

“Life Cycle Cost Analysis” para un Sistema de Reúso de Aguas Grises (Net Zero) Campamento Santiago, Salinas Puerto Rico

Luis Antonio Sepúlveda García

Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil

Carlos González, Ph.D.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Agrimensura

Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen – Este artículo está enfocado en la evaluación y análisis de un sistema de reúso de aguas residuales, maximización de recursos de agua y reducción de consumo energético para el Campamento Santiago en Salinas. El 15 de marzo del 2015, la Oficina del Presidente de Estados Unidos aprobó la Orden Ejecutiva 13693 - “Planning for Federal Sustainability in the Next Decade” [1], en la misma ordena la creación de un plan para reducir el consumo energético, proyectando una reducción del 40 % en el consumo energético en los próximos 10 años. Con esta orden las agencias tienen que crear un plan donde incorpore el proceso para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos de aguas, la instalación de características de infraestructura verde cumpliendo con los requisitos del Gobierno Federal para ayudar con el manejo y conservación de las aguas potables, pluviales y residuales. Debido a la crisis energética que ha afectado a nivel Mundial, el Gobierno Federal ha implementado un plan agresivo para lograr la reducción de consumo energético, es por esta razón que se introduce la técnica del “Life Cycle Cost”, siendo mandatorio para un gran número de agencias implementar los requerimientos de esta técnica. Entre las agencias que comenzaron a implementar este proceso se encuentra la Fuerza Aérea del Ejército de Estados Unidos (US Air Force), la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (USACE) siendo estos últimos quienes publicaron un manual [2].

Términos claves: Aguas Residuales, Maximización, Reducción, Reúso.

INTRODUCCIÓN

El Campamento Santiago es un centro de adiestramiento para unidades conjuntas del ejército

de Estados Unidos que incluyen la Guardia Nacional de Puerto Rico, la Reserva y otras entidades del gobierno de Estados Unidos y de Puerto Rico. El mismo está ubicado en el pueblo de Salinas con una extensión territorial de 11,379 cuerdas. Para mantener las operaciones de esta facilidad se sirve el agua potable de los pozos de los acuíferos del Sur, los cuales se extrae el preciado líquido. Mediante un sistema de bombeo es distribuido a la facilidad a través de tuberías hacia un tanque de reserva que finalmente distribuye el agua por gravedad. El sistema de agua potable opera manualmente, siendo muy ineficiente ya que no cuenta con sistema de medición de producción, no tiene sistema de comunicación para que las bombas operen automáticamente.

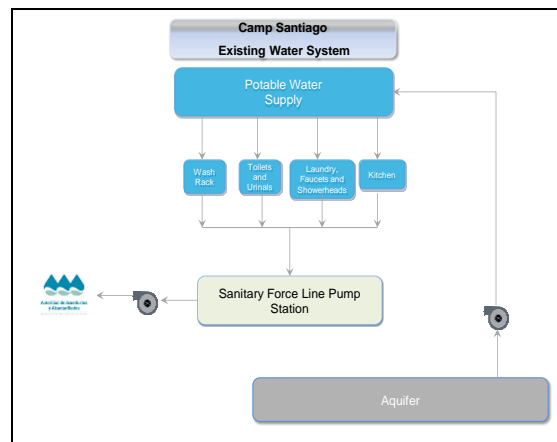


Figura 1
Flujograma de Distribución de Aguas Actual del Campamento Santiago

En cuanto al sistema sanitario la descarga se recibe a una estación de bombas para descargar hacia el sistema alcantarillado de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado, recientemente la AAA presentó una reclamación a la Guardia Nacional de Puerto Rico por la descarga al sistema de alcantarillado sanitario. Ambos sistemas son

obsoletos e ineficientes, resultando en un gran consumo energético significando un alto costo energético en la operación para la Guardia Nacional de Puerto Rico. (Ver Figura 1)

Actualmente se realizan estudios para sustituir las tuberías de agua potable del puesto, ya que las mismas fueron instaladas en la década de los 60's y es evidente la pérdidas por filtración de las mismas, además de los problemas de cumplimiento con el Departamento de Salud por el alto contenido de metales pesados encontrados en muestras recientes. Este proyecto representa un gran avance, pues reducirá grandemente el consumo de agua potable, el consumo energético de las bombas de los pozos de agua potable y así como también las bombas de la línea presurizada del sistema sanitario (Ver Tabla 1).

Tabla 1
Análisis Consumo de Agua Condiciones Actuales

Fixture Type	Quantity	Consumption	Daily Uses	Duration	Occupants	Daily Water Use (gal)	%	65.64	Gal SF
Flush Valve toilets (gallons per flush)	220	7	2	1	10	30,800	14%		
1.6 gpf toilet - male (gallons per flush)*	542	1.6	2	1	10	17,344	8%	997,000.00	RF Camp Santiago
1.0 gpf urinal - male (gallons per flush)	65	1	2	1	10	1,300	1%		
Commercial Lavatory Faucet - 1.1 gpm	900	1.1	2	2	15	59,400	0%		
Kitchen sink - 2.2 gpm	30	2.2	3	15	10	29,700	14%		
Showerhead - 2.5 gpm	650	2.5	1	8	5	65,000	30%		
Washer Machine	16	40	1	1	10	6,400	3%		
Hose bib						5,000	2%		
					Total Daily Water	214,944			
					Annual Work	300			
					Total Annual l	65,443,200			

Calculator: To determine estimated savings, insert occupant values (same as Baseline) and consumption values based on fixtures and fixture fittings installed

Mediante este estudio estaremos recolectando información del consumo energético, las pérdidas de aguas, los costos relacionados a la operación y mantenimiento de estos sistemas. Analizada toda la información estaremos proponiendo mejoras para maximizar el uso de los recursos de agua y de esta forma reducir el consumo energético y colaborar con el sistema ecológico del área.

Definiciones

Aguas residuales recicladas: Efluentes generados por la planta de tratamiento de aguas residuales tratadas hasta un nivel que es apropiado para ser utilizado en otra aplicación (normalmente tratada al nivel que sea seguro para el contacto humano pero no el consumo).

Agua residual recuperada: Son aguas que pueden ser utilizadas en aplicaciones tales como sistemas de irrigación, inodoro y urinario, lavado, instalaciones de lavado de vehículos y la utilización de agua para torre de enfriamiento de acondicionadores de aire.

Aguas negras: Aguas recibidas de inodoros y urinarios junto con residuos de cocina.

Aguas grises: Agua de lavabos, baños, duchas y lavanderías residenciales que pueden ser tratadas y reutilizadas. No incluye el agua de los fregaderos o lavaplatos.

Reutilización de agua (Reúso): El uso de agua residual tratada para un uso, como riego o enfriamiento industrial.

METODOLOGÍA

La metodología para el análisis de costo del ciclo de vida del proyecto es un análisis sistemático de costos, con una exclusión profunda de los costos, durante un período de estudio, en relación inicial costos y gastos futuros del procedimiento técnico de descontar los costos futuros para presentar valores.

- Recopilación de Data:* El primer paso es identificar toda información relacionada a los componentes de la operación de la facilidad y la información disponible de los procesos ambientales relacionados. En este proceso es importante documentar toda información relacionada a la operación del sistema incluyendo identificación de facilidades, producción de equipos, procesos de operación, análisis de eficiencia de equipos (consumo energético), gastos operacionales incluyendo los costos de los recursos para la operación de las plantas de tratamiento y las bombas sanitarias, los costos de reparación y reemplazo de equipos.
- Análisis y Creación de Alternativas:* Una vez recibida toda la información se procede a analizar la misma y presentar las diferentes posibles alternativas que lleven al producto final. Este análisis tiene que incluir lo siguiente; identificación del lugar donde se propone el

proyecto incluyendo localización, identificar equipos especializados o innovadores, procesos de viabilidad de construcción, equipos, materiales, cronograma de trabajo, función de la operación y optimización energética.

- c) *Predicción de los Costos de Ciclo de Vida, “Life Cycle Cost Prediction”* [3]: En este proceso se identifican los costos actuales de operación, mantenimiento, mejoras al sistema y reparaciones de equipos para extender la vida útil del sistema propuesto.
- d) *Análisis Económico de Costo*: Finalmente se procede a realizar un análisis de costo utilizando el método de ciclo de vida anual “LCC Annualized Method”. Este proceso está dividido en tres partes:
- 1) Se identifican los costos de las propuestas u otras inversiones de mejoras capitales.
 - 2) Identificar todos los costos futuros relacionados a los gastos de reemplazo y residuales, llevándolos al valor presente.
 - 3) Los datos de salida que lleva todo costo equivalente valor actual y equivale al de una línea de base común del gasto anual utilizando el factor de recuperación de capital o pago período necesario para pagar un préstamo de \$ 1.00.

ANÁLISIS

La propuesta de este proyecto incluye el proceso de análisis mediante la técnica de “Life Cycle Cost” para demostrar la reducción del consumo energético cumpliendo con la Orden Ejecutiva del Presidente de Estados Unidos de reducir un 40 % del consumo energético, la conservación de los recursos de agua y lograr impactar el ambiente aportando al sistema ecológico del área.

El agua potable que se utiliza en el “Camp Santiago Joint Maneuver Training Center” (CSJMTC) proviene de pozos de los acuíferos del Sur y opera un sistema sanitario por gravedad que descarga al alcantarillado de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado. (Ver Figura2). Actualmente se encuentra en proceso de diseño la

sustitución de las tuberías de transmisión y distribución de aguas para eliminar la situación actual de metales pesados provenientes de las tuberías existentes deterioradas y la reducción de salideros en la línea.

Una vez se construya la planta de tratamiento de agua potable y se instalen las nuevas tuberías de distribución se estará recomendando la sustitución de los equipos de baño por equipos más eficientes logrando una reducción en el consumo de agua de un 29.6 %.

Tabla 2
Análisis Consumo de Agua luego Sustitución de Equipos de Baño a unos Eficientes

Fixture Type	Consumpt	Dail y	Duration	Occupants	Daily Water Use (gal)	46.22	Gal/ SF
1.28 gpf toilet - male (gallons per flush)	762	1.28	2	1	15	29,261	997,000.00
0.5 gpf urinal - male (gallons per flush)	65	0.5	2	1	10	650	SF Camp Santiago
Commercial Lavatory Faucet - 5 gpm	900	0.5	2	2	15	27,000	
Kitchen sink - 2.2 gpm	30	2.2	3	15	10	29,700	
Showerhead - 2.5 gpm	650	2.5	1	8	5	65,000	
Washer Machine	16	25	1	1	10	4,000	
					Total Daily Volume	151,611	
					Annual Work Days	300	
					Total Annual Usage	46,083,240	
					Annual Savings	19,359,960	
					% Reduction	-29.6%	

Se propone diseñar una nueva planta de tratamiento de aguas grises y una de aguas usadas de tratamiento secundario, eliminando el sistema sanitario presurizado existente que descarga al sistema alcantarillado de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado. Asimismo, establece el método por el cual se mejoren los procesos de tratamiento de una forma eficiente y se pueda considerar la construcción de las plantas de tratamiento, la eliminación de la descarga al sistema de alcantarillado de la AAA.

APLICACIÓN

La primera fase incluye la construcción de una planta de tratamiento y desinfección para mejorar la calidad de agua proveniente de los pozos. Además incluye la sustitución de las tuberías de aguas la cuales fueron instaladas en la década de los 60’, reduciendo las perdidas y eliminando el problema de contaminación de metales pesados. Esta fase

representa una reducción de un 13 % en el abasto de agua debido a las pérdidas de las tuberías (Ver Figura 2).

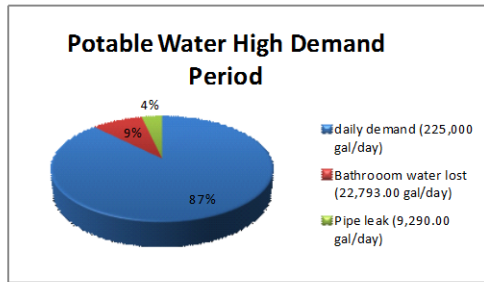


Figura 2
Demanda Diaria de Consumo de Agua

La segunda fase propone la sustitución de los equipos sanitarios por equipos más eficientes. Esta fase representa una reducción de un 29.0 % del volumen producido proveniente de los pozos de agua.

La tercera fase incluye la implementación y la construcción de un sistema de aguas grises, el cual requiere, la instalación de tuberías y tanques de almacenamiento. Con este sistema se propone recibir las aguas de las duchas y de las lavadoras para ser utilizados en los inodoros, la estación de lavado de vehículos “Washrack” los sistemas de protección de incendio del campamento, además de tener abasto de agua para manejar los fuegos forestales, protegiendo los abastos de aguas de los acuíferos. (Ver Figura 3)

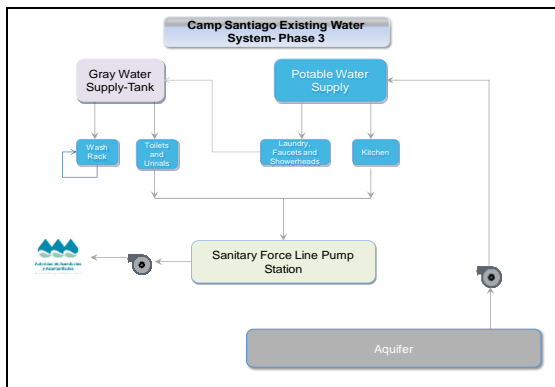


Figura 3
Distribución Propuesta para Reúso de Aguas en Fase III

La cuarta fase incluye la construcción de un sistema de tratamiento para aguas residuales, que provea agua para el potable cumpliendo con los estándares de calidad y los requerimientos de las

EPA. Con este sistema se proyecta tener una facilidad completamente sustentable reduciendo al mínimo el uso de las aguas de los pozos. Esta propuesta incluye la construcción de una planta de tratamiento secundaria la cual provea agua potable para las operaciones requeridas en la base. El propósito de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales es eliminar la descarga al sistema de alcantarillado de la Autoridad de Acueductos, creando una fuente de abasto al reutilizar las aguas de una forma eficiente, creando un sistema de consumo Net Zero. (Ver Figura 4)

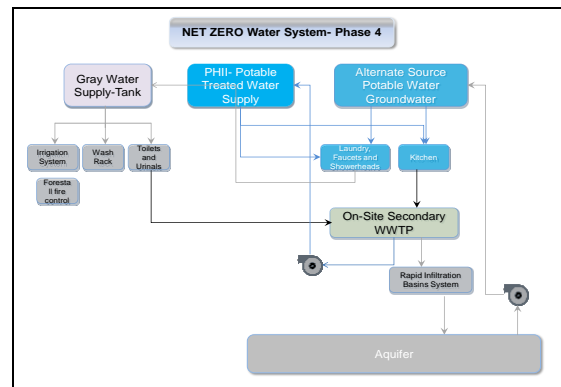


Figura 4
Distribución Propuesta para Reúso de Aguas en Fase IV

Además de reducir el costo energético relacionado a la estación de bombeo sanitario como resultado de este sistema propuesto, se reduce el uso energético de la estación de bomba de los pozos de agua potable ya que las aguas reutilizadas serán almacenadas para el uso doméstico (Inodoros y urinarios) reduciendo de esta forma el agua proveniente de los pozos.

Además propone que en el proceso de reúso toda el agua que se utilice para la limpieza de la planta y para la disposición del lodo biológico será dirigida a unos lechos de secado o lagunas. Todo el agua de este proceso será inyectado a los acuíferos, colaborando de esta forma a que podamos regenerar los mal tratados acuíferos de esta área. Esta propuesta nos provee la flexibilidad de tener los abastos necesario para atender cualquier situación climática y mantener unas operaciones permanentes sustentables.

Las fases están diseñadas para ser construidas con los ahorros y la reducción de costos relacionados a las mejoras que redundaran en economías para el gobierno y una gran oportunidad para mejorar la infraestructura.

RESULTADOS

Para el análisis base de la producción de los pozos y la demanda pico se utilizó la data recopilada por la compañía Gregory L. Morris Engineering, la cual ha sido contratada por a Guardia Nacional para realizar el diseño de la planta de tratamiento. Con esta información que incluía el análisis de las presiones existentes durante diferentes periodos, se determinó la demanda de las facilidades, además de identificar la pérdida del sistema. Como resultado se pudo evidenciar que con la sustitución de las tuberías se corrigen las pérdidas del sistema resultando en una reducción de 12.48 %. (Ver Tabla 3).

Tabla 3
Análisis de Demanda y Pérdidas de Agua

Daily demand (225,000 gal/day)	87.52%
Bath room water lost (22,793.00 gal/day)	8.87%
Pipe leak (9,290.00 gal/day)	3.61%
Well Supply Daily (257083 gal/day)	
Total Daily Water Lost	12.48%

En la segunda fase se propone sustituir los equipos sanitarios por equipos más eficientes de menos consumo. Esta propuesta significa una reducción de 29.6 del consumo actual resultando en una economía de \$112,600.00 anuales.

Tabla 4
Análisis Consumo de Agua Propuesta Net Zero

Fixture Type	Consumption	Daily Uses	Duration	Occupants	Daily Water Use (gal)	65.64	Gal/ SF
1.28 gpf toilet - male (gallons per flush)	762	1.28	2	1	15	997,000.00	SF
0.5 gpf urinal - male (gallons per flush)	65	0.5	2	1	10	-	
Commercial Lavatory Faucet - .5 gpm	900	0.5	2	2	15	27,000	
Kitchen sink - 2.2 gpm	30	2.2	3	15	10	29,700	
Showerhead - 2.5 gpm	650	2.5	1	8	5	65,000	
Washer Machine	16	25	1	1	10	4,000	
Total Daily Volume					121,700		
		Toilet& Urinals	Reuse water	Other Uses			
Reuse Water - 69,000 gals/day							
Shower head - 65,000 gals/day	29,911	69,000	39,089				
washing machine - 4,000 gals/day					Annual Work Days	300	
					Total Annual Usage	37,110,000	
					Annual Savings	28,333,200	
					% Reduction	-43.3%	

Notes: (1) Values shown in green reflect the consumption of equipment that will be receives water from reuse water provide by a proposed

La tercera fase propone la construcción de un sistema de tuberías y tanques para recolectar las

aguas grises provenientes de las duchas y de las lavadoras para ser utilizadas en los inodoros, y áreas donde se utilizara agua no potable. (Ver Figura 3) Esta fase representa una reducción de un 43.3 % del consumo de agua de los pozos o resultando en una economía anual de \$ 163,328.00. (Ver Tabla 4)

La cuarta fase incluye la construcción de una planta de filtración secundaria la cual permitirá reusar toda el agua tratada para las operaciones de la base incluyendo tener abasto de agua durante los periodos de sequía. El agua de los pozos será utilizado como fuente alterna de abasto en caso de alguna emergencia. El costo total presente a 25 años es de \$5, 102,123. (Ver Tablas 5 y 6)

Tabla 5
Análisis de Costos de Construcción y Operacionales de Sistema de Aguas Grises

	Initial Cost (\$)	Estimated Annual Cost	Costo Actual \$/Annual	Present Worth (25 yrs)10%
Proposed Gray Water Project-				
Gray Water Tank and distribution line			\$ 52,500.00	\$ 476,565.60
Construction Cost	\$ 550,000.00			
Operating Cost./WWTP Package .5 MGD		\$ 27,500.00	\$ 27,500.00	
Maintenance		\$ 15,000.00	\$ 15,000.00	
Replacement cost/ 5 years		\$ 10,000.00	\$ 10,000.00	
PRASA Sanitary Sewer- operation costs			0	
Sub total	\$ 550,000.00	\$ 52,500.00	\$ 52,500.00	\$ 476,565.60
TOTAL				\$ 1,026,565.60

Tabla 6
Análisis de Costos de Construcción de Planta Paquete de Tratamiento Secundaria

	Initial Cost (\$)	Replacement Cost (20 Year)	Estimated Annual Cost	Costo Actual \$/Annual	Present Worth (25 yrs)10%
Proposed NET ZERO Water System -40% reduction					
Operating Cost				\$	-
Proposed WWTP .5 MGD				\$ 53,100.00	\$ 522,222.82
Construction Cost	\$ 625,000.00				
Operating Cost./WWTP Package .5 MGD			\$ 13,500.00	\$ 13,500.00	
Maintenance			\$ 50,000.00	\$ 50,000.00	
Replacement cost/ 3 years			\$ 25,000.00	\$ 25,000.00	
	\$ 625,000.00		TOTAL	\$ 53,100.00	\$ 522,222.82
TOTAL				\$ 1,147,222.82	

CONCLUSIÓN

Podemos concluir del análisis realizado de la relación costo-beneficio de esta propuesta que se podrá alcanzar la meta propuesta en la orden ejecutiva reduciendo un 40% el consumo de agua, se crearán unas facilidades sustentables las cuales

proveerán el agua necesaria en caso de emergencias por sequias, fenómenos atmosféricos o una catástrofe, convirtiendo el Campamento Santiago en un Centro de Operaciones para el Gobierno de Puerto Rico.

Finalmente la aportación ambiental es sumamente importante ya que se reduce el consumo energético como resultado de la reducción por el reúso del agua, se inyectará tanto el sobrante de las aguas a no ser utilizadas así como también las aguas de los lechos de secados de la planta de tratamiento siendo una gran aportación al acuífero del sur.

El análisis realizado mediante el LCC presenta los siguientes resultados los costos de la operaciones actuales proyectadas a 25 años representan un monto total de \$3,454,242.00 (Ver Tabla 7) y los costos de la propuesta con todas las mejoras al sistema para establecer el sistema completo de Net Zero representa un costo de \$5,102,123.00 (Ver Tabla 8).

Tabla 7
Costos Operacionales Actuales

	Initial Cost (\$)	Replacement Cost (10 Year)	Estimated Annual Cost	Original	
				Costo Actual \$/Annual	Present Worth (25 yrs)10%
				Present Cost	Present Worth
Existing Water System Operation Costs					
Sanitary System - Force Line Pump Station				\$ 78,401.03	\$ 711,680.65
Baseline Case	Construction Cost			\$ -	
	Operating cost/ Energy			\$ 3,258.53	
	Manpower cost			\$ 45,142.50	
	Maintenance and Replace cost	\$ 15,000.00		\$ 15,000.00	
	Other Cost (Water test etc.)			\$ 15,000.00	
Potable Water Treatment Plant				\$ 84,485.75	\$ 766,914.33
Baseline Case	Construction Cost			\$ -	
	Operating cost/ Energy			\$ 12,178.75	
	Manpower cost			\$ 47,307.00	
	Maintenance and Replace cost			\$ 10,000.00	
	Other Cost (Water test etc.)			\$ 15,000.00	
PRASA Sanitary Sewer					
	Operating Cost			\$ 217,643.71	\$ 1,975,647.72
Sub total				\$ 380,530.49	\$ 3,454,242.69

La diferencia entre las operaciones actuales y el propuesto proyecto representan una diferencia de \$1, 647,880.00. Los beneficios son sustanciales ya que se convertirá estas facilidades en una completamente sustentable. (Ver Tabla 9)

Esta propuesta será presentada a la oficina de asuntos energéticos del Negociado de las Guardias Nacionales del Gobierno Federal para la obtención de fondos de la planificación, diseño, construcción y operación de la misma.

Tabla 8
Costos de Construcción de Propuesta Net Zero System

	Initial Cost (\$)	Replacement Cost (10 Year)	Estimated Annual Cost	Costo Actual \$/Annual	Present Worth (25 yrs)10%
Case Potable Waterline					
Improvements Potable Water Line and Treatment Installation					
			\$ 22,400.00	\$ 22,400.00	\$ 203,334.66
	Improvements Potable Water Line and Treatment Installation		\$ 22,400.00	\$ 22,400.00	\$ 203,334.66
	Construction Cost	\$ 2,800,000.00	\$ 280,000.00	\$ 14,000.00	\$ 14,000.00
	Operating Cost		\$ 56,000.00	\$ 2,800.00	\$ 2,800.00
	Maintenance		\$ 28,000.00	\$ 1,400.00	\$ 1,400.00
	Replacement cost/ 10 years		\$ 84,000.00	\$ 4,200.00	\$ 4,200.00
PRASA Sanitary Sewer- operation costs				0	
Sub total				\$ 2,800,000.00	\$ 22,400.00
				\$ 22,400.00	\$ 203,334.66
				TOTAL	\$ 3,003,334.66
Case Gray Water System					
Proposed Gray Water Project-					
				\$ 52,500.00	\$ 476,565.60
	Gray Water Tank and distribution line			\$ 52,500.00	\$ 476,565.60
	Construction Cost	\$ 550,000.00			
	WTP Package .5 MGD		\$ 27,500.00	\$ 27,500.00	
	Maintenance		\$ 15,000.00	\$ 15,000.00	
	Replacement cost/ 5 years		\$ 10,000.00	\$ 10,000.00	
PRASA Sanitary Sewer- operation costs				0	
Sub total				\$ 550,000.00	\$ 52,500.00
				\$ 52,500.00	\$ 476,565.60
				TOTAL	\$ 1,026,565.60
Case Waste Water System					
Proposed NET ZERO Water System -40% reduction					
					Original
	Operating Cost			\$ 53,100.00	\$ 522,222.89
	Proposed WWTP .5 MGD			\$ 53,100.00	\$ 522,222.89
	Construction Cost	\$ 625,000.00		\$ -	
	WTP Package .5 MGD		\$ 13,500.00	\$ 13,500.00	
	Maintenance		\$ 5,000.00	\$ 50,000.00	
	Replacement cost/ 3 years		\$ 25,000.00	\$ 25,000.00	
Sub total				\$ 550,000.00	\$ 53,100.00
				\$ 53,100.00	\$ 522,222.89
				TOTAL	\$ 1,072,222.89
				TOTAL	\$ 5,102,123.15

Tabla 9
Relación de Costos de LCC de Sistema Actual vs Net Zero

	25 years projection	Costo Total Actual \$/Annual	Total Present Worth (25)
Existing Water System		\$ 380,530.49	\$ 3,454,242.69
Proposed NET ZERO Water System - 40% reduction			\$ 5,102,123.14
LCC Result		\$ 380,530.49	\$ (1,647,880.45)

REFERENCES

- [1] Executive Order 13693, "Planning for Federal Sustainability in the Next Decade".
- [2] Engineering and Construction Bulletin. ECB No. 2015-7 SUBJECTS: Life Cycle Cost Analysis Requirements for the Design Phase of USACE Buildings, Central Energy Systems and Associated Supporting Facilities.
- [3] A. Dell'Isola, *Value Engineering: Practical Applications for Design, Construction, Maintenance & Operations*, RSMears John Wiley & Sons, 1997.