



Gloriam Marrero Llavona
 Consejero: Héctor J. Cruzado, PhD
 Escuela Graduada

Resumen

Este proyecto evaluó alternativas para modernizar el sistema de alarma contra incendios y notificación masiva del Edificio 29, una Reserva del Ejército de los Estados Unidos en Puerto Rico. El sistema existente presentaba obsolescencia tecnológica, deficiencias de cobertura y falta de cumplimiento con los requisitos actuales de seguridad. Para abordar esta situación, se analizaron tres alternativas de modernización: reemplazo total del sistema, modernización parcial e integración tecnológica. La evaluación se realizó mediante el método de matriz de decisión ponderada, considerando criterios técnicos, normativos, operacionales y económicos, incluyendo cumplimiento normativo, confiabilidad del sistema, continuidad operacional y capacidad de expansión futura. Los resultados obtenidos indicaron que el reemplazo total del sistema alcanzó la mayor puntuación global, destacándose por su desempeño consistente en los criterios de mayor relevancia.

Introducción

El Edificio 29, también conocido como Edificio C o *Unit Storage Building*, forma parte del complejo de instalaciones PR012 de la Reserva del Ejército de los Estados Unidos en Puerto Rico. Su función principal es servir como espacio de almacenamiento y apoyo operacional para unidades militares, por lo que la continuidad de operaciones y el cumplimiento con los requisitos de protección de vida resultan esenciales para la misión institucional. Sin embargo, el sistema de alarma contra incendios y notificación masiva se encontraba obsoleto, carecía de capacidad de notificación por voz, presentaba deficiencias de cobertura y no cumplía con los criterios unificados del *Unified Facilities Criteria* (UFC) ni con las normas vigentes aplicables de la *National Fire Protection Association* (NFPA), lo que comprometía la seguridad y la capacidad de respuesta ante emergencias.

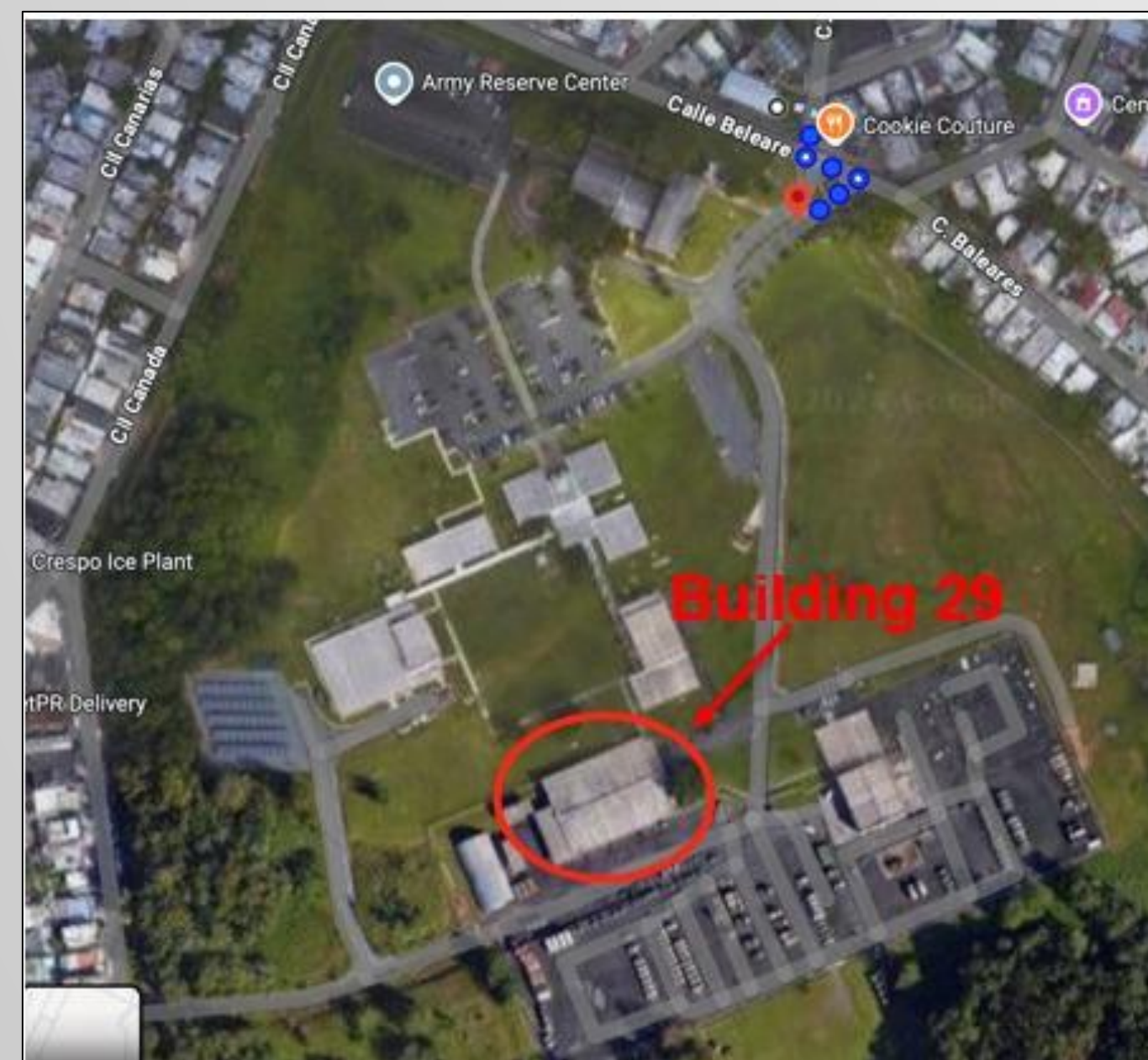


Figura 1
 Edificio 29 o *Unit Storage Building*

Problema

El problema radicaba en la necesidad de modernizar el sistema de detección y notificación para lograr un diseño integral, direccionable y conforme a los estándares actuales. La condición existente generaba riesgos en términos de fallas de notificación, incumplimientos de inspección, vulnerabilidades operacionales y posibles impactos en la seguridad del personal y del material almacenado.

Objetivo

El objetivo de este proyecto fue identificar la alternativa de modernización más viable para el sistema de alarma contra incendios y notificación masiva del Edificio 29, de modo que se garantizaran el cumplimiento normativo, la confiabilidad técnica, la continuidad operacional y la seguridad del personal y de las instalaciones. Para apoyar la toma de decisiones, se evaluaron y compararon distintas alternativas de modernización mediante la aplicación de una matriz de decisión ponderada.

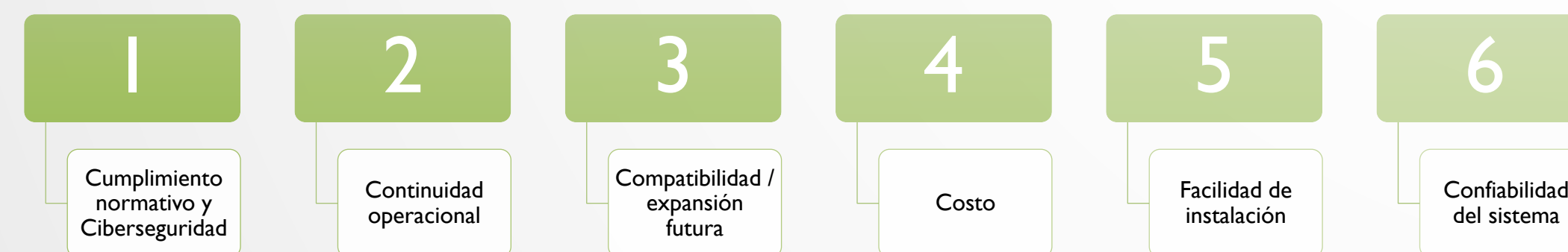
Metodología

La metodología que se utilizó para evaluar las alternativas de este proyecto se fundamentó en el método de matriz de decisión, una herramienta analítica utilizada en el campo de la ingeniería para comparar opciones mediante criterios ponderados. Este método proporcionó una base objetiva para identificar la alternativa más viable desde el punto de vista normativo, operativo, técnico y económico.

El primer paso consistió en revisar detalladamente el estado existente del edificio y la normativa aplicable al proyecto con el fin de identificar las necesidades funcionales y las deficiencias. A partir de esta evaluación, se definieron las tres alternativas principales a considerar:



Posteriormente, se definieron los criterios utilizados en la matriz de decisión para comparar las alternativas:



Los pesos asignados a cada criterio se definieron mediante un proceso de juicio experto, el cual incluyó una jerarquización previa de su importancia relativa dentro del proyecto. En primer lugar, se ordenaron los criterios considerando el cumplimiento de los requisitos (UFC) y las normas de la NFPA, el impacto de cada criterio en la operación del edificio y las mejores prácticas de ingeniería en sistemas de alarma y notificación. A partir de esta jerarquización, se asignaron pesos proporcionales que reflejaran la relevancia relativa de cada criterio. Finalmente, esta ponderación preliminar fue revisada y validada con el cliente para asegurar que la matriz representara adecuadamente las prioridades operacionales del Edificio 29 y no únicamente un enfoque técnico.

Cada alternativa fue evaluada utilizando una escala numérica del 1 al 5, donde:

- 1 representa un desempeño deficiente o no satisfactorio,
- 3 representa un desempeño aceptable o intermedio, y
- 5 representa un desempeño sobresaliente o altamente satisfactorio

Los valores intermedios (2 y 4) se utilizaron para reflejar desempeños parciales o situaciones donde una alternativa cumplía parcialmente con el criterio, pero no alcanzaba el nivel máximo o mínimo de desempeño. Las puntuaciones asignadas a cada alternativa se multiplicaron por los pesos correspondientes y se sumaron para obtener un puntaje ponderado total.

Resultados y Análisis

Los resultados de la Tabla 1 muestran que la alternativa de reemplazo total del sistema obtuvo la mayor puntuación, siendo la mejor en los criterios con mayor peso, especialmente en cumplimiento normativo y ciberseguridad, confiabilidad del sistema y compatibilidad con futuras expansiones. Por otro lado, las opciones de modernización parcial e integración tecnológica obtuvieron la misma puntuación total, lo que indica que ambas logran un desempeño global similar bajo la estructura de pesos definida. Este resultado confirma que las tres alternativas analizadas son técnicamente viables, pero también demuestra que cada una de ellas responde a los criterios definidos de manera diferente, lo que exige un análisis más detallado de sus implicaciones técnicas, normativas y operacionales.

Tabla 1
 Matriz de Decisión Ponderada

Criterio	Peso	Alternativas					
		Reemplazo total		Modernización parcial		Integración tecnológica	
		Calificación	Puntuación Ponderada	Calificación	Puntuación Ponderada	Calificación	Puntuación Ponderada
Cumplimiento normativo y ciberseguridad	0.25	5	1.25	3	0.75	4	1
Continuidad operacional	0.20	4	0.8	5	1	4	0.8
Compatibilidad / expansión futura	0.15	5	0.75	3	0.45	4	0.6
Costo total (instalación + ciclo de vida)	0.15	2	0.3	4	0.6	3	0.45
Facilidad de instalación	0.05	2	0.1	4	0.2	3	0.15
Confiabilidad del sistema	0.20	5	1	3	0.6	3	0.6
Total			4.20		3.60		3.60

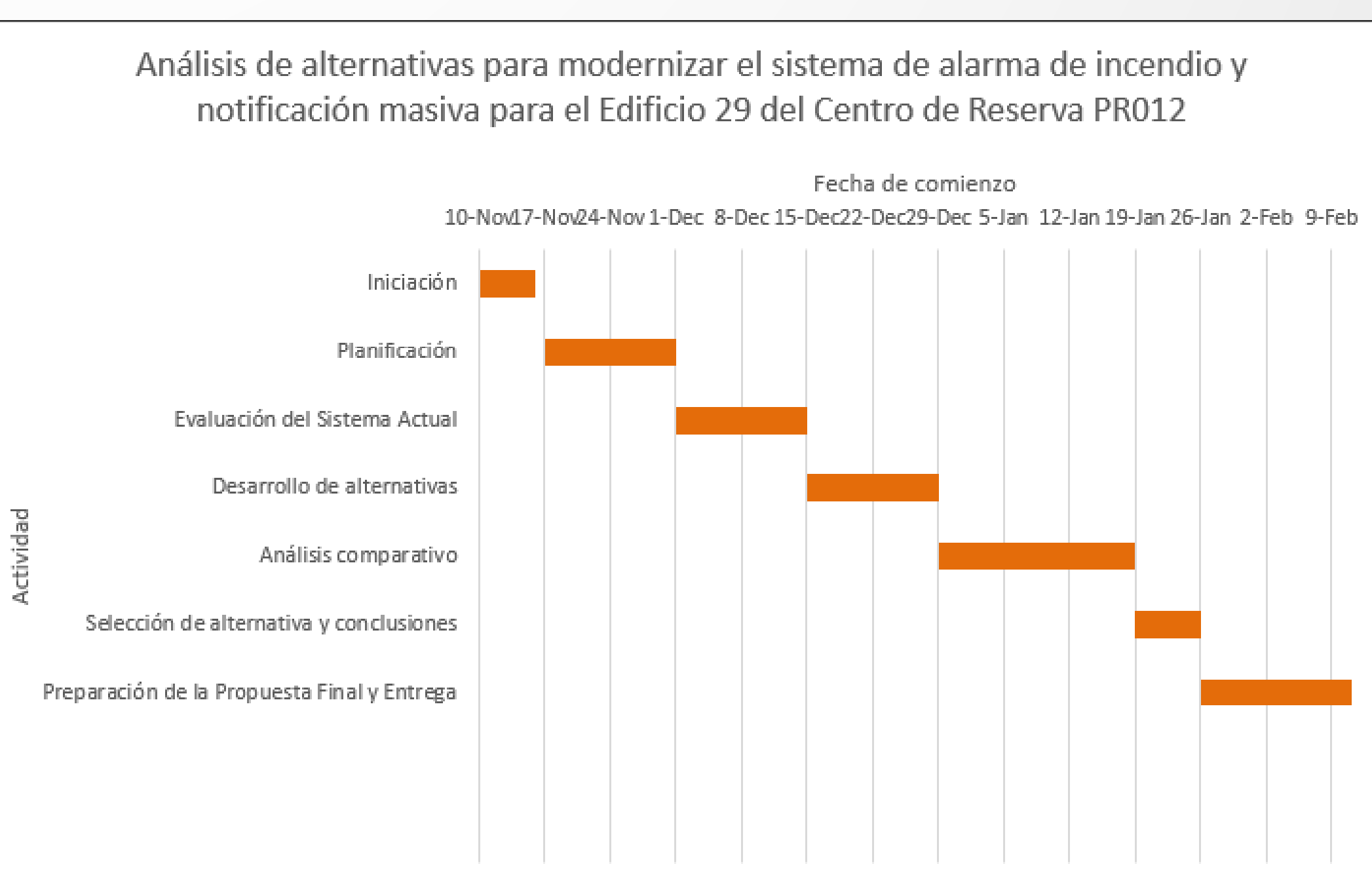


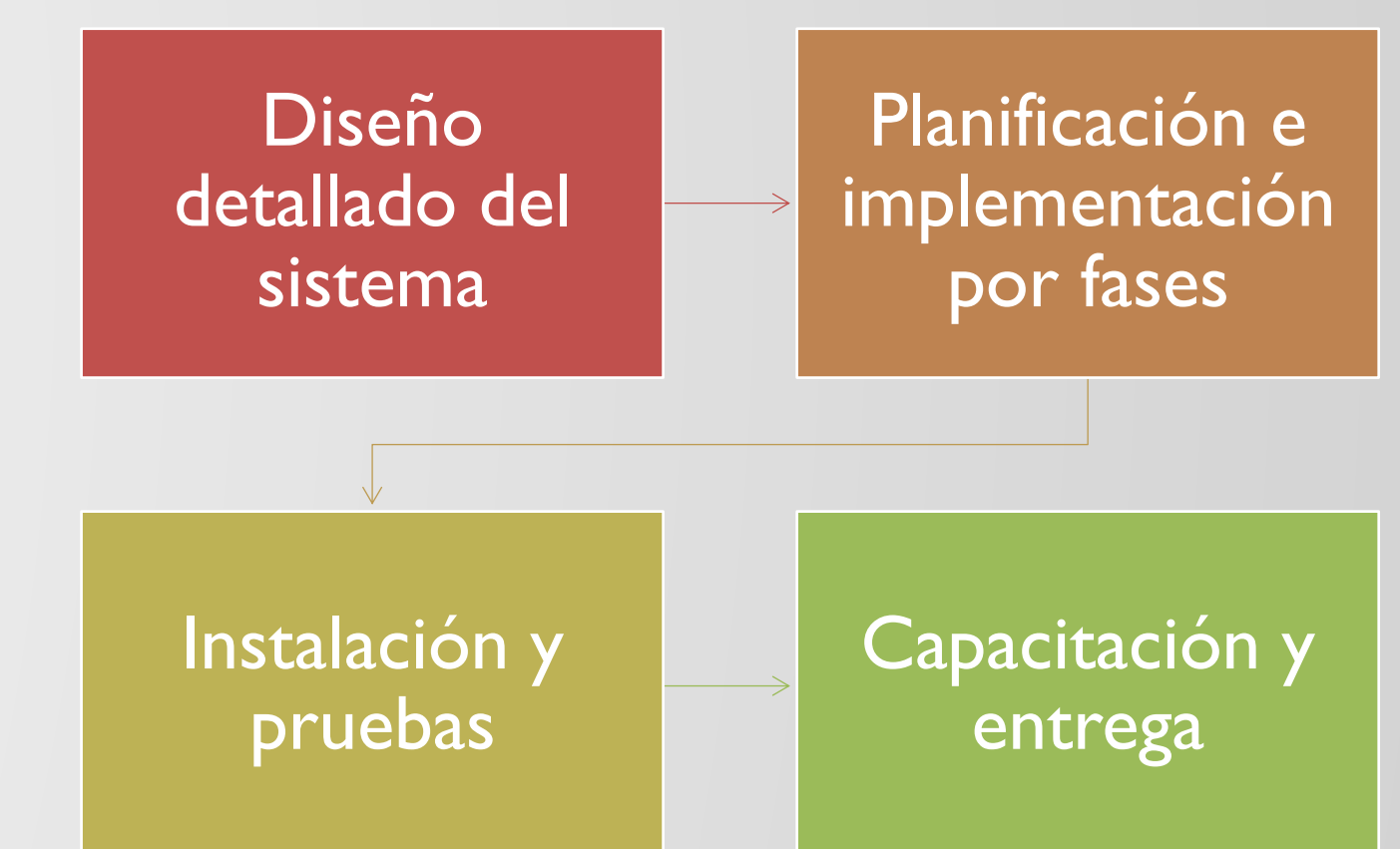
Figura 2
 Cronograma del proyecto, representado mediante un diagrama de Gantt.

La Figura 2 presenta el cronograma del proyecto, mostrando las fases desarrolladas y la secuencia temporal de las actividades realizadas para el análisis y selección de la alternativa de modernización del sistema.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluyó que la sustitución completa del sistema de alarma y notificación de incendios del Edificio 29 es la mejor alternativa para alcanzar los objetivos del proyecto. Esta alternativa proporciona la mejor solución en términos de cumplimiento normativo, confiabilidad del sistema y capacidad de adaptación a futuras necesidades de la instalación. Aunque las opciones de modernización parcial e integración tecnológica ofrecen beneficios específicos, ambas tienen limitaciones en términos de dependencia de la infraestructura actual y mayor nivel de incertidumbre técnica. En el contexto operativo del Edificio 29, donde la seguridad del personal y la continuidad operacional son primordiales, es preferible implementar soluciones que minimicen riesgos y garanticen un rendimiento confiable a largo plazo. Por tal razón se recomienda un sistema totalmente nuevo, diseñado de acuerdo con las normas actuales del UFC y NFPA, como la mejor solución para satisfacer las necesidades técnicas, normativas y operacionales de la instalación.

Próximos Pasos



Agradecimiento

Mi sincero agradecimiento al Dr. Héctor Cruzado, por su valiosa mentoría, orientación y apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Su experiencia y retroalimentación fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo. Asimismo, agradezco a los profesores de la Escuela Graduada de la Universidad Politécnica de Puerto Rico, quienes contribuyeron significativamente a mi formación académica y profesional.

Referencias

- [1] Enz, C.A., & Thompson, G.M. *The Options Matrix Tool: A Strategic Decision-making Tool*. Cornell Hospitality Tools, Vol. 4, No. 1, 2013. <https://ecommons.cornell.edu/server/api/core/bitstreams/582e640e-9a31-4f9e-b1ee-bcd32363eb2e/content>
- [2] Blagojević, B., Al-Kilidar, H., & Khan, M. *Decision Matrix Method for Evaluating Sustainable Infrastructure Projects*. *International Journal of Construction Education and Research*, Vol. 19, No. 4, 2023. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2023.2192774>
- [3] Hammerberg, T.P. *Cybersecurity and Fire Alarms: New Requirements in the 2025 Edition of NFPA 72*. *Electrical Contractor Magazine*, enero 2025. <https://www.ecmag.com/magazine/articles/article-detail/cybersecurity-and-fire-alarms-new-requirements-in-the-2025-edition-of-nfpa-72>
- [4] Briese, B.L., & Libby, R. *Replacement of Fire Alarm Systems in Existing Buildings*. *SFPE Fire Protection Engineering Extra*, Issue 6. Society of Fire Protection Engineers. <https://www.sfpe.org/publications/fpemagazine/fpeextra/etarchives/fpeetissu6>
- [5] Lazebnik, R., & Fetter, J. *How the Right Mass Notification System Can Save Lives*. *Primera Engineers*, 2020. <https://primeraeng.com/wp-content/uploads/2020/06/Mass-Notification-Systems-2020.pdf>