

Estimados del Costo de Reconstrucción de Edificios en Puerto Rico

Jorge H. Botero, Ing.

Estudiante Graduado, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico, jorgebote@hotmail.com

José F. Lluch, PhD, P.E.

Profesor Titular, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico, jlluch@uprm.edu

Resumen

Este trabajo está dirigido a estimar el costo de reconstrucción en Puerto Rico, que interesa principalmente a la industria de seguros y entidades de gobierno que atienden reclamaciones de daños por desastres naturales, como terremotos y huracanes. Este costo es un componente esencial para estimar la pérdida máxima probable resultante de estos desastres.

Inicialmente se hizo una encuesta entre contratistas, diseñadores y propietarios. Se obtuvieron costos por pie cuadrado, por unidades de servicio, por componentes, salarios pagados y otros. La información se clasificó de acuerdo al tipo de edificio, al uso, al sistema estructural y al nivel de calidad, entre otros. Se obtuvieron medidas de tendencia central, percentilas y el coeficiente de variación de la información clasificada y se comparó con las publicaciones *Building Construction Cost Data*, *National Building Cost Manual* y *Bids Cost Index*.

Se desarrolló un índice de costo que permite actualizar los costos de la encuesta de forma rápida, para que los resultados obtenidos sean de utilidad en el futuro. El índice se compone del costo de mano de obra y materiales.

Se relacionó el costo de construcción de una estructura nueva con el costo de reconstrucción. Mediante dos factores que multiplicados por este primero nos provee un estimado del costo de reparación o de reemplazo según el caso.

Palabras Clave: estimados de costo, reconstrucción, índice de costo, reparación, reemplazo.

1. Introducción

La Isla de Puerto Rico se encuentra bajo la amenaza de dos de los fenómenos naturales con mayor poder de destrucción, los sismos y los huracanes. Esto crea la necesidad de estimar que construcciones se verán afectadas en caso de un evento el día de mañana. No sólo determinar los daños, sino también estimar cuanto es el costo económico de esa pérdida. Para estimar la pérdida probable se requieren dos elementos: el modelo de daño y el costo de reconstrucción. Este trabajo presenta una metodología para obtener costos de reconstrucción en Puerto Rico.

2. Costos de Construcción

En esta sección se presenta el procedimiento seguido para obtener costos de construcción, usando como fuente la industria de la construcción. La información obtenida se convierte en la base para obtener costos de reconstrucción ya sea costos de reparación o costos de reemplazo.

2.1 Encuesta de costos de construcción

Para tener data de forma homogénea, sin importar la fuente de donde viniera, se desarrolló un formato que incluía información general del proyecto, datos de costos generales y datos de costos por divisiones. Para elaborar el formato de encuesta se usó las 16 divisiones que se encuentran estandarizadas por el *Construction Specification Institute (CSI)* bajo la publicación *MasterformatTM* (1995). Las divisiones que este comprende son las siguientes:

1. Condiciones generales
2. Trabajo en el solar
3. Hormigón
4. Mampostería
5. Metales
6. Madera
7. Protección contra intemperie
8. Puertas y ventanas
9. Terminaciones
10. Especialidades
11. Equipo instalado en el proyecto
12. Muebles
13. Construcciones especiales
14. Ascensores y sistemas de transporte
15. Sistema mecánico: plomería y aire acondicionado
16. Sistema eléctrico

Se añadió una división adicional “17. Otros (misceláneos)” para agrupar actividades que no se pudieran adjudicar a una de las divisiones. Cada división se subdividió en varias actividades tratando de cubrir las más comunes en las construcciones típicas de Puerto Rico. Lo que se buscó fue tener un grado de información que fuera detallada, pero solo hasta el nivel que se necesita llegar para satisfacer los propósitos particulares de esta investigación.

2.2 Clasificación de la Información

Para analizar los datos obtenidos de la encuesta, se utilizaron varios parámetros para clasificar la información. El primero es el tipo de información, del cual se establecieron tres clases: *breakdown for payment*, estimados propios del contratista y estimados del diseñador. La segunda clasificación se hizo de acuerdo al uso y una subdivisión de esta es el tipo de edificio. En la Tabla 1 se presentan las clasificaciones que se pudieron obtener de los proyectos encuestados según el uso y el tipo de edificación.

Otra de las clasificaciones fue el sistema estructural. Se encontró tan solo tres clases: edificios de pórticos y paredes de hormigón (dual), edificios solo de paredes de hormigón y edificios de hormigón y acero (mixto). En Puerto Rico es más común encontrar estructuras hechas de hormigón, principalmente las de tipo pared y pórtico, que encontrar edificios de acero.

El nivel de calidad también se usó para diferenciar una estructura de otra. Se establecieron tres niveles: Alto, Medio y Bajo. Este parámetro se definió principalmente para considerar el tipo de terminaciones que lleva la edificación, sin embargo, también aplica a requerimientos de tipo constructivo que se hayan

exigido. Finalmente se incluyó una clasificación con el año de comienzo de la construcción, para tener en cuenta el aspecto cronológico de la estructura.

Tabla 1. Clasificación de las estructuras según el uso y tipo de edificio.

Usos	Tipo de Edificación
Comercial	Banco
	Cuido/Envejecientes
	Hotel
	Oficina
	Venta Detal
Educativa	Escuela
	Salones
	Universidad
Estacionamiento	Individual
	Otro (parte de otro proyecto)
Residencial	Apartamento Edificio > 3 pisos
	Apartamento <i>Walk-up</i>
	Casa Individual
Industrial	Planta de Tratamiento
	Edificio de Utilidades
	Fabrica
Otro	Escolar (Cancha Escolar)
	Centro comunitario
Reparaciones	Escuela
	Hotel

2.3 Costos por Pie Cuadrado y Porcentaje de Participación por División

Primeramente los datos se analizaron en base al uso de la estructura. La Tabla A.1 del apéndice, contiene estos costos por pie cuadrado del área bruta de piso de la estructura y el por ciento de participación de las 17 divisiones en el costo. El renglón de reparaciones es más bajo que los demás por que la reparación no se hizo en la estructura completa y el área si incluye el área total de la estructura.

Luego se determinó el costo por pie cuadrado clasificando los proyectos por las variables antes indicadas, resultando en los datos que aparecen en el apéndice en la Tabla A.2. De igual forma se determinaron precios unitarios por división y subdivisión para la información clasificada.

2.4 Comparación con Building Construction Cost Data

Para comparar los costos por pie cuadrado obtenidos de las encuestas con los de la publicación *Building Construction Cost Data (BCCD)*, se estimó el costo de cada proyecto de la encuesta usando la data particular de la publicación. Se tuvo en cuenta el dato de la edición correspondiente al año promedio del proyecto, el ajuste por el factor de tamaño. Mientras que el factor de localización (*City Cost Index*) que presenta la publicación no fue tomado en cuenta, ya que se quería buscar un factor de conversión de la publicación para Puerto Rico. Se eliminaron valores que a juicio de los investigadores se catalogaron como distantes (*outliers*).

Teniendo el costo de cada proyecto dado por la encuesta y estimado por la publicación, se determinó la razón del primero sobre el segundo (Encuesta/*BCCD*). De estas razones se obtuvieron las medidas de tendencia central presentadas a continuación:

Promedio = 1.08

Mediana = 1.04
Percentila 25 = 0.85
Percentila 75 = 1.24
Coeficiente de Variación = 0.30

Basado en esta información se estableció que la razón de 1.04 dada por la mediana es el factor de conversión del *Building Construction Cost Data* para costos de la encuesta.

2.5 Comparación con National Building Cost Manual

Para la comparación con *National Building Cost Manual (NBCM)*, se siguió una metodología similar a la que usó para la comparación anterior. Se estimó cada proyecto en particular usando la publicación, se ajustó su costo por el índice histórico (*historical cost index*) y luego se obtuvieron las razones entre los datos de las encuestas y los de *NBCM*. Se obtuvieron las medidas de tendencia central de estas razones y se tomo la mediana como el factor de conversión para Puerto Rico. Estos resultados se presentan a continuación:

Promedio = 1.02
Mediana = 1.06
Percentila 25 = 0.89
Percentila 75 = 1.15
Coeficiente de Variación = 0.22

2.6 Comparación con Bids Procurement Report

La revista *Bids Procurement Report (Bids)*, publica periódicamente información de costos unitarios para Puerto Rico. De la base de datos de *Bids* se obtuvieron los valores para actividades similares a las de la encuesta. Los costos unitarios de la encuesta provienen de tres tipos de fuentes: Estimados propios del contratista, *breakdown for payment* y estimados del diseñador. En el primero no se incluye el costo indirecto ni las ganancias como parte de los costos unitarios y estos son presentados en una sección aparte del estimado. Mientras que en los otros dos estimados sí incluyen estos factores dentro de los costos unitarios, por lo que se espera que los valores de estos últimos sean más altos que obtenidos de los estimados de contratistas.

Se hicieron las comparaciones entre los costos de contratista vs. *Bids* y de los de diseñador y *breakdown* vs. *Bids*. Se obtuvieron las razones para ambos casos y a estas se les determinaron las medidas de tendencia central. En los *breakdown* y estimados del diseñador vs. *Bids* se encontró que la media y la mediana son mayores de uno (>1), que se puede deber a que el costo indirecto y la ganancia del proyecto están incluidos en los costos unitarios, lo que aumenta estos valores. La Tabla 2 presenta las razones y las medidas de tendencia central para esta comparación.

3. Índice de Costo

El índice de costo consiste en determinar el costo en un año base de determinada cantidad de materiales, de una cantidad de mano de obra y/o equipo que son representativos del tipo de proyecto. La suma de este costo se utiliza para establecer el índice de costo para el año base. En años posteriores se determina el valor de esas mismas cantidades obteniéndose el índice de costo para cada año. Cuando tenemos el costo de la estructura en un año dado, el índice de costo año de ese año y el índice de costo hoy, podemos estimar el costo de esa estructura hoy día siguiendo la siguiente fórmula:

$$Costo_{hoy} = (Costo_{año\ base}) * \frac{Indice\ de\ Costo_{hoy}}{Indice\ de\ Costo_{año\ base}} \quad (1)$$

La compañía *Engineering News Record (ENR)* publica periódicamente dos índices de costo, el *Construction Cost Index (CCI)* y el *Building Cost Index (BCI)*. El *CCI* utiliza el costo de 2500 libras de acero estructural, 226 libras de cemento Pórtland, 1088 pie-planar de madera 2"x4" y 200 horas de mano de obra no diestra para estimar el índice de costo. El índice de costo base fue desarrollado en 1913, en donde el valor de estas cantidades se estimó en \$100. El *BCI* utiliza las mismas cantidades de material, pero tiene como referencia 68.38 horas del costo promedio de mano de obra diestra. Su índice de costo del año base fue estimado en \$100 en 1913 (Lluch, 2000).

Tabla 2. Comparación entre los costos unitarios de *breakdown* y diseñador Vs. *bids*

Actividad	Und.	Encuesta	Bids	Razón
Plafón Acústico	\$/Pies ²	4.70	4.95	0.95
Acera	\$/Pies ²	3.48	3.93	0.89
Encintados	\$/Pies	14.96	9.45	1.58
Empanetado	\$/Pies ²	1.71	1.29	1.32
Hormigón zapatas	\$/Yd ³	284.37	349.43	0.81
Hormigón paredes y muros	\$/Yd ³	388.66	440.00	0.88
Hormigón losa sobre terreno	\$/Yd ³	290.95	328.57	0.89
Hormigón vigas y columnas	\$/Yd ³	469.72	493.57	0.95
Hormigón arquitectónico	\$/Yd ³	471.97	370.00	1.28
Hormigón escaleras	\$/Yd ³	506.01	522.86	0.97
Hormigón losa estructural	\$/Yd ³	413.31	447.86	0.92
Limpieza y desbroce	\$/Cda	2,284.12	950.00	2.40
Corte, relleno, préstamo y sobrante	\$/Mt ³	11.29	8.56	1.32
Excavación estructural	\$/Yd ³	25.77	15.04	1.71
Ascensor	\$/Piso	19,600.00	17,750.00	1.10
Bloque	\$/Pies ²	3.79	4.17	0.91
Alfombra	\$/Yd ²	19.24	21.88	0.88
Cerámica de piso	\$/Pies ²	4.75	5.28	0.90
Quarry tile	\$/Pies ²	16.65	5.00	3.33
Terrazo	\$/Pies ²	5.67	2.63	2.16
Equipo	\$/Mes	5,500.00	5,600.00	0.98
Pintura	\$/Pies ²	0.70	0.38	1.85
Calles (solo asfalto)	\$/Ton	77.04	60.00	1.28
<i>Built-Up roofing</i>	\$/Pies ²	4.23	3.55	1.19
Acero	\$/Lb	0.48	0.44	1.09
Cerámica de pared	\$/Pies ²	5.03	4.48	1.13
Drywall	\$/Pies ²	7.34	7.21	1.02
Ventanas	\$/Pies ²	19.78	12.75	1.55
		Promedio		1.29
		Mediana		1.09
		Percentila 25		0.92
		Percentila 75		1.38
		Coficiente de Variación		0.44

Para construir un índice de costo es necesario estudiar los componentes de costo de los proyectos encuestados y seleccionar los principales. Luego hay que seleccionar partidas a encuestar representativas de los componentes de costo seleccionados. Esto se hizo con los datos de la encuesta. Veintiuno de los proyectos encuestados contenían el costo discriminado entre los siguientes componentes de costo: mano

de obra, materiales, equipo, subcontratos y otros. La mayoría de estos no tenía el costo del equipo pesado discriminado, entendiéndose que este se distribuyó en los demás componentes.

En la elaboración del índice se presume que el costo de los subcontratos contiene componentes de mano de obra, materiales y equipo en proporción a lo obtenido para el proyecto completo por lo que tampoco será uno de los elementos en nuestro índice de costo. Esto mismo se presume del componente “otros”, lo que nos deja con dos componentes para la elaboración de nuestro índice; mano de obra y materiales.

Se estimó la participación de la mano de obra y materiales sobre el total de mano de obra-materiales para cada uno de los 21 proyectos y con estos se obtuvieron las medidas de tendencia central que se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Relación Mano de Obra / Materiales de los proyectos encuestados

	Mano de Obra	Materiales
Promedio	36.35	63.65
Mediana	33.88	66.12
Percentila 25	31.86	61.67
Percentila 75	38.33	68.14
Coefficiente de Variación	0.24	0.14

Para la relación mano de obra/materiales se decidió tomar la mediana de la tabla anterior, siendo esta 33.88 % para mano de obra y 66.12 % para materiales.

3.1 Componente Materiales

Conociendo la participación de los dos componentes del índice, se procedió a determinar los materiales más representativos, para esto se encontraron las dos divisiones con mayor porcentaje en el componente materiales, resultando estas: 3- Hormigón y 9- Terminaciones. De ambas divisiones se obtuvieron los dos materiales con mayor importancia en términos económicos, para la división 3- Hormigón son el concreto y el acero de refuerzo. Con la información de algunos estimados se pudo determinar los porcentajes de cada uno en la división y así mismo se pudo obtener la relación entre estos para determinar cuanto del costo del índice se debió asignar a cada material.

De igual forma se encontró que el empañete y la cerámica de piso eran las actividades más importantes de la división 9- Terminaciones. Para representar el empañete se decidió usar como insumo el medio saco de cemento, mientras que para la cerámica de piso, se decidió usar el promedio dos tipos de cerámica. Se usó la cerámica más económica PEI III, monococción, 12"x12" y la cerámica más económica PEI V, monococción, 12"x12".

De esta forma, se estableció un índice inicial de \$1,000.00. Aplicando los porcentajes de materiales y mano de obra sabemos que el costo del primero fue \$661.20, de los cuales \$451.88 pertenecían a la división 3- Hormigón y \$209.32 a la 9- Terminaciones. Así mismo de los \$451.88 del Hormigón, \$298.30 se asignaron al concreto y \$153.58 al acero de refuerzo y de los \$209.32 de Terminaciones, \$146.67 fueron para empañetado y \$62.65 para cerámica de piso.

Se encuestaron los cuatro materiales (concreto, acero, cemento, cerámica de piso) para determinar las cantidades que equivalgan al costo que debe tener cada uno dentro del índice. Para el caso del Hormigón se encontró un promedio de \$ 65.50 por yarda cúbica de hormigón regular de 3,000 psi. Esto significa que

para elaborar el índice futuro se deberá encuestar el costo de \$298.30/\$65.50 por yarda cúbica = 4.55 yardas cúbicas de hormigón regular de 3,000 psi.

Para el acero de refuerzo se hizo la misma búsqueda que para el hormigón. Se determinó el costo promedio del quintal de varilla para los años 2002 y 2003 obteniéndose un valor de \$ 18.65 por quintal, lo que significa que para el índice futuro se deberá encuestar el costo de 8.23 quintales de varilla de acero de refuerzo.

El medio saco de cemento se estimó en \$ 2.65. Por lo que se estableció que se necesitan 2,600 Lb. de cemento para el índice futuro o su equivalente que serían 55.32 medios sacos de 47 Lb. Se encuestaron ventas de cerámica en diferentes partes de la isla, se encontró un promedio de \$ 0.70 el pie cuadrado para la cerámica más económica con PEI III y \$ 1.31 para la cerámica más económica con PEI V. Tomando el promedio de ambas se definió un costo por pie cuadrado de cerámica de piso de \$ 1.01, con lo cual se obtiene una cantidad a encuestar a futuro de 62.03 pies cuadrados.

3.2 Componente Mano de Obra

Para determinar los oficios y la cantidad de horas por oficio a usar en el índice, se necesitó conocer la proporción de cada oficio en el total de la mano de obra. Por lo que se hizo necesario obtener información acerca de la cantidad de empleados usados en un proyecto, discriminado por sus diferentes oficios.

Se decidió usar los cuatro oficios con mayor porcentaje en el proyecto y que incluyeran las dos divisiones que se pueden encontrar en la mano de obra: obrero diestro y obrero no diestro. Las categorías usadas fueron: obrero (no diestro), carpintero, albañil y varillero.

Las cuatro categorías encuestadas representan la mayor parte del total de la mano de obra usada en un proyecto. Para estimar el costo de mano de obra se recopiló información adicional mediante consultas a varias empresas de construcción en la Isla y de los costos pactados en el Convenio Colectivo de Trabajo entre la Unión de Carpinteros de Puerto Rico y *The Construction Industry of Employer Association*. Las Tablas 4 y 5 presentan los resultados de los costos obtenidos a través de contratistas y a los pactados en el Convenio Colectivo de Trabajo.

Tabla 4. Costos promedio de mano de obra de encuestas a empresas

Oficio	\$/hora
Obrero	5.38
Varillero	6.37
Carpintero	7.42
Albañil	6.78

Tabla 5. Costos promedio de mano de obra del convenio Unión de Carpinteros y *The Construction Industry of Employer Association*

Oficio	\$/hora
Obrero	5.65
Varillero	7.45
Carpintero	7.58
Albañil	7.49

Al asumir que el total de la mano de obra estará representado por las cuatro categorías mencionadas, se obtuvieron los porcentajes de participación de cada una. Estos se multiplicaron por el costo de mano de obra que le corresponde al índice y finalmente usando el costo por hora ya sea de las encuestas o del convenio se estimaron las cantidades de horas de mano de obra a usar en el índice para cada oficio. La Tabla 6 presenta los resultados del procedimiento anterior para los costos obtenidos de encuestas a contratistas. La columna final de la tabla representa la cantidad de horas que se deberán encuestar por cada oficio a fin de elaborar el índice futuro, para el caso en que se usen los promedios de los valores obtenidos de contratistas.

Tabla 6. Horas de mano de obra a usar en el índice usando la data de encuestas

Oficio	% Relativo	\$ Índice	\$/hora	horas
Obrero	40.74	138.03	5.38	25.68
Carpintero	24.07	81.56	7.42	11.00
Albañil	7.41	25.10	6.78	3.70
Varillero	27.78	94.11	6.37	14.78
Total	100.00	338.80		

3.3 Encuesta Futura para Elaborar el Índice

En un futuro se deberá encuestar el costo unitario de los materiales y de los salarios seleccionados. Los materiales (hormigón, acero y cemento) se deben encuestar con precios por cantidades típicas de contratistas (precio de contratista) y que no se va a incurrir en gastos adicionales de transporte u otros. Para la cerámica de piso se debe encuestar el costo en grandes cantidades (> 50.000 pies²) ya que así fue como se obtuvieron los costos para el índice base. Al obtener los costos unitarios de estos materiales, se deberá multiplicar cada uno por las siguientes cantidades:

- 4.55 Yd³ de hormigón
- 8.23 Quintales de varilla de acero
- 2,600 Lb. de cemento o 55.32 medios sacos de 47 Lb.
- Promedio de: 62.03 Pies² de la cerámica de piso 12"x12" más económica, monococción, PEI III y 62.03 Pies² de cerámica de piso 12"x12", monococción, PEI V.

Sumando estos cuatro valores se obtendrá el componente materiales del índice. Para el componente mano de obra se deberá primero definir la fuente a usar para obtener los salarios. Si se escoge hacer una encuesta entre empresas de construcción se deberá obtener de cada empresa los rangos de salario para los oficios seleccionados, se promediarán los rangos de costos y después se tomara el promedio para cada oficio usando lo obtenido de cada una de las empresas consultadas. Estos costos unitarios se multiplicarán por los valores dados en la Tabla 9 en su columna final y finalmente al sumarlos se obtendrán los valores de mano de obra que componen el índice.

Sumando los costos obtenidos tanto de materiales como de mano de obra se obtendrá el valor del índice futuro, el cual al dividirlo por el valor del índice base (\$1,000.00) dará el factor por el cual se debe afectar el costo de las edificaciones que se han estimado en el presente estudio.

4. Costos de Reconstrucción

El estimar el costo de reparación o reemplazo de una estructura puede ser menos preciso que el estimado de construcción de una estructura nueva. Esto es debido a que al reparar o reemplazar pueden haber factores que no conocemos con certeza que afectan el costo como espacio limitado, trabajo fuera de horas laborables y otros. En este estudio se estimó el costo de reparación o reemplazo multiplicado el costo de construcción de la estructura nueva por un factor. Las siguientes consideraciones se tomaron en cuenta al estimar este factor (de la publicación *Repair and Remodeling Estimating Methods (RREM, 2002)*):

1. *Cut & patch to match existing construction.* El reparar una estructura que sufrió daños puede conllevar el tener que cortar y remendar, lo que resulta más caro que el construir la propiedad inicialmente.
2. *Dust & noise protection.* La protección de las áreas adyacentes al proyecto contra el polvo y el ruido cuando la estructura está parcialmente ocupada.
3. *Equipment usage curtailment.* El equipo de construcción utilizado en la reconstrucción usualmente es de menor capacidad y menor productividad que el equipo utilizado en la construcción original. Esto es debido a las limitaciones físicas en los proyectos de reconstrucción.
4. *Material handling & storage limitations.* Las limitaciones de acceso y limitaciones en el espacio de almacenamiento también pueden resultar en costos mayores en proyectos de reconstrucción.
5. *Protection of existing work.* El contratista de proyectos de reconstrucción pueden tener que proteger áreas adyacentes o trabajo terminado para evitar daños durante la construcción en curso. También es posible que sea necesario proteger el trabajo terminado para prevenir el hurto y el vandalismo.
6. *Temporary shoring & bracing.* Cuando se reconstruye en ocasiones hay que apuntalar y apoyar partes de la estructura mientras se están ejecutando los cambios estructurales.
7. *Shift work requirements.* En ocasiones el trabajo debe ser hecho trabajando tiempo extra, lo que conlleva un costo mayor y una productividad menor de las brigadas. En otras ocasiones hay que utilizar turnos de trabajo diferentes al normal.

En el trabajo de Guzmán (1998) se incluyen tres factores adicionales que no considera el *RREM* (2002). Estos son el factor de demolición y limpieza (ρ_d), el factor de ingeniería (ρ_e), y el factor catástrofe (ρ_c). Estas consideraciones se tomaron en cuenta al estimar los factores reparación y reemplazo.

4.1 Costo de Reparación

El proceso de reparación es más complejo que el de reemplazo ya que incluye todas las consideraciones mencionadas anteriormente. El costo de reparación que nos interesa es el costo de reparar estructuras que fueron dañadas por un desastre natural. A continuación se estima un factor que multiplicado por el costo estimado de construcción original nos provee un estimado del costo de reparación. Este factor lo designamos (F_r).

Para estimar F_r se utilizaron los valores presentados en la publicación *RREM* (2002), los cuales están discriminados para materiales y mano de obra. Se determinó un promedio pesado teniendo en cuenta el porcentaje de participación de estos en un proyecto (que se estimó aproximadamente como 34% mano de obra y 66% materiales). Luego se obtuvo un valor máximo y mínimo para cada factor. Luego se computó el promedio entre el valor mínimo y máximo de cada uno y se sumó para estimar el valor total. La Tabla 7 presenta los valores dados por la publicación *RREM* (2002) para los siete factores definidos anteriormente, así como la suma de los componentes (materiales y mano de obra) de cada factor y finalmente el promedio de los valores máximos y mínimos para cada factor.

Tabla 7. Factores del RREM que afectan el costo de reparación.

ID	Factores		Mano de obra	Materiales	Mano de obra + Materiales	Promedio
			%	%	%	
1	<i>Cut & patch to match existing construction</i>	Min	3	2	4.68	8.69
		Max	9	5	12.71	
2	<i>Dust & noise protection</i>	Min	2	1	2.68	7.71
		Max	11	4	12.74	
3	<i>Equipment usage curtailment</i>	Min	1	1	2.00	6.37
		Max	10	3	10.74	
4	<i>Material handling & storage limitations</i>	Min	1	1	2.00	7.34
		Max	7	6	12.68	
5	<i>Protection of existing work</i>	Min	2	2	4.00	7.68
		Max	7	5	11.36	
6	<i>Temporary shoring & bracing</i>	Min	5	2	6.03	10.39
		Max	12	5	14.74	
7	<i>Shift work requirements</i>	Min	5		3.39	11.86
		Max	30		20.33	
Total =					60.04	

Para estimar el factor demolición y limpieza (ρ_d), se usaron los valores dados por las publicaciones *General Construction Costbook* (2003) y *Remodeling Costbook* (2003), donde se obtuvo el promedio del costo unitario de demolición y limpieza para proyectos de construcción y remodelación respectivamente. El factor ρ_d se estima como la razón entre el costo promedio unitario de demolición y limpieza para proyectos de remodelación sobre este mismo costo para proyectos de construcción. El factor estimado ρ_d es 4.72%.

Se buscó una forma adicional para estimar el factor demolición y limpieza siguiendo una metodología similar a la descrita por Guzmán (1998). Convirtiendo el costo unitario de demolición y limpieza dado en dólares por pie cúbico del *Building Construction Cost Data (BCCD)* a costo por pie cuadrado. Luego se obtuvo el porcentaje de este valor respecto al costo de construcción del edificio. Finalmente se promediaron estos valores para obtener un valor que cubra todos los tipos de estructuras. La Tabla 8 presenta este procedimiento.

Tabla 8. Por ciento del costo de demolición y limpieza.

Tipo edificio	Altura de piso (ft)	Costo edificio \$/ft2	Costo demolición y limpieza \$/ft3	Costo demolición y limpieza \$/ft2	% costo
Apto. Edif.>3 pisos	10.50	75.08	0.34	3.54	4.72
Banco	14.00	100.47	0.29	4.06	4.04
Escuela	12.00	122.42	0.34	4.08	3.33
Fabrica	16.00	91.24	0.34	5.44	5.96
Estacionamiento	10.00	42.59	0.34	3.40	7.98
Hotel	10.00	103.69	0.34	3.40	3.28
Oficina	11.33	101.55	0.34	3.85	3.79
Venta detal	15.00	120.35	0.34	5.10	4.24
Casa Individual	9.00	65.05	0.34	3.06	4.70
Promedio					4.67

El resultado obtenido de esta tabla se promedió con el encontrado inicialmente obteniéndose un valor de 4.70% para el factor demolición y limpieza.

El factor de ingeniería (ρ_e) se estimó usando los valores recomendados por el Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico para el cobro por servicios profesionales, que se encuentran en el documento titulado *Manual for Professional Practice and Guidelines for the Compensation of Professional Services*. En la referencia Lluch, (2000), se encuentra información mas detallada sobre este tema.

Los honorarios sugeridos dependen de la complejidad del proyecto. Para esto se han tomado cinco categorías donde la primera es la de menor complejidad y mínimos detalles, la segunda representa proyectos de complejidad promedio y la última se refiere a proyectos con mucho nivel de detalles y de carácter excepcional. Un proceso de reparación se encontraría en la categoría V ya que el referido manual indica que esta categoría incluye proyectos de reconstrucción incluyendo sistemas mecánicos, eléctricos y sanitarios. En la Tabla 9 se presentan los valores de los honorarios incluyendo y sin incluir servicios durante la construcción, el porcentaje de este último respecto al total y finalmente estos valores multiplicados por un factor de 1.3 para convertirlos de categoría II a categoría V.

Para determinar el porcentaje a usar, encontramos el promedio del costo total de los proyectos de la encuesta y luego de la siguiente tabla se buscó el porcentaje equivalente para este. El promedio de costos fue \$10,137,036.16 con lo que obtenemos un porcentaje para la categoría V de 10.80%.

Tabla 9. Honorarios sugeridos por CIAPR.

Honorarios sugeridos por CIAPR				
Costo proyecto	Honorarios	Servicios durante la construcción	Categoría 2	Categoría 5
\$	\$	\$	% obra	% obra
100,000.00	10,810	3,525	14.34	18.64
1,000,000	83,735	23,803	11.15	14.50
5,000,000	364,635	77,959	8.85	11.51
10,000,000	701,035	130,011	8.31	10.80
20,000,000	1,368,035	247,511	8.07	10.50

El factor catástrofe (ρ_c) determinado por Guzmán (1998) toma en consideración el aumento en el costo de los materiales y la mano de obra luego de de un desastre natural. Guzmán lo estimó en 43% donde 13% corresponde a materiales y 30% representa la mano de obra. El 13% resulta de un estimado de aumento del costo de materiales de 20% aplicado a un 65% del costo total de la obra ($20\% \cdot 65 = 13\%$), ya que este asumió una relación mano de obra/materiales de 35/65.

El componente de mano de obra es equivalente al factor turnos de trabajo (*shift work requirements*) incluido en la Tabla 10, por lo que se solo usamos la componente materiales (13%). Sumando entonces el porcentaje total de la Tabla 10 con los factores ρ_d , ρ_e y ρ_c se obtiene un factor de 88.54%. Lo que significa que el costo de reparación será el costo de construcción inicial más un 88.54% ese mismo valor.

$$F_r = 1 + 0.8854 = 1.89 \quad (2)$$

Este factor al ser multiplicado por el costo de construcción representará el costo de reparación de una estructura.

4.2 Costo de Reemplazo

Este concepto aplica cuando hay que reemplazar una estructura, por ejemplo, cuando los daños de la estructura son severos e irreparables. Para estimar el factor de reemplazo (F_r') se siguió una metodología similar a la anterior, sin embargo, el proceso de reemplazar no es tan complejo como el de reparar, por lo que varios de los factores mencionados no intervienen en este proceso. Para el caso de los factores de incluidos en *RREM* (2002), ninguno de estos interviene en este proceso. El factor demolición y limpieza (ρ_d) se estima igual que para el costo de reparación.

Para el factor de ingeniería (ρ_e) se toman, igualmente, los honorarios sugeridos por el CIAPR, pero para este caso se usa la categoría II, ya que la reconstrucción que se hará se asemeja más a una construcción nueva. Obteniendo el promedio de la cuarta columna de la Tabla 9, encontramos un valor para $\rho_e = 8.31\%$. El factor catástrofe (ρ_c) no se considera ya que después del evento, transcurre un tiempo considerable mientras se desarrollan los procesos previos a la construcción, tales como: diseño, planeación y financiación. Esperando que este tiempo sea suficiente para que los precios de materiales y mano de obra se hayan normalizado.

Sumando entonces el porcentaje de los factores ρ_d y ρ_e se obtiene un valor de 13.01%. Lo que significa que el costo de reemplazo será el costo de construcción inicial mas un 13.01% ese mismo valor.

$$F_r' = 1 + 0.1301 = 1.13 \quad (3)$$

Este factor obtenido al ser multiplicado por el costo de construcción representará el costo de reemplazo de la estructura.

Conclusiones

Se ha estimado el costo de construcción de estructuras clasificadas en diversas formas. Esta información se puede utilizar para estimar el costo de construcción de estas estructuras. Hay más confianza en los datos de nuestra encuesta que están basados en un número considerable de observaciones y cuyo coeficiente de variación no sea muy grande.

Para estimar costos de estructuras o partidas no incluidas en la encuesta se recomienda utilizar las publicaciones de costo ajustadas a Puerto Rico. Para la publicación *Building Construction Cost Data* nuestra encuesta resultó en un ajuste para Puerto Rico de 1.04, contrario a lo indicado en esta publicación que varía de 0.852 a 0.876 entre los años 2001 a 2004.

En la publicación *National Building Cost Manual* el factor de ajuste resultante de nuestra encuesta es 1.06. Esta publicación no tenía factor de ajuste para Puerto Rico. Debemos mencionar que los datos resultantes de la encuesta son medidas de tendencia central que son más propios cuando se estima el costo de muchas estructuras. La precisión al estimar una estructura en particular es baja ya que hay un gran número de factores que habría que considerar.

En este estudio se desarrolló un índice de costo que nos permite poner al día los datos de la encuesta. Este se hizo buscando un balance entre una metodología que fuera certera y al mismo tiempo sencilla de aplicar. Esto resulta en la utilización de dos componentes principales de costo y cuatro elementos que representaran a cada uno de ellos. Es la primera vez que en Puerto Rico se desarrolla un índice de costos de construcción. Este índice puede servir a este proyecto y puede ser de ayuda a la industria y al gobierno.

Además, en este estudio se estimaron factores que nos permiten estimar costos de reparación y reemplazo de estructuras basado en el costo de construcción de una estructura nueva. Estos factores consideran situaciones que surgen luego de desastres naturales y actividades que son propias de reparación o reemplazo de estructuras.

Referencias

- Bids Procurement Report, (2003), “Bids Cost Index”, September, October and November 2003 Editions, Industrial Publishers Inc., San Juan. P.R.
- Botero J. H., (2004), “Estimados del Costo de Reconstrucción de Edificaciones Asegurables en Puerto Rico”, MSc. Tesis, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Mayagüez, Puerto Rico.
- Building Construction Cost Data, (2003), R. S. Means Company Inc., 61 Annual Editions, Kingston, Massachusetts.
- General Construction 2004 Costbook, (2003), BNI Publications Inc., Fourteenth Edition, Los Angeles, California, ISBN 155701-4485.
- Guzmán A. L., (1998), “Cost – Performance Criteria for Seismic Retrofitting”, Ph.D. Thesis, University of Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico, pág. 9 – 17.
- Lluch J. F., (2000), “Introducción a la Gerencia de Construcción”, Editorial de la Universidad de Puerto Rico, ISBN 0-8477-0326-6, pp. 211 – 216.
- Masterformat™ Master List of Numbers and Titles for the Construction Industry, (1995), Construction Specification Institute and Construction Specifications Canada.
- National Building Cost Manual, (2003), Craftsman Book Company, 28 Editions, Carlsbad, California, ISBN 1-57218-131-1.
- Repair and Remodeling Cost Data, (1998). R.S. Means Company Inc., Construction Consultants and Publishers, 19 Annual Editions, Kingston, Massachusetts.
- Repair and Remodeling Estimating Methods, (2002), R.S. Means Company Inc., Construction Consultants and Publishers, 3 Annual Editions, Kingston, Massachusetts.

Información Biográfica

Ing. Jorge H. BOTERO, se desempeñó como estudiante graduado hasta diciembre de 2004 cuando cumplió con los requisitos para obtener su título de Maestro en Ciencias de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, espera graduación para mayo de 2005.

Dr. José F. LLUCH, P.E., ha sido decano de ingeniería y actualmente es catedrático del Departamento de Ingeniería Civil del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad Puerto Rico. Obtuvo su PhD. con especialización en gerencia de construcción en Georgia Institute of Technology, dentro de su labor se destaca la autoría del libro Introducción a la Gerencia de la Construcción el cual va por su tercera edición.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the papers in the conference proceedings on CD and on the web. Neither LACCEI nor the editors will be responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

APÉNDICE: Tabla A1 Clasificación basada en Uso (Comercial, Educativo, Estacionamiento, Residencial, Industrial, Reparaciones).

ID.					Costo \$/Ft²	% de Participación por Partidas																
	Usos	Tipo Edif	Tipo Estr	Nivel Acab		1. Condiciones Generales	2. Trabajo en el Solar	3. Hormigón	4. Mampostería	5. Metales	6. Madera	7. Protección contra Humedad e Imperme	8. Puertas y Ventanas	9. Terminaciones	10. Especialidades	11. Equipamiento	12. Muebles	13. Construcciones especiales	14. Ascensores y Sistema de Transporte	15. Sistema Mecánico	16. Sistema Eléctrico	17. Otros
1	Com.				102.78	12.95	5.81	20.17	1.61	3.75	0.81	1.35	5.93	10.51	0.30	0.15	0.03	0.00	1.97	13.58	11.36	9.74
2	Edu.				124.61	11.54	9.75	22.69	2.38	1.63	1.61	1.89	5.30	11.81	0.70	1.41	0.41	0.65	0.72	13.53	11.81	2.17
3	Est.				42.59	18.64	9.43	48.49	0.34	1.95	0.01	3.50	0.75	4.82	0.11	0.40	0.00	0.00	0.91	2.66	5.07	2.90
4	Res.				70.00	11.68	8.56	25.43	2.62	1.02	3.18	1.02	5.89	17.14	0.48	0.51	0.49	0.75	1.83	7.36	7.99	4.04
5	Ind.				143.49	8.32	12.70	14.81	0.78	4.29	0.13	2.06	2.77	5.17	0.18	17.85	0.12	2.10	0.08	13.49	12.20	2.93
6	Repa.				45.01	19.73	8.97	37.98	1.06	7.15	0.81	0.52	1.98	14.54	0.70	0.15	0.00	0.00	0.00	2.54	3.11	0.77

APÉNDICE: Tabla A.2 Clasificación usando las variables: Usos, Tipo de edificio, Sistema estructural y Nivel de calidad

ID.	Costo \$/Ft ²				% de Participación por Partidas																
	Usos	Tipo Edif	Tipo Estr	Nivel Acab	1. Condiciones Generales	2. Trabajo en el Solar	3. Hormigón	4. Mampostería	5. Metales	6. Madera	7. Protección contra Humedad e Intemperie	8. Puertas y Ventanas	9. Terminaciones	10. Especialidades	11. Equipamiento	12. Muebles	13. Construcciones especiales	14. Ascensores y Sistema de Transporte	15. Sistema Mecánico	16. Sistema Eléctrico	17. Otros
1	Com. Ban.	Mix.	Med.	100.47	10.85	6.79	14.03	0.08	11.22	0.95	0.10	15.26	14.53	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	10.21	15.76	0.00
2	Com. Cuid.	Dual	Med.	83.24	15.83	2.52	17.44	2.24	0.92	1.88	0.69	4.07	11.54	0.54	0.25	0.00	0.00	4.18	13.89	10.95	13.04
3	Com. Hotel		Alto	103.69	11.90	5.88	23.13	4.08	1.03	1.35	1.56	4.53	11.57	0.21	0.04	0.00	0.00	2.01	13.26	9.54	9.91
4	Com. Ofici.		Med.	101.55	12.98	4.16	25.21	0.36	0.94	0.05	0.94	5.15	6.31	0.30	0.21	0.00	0.00	2.79	17.63	10.75	12.21
5	Com. Venta Detal		Med.	120.35	14.19	11.28	13.03	0.06	10.17	0.00	3.65	2.85	11.75	0.27	0.32	0.18	0.00	0.00	9.17	12.21	10.87
6	Edu. Esc.	Dual	Med.	122.42	13.07	10.75	19.31	2.40	1.88	2.29	2.25	5.41	10.56	0.80	2.02	0.48	0.97	0.38	13.18	11.03	3.22
7	Edu. Univ.	Dual	Alto	129.00	8.49	7.74	29.44	2.34	1.11	0.25	1.16	5.08	14.33	0.51	0.18	0.26	0.00	1.41	14.24	13.38	0.07
8	Edu. Salon		Med.	33.61	16.77	1.81	37.51	1.87	5.47	2.11	0.00	7.09	7.88	0.50	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	18.60	
9	Edu. Termi. Salon		Med.	30.91	15.66	0.00	0.00	8.07	8.53	3.84	0.00	18.28	24.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.72	
10	Est. Indiv.		Med.	26.69	12.37	7.02	59.10	0.57	1.76	0.00	1.68	0.73	3.00	0.08	0.40	0.00	0.00	0.40	1.40	7.33	4.16
11	Est. Otro		Med.	50.54	21.78	10.64	43.18	0.22	2.05	0.01	4.41	0.77	5.73	0.13	0.40	0.00	0.00	1.17	3.29	3.94	2.27
12	Ind. Fab. o Alma.	Mix.		91.24	11.59	11.01	10.81	1.72	10.15	0.00	3.53	1.51	5.93	0.43	0.18	0.34	0.00	0.24	21.26	12.65	8.66
13	Ind. Plan.	Dual	Med.	0.00	5.83	6.10	7.99	0.00	1.06	0.00	0.00	0.76	6.01	0.00	43.65	0.00	5.68	0.00	7.56	15.22	0.14
14	Ind. Utilid.	Dual		195.75	7.54	21.00	25.64	0.63	1.67	0.38	2.66	6.05	3.56	0.12	9.72	0.03	0.62	0.00	11.65	8.72	0.00
15	Otr. Can. Esc.	Dual	Med.	126.78	31.54	5.19	18.00	0.18	9.90	0.00	0.05	0.00	4.91	1.82	0.37	3.11	0.00	0.88	5.81	3.98	14.26
16	Otr. Cent. Comu.			292.68	19.50	23.73	9.56	0.25	0.63	0.02	0.57	2.32	6.26	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	8.01	16.02	12.66
17	Com. Hotel	Dual	Med.	45.01	6.14	0.53	16.94	4.93	0.00	4.36	0.00	3.64	29.67	2.20	0.96	0.00	0.00	0.00	7.25	8.77	14.60
18	Repa. Esc.	Mix.	Med.	0.00	11.69	3.33	16.88	0.00	49.05	0.00	0.00	0.00	15.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.29	0.00
19	Repa. Esc.	Dual	Med.	0.00	17.80	11.78	46.41	0.50	0.20	0.26	0.72	2.04	11.28	0.54	0.02	0.00	0.00	0.00	2.10	1.94	4.42
20	Res. Apto. Edif-3 pisos	Dual	Med.	62.27	5.95	6.99	27.95	2.22	1.53	1.99	0.39	6.07	19.54	0.79	1.11	0.18	1.60	3.27	9.85	10.55	0.00
21	Res. Apto. Edif-3 pisos	Dual	Alto	91.10	14.55	7.59	23.90	3.09	0.77	1.47	0.51	4.43	13.71	0.32	0.52	0.45	1.10	4.16	6.56	9.34	7.54
22	Res. Casa Indiv.	Muro Horm	Bajo	48.11	13.97	7.42	29.68	3.95	0.00	2.93	1.65	7.86	21.46	0.52	0.03	0.00	0.00	0.00	5.28	5.25	0.00
23	Res. Casa Indiv.		Med.	60.22	23.34	3.98	24.58	1.55	0.78	0.00	0.20	9.67	16.70	0.80	0.00	1.55	0.00	0.00	4.19	2.67	9.99
24	Res. Casa Indiv.		Alto	84.42	13.72	12.43	19.60	0.70	0.71	7.80	4.77	7.23	12.87	0.35	0.00	2.01	0.00	0.00	5.25	2.53	10.05
25	Res. Apto. Walk - up	Muro Horm	Bajo	53.63	12.39	10.58	27.46	3.66	1.68	4.05	0.29	5.68	15.72	0.31	0.34	0.33	0.00	0.00	7.97	9.54	0.00
26	Res. Apto. Walk - up	Dual	Alto	75.86	9.40	11.95	22.14	2.74	1.04	5.96	0.43	3.40	19.57	0.10	0.41	0.00	0.57	0.00	7.90	8.18	6.23