante esta situación, una de las estrategias adoptadas por el gobierno fue la instalación de módulos temporales para continuar con el desarrollo de las clases, como el de la Figura 4.7. Sin embargo, el nivel de insatisfacción de los alumnos, profesores y padres de familia es del 49%, debido a que estos módulos no se adaptan a las condiciones climáticas de la zona [64].

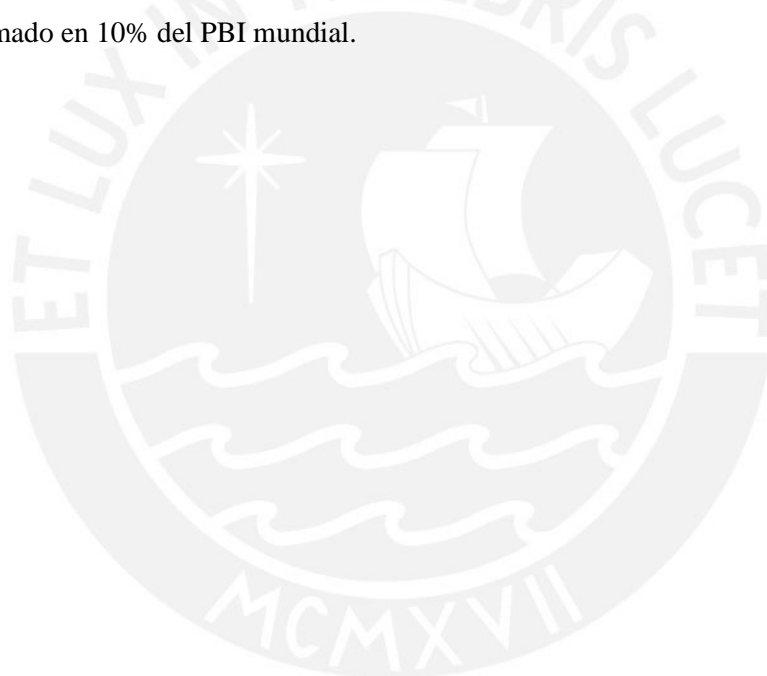
Desde el 2020, el mundo vive una de las mayores crisis sanitarias de los últimos 100 años a causa del virus COVID-19 (coronavirus). En el sector educación, esta situación ha generado que en América Latina y el Caribe, el 90% de colegios permanezcan cerrados, lo que ha conllevado que alrededor de 154 millones de niñas, niños y adolescentes, 95%, se encuentren fuera de las escuelas [65]. En el Perú,

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

---

la situación es la misma, por lo que el gobierno ha adoptado estrategias para una educación a distancia, como el programa “Aprendo en casa”, con muchas dificultades en el camino, principalmente, la brecha digital. Solo el 40.1% de las familias peruanas tiene conexión a internet desde sus viviendas y solo el 35.6% cuenta con una computadora para actividades académicas, profesionales o trabajo [66]. Finalmente, según estimaciones del Ministerio de Educación, alrededor de 230 mil estudiantes de educación básica regular dejaron de estudiar [67].

A la luz de estas revelaciones, tal como se señala en la metodología, la probabilidad de que los escolares dejen de estudiar es bastante alta debido al riesgo del buen estado de la infraestructura educativa post desastre. Esto implicaría una repercusión en la productividad del país, que el Banco Mundial ha estimado en 10% del PBI mundial.



### 4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados, se establecieron dos escenarios de análisis para los colegios 780-PRE según los estados de daño: (1) Costos de rehabilitación por metro cuadrado (reparación y reforzamiento) y (2) Costos de reconstrucción por metro cuadrado (demolición y construcción colegio nuevo) (ver Tabla 17 y Tabla 18, respectivamente). A continuación, se detallan algunas precisiones sobre estos costos. En primer lugar, en ningún escenario se incluye los costos por elaboración del expediente técnico, estudios de prefactibilidad, servicios de proyectistas y/o consultores, energía eléctrica, agua, entre otros. En segundo lugar, en el tiempo de inactividad no se está considerando las inspecciones post sismo, movilización de ingeniería, revisión/rediseño y otros. En tercer lugar, en ambos escenarios, el contenido educativo podrá ser reutilizado para estados de daño leves y moderados. Por último, en el segundo escenario, el trabajo de remoción de escombros no se contabiliza debido a que el colegio será completamente demolido y está incluido en el segundo costo. Por esto, en el primer escenario, el valor de este trabajo en el daño completo es menor.

Tabla 17. Costos totales de rehabilitación por estado de daño global del colegio 780-PRE

Estado de Daño Global	Daños Directos (S/.)			Daños Indirectos (S/.)	Costo Total Rehabilitación x m2
	Escombros	Reparación & Reforzamiento	Contenido Educativo	Tiempo de Inactividad	
Leve	4.91	1,272.96	15.58	998.93	<b>2,292.38</b>
Moderado	25.58	1,328.55	15.58	1,082.17	<b>2,451.88</b>
Extenso	216.70	1,470.50	311.66	1,331.91	<b>3,330.76</b>
Completo	100.88	1,560.47	311.66	1,748.13	<b>3,721.14</b>

Tabla 18. Costos totales de reconstrucción por estado de daño global del colegio 780-PRE

Estado de Daño Global	Daños Directos (S/.)			Daños Indirectos (S/.)	Costo Total Reconstrucción x m2
	Escombros	Demolición & Construcción	Contenido Educativo	Tiempo de Inactividad	
Leve	0.00	1,766.96	15.58	1,748.13	<b>3,530.67</b>
Moderado	0.00	1,766.96	15.58	1,748.13	<b>3,530.67</b>
Extenso	0.00	1,766.96	311.66	1,748.13	<b>3,826.75</b>
Completo	0.00	1,766.96	311.66	1,748.13	<b>3,826.75</b>

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

La decisión de reparar o reforzar una edificación no solamente depende de consideraciones técnicas, sino también de un análisis costo-beneficio [68]. Por ejemplo, el objetivo del programa de reforzamiento estructural de infraestructura educativa del Ministerio de Educación es reducir la vulnerabilidad símica mediante el uso de técnicas costo-eficientes, rápidas de ejecutar y escalables. En este caso, se plantea que el análisis costo-beneficio esté basado en el factor de daño (DF), que relaciona el costo de reparación y el costo de reposición de una edificación nueva. Se sugiere que el costo de rehabilitación sea menor al 60% de la reconstrucción, caso contrario se justificaría la sustitución por una nueva edificación. De ser mayor a ese valor, todas las edificaciones en alto riesgo de colapso deben ser sustituidos por edificaciones sismo-resistentes que cumplan con la Norma E0.30.

En ese sentido, tomando en cuenta los DF de la Figura 4.8, se concluye que en todos los estados de daños lo más conveniente económicamente es la sustitución de los colegios 780-PRE por estructuras sismo-resistentes, como los módulos 780-POST. En ese sentido, en un escenario post desastre, la rehabilitación de los colegios mediante el reforzamiento sísmico utilizando la técnica ACMAC no es la mejor opción. Al hacer una comparación solo del costo de reforzamiento incremental, el monto estimado por el Plan Nacional de Infraestructura Educativa al 2025 [35] alcanzaba un 30% del costo de reposición, bajo un escenario normal. Sin embargo, en este estudio se indica que dicho valor asciende a un poco más del 50% de la construcción de una estructura nueva. Asimismo, es importante tomar en cuenta los reportes de experiencias pasadas para estimar la cantidad total de colegios con algún tipo de daño. Por ejemplo, en el sismo de Pisco 2007, 662 aulas con daños graves, 495 aulas con daños moderados, 9,949 muros de cercos perimétricos dañados y 407 que corresponden a otros ambientes [67]. Con esta información es posible tomar mejores decisiones respecto a la planificación financiera de los programas de rehabilitación y reconstrucción post sismo de la infraestructura educativa.

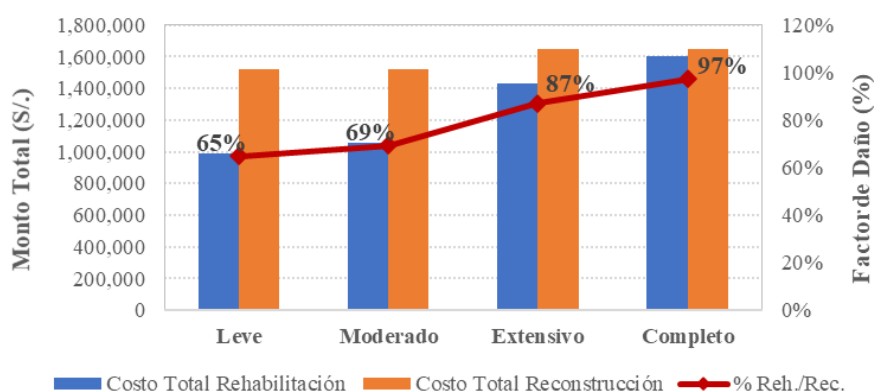


Figura 4.8. Factores de daño (DF) por estado de daño global del colegio 780-PRE

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

De acuerdo con la ecuación fundamental de la metodología PBEE (Ec. 1), es posible calcular variables de decisión (DV), como pérdidas económicas por daños y tiempo de inactividad, a partir de las medidas de intensidad sísmica (IM). Al respecto, en este trabajo se calcularon las pérdidas económicas directas e indirectas post sismo en función de los estados de daño globales del colegio 780-PRE, que previamente fueron determinados en estudios de evaluación del riesgo sísmico. Para fines prácticos, en la Fig. 4.9 se presentan las aceleraciones máximas del suelo (PGA), que definen los cambios en los estados de daño de la estructura, asociadas a las pérdidas por costos de rehabilitación, expresados como un porcentaje del costo de reconstrucción. De esta manera, según la matriz de desempeño de la Tabla 3, el colegio 780-PRE tendría un desempeño funcional ante un sismo ocasional, eso significaría que el costo de rehabilitación ascendería a alrededor del 65% del costo de reposición. En otras palabras, el monto de la pérdida económica por colegio sería de S/. 984,481. Ante un sismo raro, el colegio colapsaría, es decir, una pérdida de casi el 100%. Cabe precisar que ambos comportamientos son inaceptables para estructuras categorizadas como esenciales.

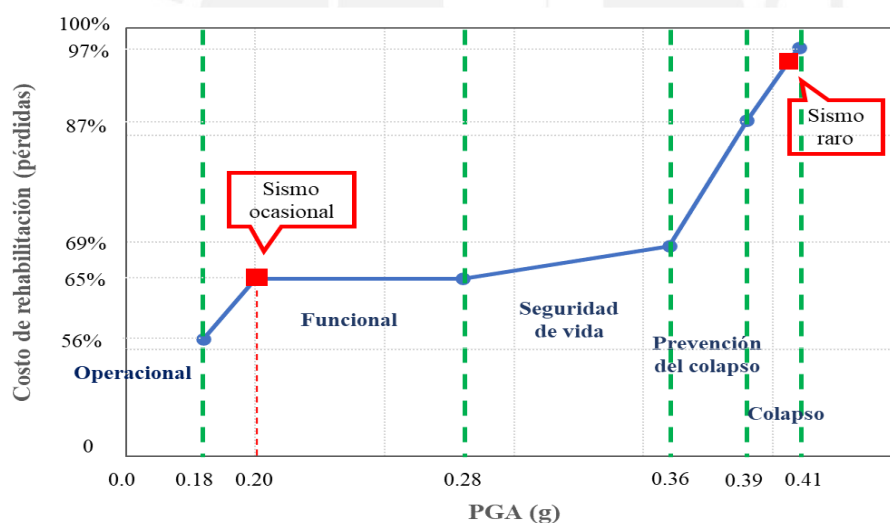
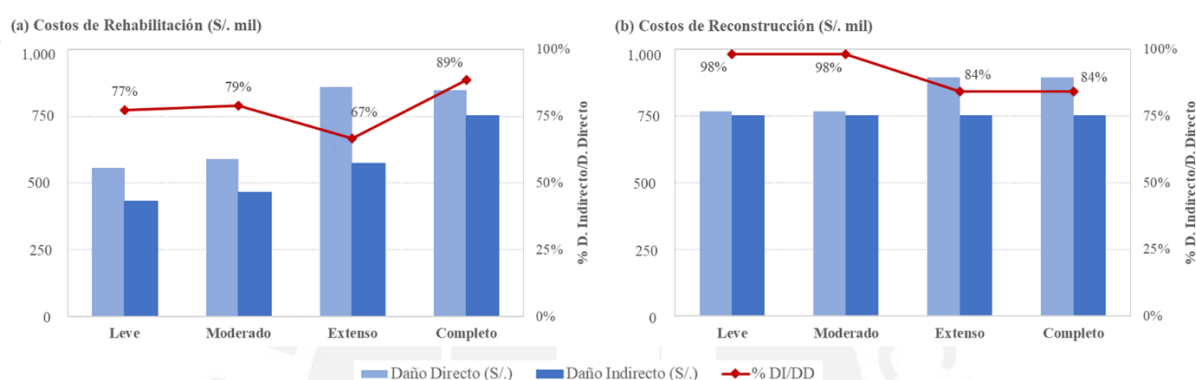


Figura 4.9. Curva intensidad sísmica vs Pérdidas económicas del colegio 780-PRE

En relación con los daños directos e indirectos post desastre, los estudios previos se han enfocado en las pérdidas directas por la facilidad en la cuantificación de los daños físicos en la infraestructura. Desafortunadamente, la estimación en términos monetarios de las consecuencias de estos daños o pérdidas indirectas no es un cálculo sencillo, ya que no depende de un único modelo económico, sino que engloba variables de diferentes sectores [69], [70]. En este estudio, se ha realizado una estimación de las pérdidas indirectas por el tiempo de interrupción del uso de los colegios y se ha brindado algunos alcances generales de los efectos de la deserción escolar por cierre de colegios post desastre. Esto

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

último con la finalidad de visibilizar el impacto del estado de la infraestructura en el proceso de aprendizaje y sus futuras consecuencias en la pérdida de ingresos futuros por menos años de estudio y en los indicadores de productividad del país. En la Figura 4.10 se aprecia que los daños indirectos representan un porcentaje significativo de los daños directos, en los trabajos de rehabilitación alrededor del 78% y en los de reconstrucción, 91%, sin considerar las pérdidas económicas futuras por la deserción escolar.



**Figura 4.10. Costos indirectos post sismo para cada estado de daño del colegio 780-PRE**

En comparación con resultados otros estudios, en la Tabla 19 se muestran los valores del porcentaje del costo directo. En el trabajo de Enke et al [70] se consideraron las consecuencias de los daños en un puente de la ciudad de Missouri, entre ellos los tiempos demorados y las distancias extras de viaje. Mientras que para el terremoto de Wenchuan en China [71], se incluyeron restricciones financieras para la reconstrucción, inestabilidad de las inversiones después del terremoto y límites en la capacidad de reconstrucción. En el Perú, para el terremoto de Pisco 2007 se realizó una diferenciación entre los daños como se muestra en la Tabla 1. Sin embargo, en los daños indirectos no se consideraron los impactos por la interrupción del uso de las viviendas e infraestructuras de cada sector.

**Tabla 19. Comparación de porcentajes de daños indirectos por sismos con otros estudios**

Referencia	Sismo	Daño en Infraestructura	% DI/DD
Enke et al [70]	New Madrid, Missouri, Estados Unidos	Vial	55%
Wu et al [71]	Wenchuan, China	Vivienda e Industria	40%
INDECI [38]	Pisco, Perú	General	10%
Este estudio (2021)	Lima, Perú (ficticio)	Educativa	84%

## CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE CASO

---

A pesar de que en este estudio no se ha cuantificado económicamente el impacto de la deserción escolar post desastre, se propone una estimación del mismo a partir de la metodología empleada por el INDECI para calcular la pérdida de ingresos futuros de las personas fallecidas por el terremoto del 2007 [38]. En la Tabla 20 se presenta la propuesta para el cálculo de la pérdida probable por ingresos futuros en un estudiante que dejó de estudiar un año. Se considera el sueldo mínimo de S/. 950 y la reducción de 10% en los ingresos por cada año sin estudiar.

**Tabla 20. Estimación preliminar de las pérdidas económicas futuras por 1 año de deserción escolar (Adaptado de [38])**

<b>Estructura de Mercado</b>	<b>PEA Ocupada 1/</b>	<b>Años de Estudio</b>	<b>Ingreso Promedio de PEA Ocupada (Anual) 2/</b>	<b>Total, de Ingresos (1/*2/)</b>
Sector Privado	1	12	11,400.00	11,400.00
Sector Privado	1	11	10,260.00	10,260.00
<b>Pérdida económica por ingresos futuros en 1 año por alumno (S/.)</b>				<b>1,140.00</b>

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como pone de manifiesto la literatura del marco teórico de la investigación, los mecanismos financieros son una importante estrategia dentro de la política de gestión integral del riesgo de desastres. Por esa razón, se propuso una metodología cuyo objetivo principal es contribuir a mejorar la planificación de la reconstrucción mediante la estimación de pérdidas económicas por sismo en infraestructura educativa. Esto con la finalidad de calcular variables de decisión para la mitigación del riesgo sísmico, como parte del último análisis de PREE. La metodología propuesta consta de cinco estimaciones que se establecen alrededor de tres pilares: (1) incrementar la eficiencia en la estimación de pérdidas mediante el análisis de costos unitarios de los procesos constructivos involucrados usando BIM, (2) promover la cuantificación económica de los daños indirectos mediante la aplicación de métricas y (3) mejorar la planificación financiera post desastre mediante la incorporación de nuevas variables de decisión.

Respecto a la estimación de pérdidas probables, en los estudios previos sobre evaluación del riesgo sísmico de infraestructura educativa, este cálculo se realiza solo considerando los resultados de las curvas de fragilidad. Por esa razón, la metodología propuesta integra los resultados de las estimaciones de daño de estos estudios con el análisis de los costos unitarios de los trabajos requeridos durante los procesos de rehabilitación y reconstrucción de las estructuras. Debido a ello, en la estimación también se incluye el uso de modelos 3D BIM para incrementar la precisión en la información, como metros de las cantidades de materiales de construcción.

En relación con los daños indirectos, se concluye que en los estudios previos y reportes post desastre no se ha realizado una estimación económica de las consecuencias de los daños, solo se ha considerado costos de logística por ayuda humanitaria y aspectos similares. Por esta razón, la metodología propuesta incluye métricas para estimar los daños indirectos en la infraestructura educativa con la finalidad de articular de manera más eficiente la planificación financiera post desastre. Además de ello, la inclusión de nueva variable de decisión como la evaluación preliminar del impacto económico de la deserción escolar debido a la interrupción del aprendizaje por desastres.

A partir del estudio de caso de colegios públicos sistema modular 780-PRE, se muestra la aplicabilidad del método mediante la estimación de las pérdidas económicas post sismo para dos escenarios de análisis: rehabilitación y reconstrucción de infraestructura educativa. El análisis costo-beneficio de los

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

factores de daño muestra que, en todos los estados de daño, especialmente, en el extenso y completo (más del 85%), el costo de reparación y reforzamiento estructural es muy alto que resulta conveniente demoler y reponer por un colegio nuevo sismo-resistente. Otro aspecto importante para considerar es la factibilidad de la construcción, es decir, construir un colegio nuevo modular es más sencillo que repararlo y reforzarlo. Sin embargo, uno de los retos del proceso de reconstrucción es la interrupción de clases debido al cierre de colegios por los trabajos requeridos. Como evidencia la literatura, esta situación conlleva a una mayor tasa de deserción escolar cuyas pérdidas de aprendizaje, en términos económicos, se traduce en una reducción de pérdida de ingresos futuros a percibir. En ese sentido, el desglose de los costos por tipos de daño revela que los daños directos son despreciables, en comparación con los daños indirectos, en infraestructura educativa, 84% en promedio, sin considerar el costo económico total de la deserción escolar.

Por último, si bien los resultados de este estudio son académicos, uno de sus objetivos era contribuir a mejorar la planificación de la reconstrucción en términos de gestión financiera. Cabe destacar los avances del Gobierno del Perú en el diseño e implementación de estrategias con un enfoque integral de protección financiera ante el riesgo de desastres. Sin embargo, es necesario concientizar sobre la importancia de la reducción del riesgo antes del desastre para disminuir las necesidades de financiamiento post desastre y endeudamiento público. Especialmente, las autoridades de gobiernos locales no muestran mayor interés en temas de prevención de desastres a pesar de contar con presupuesto designado por FONDES para ejecutar acciones de limpieza, mantenimiento, reparación y reforzamiento de infraestructura vulnerable.

## REFERENCIAS

- [1] UNDRR, “Informe de evaluación regional sobre el riesgo de desastres en América Latina y el Caribe Desafíos,” 2021.
- [2] World Bank, “Perú: Estrategia Integral de Protección Financiera ante el Riesgo de Desastres asociados a Fenómenos Naturales.”
- [3] INDECI, “Resumen ejecutivo histórico al 100% de la temporada de lluvias 2016–2017,” 2018.
- [4] CARE Perú, “Mecanismos de Financiamiento para el SINAGERD,” 2019.
- [5] El Comercio, “Terremoto en Pisco: El paso de Forsur y las tareas pendientes a 12 años del siniestro,” 2019. [Online]. Available: [https://www.preventionweb.net/files/16782\\_historiadelofterremotosenelperu.pdf](https://www.preventionweb.net/files/16782_historiadelofterremotosenelperu.pdf). [Accessed: 25-Feb-2021].
- [6] Agencia Peruana de Noticias Andina, “Reconstrucción con Cambios: se ejecutó el 41 % de inversión aprobada,” 2021. [Online]. Available: <https://andina.pe/agencia/noticia-reconstruccion-cambios-se-ejecuto-41-inversion-aprobada-780188.aspx>. [Accessed: 27-Mar-2021].
- [7] Ojo Público, “Solo se ha reconstruido el 6% de los colegios afectados por los impactos de El Niño del 2017 | Ojo Público.” [Online]. Available: <https://ojo-publico.com/2192/nino-costero-solo-se-ha-reconstruido-6-de-los-colegios-afectados>. [Accessed: 25-Feb-2021].
- [8] C. Córdova-Arias, “Método Multicriterio para la Selección de Técnicas de Reforzamiento Sísmico mediante el Uso de Criterios de Transparencia y Herramientas BIM,” Pontificia Universidad Católica del Perú, 2019.
- [9] Organización Panamericana de la Salud, “Terremoto de Pisco, Perú – A dos años del sismo, crónica y lecciones aprendidas en el sector salud,” Washington D.C., 2010.
- [10] T. Andrabi, B. Daniels, and J. Das, “Human Capital Accumulation and Disasters: Evidence from the Pakistan Earthquake of 2005,” 2020.

## REFERENCIAS

---

- [11] T. Sohnesen, C. Bodewig, and W. Bank, "Bulgaria: The impact of school closures on dropout rates. Main results and lessons for the future Spatial targeting via image recognition View project," 2010.
- [12] Bangkok ADPC, "Impact of Disasters on the Education Sector in Cambodia," ADPC, 2008.
- [13] United Nations Centre for Regional Development (UNCRD), "Reducing Vulnerability of School Children to Earthquakes," 2009.
- [14] A. Muñoz, M. Blondet, U. Quintana, and H. Leon, "The 13th World Conference on Earthquake Engineering, Earthquake - Resistant Performance of Peruvian School Buildings," no. 2447, p. 10, 2004.
- [15] A. Muñoz and M. Blondet, "Reducción de la vulnerabilidad sísmica de Edificaciones Escolares Peruanas en alto riesgo," Lima, 2007.
- [16] M. Astorga and R. Aguilar, "Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2006.
- [17] M. Bocanegra and G. Martinez, "Metodología para el cálculo de las distorsiones con análisis dinámico lineal y análisis estático no lineal con el programa SAP2000," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011.
- [18] E. Quiroz, "Vulnerabilidad sísmica de una edificación escolar típica módulo 780 Pre NDSR-1997 mediante modelos no lineales," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.
- [19] R. Chacón and I. Paz, "Análisis de desempeño sísmico de los edificios escolares típicos 780 post 97 de la costa peruana," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016.
- [20] G. Loa, A. Muñoz, and S. Santa-Cruz, "Seismic Evaluation of Incremental Seismic Retrofitting Techniques for Typical Peruvian Schools," *Struct. Congr. 2017*, 2017.
- [21] P. Ramirez, "Evaluación experimental de una propuesta de reforzamiento estructural para las edificaciones escolares construidas antes de 1997, Perú," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.
- [22] World Bank, "Propuesta de Plan Nacional de Infraestructura educativa en Perú al 2025 : Metodología de costeo de las intervenciones," 2017.

## REFERENCIAS

---

- [23] S. Santa-Cruz, G. F. De Córdova, M. Rivera-Holguin, M. Vilela, V. Arana, and J. Palomino, “Social sustainability dimensions in the seismic risk reduction of public schools: A case study of Lima, Peru,” *Sustain. Sci. Pract. Policy*, vol. 12, no. 1, 2016.
- [24] S. Santa-Cruz, X. Brioso, and C. Córdova-Arias, “Selection of Seismic Retrofitting Techniques Through a Multi- Criteria Methodology and BIM Tools to Improve Transparency,” in *Proceedings of the 11th National Conference in Earthquake Engineering*, 2018.
- [25] A. Anelli, M. Vona, S. Santa-Cruz, M. Laterza, and N. Tarque, “Mcdm Methods for the Identification of Intervention Strategies for Seismic Retrofitting of School Buildings,” in *World Engineering Conference on Disaster Risk Reduction*, 2016, pp. 1–10.
- [26] S. Santa-Cruz, C. Córdova-Arias, X. Brioso, and I. Vázquez-Rowe, “Transparency-based protocol for decision-making regarding seismic rehabilitation projects of public buildings,” *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 55, no. February, 2021.
- [27] J. Velásquez, “Estimación de pérdidas por sismo en edificios peruanos mediante curvas de fragilidad analíticas,” Pontificia Universidad Católica del Perú, 2006.
- [28] G. G. Deierlein, H. Krawinkler, and C. A. Cornell, “A framework for performance-based earthquake engineering,” in *2003 Pacific Conference on Earthquake Engineering*, 2003.
- [29] J. Moehle and G. G. Deierlein, “A FRAMEWORK METHODOLOGY FOR PERFORMANCE-BASED EARTHQUAKE ENGINEERING,” in *13th World Conference on Earthquake Engineering*, 2004, no. 679.
- [30] M. C. Comerio and M. Eeri, “Estimating Downtime in Loss Modeling,” vol. 22, no. 2, pp. 349–365, 2006.
- [31] D. P. Welch, T. J. Sullivan, and A. Filiatrault, “Potential of Building Information Modelling for seismic risk mitigation in buildings,” *Bull. New Zeal. Soc. Earthq. Eng.*, vol. 47, no. 4, pp. 253–263, 2014.
- [32] A. F. Neyra Palomino, “Lecciones aprendidas del Fondo de Reconstrucción del Sur 2007(Forsur),” *Econ. y Soc. - CIES. Consor. Investig. Económica y Soc.*, vol. 94, pp. 54–60, 2017.

## REFERENCIAS

---

- [33] S. García-torres, R. Kahhat, and S. Santa-cruz, “Resources , Conservation and Recycling Methodology to characterize and quantify debris generation in residential buildings after seismic events,” *Resources, Conserv. Recycl.*, vol. 117, pp. 151–159, 2017.
- [34] C. Mesta, S. Santa-Cruz, and R. Kahhat, “PROBABILISTIC ASSESSMENT OF EARTHQUAKE-INDUCED DEBRIS GENERATION USING PBEE METHODOLOGY,” in *17th World Conference on Earthquake Engineering*, 2020.
- [35] Ministerio de Educación, *Plan Nacional de Infraestructura Educativa al 2025*. Lima, 2017.
- [36] Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), “Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres 2007. DESASTRES 2007 - SISMO DEL 15 DE AGOSTO,” 2007.
- [37] Earthquake Engineering Research Institute, “Learning from earthquakes - The Pisco, Peru, Earthquake of August 15, 2007,” no. October, p. 12, 2007.
- [38] INDECI, *Impacto Socioeconómico y Ambiental del Sismo del 15 de agosto de 2007*. 2011.
- [39] Ojo Público, “Tres años después de El Niño: solo 4% de centros de salud está en reconstrucción | Ojo Público,” 2020. [Online]. Available: <https://ojo-publico.com/1947/nino-costero-solo-el-4-de-centros-de-salud-esta-en-reconstruccion>. [Accessed: 29-Mar-2021].
- [40] A. Peña, “A 10 años del terremoto de Pisco: las causas del fracaso en la reconstrucción | PUCP,” *Pontificia Universidad Católica del Perú*, 2017. [Online]. Available: <https://puntoedu.pucp.edu.pe/opinion/a-10-anos-del-terremoto-de-pisco-las-causas-del-fracaso-en-la-reconstruccion/>. [Accessed: 25-Feb-2021].
- [41] El Peruano, “Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2050 ‘Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia,’” 2020.
- [42] Ministerio de Economía y Finanzas, “Decreto de Urgencia N° 024-2010: Programa Presupuestal 0068,” 2010.
- [43] INDECI, “¿Qué es FONDES?”
- [44] El Peruano, “Ley N° 30458: Creación de Fondo para intervenciones ante la ocurrencia de desastres naturales (FONDES),” 2016.

## REFERENCIAS

---

- [45] H. Krawinkler and E. Miranda, "Performance-based earthquake engineering," in *Earthquake engineering: from engineering seismology to performance-based engineering*, 2004, pp. 9, 1–9.
- [46] SEAOC, "Vision 2000: Performance based seismic design of buildings," *Struct. Eng. Assoc. California, Sacramento CA*, 1995.
- [47] FEMA, *HAZUS Earthquake Model Technical Manual - Hazus 4.2 SP3*, no. October. 2020.
- [48] Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), *Lecciones Aprendidas del Sur - Sismo de Pisco, 15 agosto 2007*, INDECI, So. Lima, 2009.
- [49] R. Luna and W. T. Lawrence, "Estimation of Earthquake Loss due to Bridge Damage in the St . Louis Metropolitan Area : Part I - Direct Losses," *Nat. Hazards Rev.*, 2008.
- [50] FORSUR, "FORSUR Balance y Reconstrucción del Sur," 2008.
- [51] World Bank Group, "Es hora de volver a aprender," *Banco Mundial Blogs*, 2021. [Online]. Available: [https://blogs.worldbank.org/es/education/es-hora-de-volver-aprender?cid=SHR\\_BlogSiteShare\\_ES\\_EXT](https://blogs.worldbank.org/es/education/es-hora-de-volver-aprender?cid=SHR_BlogSiteShare_ES_EXT). [Accessed: 02-Apr-2021].
- [52] S. Cueto, C. Felipe, and J. León, "Predictores de la deserción escolar en el Perú," *Análisis & Propuestas*, vol. 52, pp. 1–4, 2020.
- [53] L. Alcázar, "Asistencia y deserción en escuelas secundarias rurales del Perú."
- [54] W. V. Arteaga, "EDUDATOS N O 24: Deserción escolar: evolución, causas y relación con la tasa de conclusión de educación básica. Alumnos con Atraso Escolar (como % de la matrícula inicial)," 2016.
- [55] A. Beltrán and J. Seinfeld, "Hacia una educación de calidad: La importancia de los recursos pedagógicos en el rendimiento escolar," 2011.
- [56] J. Brunner and G. Elacqua, "Factores que inciden en una educación efectiva," 2004.
- [57] Instituto Peruano de Economía, "Infraestructura que afecta a los escolares peruanos." [Online]. Available: <https://www.ipe.org.pe/portal/infraestructura-que-afecta-a-los-escolares-peruanos/>. [Accessed: 10-Feb-2021].

## REFERENCIAS

---

- [58] World Bank, “Debido a la pandemia de COVID-19, 72 millones de niños más podrían verse afectados por la pobreza de aprendizajes,” 2020. [Online]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/12/02/pandemic-threatens-to-push-72-million-more-children-into-learning-poverty-world-bank-outlines-new-vision-to-ensure-that-every-child-learns-everywhere>. [Accessed: 23-Mar-2021].
- [59] World Bank, “Proposed update of the National Building Regulations to incorporate the incremental reinforcement in type 780 school buildings built before 1997,” Lima, Peru, 2016.
- [60] V. A. Muñoz *et al.*, “Success, innovation and challenge: School safety and disaster education in South America and the Caribbean,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 44. Elsevier Ltd, p. 101395, 01-Apr-2020.
- [61] A. Muñoz, D. Quiun, and M. Tinman, “Reparación y Reforzamiento Sísmico de Edificios Educativos y Hospitales Afectados por el Terremoto de Junio 2001 en el Sur del Perú,” vol. 5, 2013.
- [62] PRONIED, “Expediente técnico: ‘Reforzamiento Estructural de Aula, Construcción de Cerco de Ladrillo/Concreto, en el (la) I.E. 7219 Aristóteles - San Juan de Miraflores Pampas, Departamento Lima,’” 2020.
- [63] S. Santa-Cruz, “Evaluación Probabilística del Riesgo Sísmico de Escuelas y Hospitales de la Ciudad de Lima: Componente 2 (Probabilistic Seismic Risk Evaluation of Schools and Hospitals in the City of Lima: Part 2),” 2013.
- [64] USAID and Observatorio de Integridad, “REPORTE DE VEEDURÍA CIUDADANA Operativo a instituciones educativas,” 2020.
- [65] UNICEF, “COVID-19: Más del 95 por ciento de niños, niñas y adolescentes está fuera de las escuelas en América Latina y el Caribe,” 2020. [Online]. Available: <https://www.unicef.org/lac/comunicados-prensa/covid-19-mas-del-95-por-ciento-de-ninos-y-niñas-esta-fuera-de-las-escuelas>. [Accessed: 25-Feb-2021].
- [66] INEI, “Estadísticas de las Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares,” 2020.
- [67] Sociedad de Comercio Exterior del Perú, “230,000 estudiantes dejaron de ir al colegio en 2020,” 2020. [Online]. Available: <https://www.comexperu.org.pe/articulo/230000-estudiantes-dejaron->

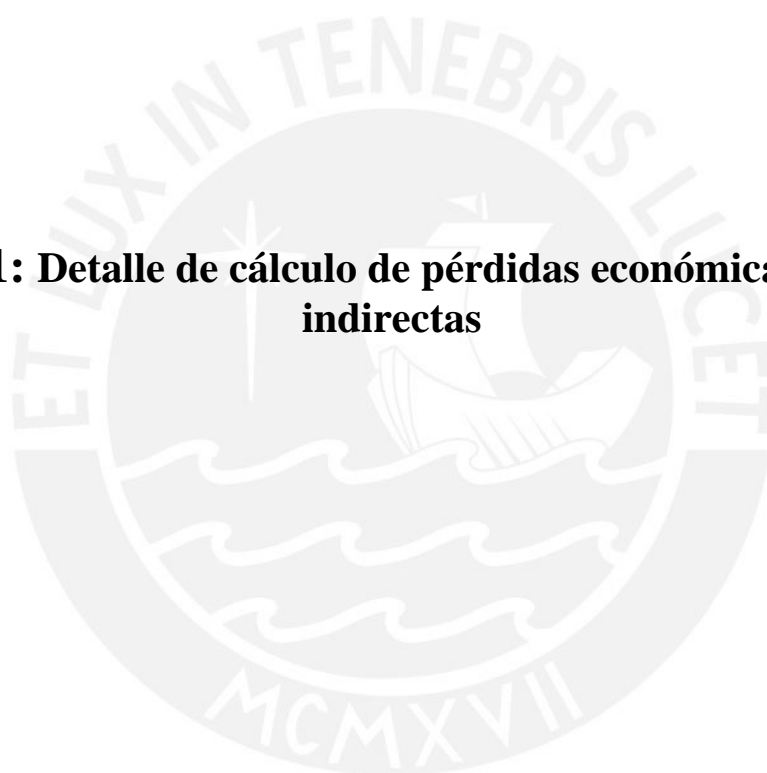
## REFERENCIAS

---

- de-ir-al-colegio-en-2020. [Accessed: 22-Mar-2021].
- [68] Ministry of Urban Development, “Seismic Retrofitting Guidelines of Buildings in Nepal: Compilation of Adobe, Masonry and RCC.” Kathmandu, Nepal, 2016.
- [69] National Research Council, *The Impacts of Natural Disasters: A Framework for Loss Estimation*. National Academy Press, Washington, D.C., 1999.
- [70] D. L. Enke, C. Tirasirichai, and R. Luna, “Estimation of Earthquake Loss Due to Bridge Damage in the St . Louis Metropolitan Area . II : Indirect Losses,” *Nat. Hazards Rev.*, 2008.
- [71] J. Wu, N. Li, and P. Shi, “Regional indirect economic impact evaluation of the 2008 Wenchuan Earthquake,” *Environ. Earth Sci.*, vol. 65, pp. 161–172, 2012.



**ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas**



## 1. ESTIMACIÓN DE COSTOS POR REMOCIÓN DE ESCOMBROS

Tabla 21. Intensidad de materiales de construcción

Tipo de Escombros	Material de construcción	Peso unitario (ton/m <sup>2</sup> )	Peso del material (ton)
Tipo 1	Concreto	1.71	368.16
	Acero	0.02	4.11
Tipo 2	Ladrillo	0.29	62.95
	Mortero	0.17	36.21

Tabla 22. Escombros esperados por tipo de edificación C3 [47]

Estado de Daño	Componentes Estructurales	
	Tipo 1	Tipo 2
Leve	5%	0%
Moderado	25%	4%
Extenso	60%	32%
Completo	100%	100%

Tabla 23. Escombros esperados por estados de daño global de la estructura en unidades de peso (ton)

Estado de Daño Global	Concreto (a)	Acero (b)	Ladrillo (c)	Mortero (d)	Total Escombros (a+b+c+d)
Leve	18.41	0.21	0.00	0.00	18.61
Moderado	92.04	1.03	2.52	1.45	97.03
Extenso	220.90	2.47	20.15	11.59	255.09
Completo	368.16	4.11	62.95	36.21	471.44

## 2. ESTIMACIÓN DE COSTOS POR DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO-ESTRUCTURALES

### a) Costos de reparación de elementos estructurales (ES) y no-estructurales (ENS)

Los niveles de desempeño se obtuvieron del trabajo de Loa et al [20] en función de las aceleraciones máximas del suelo (PGA). Para ingresar a las matrices de daño locales se debe convertir a la demanda de pseudo-aceleración de la curva IDA. En ese sentido, para relacionar ambas aceleraciones se puede usar como factor de relación el 2.625, que resulta del “factor de forma del espectro C igual a 2.5 y del factor de suelo 1.05 por ser una estructura de período corto” [20].

- **Elemento Estructural (ES): Columnas y vigas**

Tabla 24. Niveles de desempeño del colegio 780-PRE

Niveles de Desempeño	PGA (g)	SA (g)
Operacional	0.18	<b>0.47</b>
Funcional	0.28	<b>0.74</b>
Seguridad de vida	0.36	<b>0.95</b>
Prevención del colapso	0.39	<b>1.02</b>
Colapso	0.41	<b>1.08</b>

Tabla 25. Cantidad total de columnas y vigas del colegio 780-PRE

Piso	Área techada (m <sup>2</sup> )	N° Columnas	N° Vigas
1°	215.03	14	13
2°	215.03	14	13
<b>Total</b>	<b>430.06</b>	<b>28</b>	<b>26</b>

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

Tabla 26. Porcentaje de columnas y vigas con daño local por estado de daño global del colegio 780-PRE

Elemento Estructural	Estado de Daño Global	Estado de Daño Local					Colapso
		Sin daño	Daño Localizado	Daño Menor	Daño Moderado	Daño Severo	
Columnas	Leve	24%	47%	19%	8%	2%	0%
	Moderado	6%	50%	13%	17%	10%	4%
	Extenso	3%	52%	11%	13%	13%	7%
	Completo	2%	53%	10%	11%	15%	9%
Vigas	Leve	98%	2%	0%	0%	0%	0%
	Moderado	90%	10%	0%	0%	0%	0%
	Extenso	88%	12%	0%	0%	0%	0%
	Completo	86%	14%	0%	0%	0%	0%

• Elemento Estructural (ES): Muros Confinados

Tabla 27. Costos unitarios de reparaciones locales de muros confinados (Adaptado de [19])

Estado de Daño Local	Acciones de reparación [19]	Costo Unitario Muros Confinados 7.80m x 2.70m (S/.)
Sin daño	Sin daño	0.00
Daño Localizado	Sin daño	0.00
Daño Menor	El muro necesita algunas reparaciones menores y acabados exteriores. Inyección en fisura de elemento de concreto, para reparación estructural.	873.00
Daño Moderado	Algunas partes del muro podrían necesitar demolición y reconstrucción. Inyección en fisura de elemento de concreto, para reparación estructural. Además, el área dañada necesita reparación del acabado.	1,233.00
Daño Severo	El muro podría necesitar demolición y reconstrucción en muchas zonas. Inyección en fisura de elemento de concreto, para reparación estructural. Además, el área dañada necesita reparación del acabado.	2,423.00
Colapso	El área dañada debe ser completamente demolida y el muro debe ser reconstruido.	3,719.00

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

Tabla 28. Cantidad total de muros confinados del colegio 780-PRE

N° Piso	Área techada (m2)	N° Muros Dirección Transversal (a)
1°	215.03	4
2°	215.03	4
<b>Total</b>	<b>430.06</b>	<b>8</b>

Tabla 29. Costos totales de reparación global de muros confinados del colegio 780-PRE (S/.)

Estado de Daño Global	% Daño de la Estructura Global: Muros (b)	N° Muros dañados (E = a x b)	Costo Reparación Muros = E x C.U.	Costo Total Reparación Muros x m2
Leve	80%	6.4	5,587.20	<b>12.99</b>
Moderado	80%	6.4	7,891.20	<b>18.35</b>
Extenso	80%	6.4	15,507.20	<b>36.06</b>
Completo	90%	7.2	26,776.80	<b>62.26</b>

- **Elemento No Estructural (ENS): Tabiques**

Tabla 30. Costos unitarios de reparaciones locales de tabiques (Adaptado de [19])

Estado de Daño Local	Acciones de reparación [19]	C.U. Tabique h=1.20m (S/.)	C.U. Tabique h=2.20m (S/.)
Sin daño	Sin daño	0.00	0.00
Daño Localizado	Sin daño	0.00	0.00
Daño Menor	El muro necesita algunas reparaciones menores y acabados exteriores	456.00	684.00
Daño Moderado	Algunas partes del muro podrían necesitar demolición y reconstrucción. Además, el área dañada necesita reparación del acabado.	921.00	1,284.00
Daño Severo (Falla total del muro)	El área dañada debe ser completamente demolida y el muro debe ser reconstruido.	1,208.00	2,148.00

Tabla 31. Cantidad total de tabiques y parapetos del colegio 780-PRE

Piso	Área techada (m2)	N° Tabique (h=1.60m)	N° Parapeto (h=1.00m)
1°	215.03	12	0
2°	215.03	12	3
<b>Total</b>	<b>430.06</b>	<b>24</b>	<b>3</b>

Tabla 32. Costos totales de reparación global de tabiquería del colegio 780-PRE (S/.)

Estado de Daño Global	% Daño de la Estructura Global: Tabiques (b)	N° Tabique h=1.60m (E = a x b)	N° Parapeto h=1.00m (E = a* x b)	Costo Total Reparación Tabiquería (E x C.U.)	Costo Total Reparación Tabiquería x m2 (S/.)
Leve	20%	4.8	0.6	3,556.80	<b>8.27</b>
Moderado	20%	4.8	0.6	6,715.80	<b>15.62</b>
Extenso	80%	19.2	2.4	44,140.80	<b>102.64</b>
Completo	100%	24	3	55,176.00	<b>128.30</b>

- **Elemento No Estructural (ENS): Ventanas**

Tabla 33. Costos unitarios de reparaciones locales de ventanas (Adaptado de [19])

Estado de Daño Local	Acciones de reparación	Costo Unitario Reparación Ventanas (S/.)
Daño Localizado	Ninguna	0.00
Daño Menor	Reemplazar 10% de ventanas inoperativas	3,422.00
Daño Moderado	Reemplazar 40% de ventanas inoperativas	13,688.00
Daño Severo	Reemplazar 70% de ventanas inoperativas	23,953.00

Tabla 34. Cantidad total de ventanas del colegio 780-PRE

Piso	Área techada (m2)	V01 3.70x0.70	V02 3.70x1.50	V03 2.50x0.70	V04 1.75x0.70
1°	215.03	2	6	3	1
2°	215.03	3	6	3	0
<b>Total</b>	<b>430.06</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>1</b>

**Tabla 35. Costos totales de reparación global de ventanas del colegio 780-PRE (S/.)**

<b>Estado de Daño Global</b>	<b>Costo Total Reparación Ventanas (V x C.U.)</b>	<b>Costo Total Reparación Ventanas x m2 (S/.)</b>
Leve	0.00	<b>0.00</b>
Moderado	3,422.00	<b>7.96</b>
Extenso	13,688.00	<b>31.83</b>
Completo	23,953.00	<b>55.70</b>

- **Elemento No Estructural (ENS): Puertas**

**Tabla 36. Costos unitarios de reparaciones locales de puertas (Adaptado de [19])**

<b>Estado de Daño Local</b>	<b>Acciones de reparación [19]</b>	<b>Costo Unitario Reparación Puertas (S/.)</b>
Daño Localizado	Ninguna	0.00
Daño Menor	Ninguna	0.00
Daño Moderado	Reemplazar 30% de puertas inoperativas	3,447.00
Daño Severo	Reemplazar 70% de puertas inoperativas	8,042.00

**Tabla 37. Cantidad total de puertas del colegio 780-PRE**

<b>Piso</b>	<b>Área techada (m2)</b>	<b>P01 1.00x2.10</b>
1°	215.03	3
2°	215.03	3
<b>Total</b>	<b>430.06</b>	<b>6</b>

**Tabla 38. Costos totales de reparación global de puertas del colegio 780-PRE (S/.)**

<b>Estado de Daño Global</b>	<b>Costo Total Reparación Puertas (P x C.U.)</b>	<b>Costo Total Reparación Puertas x m2 (S/.)</b>
Leve	0.00	<b>0.00</b>
Moderado	0.00	<b>0.00</b>
Extenso	3,447.00	<b>8.02</b>
Completo	8,042.00	<b>18.70</b>

Tabla 39. Costos totales de reparación de elementos estructurales y no estructurales del colegio 780-PRE (S/.)

Estado de Daño Global	Elementos Estructurales (ES)		Elementos No-Estructurales (ENS)	
	Costo Reparación ES	Costo Reparación ES x m2 (S/.)	Costo Reparación ENS	Costo Reparación ENS x m2 (S/.)
Leve	18,937.07	<b>44.03</b>	3,556.80	<b>8.27</b>
Moderado	36,260.97	<b>84.32</b>	10,137.80	<b>23.57</b>
Extenso	46,170.67	<b>107.36</b>	61,275.80	<b>142.48</b>
Completo	58,969.41	<b>137.12</b>	87,171.00	<b>202.69</b>



### 3. ESTIMACIÓN DE COSTOS POR DAÑOS EN EL CONTENIDO EDUCATIVO

Tabla 40. Presupuesto del contenido educativo (Fuente: PRONIED)

Descripción del bien	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Monto Parcial (S/.)
Armario Metálico de 02 Puertas	12	875.78	10,509.36
Estante para Útiles Escolares	12	754.99	9,059.88
Estante para Libros	12	1,195.49	14,345.88
Pizarra Acrílica 4.20m	6	1,197.24	7,183.44
Mesa de Metal Madera 5°-6° Primaria	60	315.03	18,901.80
Silla de Metal Madera 5°-6° Primaria	60	162.85	9,771.00
Mesa de Metal Madera 1°-2° Primaria	60	309.36	18,561.60
Silla de Metal Madera 1°-2° Primaria	60	141.49	8,489.40
Mesa de Metal Madera 3°-4° Primaria	60	320.55	19,233.00
Silla de Metal Madera 3°-4° Primaria	60	169.19	10,151.40
Mesa de Metal Madera para Docente	6	1,082.51	6,495.06
Silla de Metal Madera Docente	6	221.93	1,331.58
<b>Presupuesto Total (S/.)</b>			<b>134,033.40</b>

#### 4. ESTIMACIÓN DE COSTOS POR TIEMPO DE INACTIVIDAD

**Tabla 41. Presupuesto por provisión de servicio educativo en la etapa de construcción del reforzamiento estructural ACMAC [62]**

Item	Descripción	Unidad	N° veces	Cantidad	Precio Unitario	Sub Total	Total
1.0	<b>Provisión de Servicio Educativo en la Etapa de Construcción</b>						358,000.00
1.1	Suministro de aulas prefabricadas	und	1.00	4.00	75,000.00	300,000.00	
1.2	Transporte de módulos prefabricados desde el almacén del MINEDU hasta la IE (incluye carga y descarga)	und	1.00	4.00	4,000.00	16,000.00	
1.3	Instalaciones de aulas prefabricadas (Inc. Plataforma, HEE, módulos de SSHH y piso según especificación técnica)	und	1.00	4.00	5,000.00	20,000.00	
1.4	Desinstalación de ambientes prefabricados	und	1.00	4.00	1,500.00	6,000.00	
1.5	Transporte de módulos prefabricados desde la IE hasta el almacén del MINEDU (incluye carga y descarga)	und	1.00	4.00	4,000.00	16,000.00	
<b>Total a precio de mercado (S/.)</b>							<b>358,000.00</b>
Costo x día							2,386.67
<b>Costo x día x módulo (S/.)</b>							<b>596.67</b>

**Tabla 42. Costo total de rehabilitación por estado de daño global del colegio 780-PRE**

Estado de Daño Global	Tiempo de Rehabilitación (días)	Costo Total Rehabilitación (S/.)	Costo Total Rehabilitación x m2 (S/.)
Leve	120	429,600.00	<b>998.93</b>
Moderado	130	465,400.00	<b>1,082.17</b>
Extenso	160	572,800.00	<b>1,331.91</b>
Completo	210	751,800.00	<b>1,748.13</b>

**Tabla 43. Costo total de reconstrucción por estado de daño global del colegio 780-PRE**

Estado de Daño Global	Tiempo de Reconstrucción (días)	Costo Total Reconstrucción (S/.)	Costo Total Reconstrucción x m2 (S/.)
Leve	210	751,800.00	<b>1,748.13</b>
Moderado	210	751,800.00	<b>1,748.13</b>
Extenso	210	751,800.00	<b>1,748.13</b>
Completo	210	751,800.00	<b>1,748.13</b>

## RESULTADOS FINALES

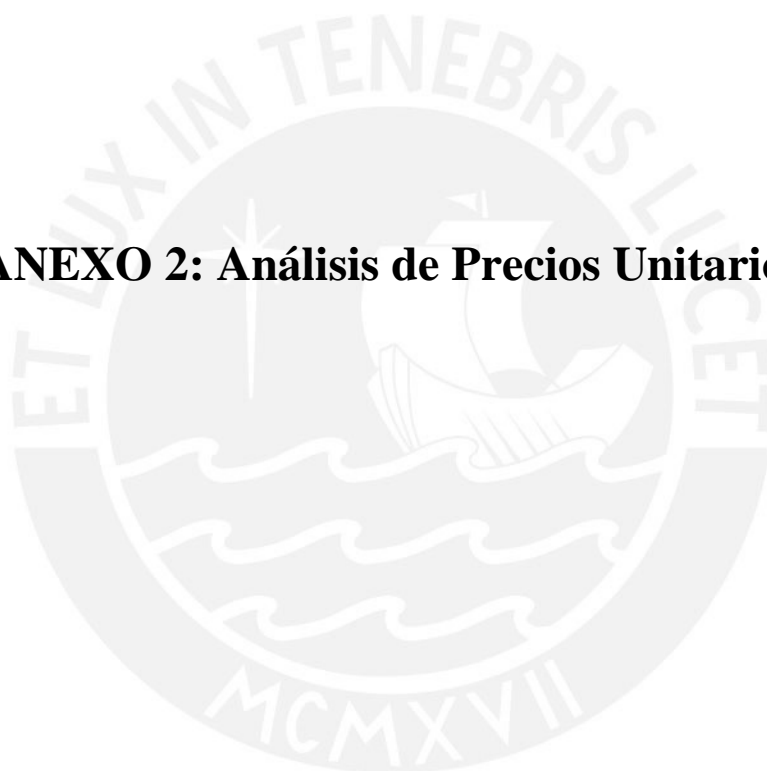
Tabla 44. Análisis Costo-Beneficio por estado de daño global del colegio 780-PRE

Estado de Daño Global	Costo Total Rehabilitación	Costo Total Reconstrucción	Factor de Daño	Análisis Costo-Beneficio
Leve	985,861.64	1,518,399.58	<b>65%</b>	Nueva Construcción: 780-POST
Moderado	1,054,456.68	1,518,399.58	<b>69%</b>	Nueva Construcción: 780-POST
Extenso	1,432,428.50	1,645,731.31	<b>87%</b>	Nueva Construcción: 780-POST
Completo	1,600,312.19	1,645,731.31	<b>97%</b>	Nueva Construcción: 780-POST

Tabla 45. Porcentaje de daño indirecto sobre directo para la rehabilitación y reconstrucción

Estado de Daño Global	Rehabilitación			Reconstrucción		
	Daño Directo	Daño Indirecto	% DD / DI	Daño Directo	Daño Indirecto	% DD / DI
Leve	556,262	429,600	<b>77%</b>	766,600	751,800	<b>98%</b>
Moderado	589,057	465,400	<b>79%</b>	766,600	751,800	<b>98%</b>
Extenso	859,629	572,800	<b>67%</b>	893,931	751,800	<b>84%</b>
Completo	848,512	751,800	<b>89%</b>	893,931	751,800	<b>84%</b>

## **ANEXO 2: Análisis de Precios Unitarios**



**PARTIDAS DE REMOCIÓN DE ESCOMBROS**

Partida:	<b>Acarreo interno, Material procedente de demolición</b>				
Rendimiento: <b>m3/día</b>	MO. 7.000	EQ. 7.000	Costo unitario por m3:		<b>21.42</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Capataz	hh	0.10	0.114	24.07	2.75
Peón	hh	1.00	1.143	15.79	18.05
					<b>20.80</b>
<b>EQUIPOS</b>					
Herramientas manuales	% mo		3.000	20.80	0.62
					<b>0.62</b>

Partida:	<b>Demolición de elementos de Concreto</b>				
Rendimiento: <b>m3/día</b>	MO. 10.000	EQ. 10.000	Costo unitario por m3:		<b>111.21</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Capataz	hh	0.10	0.080	24.07	1.93
Operario	hh	2.00	1.600	21.88	35.01
Peón	hh	0.50	0.400	15.79	6.32
					<b>43.25</b>
<b>EQUIPOS</b>					
Herramientas manuales	% mo		10.00	43.25	4.32
Comp. Neumática - 93 HP - 335/375 PCM	hm	0.62	0.496	121.92	60.47
Martillo Neumático - 25/29 KG	hm	0.62	0.496	6.38	3.16
					<b>67.96</b>

Partida:	<b>Eliminación de material demolido c/máquina</b>				
Rendimiento: <b>m3/día</b>	MO. 300.000	EQ. 300.000	Costo unitario por m3:		<b>28.62</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Capataz	hh	0.10	0.003	24.07	0.06
Operario	hh	1.00	0.027	21.88	0.58
Peón	hh	3.00	0.080	15.79	1.26
					<b>1.91</b>
<b>EQUIPOS</b>					
Cargador S/llantas 110-125 HP	hm	1.00	0.027	174.14	4.64
Camión Volquete 4x2, 210/280 HP, 8m3	hm	3.00	0.080	238.28	19.06
Tarifa botadero autorizado	glb		1.000	3.00	3.00
					<b>26.71</b>

## PARTIDAS DE REPARACIÓN DE DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES (ES) Y NO ESTRUCTURALES (ENS)

Partida:	<b>Reparación Estado de Daño 1 - Vigas</b>					
Rendimiento: <b>m2/día</b>	MO. 15.000	EQ. 15.000	Costo unitario por m3:		<b>41.67</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.533	21.88	11.67	
Peón	hh	1.00	0.533	15.79	8.42	
					<b>20.09</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Mortero modificado con polímeros, de nivelació	kg		4.50	4.35	19.58	
					<b>19.58</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	20.09	2.01	
					<b>2.01</b>	

Partida:	<b>Reparación Estado de Daño 2 - Vigas</b>					
Rendimiento: <b>m2/día</b>	MO. 15.000	EQ. 15.000	Costo unitario por m3:		<b>597.80</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.533	21.88	11.67	
Peón	hh	1.00	0.533	15.79	8.42	
					<b>20.09</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Mortero de reparación de dos componentes a ba	kg		38.00	15.15	575.70	
					<b>575.70</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	20.09	2.01	
					<b>2.01</b>	

Partida:	<b>Reparación Estado de Daño 2 - Vigas</b>					
Rendimiento: <b>ml/día</b>	MO. 2.000	EQ. 2.000	Costo unitario por m3:		<b>156.01</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	4.000	21.88	87.52	
Peón	hh	0.50	2.000	15.79	31.58	
					<b>119.10</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Resinas epóxicas (tipo Concrecive 1380)	lts		0.25	100.00	25.00	
					<b>25.00</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	119.10	11.91	
					<b>11.91</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

Partida:	<b>Reparación Estado de Daño 3 - Vigas (Desprendimiento del recubrimiento)</b>				
Rendimiento: <b>m2/día</b>	MO. 4.000	EQ. 4.000	Costo unitario por m3:		<b>422.87</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Operario	hh	1.00	2.000	21.88	43.76
Peón	hh	1.00	2.000	15.79	31.58
					<b>75.34</b>
<b>MATERIALES</b>					
Mortero de reparación estructural (tipo MasterE	m2		4.00	85.00	340.00
					<b>340.00</b>
<b>EQUIPOS</b>					
Herramientas manuales	% mo		10.000	75.34	7.53
					<b>7.53</b>

Partida:	<b>Reparación Estado de Daño 3 - Vigas (Grietas)</b>				
Rendimiento: <b>ml/día</b>	MO. 2.000	EQ. 2.000	Costo unitario por m3:		<b>156.01</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Operario	hh	1.00	4.000	21.88	87.52
Peón	hh	0.50	2.000	15.79	31.58
					<b>119.10</b>
<b>MATERIALES</b>					
Resinas epóxicas (tipo Concrecive 1380)	lts		0.25	100.00	25.00
					<b>25.00</b>
<b>EQUIPOS</b>					
Herramientas manuales	% mo		10.000	119.10	11.91
					<b>11.91</b>

Partida:	<b>Reparación Estado de Daño 4 - Vigas (Desprendimiento del recubrimiento)</b>				
Rendimiento: <b>m2/día</b>	MO. 4.000	EQ. 4.000	Costo unitario por m3:		<b>471.01</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Operario	hh	2.00	4.000	21.88	87.52
Peón	hh	1.00	2.000	15.79	31.58
					<b>119.10</b>
<b>MATERIALES</b>					
Mortero de reparación estructural (tipo MasterE	m2		4.00	85.00	340.00
					<b>340.00</b>
<b>EQUIPOS</b>					
Herramientas manuales	% mo		10.000	119.10	11.91
					<b>11.91</b>

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Reparación Estado de Daño 4 - Vigas (Grietas)</b>						
<b>Rendimiento: ml/día</b>	MO. 2.000	EQ. 2.000	Costo unitario por m3:		<b>215.75</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	4.000	21.88	87.52	
Peón	hh	1.00	4.000	15.79	63.16	
					<b>150.68</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Resinas epóxicas (tipo Concrevisive 1380)	lts		0.50	100.00	50.00	
					<b>50.00</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	150.68	15.07	
					<b>15.07</b>	
<b>Partida: Reparación Estado de Daño 5 - Vigas</b>						
<b>Rendimiento: m3/día</b>	MO. 1.000	EQ. 4.000	Costo unitario por m3:		<b>1166.94</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	2.00	16.000	21.88	350.08	
Peón	hh	3.00	24.000	15.79	378.96	
					<b>729.04</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Puente de adhpunte de adherencia (tipo Mastel)	m2		1.00	15.00	15.00	
Concreto f'c 2	Concreto f'c 210	m3	1.00	350.00	350.00	
					<b>365.00</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	729.04	72.90	
					<b>72.90</b>	
<b>Partida: Picado de superficie de adherencia de concreto</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 18.000	EQ. 18.000	Costo unitario por m3:		<b>11.94</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Capataz	hh	0.10	0.044	24.07	1.07	
Peón	hh	1.50	0.667	15.79	10.53	
					<b>11.60</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		3.000	11.60	0.35	
					<b>0.35</b>	
<b>Partida: Demolición de vigas</b>						
<b>Rendimiento: m3/día</b>	MO. 10.000	EQ. 10.000	Costo unitario por m3:		<b>111.21</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Capataz	hh	0.10	0.080	24.07	1.93	
Operario	hh	2.00	1.600	21.88	35.01	
Peón	hh	0.50	0.400	15.79	6.32	
					<b>43.25</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	43.25	4.32	
Comp. Neumática - 93 HP - 335/375 PCM	hm	0.62	0.496	121.92	60.47	
Martillo Neumático - 25/29 KG	hm	0.62	0.496	6.38	3.16	
					<b>67.96</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Apuntalamiento de estructuras</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 15.000	EQ. 15.000	Costo unitario por m3:		<b>39.69</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Capataz	hh	0.10	0.053	24.07	1.28	
Operario	hh	1.00	0.533	21.88	11.67	
Oficial	hh	1.00	0.533	17.52	9.34	
					<b>22.30</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Alambre negro recocido N°8	kg		0.05	2.80	0.14	
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.05	3.46	0.17	
Madera tornillo	p2		2.83	5.80	16.41	
					<b>16.73</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		3.000	22.30	0.67	
					<b>0.67</b>	
<b>Partida: Tarrajeo de vigas - Superficies C:A 1:5</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 6.500	EQ. 6.500	Costo unitario por m3:		<b>51.15</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	1.231	21.88	26.93	
Peón	hh	0.40	0.492	15.79	7.77	
					<b>34.70</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.044	3.52	0.15	
Arena fina	m3		0.017	35.70	0.61	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.117	24.01	2.81	
Agua	gln		0.004	6.76	0.03	
Madera Tornillo	p2		2.000	5.36	10.72	
Madera Cedro	p2		0.039	10.10	0.39	
					<b>14.71</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	34.70	1.74	
					<b>1.74</b>	
<b>Partida: Pintura óleo 2 manos en cielo raso y vigas</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 50.000	EQ. 50.000	Costo unitario por m3:		<b>11.83</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.160	21.88	3.50	
Peón	hh	1.00	0.160	15.79	2.53	
					<b>6.03</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Lija para madera	und		0.2000	1.46	0.29	
Aguarraz	gln		0.0066	25.42	0.17	
Sellador blanco para pintura oleo	gln		0.0400	61.80	2.47	
Oleo mate	gln		0.0600	42.84	2.57	
					<b>5.50</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	6.03	0.30	
					<b>0.30</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Acero corrugado Fy=4200 kg/cm2 - Vigas</b>						
<b>Rendimiento: kg/día</b>	MO. 250.000	EQ. 250.000	Costo unitario por m3:		<b>4.53</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.032	21.88	0.70	
Oficial	hh	1.00	0.032	17.52	0.56	
					<b>1.26</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Alambre negro recocido #16	kg		0.05	3.43	0.17	
Acero corrugado fy=4200 kg/cm2 Grado 60	kg		1.05	2.83	2.97	
					<b>3.14</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	1.26	0.13	
					<b>0.13</b>	
<b>Partida: Encofrado y desencofrado normal en vigas</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 9.000	EQ. 9.000	Costo unitario por m3:		<b>78.27</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Capataz	hh	0.10	0.089	24.07	2.14	
Operario	hh	1.00	0.889	21.88	19.45	
Oficial	hh	1.00	0.889	17.52	15.57	
Peón	hh	0.50	0.444	15.79	7.02	
					<b>44.18</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Alambre negro recocido #8	kg		0.20	2.80	0.56	
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.24	3.46	0.83	
Madera Tornillo	p2		5.41	5.80	31.38	
					<b>32.77</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		3.000	44.18	1.33	
					<b>1.33</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Reparación Estado de Daño 1 - Columnas</b>						
Rendimiento: <b>m2/día</b>	MO. 15.000	EQ. 15.000	Costo unitario por m3:		<b>41.67</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.533	21.88	11.67	
Peón	hh	1.00	0.533	15.79	8.42	
					<b>20.09</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Mortero modificado con polímeros, de nivelació	kg		4.50	4.35	19.58	
					<b>19.58</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	20.09	2.01	
					<b>2.01</b>	
<b>Partida: Reparación Estado de Daño 2 - Columnas</b>						
Rendimiento: <b>m2/día</b>	MO. 15.000	EQ. 15.000	Costo unitario por m3:		<b>597.80</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.533	21.88	11.67	
Peón	hh	1.00	0.533	15.79	8.42	
					<b>20.09</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Mortero de reparación de dos componentes a base	kg		38.00	15.15	575.70	
					<b>575.70</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	20.09	2.01	
					<b>2.01</b>	
<b>Partida: Reparación Estado de Daño 2 - Columnas</b>						
Rendimiento: <b>ml/día</b>	MO. 2.000	EQ. 2.000	Costo unitario por m3:		<b>156.01</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	4.000	21.88	87.52	
Peón	hh	0.50	2.000	15.79	31.58	
					<b>119.10</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Resinas epóxicas (tipo Concrecive 1380)	lts		0.25	100.00	25.00	
					<b>25.00</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	119.10	11.91	
					<b>11.91</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Reparación Estado de Daño 3 - Columnas (Desprendimiento del recubrimiento)</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 4.000	EQ. 4.000	Costo unitario por m3:		<b>522.87</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	2.000	21.88	43.76	
Peón	hh	1.00	2.000	15.79	31.58	
					<b>75.34</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Mortero de reparación estructural (tipo MasterE)	m2		4.00	85.00	340.00	
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg		20.00	5.00	100.00	
					<b>440.00</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	75.34	7.53	
					<b>7.53</b>	
<b>Partida: Reparación Estado de Daño 3 - Columnas (Grietas)</b>						
<b>Rendimiento: ml/día</b>	MO. 2.000	EQ. 2.000	Costo unitario por m3:		<b>156.01</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	4.000	21.88	87.52	
Peón	hh	0.50	2.000	15.79	31.58	
					<b>119.10</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Resinas epóxicas (tipo Concrecive 1380)	lts		0.25	100.00	25.00	
					<b>25.00</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	119.10	11.91	
					<b>11.91</b>	
<b>Partida: Reparación Estado de Daño 4 - Columnas (Desprendimiento del recubrimiento)</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 4.000	EQ. 4.000	Costo unitario por m3:		<b>571.01</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	2.00	4.000	21.88	87.52	
Peón	hh	1.00	2.000	15.79	31.58	
					<b>119.10</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Mortero de reparación estructural (tipo MasterE)	kg		4.00	85.00	340.00	
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2	kg		20.00	5.00	100.00	
					<b>440.00</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	119.10	11.91	
					<b>11.91</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Reparación Estado de Daño 4 - Columnas (Grietas)</b>						
<b>Rendimiento:</b>	<b>ml/día</b>	MO. 2.000	EQ. 2.000	Costo unitario por m3:		<b>215.75</b>
<b>MANO DE OBRA</b>						
		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Operario		hh	1.00	4.000	21.88	87.52
Peón		hh	1.00	4.000	15.79	63.16
						<b>150.68</b>
<b>MATERIALES</b>						
Resinas epóxicas (tipo Concrevis 1380)		lts		0.50	100.00	50.00
						<b>50.00</b>
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales		% mo		10.000	150.68	15.07
						<b>15.07</b>
<b>Partida: Reparación Estado de Daño 5 - Columnas</b>						
<b>Rendimiento:</b>	<b>m3/día</b>	MO. 1.000	EQ. 4.000	Costo unitario por m3:		<b>1256.94</b>
<b>MANO DE OBRA</b>						
		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Operario		hh	2.00	16.000	21.88	350.08
Peón		hh	3.00	24.000	15.79	378.96
						<b>729.04</b>
<b>MATERIALES</b>						
Puente de adhpunte de adherencia (tipo Mastel)		m2		1.00	15.00	15.00
Concreto f'c 2	Concreto f'c 210	m3		1.00	350.00	350.00
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2		kg		18.00	5.00	90.00
						<b>455.00</b>
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales		% mo		10.000	729.04	72.90
						<b>72.90</b>
<b>Partida: Picado de superficie de adherencia de concreto</b>						
<b>Rendimiento:</b>	<b>m2/día</b>	MO. 18.000	EQ. 18.000	Costo unitario por m3:		<b>11.94</b>
<b>MANO DE OBRA</b>						
		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Capataz		hh	0.10	0.044	24.07	1.07
Peón		hh	1.50	0.667	15.79	10.53
						<b>11.60</b>
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales		% mo		3.000	11.60	0.35
						<b>0.35</b>
<b>Partida: Demolición de vigas</b>						
<b>Rendimiento:</b>	<b>m3/día</b>	MO. 10.000	EQ. 10.000	Costo unitario por m3:		<b>111.21</b>
<b>MANO DE OBRA</b>						
		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
Capataz		hh	0.10	0.080	24.07	1.93
Operario		hh	2.00	1.600	21.88	35.01
Peón		hh	0.50	0.400	15.79	6.32
						<b>43.25</b>
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales		% mo		10.000	43.25	4.32
Comp. Neumática - 93 HP - 335/375 PCM		hm	0.62	0.496	121.92	60.47
Martillo Neumático - 25/29 KG		hm	0.62	0.496	6.38	3.16
						<b>67.96</b>

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Apuntalamiento de estructuras</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 15.000	EQ. 15.000	Costo unitario por m3:		<b>39.69</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Capataz	hh	0.10	0.053	24.07	1.28	
Operario	hh	1.00	0.533	21.88	11.67	
Oficial	hh	1.00	0.533	17.52	9.34	
					<b>22.30</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Alambre negro recocido N°8	kg		0.05	2.80	0.14	
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.05	3.46	0.17	
Madera tornillo	p2		2.83	5.80	16.41	
					<b>16.73</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		3.000	22.30	0.67	
					<b>0.67</b>	
<b>Partida: Tarrajeo de columnas - Superficies C:A 1:5</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 8.000	EQ. 4.000	Costo unitario por m3:		<b>36.63</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	1.000	21.88	21.88	
Peón	hh	0.40	0.400	15.79	6.32	
					<b>28.20</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.022	3.52	0.08	
Arena fina	m3		0.017	35.70	0.61	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.117	24.01	2.81	
Agua	gln		0.004	6.76	0.03	
Madera Tornillo	p2		0.580	5.36	3.11	
Madera Cedro	p2		0.039	10.10	0.39	
					<b>7.02</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	28.20	1.41	
					<b>1.41</b>	
<b>Partida: Pintura óleo 2 manos en muros y columna</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 60.000	EQ. 60.000	Costo unitario por m3:		<b>10.78</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.133	21.88	2.92	
Peón	hh	1.00	0.133	15.79	2.11	
					<b>5.02</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Lija para madera	und		0.2000	1.46	0.29	
Aguarraz	gln		0.0066	25.42	0.17	
Sellador blanco para pintura oleo	gln		0.0400	61.80	2.47	
Oleo mate	gln		0.0600	42.84	2.57	
					<b>5.50</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	5.02	0.25	
					<b>0.25</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Acero corrugado Fy=4200 kg/cm2 - Columnas</b>						
<b>Rendimiento: kg/día</b>	MO. 250.000	EQ. 250.000	Costo unitario por m3:		<b>4.53</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.032	21.88	0.70	
Oficial	hh	1.00	0.032	17.52	0.56	
					<b>1.26</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Alambre negro recocido #16	kg		0.05	3.43	0.17	
Acero corrugado fy=4200 kg/cm2 Grado 60	kg		1.05	2.83	2.97	
					<b>3.14</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	1.26	0.13	
					<b>0.13</b>	
<b>Partida: Encofrado y desencofrado normal en columnas</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 10.000	EQ. 10.000	Costo unitario por m3:		<b>67.03</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Capataz	hh	0.10	0.080	24.07	1.93	
Operario	hh	1.00	0.800	21.88	17.50	
Oficial	hh	1.00	0.800	17.52	14.02	
Peón	hh	0.50	0.400	15.79	6.32	
					<b>39.76</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Alambre negro recocido #8	kg		0.30	2.80	0.84	
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.17	3.46	0.59	
Madera Tornillo	p2		4.25	5.80	24.65	
					<b>26.08</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		3.000	39.76	1.19	
					<b>1.19</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Reparación Estado de Daño Menor Muros (fisuras)</b>						
<b>Rendimiento: ml/día</b>	MO. 25.000	EQ. 25.000	Costo unitario por m3:		<b>69.20</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.320	21.88	7.00	
Peón	hh	1.00	0.320	15.79	5.05	
					<b>12.05</b>	
<b>MATERIALES</b>						
resinas epoxicas (tipo Concesive 1380)	lts		0.25	100.00	25.00	
Lechada fluida de dos componentes a base de re	kg		0.50	59.06	29.53	
					<b>54.53</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	12.05	1.21	
Equipo de inyección manual de morteros fluidos	hm	1.00	0.320	4.40	1.41	
					<b>2.61</b>	
<b>Partida: Muro Ladrillo Tipo KK Cabeza Mezcla C:A 1:4</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 6.500	EQ. 6.500	Costo unitario por m3:		<b>132.00</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	1.231	21.88	26.93	
Peón	hh	1.00	1.231	15.79	19.43	
					<b>46.36</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.02	3.52	0.07	
Arena gruesa	m3		0.06	35.70	2.07	
Ladrillo KK Tipo IV 24x13x09 cm	und		69.00	0.90	62.40	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.51	24.01	12.32	
Cal (Bolsa x 20kg)	bol		0.32	10.03	3.21	
Agua	gln		0.02	6.76	0.14	
Madera tornillo	p2		0.58	5.36	3.11	
					<b>83.32</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	46.36	2.32	
					<b>2.32</b>	
<b>Partida: Alambre #8 Refuerzo Horizontal en Muros</b>						
<b>Rendimiento: kg/día</b>	MO. 600.000	EQ. 6.500	Costo unitario por m3:		<b>4.12</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.013	21.88	0.29	
Peón	hh	1.00	0.013	15.79	0.21	
					<b>0.50</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Alambre Negro Recocido #8	kg		1.05	3.42	3.59	
					<b>3.59</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	0.50	0.03	
					<b>0.03</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Tarrajeo de Muros C:A 1:5</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 12.000	EQ. 12.000	Costo unitario por m3:		<b>26.76</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.667	21.88	14.59	
Peón	hh	0.40	0.267	15.79	4.21	
					<b>18.80</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.022	3.52	0.08	
Arena fina	m3		0.017	35.70	0.61	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.117	24.01	2.81	
Agua	gln		0.004	6.76	0.03	
Madera tornillo	p2		0.58	5.36	3.11	
Madera cedro	p2		0.0388	10.10	0.39	
					<b>7.02</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	18.80	0.94	
					<b>0.94</b>	
<b>Partida: Pintura óleo 2 manos en muros y columna</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 60.000	EQ. 60.000	Costo unitario por m3:		<b>10.78</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.133	21.88	2.92	
Peón	hh	1.00	0.133	15.79	2.11	
					<b>5.02</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Lija para madera	und		0.2000	1.46	0.29	
Aguarraz	gln		0.0066	25.42	0.17	
Sellador blanco para pintura oleo	gln		0.0400	61.80	2.47	
Oleo mate	gln		0.0600	42.84	2.57	
					<b>5.50</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	5.02	0.25	
					<b>0.25</b>	
<b>Partida: Demolición de Muros de Ladrillo Soga</b>						
<b>Rendimiento: kg/día</b>	MO. 12.500	EQ. 12.500	Costo unitario por m3:		<b>26.52</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.640	21.88	14.00	
Peón	hh	1.00	0.640	15.79	10.11	
					<b>24.11</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	24.11	2.41	
					<b>2.41</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Demolición de Muros de Ladrillo Cabeza</b>						
<b>Rendimiento: kg/día</b>	MO. 7.000	EQ. 12.500	Costo unitario por m3:		<b>47.36</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	1.143	21.88	25.01	
Peón	hh	1.00	1.143	15.79	18.05	
					<b>43.05</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	43.05	4.31	
					<b>4.31</b>	
<b>Partida: Reparación Estado de Daño Menor Muros (fisuras)</b>						
<b>Rendimiento: ml/día</b>	MO. 25.000	EQ. 25.000	Costo unitario por m3:		<b>69.20</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.320	21.88	7.00	
Peón	hh	1.00	0.320	15.79	5.05	
					<b>12.05</b>	
<b>MATERIALES</b>						
resinas epoxicas (tipo Concesive 1380)	lts		0.25	100.00	25.00	
Lechada fluida de dos componentes a base de re	kg		0.50	59.06	29.53	
					<b>54.53</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	12.05	1.21	
Equipo de inyección manual de morteros fluidos	hm	1.00	0.320	4.40	1.41	
					<b>2.61</b>	
<b>Partida: Muro Ladrillo Tipo KK Cabeza Mezcla C:A 1:4</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 9.500	EQ. 9.500	Costo unitario por m3:		<b>79.77</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.842	21.88	18.43	
Peón	hh	1.00	0.842	15.79	13.30	
					<b>31.72</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.02	3.52	0.07	
Arena gruesa	m3		0.03	35.70	0.93	
Ladrillo KK Tipo IV 24x13x09 cm	und		39.00	0.90	35.27	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.23	24.01	5.57	
Cal (Bolsa x 20kg)	bol		0.15	10.03	1.45	
Agua	gln		0.01	6.76	0.06	
Madera tornillo	p2		0.58	5.36	3.11	
					<b>46.46</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	31.72	1.59	
					<b>1.59</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Alambre #8 Refuerzo Horizontal en Muros</b>						
<b>Rendimiento: kg/día</b>	MO. 600.000	EQ. 6.500	Costo unitario por m3:		<b>4.12</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.013	21.88	0.29	
Peón	hh	1.00	0.013	15.79	0.21	
					<b>0.50</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Alambre Negro Recocido #8	kg		1.05	3.42	3.59	
					<b>3.59</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	0.50	0.03	
					<b>0.03</b>	
<b>Partida: Tarrajeo de Muros C:A 1:5</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 12.000	EQ. 12.000	Costo unitario por m3:		<b>26.76</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.667	21.88	14.59	
Peón	hh	0.40	0.267	15.79	4.21	
					<b>18.80</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.022	3.52	0.08	
Arena fina	m3		0.017	35.70	0.61	
Cemento Portland Tipo I	bol		0.117	24.01	2.81	
Agua	gln		0.004	6.76	0.03	
Madera tornillo	p2		0.58	5.36	3.11	
Madera cedro	p2		0.0388	10.10	0.39	
					<b>7.02</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	18.80	0.94	
					<b>0.94</b>	
<b>Partida: Pintura óleo 2 manos en muros y columna</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 60.000	EQ. 60.000	Costo unitario por m3:		<b>10.78</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.133	21.88	2.92	
Peón	hh	1.00	0.133	15.79	2.11	
					<b>5.02</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Lija para madera	und		0.2000	1.46	0.29	
Aguarraz	gln		0.0066	25.42	0.17	
Sellador blanco para pintura oleo	gln		0.0400	61.80	2.47	
Oleo mate	gln		0.0600	42.84	2.57	
					<b>5.50</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	5.02	0.25	
					<b>0.25</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Demolición de Muros de Ladrillo Soga</b>						
<b>Rendimiento: kg/día</b>	MO. 12.500	EQ. 12.500	Costo unitario por m3:		<b>26.52</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	0.640	21.88	14.00	
Peón	hh	1.00	0.640	15.79	10.11	
					<b>24.11</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	24.11	2.41	
					<b>2.41</b>	
<b>Partida: Demolición de Muros de Ladrillo Cabeza</b>						
<b>Rendimiento: kg/día</b>	MO. 7.000	EQ. 12.500	Costo unitario por m3:		<b>47.36</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	1.143	21.88	25.01	
Peón	hh	1.00	1.143	15.79	18.05	
					<b>43.05</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	43.05	4.31	
					<b>4.31</b>	
<b>Partida: Puerta de Mad. Cedro Nacional Machihembrada s/visor c/sobre luz de cristal templad</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 2.000	EQ. 2.000	Costo unitario por m3:		<b>523.04</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.50	6.000	21.88	131.28	
Oficial	hh	1.00	4.000	15.79	63.16	
					<b>194.44</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Clavos con cabeza de 2 1/2", 3", 4"	kg		0.06	3.52	0.21	
Tirafon 3" x 1/4"	und		2.8572	0.14	0.41	
Tornillo autoroscante 3"	und		2.8572	0.42	1.19	
Cristal templado incoloro 6 mm	m2		0.77	135.10	104.03	
Cola sintética	gln		0.06	18.96	1.14	
Lija para madera	und		0.5	1.46	0.73	
Madera cedro	p2		19.6	10.10	198.02	
Preservante de madera	gln		0.1065	32.17	3.43	
					<b>309.15</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		10.000	194.44	19.44	
					<b>19.44</b>	

ANEXO 1: Detalle de cálculo de pérdidas económicas directas e indirectas

<b>Partida: Cerradura cinco golpes en puerta</b>						
<b>Rendimiento: pza/día</b>	MO. 8.000	EQ. 8.000	Costo unitario por m3:		<b>120.82</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	1.00	1.000	21.88	21.88	
					<b>21.88</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Cerradura de sobreponer cinco golpes c/tirador	und		1.00	97.85	97.85	
					<b>97.85</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	21.88	1.09	
					<b>1.09</b>	
<b>Partida: Vent. Aluminio sist. Corredizo c/cristal templado incoloro 6mm c/viga superior alumi</b>						
<b>Rendimiento: m2/día</b>	MO. 8.000	EQ. 8.000	Costo unitario por m3:		<b>264.75</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>	
Operario	hh	2.00	2.000	21.88	43.76	
Oficial	hh	1.00	1.000	17.52	17.52	
					<b>61.28</b>	
<b>MATERIALES</b>						
Cristal templado incoloro 6 mm	m2		1	135.10	135.10	
Viga de aluminio de 3"x1 1/2"	m		0.5	23.95	11.98	
Perfiles de aluminio para ventana	m2		0.947	56.31	53.33	
					<b>200.40</b>	
<b>EQUIPOS</b>						
Herramientas manuales	% mo		5.000	61.28	3.06	
					<b>3.06</b>	