

Ingeniería de Valor a una Estructura Tipo Almacén para Equipos Militares en Fuerte Allen

Alejandro Fonseca Rodríguez
Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil
Carlos González, Ph.D.
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Agrimensura
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen - En el verano del 2013 la Guardia Nacional de Puerto Rico sometió a subasta pública un proyecto de construcción que consistía en la edificación de una estructura tipo almacén para equipos militares. El diseño y preparación de los documentos de contrato fueron realizados por la oficina interna de diseño de la Guardia Nacional. El presupuesto asignado a la estructura unida a otras disposiciones federales limitaba la adjudicación de este proyecto por un valor no mayor de \$750,000. Unos dieciséis contratistas participaron de esta subasta en donde se recibieron sus propuestas que oscilaban de unos \$699,680 hasta \$1,451,854.79. Después de descartar aquellas compañías que no cumplieron con las disposiciones del pliego de subasta, la junta de subastas no pudo responsablemente adjudicar al mejor contratista, en gran medida por que la oferta ofrecida sobrepasaba el límite antes descrito. La gerencia de la oficina de Ingeniería de la Guardia Nacional ordeno que se realizara un análisis de ingeniería de valor a la facilidad para así, mantener el costo de esta dentro de las disposiciones federales. Este trabajo es el resultado de ese esfuerzo en donde se identificaron dos áreas que pudieron incidir en unos ahorros de \$18,513.05 del presupuesto original asignado. Se analizó de manera separada el impacto de mantenimiento de estas propuestas por el periodo de 25 años que incidieron en ahorros en el costo del ciclo de vida por \$63,018 adicionales.

Términos Claves – “Heating Ventilation & Air Conditioning” (HVAC), Kilovatio Amper (KVA), LED, “Unified Facility Criteria” (UFC).

INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en la edificación de una estructura en hormigón y bloques de

aproximadamente 5,000 pies cuadrados e incluye un área de descarga y despacho de equipo de unos 500 pies cuadrados cada una. El desarrollo del “site” incluye la construcción de estacionamiento para empleados permanentes, visitantes y entrada de camiones con especificaciones militares. Las conexiones de utilidades se encuentran relativamente cerca del límite de la parcela, incluyendo líneas sanitarias y agua potable. Ver Figura 1.

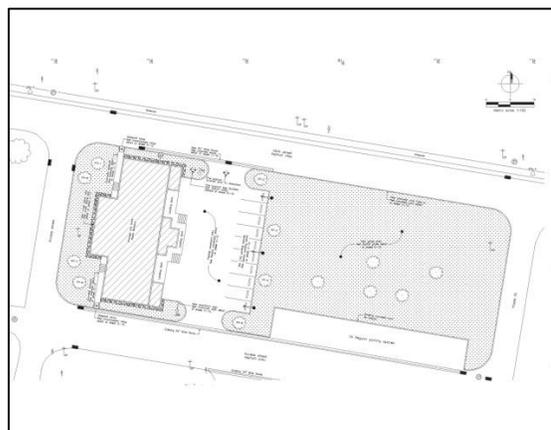


Figura 1
Detalle del “Site” Propuesto

Dentro de algunas especialidades del proyecto se encuentra la instalación de una bóveda especialmente reforzada para el almacenamiento de equipo sensible, instalación de infraestructura necesaria para sistema de alarma especial, exclusivamente para el monitoreo dentro de la bóveda, y un sistema de alarma contra fuego. Baño para empleados y visitantes, instalación de poste nuevo en concreto con transformador de 37.5 Kilovatio Amper (KVA), luminaria externa e interna. El sistema mecánico o HVAC es exclusivo para áreas de oficina.

El presupuesto asignado a la estructura unida a otras disposiciones federales limitaba la

adjudicación de este proyecto por un valor no mayor de \$750,000. Unos dieciséis contratistas participaron de esta subasta en donde se recibieron sus propuestas que oscilaban de unos \$699,680 hasta \$1,451,854.79. Ver Figura 2. Después de descartar aquellas compañías que no cumplieron con las disposiciones del pliego de subasta, la junta de subastas no pudo responsablemente adjudicar al mejor contratista, en gran medida por que la oferta ofrecida sobrepasaba el límite antes descrito.

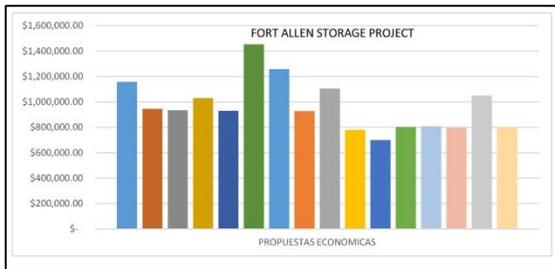


Figura 2
Oferta Inicial de Contratistas al Proyecto

La gerencia de la oficina de Ingeniería de la Guardia Nacional ordeno que se realizara un análisis de ingeniería de valor a la facilidad para así, mantener el costo de esta dentro de las disposiciones federales

No todos los análisis de valor se emplean para bajar costos iniciales a un proyecto, estos análisis pudieran ser extensivos al tiempo de vida de una facilidad. Se analizaría si la inversión inicial pudiera ser recuperada en un tiempo en el futuro. Para este tipo de estructura el gobierno Federal estima que el tiempo de recuperación de inversión con dinero Federal es de unos 25 años.

En todo proyecto de construcción a nivel federal se trabajan con autorizaciones, topes específicos en gastos e utilizando las guías de diseño del “Unified Facility Criteria” (UFC). Las especificaciones de diseño para las fuerzas armadas parten del UFC. Todas las Guardias Nacionales poseen unos parámetros de diseño específicamente delineados para cumplir con cada una de sus autorizaciones.

Las fuerzas armadas, al igual que la Guardia Nacional, están divididas por funciones. Estas funciones se dividen en grupos que comparten y realizan el mismo trabajo, llamadas unidades. Cada

unidad tiene equipos distintos para almacenar, que a su vez inciden en los espacios que necesitan. Esta construcción es para uso exclusivo de una unidad el cual, tiene una autorización mínima de espacio para que pueda ser funcional en términos militares. Conocer estas restricciones permite descartar la eliminación arbitraria de pies cuadrados de construcción y que pudiera invalidar el uso de esta facilidad. Un análisis de valor más profundo se deberá realizar para así llegar al estimado de Gobierno de alrededor de \$700,000. Esta cantidad permitirá un área de espacio de alrededor de \$50,000 antes de sobrepasar el límite federal.

HISTORIA DE LA INGENIERÍA DE VALOR

La disciplina de la Ingeniería de Valor (IV) se inicia por la necesidad en los años cincuenta de sustituir materiales muy escasos en la época debido a la guerra. Harry Erlicker, vice-presidente de General Electric Company, observo que de estas substituciones se obtenían productos mejorados a precios más bajos [1] [2]. Fue entonces que en 1947 comisiono a Lawrence Delos Miles, considerado más tarde como el padre de la Ingeniería de Valor, el desarrollo de técnicas más efectivas para mejorar el valor de los equipos que se manufacturaban.

Los equipos electrodomésticos trabajados por General Electric fueron algunas de las primeras piezas analizadas para incorporar esta nueva técnica. El éxito alcanzado permitió reducir los costos de manufactura sin que el equipo perdiera calidad, rendimiento, y confiabilidad. Este, se puede decir que, fue uno de los mayores logros en la era de la industrialización. La adaptación de estas nuevas ideas y conceptos permitió que países como Japón pudieran aumentar su productividad de manera significativa en los años posteriores a su implementación.

Inicialmente se le conoció como análisis de valor, fue más tarde que se acuño el vocablo de Ingeniería de valor y el que hoy más es aceptado [3]. Fue tan eficiente y revolucionario el nuevo concepto que fue en sus inicios considerado como secreto corporativo. Esto solo atraso su implementación a

otras industrias. No se conoce exactamente cuando estas ideas comenzaron a incorporarse en los proyectos de construcción, ciertamente se conoce que hoy día el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos mantiene un programa robusto de educación en esta área.

El concepto de análisis de valor es bastante sencillo, sin embargo su éxito depende en gran medida en la habilidad de incluir en la discusión de ideas diferentes campos de la ingeniería, arquitectura, y dueños o proponentes [4]. En sus inicios los campos de la ingeniería eran bastante limitados a la Ingeniería Militar e Ingeniería Civil. Más tarde se incluyó la Ingeniería Mecánica, e Eléctrica. Hoy día son muchos los campos e especializaciones, lo que incentiva el pleno desarrollo e evolución de la ingeniería de valor a otros mercados no solo a la industria de la manufactura y construcción.

MÉTODO INGENIERÍA DE VALOR

El método aplicado más aceptado de la Ingeniería de Valor en la industria de la construcción se divide en cinco fases fundamentales [5].

- Primera fase: Información - se requiere una descripción del problema a resolver que en el caso del proyecto es poder identificar posibles cambios al diseño original presentado y que se logre bajar los costos totales de su construcción. Identificar objetivos específicos de cuales son aquellas áreas que se puedan impactar de manera que redunden en beneficios al proyecto en su totalidad. En el análisis inicial de esta estructura de almacén se ha determinado que el modelo de costo es el más adecuado para poder llegar a analizar las funciones de este. Ver modelo de costo propuesto en figura 3.

Cost Model	Value	Legend	Component or System	Project:	STORAGE AND ARMS ROOM BUILDING								
Engineering Study		VE Target:	140.00 \$/GSF	Location:	Fort Allen Training Annex, Juana Diaz PR								
		Actual/Estimated:	143.65 \$/GSF	Phase of Design:	Re-design Value Engineer Study								
				Date:									
Construction Sub-Total		+	Contingency	+	Escalation	+	Construction at Bid Date	Notes:					
\$	139.99							Bldg Type:	Military Supply Building				
\$	143.65							GSF:	5000				
								Const. Type:	Concrete and Masonry				
SITE WORK		BUILDING											
\$	55.86	\$	84.13										
\$	59.30	\$	84.34										
Overhead & Profit		STRUCTURAL	ARCHITECTURAL	MECHANICAL	ELECTRICAL	EQUIPMENT	Gen. Condition Overhead & Profit						
\$	22.65	\$	21.10	\$	34.26	\$	8.18	\$	8.39	\$	-	\$	12.20
	22.65		21.10		34.35		8.18		8.52		-		12.20
Site Preparation		Foundation	Exterior Cloesure	Plumbing	Service and Distribution	Fixed Equipment	Mobilization Expense						
\$	3.36	\$	7.98	\$	4.08	\$	2.70	\$	1.80	\$	-	\$	0.60
	3.36		7.98		4.08		2.70		1.83		-		0.60
Site Improvement		Special Foundation	Roofing	HVAC	Lighting Power	Furnishing	Job Site Overhead						
\$	26.68	\$	-	\$	2.64	\$	2.40	\$	1.40	\$	-	\$	11.60
	29.86		-		2.64		2.40		1.40		-		11.60
Site Utilities		Substruture	Interior Construction	Fire Protection	Special Electrical	Special Construction	Demobilization						
\$	3.17	\$	-	\$	27.54	\$	2.60	\$	-	\$	-	\$	-
	3.44		-		27.63		2.60		-		-		-
Garage		Superstructure	Conveying System	Special Mechanical	Misc Electrical	Window Washer	Office Expense and Profit						
\$	-	\$	13.12	\$	-	\$	0.48	\$	5.19	\$	-	\$	-
	-		13.12		-		0.48		5.29		-		-

Figura 3
Modelo de Costos del Proyecto

- Segunda fase: Especulativa – una vez construido el modelo de costo se identifican las áreas potenciales a reducción, combinando alternativas e ideas. Es en esta fase donde la creatividad del grupo de trabajo se manifiesta de manera más efectiva. El modelo de costo ayuda a reducir líneas de esfuerzos menos evidentes permitiendo una concentración de ideas y propuestas en áreas más específicas y concretas del proyecto. Se puede apreciar directamente de la figura 3 que el área del “site” es una de las pocas funciones que pueden ser analizadas. Es aquí en donde se estudian cómo y cuáles son las alternativas reales de reducción de costos sin que se pierda la calidad, rendimiento y confiabilidad.
- Tercera fase: analítica – ya trabajadas las dos primeras fases se obtiene un producto. Es la fase analítica que corresponde como se prioriza cada una de estas ideas de manera que se puedan escoger las mejores y más efectivas de estas.
- Cuarta fase: propuestas – describen los cambios, presentan estimados y beneficios. Describen las ventajas y desventajas de cada propuesta analizada conducen corridas de ciclos de vida y como comparan con cada una de las alternativas, se presentan los cálculos para que puedan ser evaluados y revisados. Se preparan planos, dibujos y especificaciones de manera que se pueda ejecutar los cambios conforme a lo analizado.
- Quinta fase: presentación – se prepara un reporte detallando de todo lo analizado antes expresado para que puedan ser evaluados por el dueño y se tomen aquellas que beneficien más a este.

APLICACIÓN

El problema principal del proyecto es mantener el presupuesto del mismo por debajo de límite de \$750,000. Sin embargo, la otorgación del proyecto dependerá en gran medida de cuanto los contratistas puedan ajustar sus números y reflejar estos ajustes. El estimado de Gobierno actual sin ningún cambio

propuesto es de alrededor de \$718,226.29. La meta de esta aplicación de la Ingeniería de valor es bajar el estimado de gobierno a unos \$700,000 lo que permitirá tener unos \$50,000 de diferencia antes de llegar al límite permitido. La Figura 3 preparada para este proyecto identifica las áreas con potencial de ahorros; trabajos en el “site” eléctrico y civil.

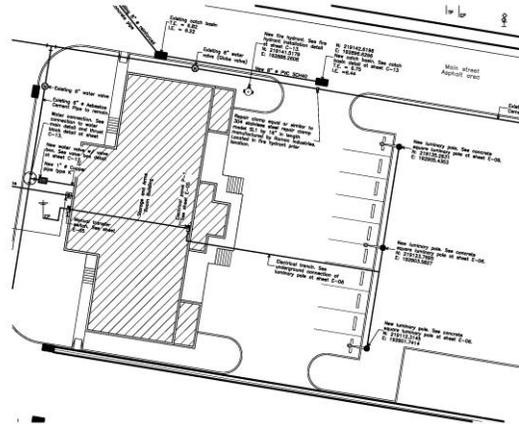


Figura 4
Línea Soterrada Eléctrica

Se recomienda la eliminación de línea soterrada eléctrica propuesta de unos ciento cincuenta pies lineales que incluye: excavación de material existente, instalación y compactación de material selecto, Instalación de tubería eléctrica según el detalle de construcción (ver Figura 6) y cierre posterior de la trinchera. La nueva luminaria se propone que sea solar con una batería para operar durante la noche. Se recomienda la sustitución del pavimento flexible en el área designada para estacionamientos de aproximadamente 525 metros cuadrados. El detalle de construcción existente para este pavimento flexible incluye remoción de material e instalación y compactación de material selecto con una sub-base de asfalto y una capa final de asfalto fino.

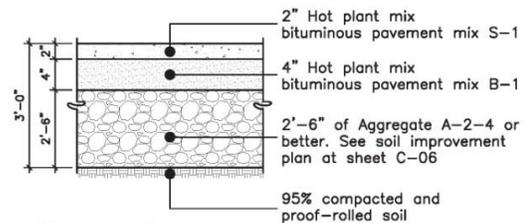


Figura 5
Detalle de Pavimento Flexible

Se estima que ambas propuestas son viables para su implementación de manera inmediata. El proyecto inicialmente fue diseñado contando ya con parámetros bastante definidos y limitados al uso exclusivo de la unidad militar en particular. Es por esto que el análisis de ingeniería de valor se limitó a potenciales cambios al diseño original propuesto.

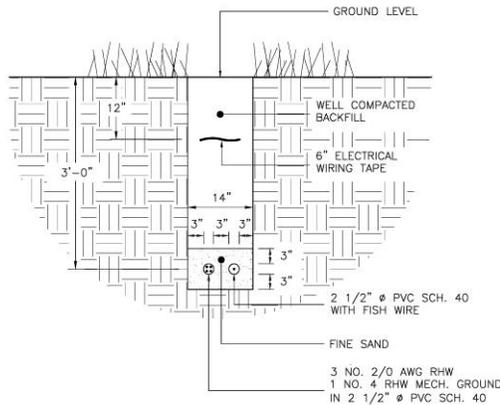


Figura 6
Detalle de Línea Soterrada Eléctrica

El primer cambio propuesto es la eliminación de tubería soterrada eléctrica que sirve para la conexión de tres postes de alumbrado de estacionamiento frente al estacionamiento propuesto. Ver Figura 4. Los trabajos asociados a esta instalación incluye la disposición de 30 yardas cubicas de material, la instalación y compactación de aproximadamente 25 yardas cubicas de material selecto, instalación de trescientos pies lineales de tubería eléctrica, y aproximadamente cinco yardas cubicas de cemento. Los ahorros estimados directos son de aproximadamente de \$7,008.55. El segundo cambio propuesto es la sustitución del asfalto flexible propuesto de acuerdo al detalle de construcción Figura 5, por un pavimento rígido de acuerdo al detalle de construcción, Figura 7. La sustitución del asfalto flexible por rígido significaría un ahorro estimado de \$11,504.50.

Estos dos cambios propuestos redundarían en una rebaja directa al estimado de gobierno de alrededor de unos \$18,513.05 muy cerca de la meta propuesta de \$18,226.29. Estos cambios también se complementan cuando se analiza cada una de ellas su ciclo de vida. El ciclo de vida de cada una de las

propuestas también se calcula para poder comparar si efectivamente estas son de impacto cuando se compara el costo inicial de inversión. La primera propuesta es la eliminación de línea soterrada y sustitución de lámpara tipo metal-halide por una tipo “Light-emitting Diode” (LED) el cual tiene un tiempo estimado de vida del doble de la lámpara propuesta. El ciclo de vida de un asfalto rígido comparado con uno flexible es de casi dos veces de acuerdo al nivel de servicio esperado para esta nueva losa de hormigón. El costo de reemplazo de la losa flexible propuesta es de \$63,018.00 a los diez años de su uso.

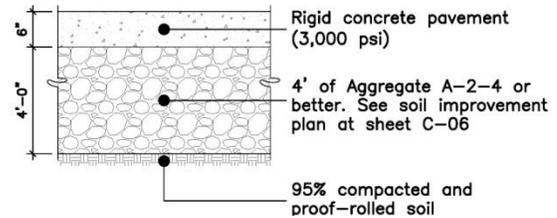


Figura 7
Detalle de Pavimento Rígido

RESULTADOS

De los estimados de la línea soterrada eléctrica se observa que el costo directo de no realizar esta partida reduce el valor total de la obra en \$7,008.55, ver Figura 8.

La evaluación de costos del estacionamiento es calculado tomando como base primero los materiales, equipo y mano de obra utilizada para realizar esta. La Figura 9 muestra el diferencial en costos del pavimento flexible y pavimento rígido totalizando unos \$8,809.50 en ahorros y que sumado a los \$2,695.00 de costos asociados a la construcción se traduce en ahorros por \$11,504.50.

Cuando se suman ambas propuestas el resultado neto es una reducción de \$18,513.05 del estimado de costos original. En la Figura 10, se puede observar qué valores fueron los más impactados con los cambios propuestos. Desde el punto de vista de la Ingeniería de Valor el cambio más significativo lo es el “site improvement” que mostro una diferencia de 11% de reducción seguido por el “site utilities” con un 8% de reducción.

Estimado De Costo Línea Soterrada	
Actual	\$ 7,008.55
Propuesto	\$ -
Diferencial	\$ 7,008.55

Figura 8
Comparación de Costos Línea Soterrada

Costos Área de Estacionamiento	
Estimado Pavimento Flexible	\$ 63,018.00
Estimado Pavimento Rígido	\$ 54,208.50
Diferencial	\$ 8,809.50
Seguros, Overhead, Profit	\$ 2,695.00
Total	\$ 11,504.50

Figura 9
Comparación de Costos Área de Estacionamiento

De Tabla de Modelo de Costos			
	Valor Actual	VE	Cambio
Site Improvement	\$ 29.86	\$ 26.68	11%
Site Utilities	\$ 3.44	\$ 3.17	8%
Interior Construction	\$ 27.63	\$ 27.54	0%
Service and Distribution	\$ 1.83	\$ 1.80	2%
Misc. Electrical	\$ 5.29	\$ 5.19	2%
Totales	\$ 68.05	\$ 64.38	

Figura 10
Cambios en el Modelo de Costos

La combinación de ambas propuestas reduce el pie cuadrado de construcción en unos \$3.67, permitiendo ahorros por aproximadamente de \$18,513 del total de la obra.

CONCLUSIÓN

La gerencia de la Guardia Nacional de Puerto Rico, implementará los cambios propuestos siguiendo estas recomendaciones. Se espera que el proyecto se publique para subasta este año fiscal que comienza el primero de octubre de 2015. El ejercicio de analizar y optimizar cualquier proyecto de construcción puede ser tan variado como el proyecto mismo. No hay una particular respuesta para cada condición analizada, con lo que si se cuenta es con la metodología de análisis presentada que permite un acercamiento sistemático al problema permitiendo más adelante el desarrollo de ideas y soluciones.

REFERENCIAS

[1] National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 78, *Value Engineering in*

Preconstruction and Construction, Transportation Research Board, National Research Council Washington, D.C September 1981.

- [2] L. D. Miles, *Techniques of Value Analysis and Engineering*, McGraw-Hill Book Company, 1972.
- [3] J. Brown, *Value Engineering a Blueprint*, Industrial Press Inc., 1992.
- [4] K. E. Lewis, W. Chen and L. C. Schmidt, *Decision Making in Engineering Design*, ASME Press 2006.
- [5] A. Dell'Isola, *Value Engineering: Practical Applications... for Design, Construction, Maintenance and Operations*, RSMears John Wiley & Sons, 1997.