DESARROLLO DE UN PROYECTO, CON ENTIDADES GUBERNAMENTALES DE DISTINTOS PAÍSES, INSERTO EN LAS INSTALACIONES DE UN OBSERVATORIO INTERNACIONAL DE RADIO ASTRONOMÍA

F. MORA, C. BOZ

National Radio Astronomy Observatory (NRAO), 520 Edgemont Road, Charlottesville, VA 22903, USA.

RESUMEN

El proyecto consiste en el desarrollo de una instalación deportiva multipropósito, dentro de las instalaciones del observatorio radio astronómico “Atacama Large Millimeter/submillimeter Array” (ALMA), el cual es una asociación internacional, entre el gobierno estadounidense, la unión europea y Japón, en cooperación con la República de Chile. Dado que el proyecto involucra diferentes interesados, se procedió a desarrollar encuestas tendientes a valorar cuáles eran los principales requerimientos (técnicos, operatividad, ubicación y estratégicos) que el staff de ALMA, las gerencias y los socios ejecutivos esperaban de esta instalación. Luego, se dio inicio al proceso de licitación. Este proyecto estuvo sujeto a diferentes procesos de revisión a lo largo de todo su desarrollo, por parte de ALMA y sus socios ejecutivos.

Palabras clave: NRAO, ALMA; llave en mano; procesos de revisión; interesados.

ABSTRACT

The project consists of the development of a multipurpose sports facility, inside of the astronomical radio observatory site "Atacama Large Millimeter / Submillimeter Array" (ALMA), which is an international association, between the US government, the European Union and Japan government, in cooperation with the Republic of Chile. Since the project involves different stakeholders, we proceeded to develop surveys to assess what were the main requirements (technical, operational, location and strategic) that ALMA staff, managers and executive partners expected from this facility. Then, the bidding process began. This project was subject to different stage gate processes along its development, by ALMA and its executive partners.

Keywords: NRAO, ALMA; turnkey contract, stage gate process, stakeholders.

RESUMO

O projecto consiste no desenvolvimento de uma instalação desportiva polivalente, dentro das instalações do Observatório Astronómico de Rádio "Atacama Large Millimeter / Submillimeter Array" (ALMA), que é uma associação internacional, entre o governo dos EUA, a União Europeia e o Japão, em cooperação com a República do Chile. Como o projeto envolve diferentes partes interessadas, procedeu-se ao desenvolvimento de pesquisas para avaliar quais eram os principais requisitos (técnicos, operacionais, localização e estratégicos) que os funcionários, gestores e parceiros executivos do ALMA esperavam desta instalação. Então, o processo de licitação começou. Este projecto foi sujeito a diferentes processos de revisão ao longo do seu desenvolvimento, pelo ALMA e pelos seus parceiros executivos.

Palavras-chave: NRAO, ALMA; contrato turnkey, revisar processos, interessados.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en el desarrollo de una instalación deportiva multipropósito, en un contrato llave en mano, a suma alzada. Dicho proyecto ha sido desarrollado por la National Radio Astronomy Observatory (NRAO), dentro de las instalaciones del observatorio radio astronómico “Atacama Large Millimeter/submillimeter Array” (ALMA), el cual es una asociación internacional, entre del European Southern Observatory (ESO), la National Science Foundation (NSF) y el National Institutes of Natural Sciences (NINS) de Japón, junto con NRC (Canadá), NSC y ASIAA (Taiwán) y KASI (República de Corea), en cooperación con la República de Chile. En este punto, cabe señalar que la NRAO es el organismo del gobierno estadounidense, que tiene la NSF para el desarrollo de todos los proyectos de radio astronomía.

El observatorio se encuentra ubicado en el norte de Chile, específicamente en la zona cordillerana del desierto de Atacama.

El proyecto nace a partir de la promesa entregada por la dirección de ALMA, en el inicio de las operaciones del observatorio, cuando se comprometió con el staff de ALMA el desarrollo de una instalación deportiva multipropósito, que permitiría realizar deportes tales como, fútbol sala, basquetbol, vóleibol y tenis. Para ello, se requería que la instalación tuviera espacio suficiente para una carpeta deportiva, con las demarcaciones de espacio oficiales de los distintos deportes, a ser albergados. Además, el recinto deportivo debía incluir un espacio a ser usado como gimnasio, baños para hombres, mujeres, y personas con movilidad limitada; una sala de primeros auxilios, una bodega, una sala eléctrica, un cuarto de máquinas, y salidas múltiples. Además, afuera de la instalación debía generarse un espacio para un estacionamiento, a ser usado por una ambulancia, y una ruta de acceso personal que una esta nueva instalación deportiva, con las instalaciones ya existentes en el sitio.

Ahora, dado que el proyecto involucra diferentes interesados, con distintos grados de interés e injerencia, se procedió, como primer paso, a desarrollar encuestas tendientes a valorar cuáles eran los principales requerimientos que el staff de ALMA, las gerencias y los socios ejecutivos esperaban de esta instalación, tanto del punto de vista técnico, operatividad, de ubicación, y estratégico.

Una vez que estaban acotados los requerimientos y las autorizaciones para ejecutar este proyecto, se dio inicio al proceso de licitación y a la solicitud de los recursos necesarios a la NSF para ejecutarlo.

Dicho proyecto estuvo sujeto a diferentes procesos de revisión. Los primeros, se desarrollaron durante el proceso de licitación, siendo parte de este proceso la NRAO, ALMA y la NSF. Luego, durante el desarrollo de ingeniería y construcción, se llevaron a cabo otros procesos de revisión, por parte de ALMA y sus socios ejecutivos. En estas revisiones y durante el desarrollo del proyecto, se debió gestionar con suma delicadeza las comunicaciones con los distintos interesados, y analizar en cada caso, qué elementos o acciones del proyecto debían ser consultadas y cuáles eran parte y potestad de la gestión propia de la NRAO.

Todo lo anterior, expresa el enorme desafío que significó ejecutar un proyecto con tantos interesados, algunos de ellos con visiones disímiles de cuál debía ser el alcance y forma de ejecutar el proyecto. Otro factor importante fue que uso de presupuestos fiscales y controles fiscales de las entidades gubernamentales, durante la ejecución del proyecto.

En los siguientes apartados, se pretende entregar una visión de cómo se ejecutó este proyecto y las complejidades que éste tuvo a lo largo de su desarrollo.

2. ALCANCE DE UN PROYECTO INSERTO EN UNA INSTITUCIÓN INTERNACIONAL

El “Atacama Large Millimeter/submillimeter Array” (ALMA) es el mayor proyecto astronómico existente, es un sólo telescopio de diseño revolucionario, compuesto por 66 antenas de alta precisión ubicadas en la meseta de Chajnantor, a 5000 metros de altitud, en el norte de Chile. La construcción y las operaciones de ALMA se llevan a cabo través de Norteamérica, por el National Radio Astronomy Observatory (NRAO), administrado por Associated Universities, Inc. (AUI), y través de Europa, mediante la ESO. A las entidades gubernamentales anteriores, se le suma la National Astronomical Observatories of Japan (NAOJ).

El sitio de ALMA, ubicado en la comuna de San Pedro de Atacama, en la Segunda Región de Chile, se divide en dos áreas. Una de ellas, está ubicada en la meseta de Chajnantor, a 5000 metros sobre el nivel del mar, llamada Array Operations Site (A.O.S., en sus siglas en inglés), donde se encuentran ubicadas las antenas. La otra área es el Servicio de Apoyo a las Operaciones (O.S.F., sus siglas en inglés), a 2900 metros sobre el nivel del mar, donde se ubican las instalaciones de operaciones y hostelería (ver “Figura 1”).

Figura 1: Ubicación de las instalaciones de ALMA-OSF (ALMA-Carlos Padilla, 2019)

La instalación deportiva estará ubicada en la Instalación de Apoyo a Operaciones (OSF, en sus siglas en inglés) de ALMA, frente a la nueva Residencia ALMA, en una plataforma pre-tratada, conformada por un relleno estructural (ver “Figura 2”)

Figura 2: Ubicación de la nueva instalación deportiva, dentro de ALMA-OSF

Esta nueva instalación deportiva es un proyecto desarrollado por el socio estadounidense del proyecto ALMA. Estados Unidos gestiona los fondos gubernamentales para la ciencia a través de la National Science Fundation (N.S.F., en sus siglas en inglés), quien se apoya en National Radio Astronomy Observatories (NRAO, en sus siglas en inglés), para todos los proyectos relacionados con radio astronomía.

Ahora, tomando en cuenta que la NRAO fue creada para desarrollar ciencia; y que, por ende, no tiene una estructura altamente desarrollada para ejecutar proyectos de infraestructura física, se requería que el proyecto fuera desarrollado por un sólo contratista, que se hiciera cargo de todas las fases del proyecto (ingeniería, compras de equipos y sistemas a ser instalados, construcción, montaje y comisionamiento de equipos), y un formato de contrato que involucre un equipo de proyecto mínimo, por parte del cliente (NRAO), lo que implica que el contratista asuma el riesgo total de llevar a cabo este proyecto.

3. DEFINICIÓN DE LOS INTERESADOS Y SUS ALCANCES

Para entender el alcance de los interesados, se debe entender cómo funciona administrativamente la relación entre los socios ejecutivos y ALMA. A continuación, en las “Figura 3” y “Figura 4”, se presentan esquemas, con la relación política y administrativa entre socios ejecutivos y ALMA; y las distintas áreas de ALMA, con el comité ejecutivo.

Al momento de analizar y entender las interrelaciones entre interesados, se debe tomar en cuenta las complejidades de gestionar un proyecto, donde deben unificarse, o a lo menos entenderse, las necesidades de gestión de un equipo de proyecto, y los requerimientos y alcances de los interesados. Al respecto, se escrito mucha literatura técnica que analiza con detalle estos eventos (Eskerod & Vaagaasar, 2014) (Aatonen, 2010) (Aaltonne & Silvonen, 2009) (Freeman, Harrison, Wicks, Parmar, & De Colle, 2010), (Eskerod & Huemann, 2013), (Maurer, 2010) y (Kadefors, 2004)

Figura 3: Relación política-administrativa entre los socios y ALMA

Figura 4: Organigrama de ALMA

Al ser una instalación deportiva, que será operada y mantenida por ALMA; NRAO desarrolló el proyecto, desde su concepción, entendiendo que esta instalación debía atender a los requerimientos del staff de ALMA, a su plana ejecutiva y socios. Por lo mismo, se analizó el nivel de interés y nivel de injerencia que cada uno de los cargos ejecutivos y asociaciones dentro de ALMA; tenían dentro del proyecto. En este punto, cabe señalar que dentro del ALMA hay un sindicato y una asociación que une todas las disciplinas deportivas y actividades de esparcimiento, que se desarrollan dentro de las instalaciones del observatorio.

Luego, dentro de este análisis, lo primero que se desarrolló fue definición a los interesados del proyecto, aplicando las herramientas y metodologías de PMI (ver “Figura 5”).

Interesado	Desconocedor	Reticente	Neutral	De apoyo	Líder
Interesado 1	C			D	
Interesado 2			C	D	
Interesado 3				D C	

Figura 5: Matriz de poder/interés de los interesados basada en el PMI (PMBok 6a Ed., 2017)

Dentro de los interesados en el proyecto, se identificaron cargos claves en cada uno los socios ejecutivos (EEUU, Japón y UE), dentro del comité ejecutivo de ALMA (ver “Figura 4”), gerentes de área dentro del observatorio, que tendrían relación con la revisión de proyecto; y su posterior operación y mantención. Finamente, representantes de la asociación de recreación de ALMA y sindicato de trabajadores, los cuales serían parte de los usuarios finales.

Una vez analizados los potenciales interesados en el proyecto, se procedió a analizar su nivel de injerencia en el proyecto, aplicando una matriz de poder/interés, de acuerdo a las buenas prácticas del PMI (ver “Figura 6”).

Figura 6: Matriz de poder/interés de los interesados basada en el PMI (PMBok-Guide-Fifth Edition, 2013)

Una vez realizado este análisis, se concluyó que los socios ejecutivos de ALMA tenían un interés alto en el proyecto, y un poder alto, durante la estructuración del proyecto. De igual manera, el grupo de alta gestión de ALMA, CMT (Core Management Team, en sus siglas en inglés) fue considerado un

interesado con muy alto interés y un poder alto durante el inicio, la ejecución y el cierre del proyecto. Por lo mismo, a este último grupo, se le reportó mensualmente el avance de las principales actividades del proyecto, de acuerdo al plan de comunicaciones del proyecto. En este punto, cabe señalar, que en algunos casos el interés y poder de los interesados van cambiando, es decir, es una matriz dinámica a lo largo del tiempo de ejecución del proyecto, debido a cambios de rol o asignaciones de responsabilidades nuevas, o porque algún interesado tiene interés en alguna etapa específica del proyecto, y no en todo, tal como ha ocurrido en otros proyectos interdisciplinarios, en otras industrias (Aaltonen, Kujala, Hevala, & Savage, 2016) y (Yang, Wang, & Jin, 2014)

Con respecto a la asociación de recreación de ALMA, a este grupo se lo invitó a ser parte activa en la recolección de los principales requerimientos que los usuarios deseaban que esta instalación tuviera. También, posteriormente, se les invitó a ser parte de la evaluación técnica de las ofertas, durante el proceso de licitación. Finalmente, al sindicato se lo involucró en el proyecto, de la misma forma que al staff de ALMA, tomando en cuenta sus requerimientos a partir de una encuesta enviada a todos los trabajadores del Observatorio.

Además, durante el período de desarrollo del proyecto, se hicieron charlas informativas a todo el personal, con el fin de mantenerlos informados de los avances del proyecto y principales decisiones tomadas, tanto en el diseño, como en la entrega de la instalación al área de operaciones de ALMA.

4. DESARROLLO Y DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS

Para la definición de requerimientos, se debieron tomar en cuenta diversos factores, que se mencionan a continuación:

4.1 Restricciones

4.1.1 *Presupuestarias*

Dado que el presupuesto para el desarrollo de este proyecto proviene de fondos fiscales del gobierno de Estados Unidos, éste debía ser respetado al máximo, y por mismo debían priorizarse los requerimientos mínimos de la nueva instalación deportiva.

4.1.2 *Mantenimiento durante la operación*

Una de las exigencias que habían puesto los socios ejecutivos y el directorio de ALMA, era que los costos y tiempos de mantenimiento debían ser mínimos, a fin de evitar aumentar el presupuesto anual de ALMA, por motivo de la operación de la instalación deportiva.

4.1.3 *Técnicas*

El principal requerimiento técnico era que la instalación debía tener espacio y altura suficiente para permitir el desarrollo de deportes, tales como fútbol, basquetbol, voleibol y tenis.

La estructura debía mimetizarse con el entorno. Esto es, ser visualmente armónico con el paisaje que lo rodea, y con el resto de las instalaciones de ALMA.

4.1.4 *Requerimientos de seguridad de ALMA*

De acuerdo a los requerimientos de seguridad de ALMA; el complejo deportivo debía tener una capacidad máxima de 50 personas.

4.1.5 *Cumplimiento de normativas*

La instalación, considerando los acuerdos tomados por ALMA con el gobierno de Chile, no puede emitir contaminación lumínica. Por lo tanto, no se podía emitir luz hacia fuera de dicha instalación.

Por otra parte, se debían cumplir con las normativas medioambientales y estándares de diseño de ALMA; y de las normas, códigos y leyes chilenas

4.2 Expectativas de los usuarios

4.2.1 Encuesta a los usuarios

Para poder capturar las expectativas de los usuarios, se generó una encuesta, enviada a todo el personal de ALMA, abierta durante un mes, donde se hacían tres preguntas. La primera consultaba qué disciplinas deportivas, de la lista que aparecía en la encuesta, había practicado la persona durante el último año y con qué frecuencia durante el turno de trabajo (8 días seguidos en el observatorio/ 6 de descanso). Dentro de la lista, se mencionaba fútbol, fútbol sala, tenis, ping-pong, basquetbol, voleibol, uso de máquinas de gimnasio, artes marciales y ejercicios combinados de fuerza y resistencia. Las respuestas arrojaron que las disciplinas deportivas más practicadas eran el uso del gimnasio, y fútbol sala.

En la segunda pregunta, se consultaba si había disciplinas deportivas que el usuario quisiera realizar, y que no aparecían en la lista de la primera pregunta. Las respuestas arrojaron que las disciplinas no convencionales que más expectativas generaban eran Yoga y Pilates.

En la tercera pregunta, se le solicitaba al encuestado que ordenara los atributos que él más valoraría en esta nueva instalación. Dentro la de lista de atributos consultados estaba: tipo y calidad de piso; sectores para otras disciplinas (aparte de la cancha multipropósito), altura del techo, baños, espacios para graderías, sistema de ventilación y estética del edificio. Las respuestas arrojaron que los atributos más priorizados eran tipo y calidad del piso, sectores para realizar otras disciplinas, ventilación y altura del techo.

4.2.2 Charlas con grupos focalizados

Con los resultados de las encuestas, se procedió a genera charlas con grupos focalizados (Focus Groups, en su denominación anglosajona), separados por deporte. Cabe señalar, que esta herramienta ha sido utilizada en muchos proyectos, para lograr un mejor entendimiento de la cultura, comunicaciones y liderazgos dentro de proyectos en medio ambientes dinámicos, con resultados muy favorables (Collyer, 2017). De esta manera, se focalizó el interés en los deportes más practicados. Dentro de estas charlas se realizaron cuatro preguntas. La primera era qué tipo de piso era mejor, de acuerdo al deporte a ser practicado. Las respuestas arrojaron que una carpeta “indoor” certificada por las asociaciones internacionales de los principales deportes, era la mejor opción.

La segunda pregunta era si practicarían más deportes en una multicancha techada. La respuesta fue que practicarían más deportes, ya que estarían protegidos de las inclemencias del clima.

La tercera pregunta era en qué utilizarían un potencial espacio adicional en la instalación. La respuesta principal fue que un gimnasio con máquinas.

La última pregunta consistía en saber si era necesario controlar la temperatura de la instalación deportiva. La respuesta fue que lo más deseado era que tuviera ventilación, no necesariamente control de temperatura.

4.2.3 Charlas con las gerencias del ALMA

Durante todo el período de recopilación de antecedentes y requerimientos, se mantuvieron charlas con las distintas áreas de ALMA. A partir de estas charlas, se concluyó la importancia de que fuera una estructura de bajo costo de mantención y operación, de bajo consumo eléctrico, con una capacidad máxima de 50 personas, con espacio para una sala de primeros auxilios, estacionamiento para una ambulancia, baños y accesos para personas con movilidad limitada, sin emisión de luz al exterior, mimetizado con el paisaje del desierto de atacama, con conexiones a los servicios de luz, agua, alcantarillado y fibra óptica en las cercanías del hotel del observatorio, requerimiento de un sistema detección y extinción de incendios, con sistema de pararrayos, accesos peatonales que se acercaran a las actuales vías peatonales del observatorio, medidas de protección caminera, entre otros.

4.2.4 Charlas con el director de ALMA

De las charlas con el director de ALMA, se concluyó que había una urgencia por llevar a cabo este proyecto a la brevedad, ya que era parte de los acuerdos con el sindicato, pero tomando en cuenta las restricciones presupuestarias para llevarlo a cabo.

5. LICITACIÓN DEL PROYECTO Y CONTRATO

Una vez recopilados todos los requerimientos, tanto técnicos, operacionales y económicos, se procedió a generar la documentación necesaria para iniciar un proceso de licitación. Dentro de los documentos generados, estaba el alcance del trabajo y las bases técnicas. En ambos, se hacía referencia a los requerimientos de espacio, estéticos, operacionales y de seguridad que debían tener. Todo lo anterior, en concordancia con los requerimientos recopilados en etapas anteriores.

El flujo de actividades en esta etapa, se describe en la “Figura 7”.

Figura7. Proceso de licitación

Cabe señalar, que la oferta adjudicada no era la más económica, pero si la mejor evaluada técnica y estratégicamente. Técnicamente, porque ofrecía una estructura de hormigón armado, con vigas de madera lamina en el techo y por encima de éstas, una doble membrana a tensión de alta calidad y resistencia, de amplio uso en las instalaciones deportivas modernas. Además, estratégicamente, era la opción que cumplía de mejor manera con los requerimientos de los interesados en el proyecto; y, por ende, potenciales futuros usuarios.

Una vez adjudicado, se procedió a la firma de un contrato en modalidad llave en mano, a suma alzada, donde el riesgo se le transfería íntegramente al contratista. Lo anterior, al ser requerimientos entregado durante el proceso de licitación, generó que el contratista valorizara ese riesgo y lo agregara como parte de su oferta económica, prorrateado en los diferentes ítems a ser valorizados.

6. ETAPA DE INGENIERÍA

Una vez firmado el contrato, se procedió a la ejecución de las ingenierías de las diferentes disciplinas que involucraba este proyecto. Durante este período, dada la complejidad de los sistemas eléctricos, de protección contra incendios, sistema de pararrayos y sistemas de comunicaciones, a través de fibra óptica, se procedió a incorporar a las áreas relacionadas de ALMA, con los diseños en las áreas de su competencia. Es así, cómo el sistema de protección contra incendios, los planes de gestión de riesgo y seguridad del proyecto fueron revisado, comentados, y finalmente validados por el departamento de seguridad y medio ambiente de ALMA. En el caso del diseño del sistema eléctrico y de pararrayos, estos fueron revisado durante su desarrollo por el especialista eléctrico y sistemas de pararrayos de ALMA. Para efectos de validar la ingeniería entregada por el contratista, se procedió a utilizar el proceso “Etapa-Puerta”, (“Stage-Gate”, en su definición anglosajona original). Ahora, dadas las revisiones mencionadas anteriormente, al término de la ingeniería, ya habían disciplinas que habían sido revisadas por las áreas pertinentes de ALMA; antes del proceso de revisión del diseño final del proyecto. Cabe señalar, que esta metodología de revisión es ampliamente utilizada en proyectos multidisciplinarios, en diversas industrias, tal como se muestra en la diversa literatura científica al respecto (J, H, & P, 2015); (S, M, & A, 2017); (K & G, 2016); (P, M, & J-H, 2017); (P O. , 1994))

7. PROCESO STAGE GATE AL TERMINO DE LA INGENIERÍA

El término de la etapa de ingeniería, fundado en la conformidad de NRAO respecto a los planos y documentos del proyecto, concluyendo en la emisión de un databook con la totalidad de la documentación generada, dio paso a la etapa de filtro aprobatorio del proyecto por parte de ALMA, llamado revisión crítica del diseño (CDR, por sus siglas en inglés).

CDR es la revisión que verifica que los elementos diseñados, satisfacen los requerimientos especificados, con el objetivo de verificar la compatibilidad entre los elementos, infraestructura, software y personal; evaluando los riesgos de cada elemento. (ISO/IEC, 2017).

El CDR, es un proceso que se relaciona principalmente con la disciplina denominada Ingeniería de Sistemas (SE, por sus siglas en inglés). Esta rama de estudio, masificada en la industria informática, aeroespacial y defensa; y estandarizada como metodología en el sector público estadounidense, está orientada al desarrollo de proyectos y organizaciones, desde una perspectiva holística y sistémica.

La ingeniería de sistemas, se entiende como el enfoque robusto al diseño, creación y operación de sistemas, a través de la identificación de los objetivos del sistema, creando diseños alternativos del sistema, selección del diseño más apropiado, verificación que es construido correctamente, y evaluar la implementación de los objetivos y requerimientos” (NASA, 1995).

Uno de los desafíos iniciales, fue el consensuar la forma y contenido esperado de la documentación requerida para el CDR, dado que el enfoque de la ingeniería de sistemas, si bien es consecuente con el enfoque de la metodología del Instituto de dirección de proyectos (PMI, por sus siglas en inglés), no tiene la misma lógica a la hora de entender el ciclo de vida el proyecto, tal y como se muestra en la “Figura 8” y “Figura 9”; y por consecuencia, la información requerida para el CDR, no estaba estructurada de la forma esperada para esta instancia.

Figura 8: Esquema de ciclo de vida Metodo-V, utilizada por la Ingeniería de sistemas y pensada principalmente en el desarrollo de prototipos. (Federal Highway Administration (FHWA), 2015)

Figura 9: Esquema de ciclo de vida PMI (PMBOK 6a Ed., 2017)

Una de las principales adecuaciones solicitadas, previo a la presentación de la documentación para el CDR, fue el desarrollo de una matriz de verificación de requerimientos, la cual listaba los requerimientos de alto nivel del proyecto, describiéndolos técnicamente, otorgándoles un peso por criticidad de impacto y estableciendo los criterios de aceptación, debiendo estos ser verificados, durante el proceso de finalización del proyecto, como instrumento de control de entrega del proyecto ejecutado al usuario final.

Para esto, se debió realizar una compilación que tomaba elementos de los planes de inspección y ensayos desarrollados durante la ingeniería para el control de la ejecución, con los requisitos levantados durante etapas tempranas del proyecto, logrando de esta forma, una matriz de verificación acorde a los requerimientos del proceso.

La organización del proceso, además de la matriz de verificación, solicitó la entrega de los planes de gestión, programa del proyecto, presupuestos y otros documentos contractuales. Sin embargo, en la premisa que este proyecto se gestionaba bajo la total responsabilidad de NRAO, no se consideró aceptable proporcionar documentación que pudiera contener información sensible y/o susceptible de calificarse como confidencial, por parte de la organización, sumado al hecho que, por las particularidades organizacionales de ALMA, cualquier antecedente interno, podría ser utilizado como herramienta, voluntaria o involuntariamente, para intervenir u opinar sobre temáticas del proyecto, lo cual hubiera complejizado la gestión de los interesados del proyecto y el manejo de las expectativas.

En la misma línea, se restringió, por parte de NRAO hacia los revisores de ALMA, el tipo de comentarios posibles de ser realizados a los planos y documentos del proyecto, donde enfáticamente, no fueron aceptados los comentarios que tuvieran que ver con modificaciones al diseño, adiciones al alcance técnico, incorporación de equipamiento e infraestructura no contemplado en la configuración del proyecto. Esto tiene dos elementos clave que argumentan la inflexibilidad en la postura de NRAO. En primer lugar, los alcances del proyecto fueron definidos en la fase de inicio, donde se levantaron y calificaron los requisitos de usuario a través de diversas instancias de reuniones, grupos focales y encuestas, dejando establecidas las necesidades y cerrando un modelo de alcance, con el cual se desarrollaron las bases de licitación. En segundo lugar, el proyecto fue totalmente financiado con fondos públicos provenientes principalmente de la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos. (NSF, por sus siglas en inglés), la cual autoriza la financiación del proyecto mediante la adjudicación

del contrato. El costo del proyecto, al tener una naturaleza pública, es inmodificable, obligando a tener contratos altamente restrictivos en materia de gestión de cambios y estableciendo alcances de proyecto rígidos y detallados en sus requerimientos.

Bajo estas premisas, el proceso de revisión crítica de diseño duró aproximadamente un mes, durante el cual se levantaron más de cien comentarios, que en su mayoría eran de forma. Sin embargo, una cantidad no despreciable de comentarios buscaban la inclusión de elementos que estaban fuera del alcance, como algunas rutas pedestres, internet inalámbrica y equipamiento, los cuales fueron aclarados en la reunión de cierre del CDR, donde se realizó una presentación del proyecto y se discutieron, presencialmente, uno a uno los comentarios que a la fecha de la reunión aún estaban abiertos, dejando inmediato precedente, que el alcance del proyecto no es modificable.

Como resultado, el proceso tuvo un término exitoso, siendo autorizada la ejecución del proyecto, dentro de las instalaciones de ALMA.

8. ETAPA DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

Tras obtener el proyecto el visto bueno para su ejecución, por parte de ALMA, se iniciaron las coordinaciones necesarias para la movilización a terreno de la empresa contratista y el equipo de gestión del proyecto de NRAO.

Durante este periodo, comenzaron a hacerse evidentes una serie de patologías, propias de la subestimación, por parte del contratista, de las dificultades inherentes al desarrollo de proyectos de construcción en zonas remotas, de relativo aislamiento, lo cual se justificó en la nula experiencia de la empresa constructora en este tipo de locaciones. Entre las más relevantes, se puede mencionar la elaboración de un programa de construcción altamente optimista (incluso pensando en un proyecto desarrollado en zonas urbanas), nula gestión de negociaciones y proveedores antes de la movilización y escasa gestión de la adquisición de mano de obra.

Una vez en terreno, comenzaron a manifestarse de inmediato las primeras consecuencias de las patologías antes mencionadas. El contratista, mediante el programa de construcción, comprometió el inicio de los movimientos de tierra el primer día de ejecución, lo cual, en el *lex artis*, es un error desde el punto de vista programático, comenzando verdaderamente la actividad con dos semanas de demora. Esto generó un proyecto que, ya en sus inicios, comprometió un impacto a la ruta crítica del programa, evidenciando atrasos.

Durante las primeras semanas de construcción, el proyecto también comenzó a evidenciar la poca experiencia del equipo de gestión del contratista, en el manejo de proyectos de estas características, como así mismo, la inadecuada capacidad técnica para abordar los desafíos técnicos y logísticos de la construcción en locaciones remotas de clima extremo, como es ALMA. Lo anterior, generó en el corto plazo, a una alta rotación de Gerentes de Construcción, Encargados de Calidad y Jefes de terreno, la cual se extendió en prácticamente la totalidad del ciclo de vida del proyecto. Esto, ha sido evidenciado en otros proyectos (Daniel Mulanga, Granja, & De Andrade Ruiz, 2015).

Ya en esta etapa muy temprana del proyecto, se debió comenzar a hacer gestión de las expectativas a los usuarios finales, estableciendo rangos de fechas de entrega extremadamente globales, de forma que los atrasos, para efectos de percepción del usuario final, se disolvieran en un rango semestral.

Una vez terminados los movimientos de tierra, el contratista comenzó a realizar labores de hormigón de limpieza, enfierraduras y moldajes de las fundaciones del edificio. En esta etapa, se manifestó una nueva patología, la mano de obra inadecuada. (Luoma-aho, Olkkonen, & Lähteenmäki, 2013)

El contratista, basado en una política de austeridad, dados los limitados márgenes del proyecto, buscó contratar mano de obra en los pueblos cercanos al observatorio, los cuales son principalmente rurales, armando una dotación de trabajadores que no tenían experiencia en construcción tecnificada, limitando sus labores pasadas a remodelaciones menores de viviendas y similares. Como consecuencia de aquello,

el trabajo de enfierraduras, colocación de moldajes y vaciado de hormigón, se realizó con desprolijidad, generando todo tipo de patologías del hormigón en las superficies acabadas, tanto de muros, losas y fundaciones.

La reiterativa desprolijidad del trabajo realizado, sumada a la nula intención de aplicar las acciones correctivas necesarias para cumplir con los requisitos de calidad, obligó a tomar la decisión de congelar todos los trabajos de vaciado de hormigón, hasta que el contratista diera respuesta a los requerimientos de las no-conformidades generadas por el cliente.

Durante este proceso, el tercer Gerente de construcción del contratista, fue desvinculado del proyecto, reforzando cada vez más la ya altísima rotación que tenían los puestos claves del proyecto. Debido a esto, los trabajos del contratista fueron detenidos en múltiples ocasiones, dado que no contaba con profesionales suficientes para abordar las responsabilidades de la construcción.

En aquel momento, el proyecto llevaba un avance físico cercano al 55% y una expectativa de línea base pronosticada en 99%. Adicionalmente, el contratista declaraba formalmente, un sobre costo del proyecto cercano al 25% del monto total del contrato.

9. PROCESO STAGE GATE AL TERMINO DE LA CONSTRUCCIÓN

Para efectos de realizar la entrega del proyecto al observatorio ALMA, se estableció, como es usual, un proceso de “punchlist” con el contratista, a fin de validar internamente los detalles de la construcción y la verificación de alcances, previo a la gestión de la entrega.

El proceso de recepción por parte del observatorio ALMA, es denominado “Alma Final Acceptance Process” (FAP, por sus siglas en inglés), y consiste principalmente en la verificación, por parte del receptor, de la efectiva y correcta ejecución de los diseños aprobados en la revisión crítica del diseño y la verificación de cumplimientos y criterios de aceptación establecidos en la matriz de trazabilidad de requerimientos mencionada en la sección 7.

Con el objetivo de lograr una rápida aceptación del proyecto, se veló estrictamente durante todo el proceso de construcción, que no existieran desviaciones a la ingeniería original, materialidades y elementos característicos del diseño establecidos en la matriz de trazabilidad de requerimientos.

Además, como dicta la formalidad de todo proyecto de construcción, se desarrolló, en conjunto con el contratista, un archivo de entrega o “Turn Over Package” (TOP, por sus siglas en inglés), la cual, estratégicamente, incluyó las copias firmadas de los requerimientos originales establecidos por la organización.

El proceso constó de múltiples visitas a terreno, revisiones de funcionamiento y operación de los distintos sistemas y subsistemas del proyecto, validando en todo momento los requerimientos de alto nivel y obteniendo aceptaciones, punto a punto, de los requerimientos.

10. CONCLUSIONES

A partir de la ejecución de un proyecto en un ambiente internacional, y con fondos fiscales provenientes de distintos países, se concluye que el proceso de gestión, si bien puede ser más engorroso y consumir más tiempo, también es cierto que permite interactuar en un ambiente pluricultural, donde todos deben adaptarse al otro, y a sus procedimientos para poder llevar a buen puerto un proyecto de esta envergadura.

El desarrollo del proyecto aplicando las buenas prácticas del PMI, demuestra que éstas son válidas. Sin embargo, deben adaptarse a la contingencia del proyecto y su medioambiente político.

Una de las falencias encontradas en la gestión del proyecto es que, al ser la contraparte, especialistas en ingeniería de sistemas, tienen el sesgo a querer aplicar a rajatabla los principios de la ingeniería de sistemas que aplica a productos, más que a proyectos, y que permite la iteración constante del diseño,

lo cual no aplica en un proyecto llave en mano, y a suma alzada, donde la responsabilidad principal del diseño y la construcción es del contratista.

Como línea futura de investigación, se podrían analizar en otros casos de proyectos multidisciplinarios de infraestructura física, cuál visión de gestión, gerente de proyectos v/s ingeniero de sistema, que ha dado mejor resultado en la ejecución de estos proyectos.

11. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la NSF para el financiamiento de este proyecto, y a ALMA por todo el apoyo entregado a lo largo de la ejecución de éste.

12. REFERENCIAS

Aaltonen, K., Kujala, J., Hevala, L., & Savage, G. (2016). Stakeholder Dynamics During the Project Front-End: The Case of Nuclear Waste Repository Projects. *Project Management Journal*, Volume 46, Number 6, 14-41.

Aaltonen, K., & Silvonen, R. (2009). Response strategies to stakeholder pressures in global projects. *International Journal of Project Management*, 27, 131-141.

Aaltonen, K. (2010). *Stakeholder management in international projects- Doctoral Dissertation Series 2010/13*. Helsinki: Aalto University, School of Science and Technology.

ALMA-Carlos Padilla. (2019). OSF Photo. <https://www.almaobservatory.org/en/images-tags/osf-en/page/11/>.

Collyer, S. (2017). Culture, Communication, and Leadership for Projects in Dynamic Environments. *Project Management Journal* 47(6), 111-125.

Daniel Mulanga, E. A., Granja, A. D., & De Andrade Ruiz, J. (Marzo de 2015). Desvios de custos e prazos em empreendimentos da construção civil: categorização e fatores de influência. *Ambiente Construído*, vol.15(no.1).

Eslerod, P., & Huemann, M. (2013). Sustainable development and project stakeholder management: What standards say. *International Journal of Managing Projects in Business*, 36-50.

Eslerod, P., & Vaagaasar, A. L. (2014). Stakeholder Management Strategies and Practices During a Project Course. *Project Management Journal* 45 (5), 71-85.

Federal Highway Administration (FHWA). (Marzo de 2015). Desvios de custos e prazos em empreendimentos da construção civil: categorização e factores de influência. *Ambiente Construído*, Vol.15(no.1).

Freeman, R., Harrison, J., Wicks, A., Parmar, B., & De Colle, S. (2010). *Stakeholder Theory: The state of the art*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

ISO/IEC. (2017). 25765 - *Systems and Software Engineering Vocabulary (SEVocab)*. Genova, Suiza: International Organization for Standardization.

J, W., H, S. H., & P, H. (2015). A Stage-gate integrated risk control system for LNG plant projects: Focusing on the design phase. *Journal of Natural Gas and Engineering*, Volume 22, pages 437-446.

K, S., & G, H. V. (2016). Front-end definition of projects: Ten paradoxes and some reflections regarding project management and project governance. *International Journal of Project Management*, Volume 34, Issue 2, 297-313.

Kadefors, A. (2004). Trust in project relationships: Inside the black box. *International Journal of Project Management* 22 (3), 175-182.

- Luoma-aho, V., Olkkonen, L., & Lähteenmäki, M. (September de 2013). Expectation management for public sector organizations. *Public Relations Review*, 39(3), 248-250.
- Maurer, I. (2010). How to build trust in inter-organizational projects: The impact of project staffing and project rewards on the formation of trust, knowledge acquisition and product innovation. *International Journal of Project management*, 28 (2), 629-637.
- NASA. (1995). *Systems Engineering Handbook*. NASA.
- P, O. (1994). Implementing a stage-gate process: A multi-company perspective. *Journal of Product Innovation Management*, Volume 11. Issue 3, 183-200.
- P, P., M, S., & J-H, K. (2017). Developing a Project Delivery System for Construction Project - A case Study. *Procedia Engineering*, Volume 196, 520-526.
- PMBok 6a Ed. (2017). *Guia de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guia del PMBoK)*. PMI.
- PMBok-Guide-Fifth Edition. (2013). *A Guide to the Project- Management body of knowledge*. Pennsylvania: PMI.
- S, M., M, R., & A, L. (2017). Conceptualising the lessons-learned process in project management: Toward a triple-loop learning framework. *International Journal of Project Management*, Volume 35; Issue 7, 1322-1335.
- Yang, R., Wang, Y., & Jin, X. (2014). Stakeholders' attributes, behaviours and decision strategies in construction project. Importance and correlations in practice. *Project Management Journal* 45(3), 74-90.