

Desarrollo De Un Gemelo Digital 3d Para 3 Unidades En La Refinería De Cartagena De Ecopetrol

Javier L. Salas – **Chief Data Officer**, BUREAU VERITAS NORTH LATAM

Francisco Asencio – **Líder de Aseguramiento de Calidad**, ECOPETROL

INDUSTRIA 4.0

Es importante iniciar, presentando el término INDUSTRIA 4.0. Este hace referencia a la noción de que vivimos en tiempos de una revolución industrial, que sería la cuarta de su naturaleza. Se entiende la mecanización de las máquinas a vapor, como la primera, la producción en masa como la segunda y la tercera se basa en el poder informático con las computadoras personales. La revolución actual, la cuarta, se caracteriza por masificar el acceso a amplio poder computacional, permitiendo que las organizaciones puedan acceder y desarrollar sistemas informáticos de relación cyber-física y llevar a cabo procesos de digitalización a gran escala.

La computación en la nube otorga acceso a capacidades de procesamiento amplias y de gigantescos volúmenes de datos, a precios relativamente asequibles. Este poder de digitalización, permite empoderar a cualquier empresa para entender su negocio en profundidad y tomar decisiones basadas en hechos y datos robustos, alejándose de la tradición y el “*instinto*”.

La cuarta revolución industrial, destaca algunos de sus componentes como lo son el *Big Data* (o manejo ágil de grandes volúmenes de datos); *Block Chain* (Tecnología sobre la que están construidas las criptomonedas); *Realidad aumentada* (capacidad de ver el mundo real y el digital en uno, tecnología muy útil en quirófanos); el *IoT* (Comunicación y correlación de información entre cosas) y por supuesto, los *Digital Twin* (Gemelos Digitales de activos reales).

GEMELO DIGITAL

Un Gemelo Digital, o Digital Twin (DT) por sus iniciales en inglés, es la visión holística de un activo **real** en el mundo **digital**. Esto puede variar desde un plano con información actualizada, hasta un modelo 3D con capacidad de simular procesos reales de la planta. Por ello, los DT son considerados como sistemas muy útiles y en consecuencia, empresas en diversos segmentos, aspiran a contar con herramientas de esta naturaleza. Su utilidad está dada principalmente, en industrias con procesos complejos, grandes maquinas, grandes plantas. [1] Borges, et. Al, en su whitepaper “El Ascenso de la Gerencia de Desempeño de Activos” presenta como un importante problema, la dificultad en el trabajo transdisciplinario. [1] Borges insiste en la problemática que experimentan grandes empresas al estar acostumbradas a trabajar en silos y en como esto hace ineficiente el flujo de datos cuando deben ser convertidos en información. [5] Macchi hace énfasis en como para la gerencia de activos, el manejo de la información es crítico y pivotal. Continúa a enumerar los principios fundamentales para enfocar el uso de gemelos digitales en la toma de decisiones referentes a la gerencia de activos, según [5] Macchi estos son:

- Mantener la data del activo de forma oportuna y asequible para incentivar una cultura de toma de decisiones basadas en datos.
- Incorporar objetivos de largo plazo y métricas de desempeño.
- Considerar el activo como un sistema y desincentivar la visión de algunas áreas de concentrarse solamente en los componentes que les competen.

- Consideración y manejo de riesgos a los que está expuesto el activo

El objetivo de replicar digitalmente un activo es recolectar data de forma eficiente, para procesar en miras a lograr un nivel óptimo de información oportuna sobre el activo. Esta información debe ser presentada de una forma clara y que incentive el trabajo colaborativo entre dependencias.

En consecuencia, los DT constituyen una herramienta de suma utilidad para organizaciones con infraestructura y activos en zonas alejadas. Entiéndase alejadas bien sea por clima o por tener vías de acceso precarias, un ejemplo de esto son campos petroleros a los que solo se puede arribar por helicóptero. En estos casos, adicional a la representación y presentación de información, se podría generar la virtualización y control remoto del activo. En otras palabras, estar en capacidad de monitorear el estado de una planta en la selva y, dado el caso, abrir o cerrar válvulas desde oficinas corporativas. Lo cual, constituye una herramienta ágil y oportuna para manejar riesgos y reducir costos de operación. Herramienta que permite ahorros más allá del transporte y el costo de personal, también en mitigar riesgos de seguridad a las personas y argumentar menor impacto ecosistémico en la zona.

[2] Khakimov y Shcherbo (2018) en su publicación “Desarrollo y Creación de un gemelo digital de la rectificación cúbica para instalaciones de separación de mezclas binarias Agua-alcohol” explica como los modelos digitales, adecuadamente presentados en gemelos digitales pueden ayudar a una planta química a correr simulaciones de procesos. [2] Khakimov menciona que esta tecnología le permite simular procesos bajo los principios básicos reales y realizar balances térmicos de material en el procesamiento de aceites.

De acuerdo con [7] Bureau Veritas, El proceso para contar con un DT, puede ser aplicado a un Activo existente, o iniciar desde la fase de diseño del activo que se va a construir. Los DT pueden ser comprendidos analizando sus componentes principales y el nivel de madurez de los mismos, estos 4 componentes y sus niveles de madurez, son presentados a continuación.

LOS 4 COMPONENTES PRINCIPALES

Los 4 componentes digitales y sus estados de madurez, son presentados a continuación:

1. DATA:

Data no estructurada: Los datos no tiene una estructura documental robusta y práctica. Son datos recolectados y almacenados en muchos lugares, en ocasiones no se cuenta con un standard de formatos o políticas de actualización y back-ups.

Data permanente y estructurada: Data que ha sido estructurada en 1 ó más lugares. Estos sets de datos, están regidos por políticas para su manejo. No obstante, su actualización es manual o esporádica.

Data en tiempo real y estructurada: Es el nivel de madurez más alto en el manejo de data. La adquisición de la data se hace de manera automática y se actualiza ordenadamente, de acuerdo al cumplimiento de ciertos parámetros. No solamente se está limitado a data técnica del activo, también puede ser data organizacional, data del propio equipo, data del ambiente.

2. REPRESENTACIÓN

1D: La data recolectada se presenta de manera tabular, es decir en tablas y adjuntos.

2D: Existe un nivel de representación gráfica y/o esquemática de la data. Incluye dibujos;

planos, P&ID; entre otros.

3D: Se ha generado una representación 3D del activo. Esta representación es usada para exponer claramente la información del mismo. Dicha información no se limita simplemente al inventario de materiales, máquinas y componentes generales del activo. Puede llegar a presentar de manera interactiva, sus atributos, localización exacta, meta-data, historia financiera; consumo de energía, entre otras. Incluye representaciones hechas con fotogrametría; laser; construcciones CAD, entre otros.

3. INTELIGENCIA

Nula: La data se captura, se almacena y se muestra, pero no se procesa para convertir en información de uso. En este nivel de madurez de inteligencia del DT, la data no se lleva a ser información que apoye la toma de decisiones.

Básica: La data se usa para hacer algunos cálculos simples o estadística descriptiva. La data es usada por personas con conocimiento del negocio y el mercado.

Intermedio: Se usan modelos sofisticados que permiten recibir diferentes sets de datos desde diferentes fuentes. Estos modelos permiten el consumo de información por parte de diferentes áreas de la organización, para la definición de programas y la toma de decisiones.

Avanzado: Los datos y su procesamiento a información, permiten hacer analítica compleja en el tiempo y estadística inferencial. En este nivel de madurez, se pueden hacer predicciones de eventos. Los modelos se van actualizando automáticamente.

4. COLABORACION

Nula: Cada parte involucrada trabajen Con su propia sección de información Sobre el sistema. Las actividades son aisladas y en su mayoría son secuenciales

Básica: El acceso común, al activo digital tiene un proceso establecido. Sin embargo, no permite trabajo simultáneo ni multi-locativo.

Coordinada: Los procesos están bien definidos entre los participantes activos, asegurando que el intercambio de información sea controlado y estructurado.

Interoperable: Existen interfaces estructuradas entre el sistema digital y las varias fuentes de datos.

METODOLOGÍA

ALCANCE

El alcance contractual del proyecto abarca la virtualización de tres activos objeto. Incluye el informe final de Resultados para el Proyecto de levantamiento As-Built con Tecnología Laser Scanning y creación de Modelo Digital Inteligente (genérico) 3D asociado a la Planta Reficar. La unidad de crudo U-001; la unidad Blending U-1000; así como, de la unidad de servicios industriales U-031. Trabajo ejecutado para ECOPETROL (ECP) en un lapso de 5 meses.

Específicamente en el alcance se incluyen, para la U-001 las 9 áreas de proceso de acuerdo a los requerimientos manifestados por el departamento de ingeniería, incluyendo sistemas enterrados. En la U-031 se incluyen pipe racks; zonas de calderas bombas SP-P-11D/E; sistemas enterrados SP-SG-104 y Desaireador SP-DH-2.

PROCESO

El proceso de ejecución en este caso, se planeó en 6 fases secuenciales. Las fases y el componente digital donde mayormente impactan, son: 1. Visita de Campo y Planeación Básica Análisis de documentación existente (DATA), 2. Levantamiento Laser (DATA), 3. Registro Nube de Puntos

(REPRESENTACIÓN), 4. Modelamiento (REPRESENTACIÓN), Revisiones de calidad (COLABORACIÓN), 5. Asignación de Atributos (INTELIGENCIA) y 6. Revisiones de calidad (COLABORACIÓN)

1. *Visita de Campo y Planeación Básica*

El proceso inicia con el desplazamiento a la locación que será objeto de estudio. En la visita de campo se inicia por recorrer o revisar el lugar de estudio. Para este momento, se debe estimar el área a levantar. Adicionalmente, esta primera visita permite tasar los indicadores de eficiencia y productividad, tanto para la fase de levantamiento como para las fases de registro y modelamiento.

Durante este primer acercamiento, se analizan las locaciones para definir cuan preparadas están para iniciar la fase de escaneo laser, revisando entre otros aspectos, la cantidad y la densidad de tuberías y componentes visibles y enterrados. Se presta especial atención a la existencia de objetos que puedan obstaculizar el trabajo del láser o que constituyan un riesgo potencial de confusión a los ingenieros más adelante en la fase de modelado. Ejemplos comunes de esta situación es encontrar polisombra que pueda interponerse en el camino del láser o inclusive andamios, en general, elementos temporales que no pertenezcan al objeto de estudio y no hagan parte del alcance del proyecto. También, durante esta fase, se planean las posiciones de los *target* para la captura de la información de georeferenciación.

Así mismo, las primeras visitas de campo son un espacio para indagar información logística y tomar imágenes que ayuden a familiarizar al personal de operación de las instalaciones de campo.

2. *Análisis de documentación existente (DATA)*

En esta segunda fase, se requiere acceder a la mayor cantidad de documentación que se pueda suministrar acerca del objeto de

estudio. Por ende, se inicia con la recopilación y estudio de archivos existentes, todo tipo de documentación estructural acerca del activo es analizada. Incluyendo Data Sheets, P&IDs, Planimetrías, Isométricos, Bases de Datos, Lay-outs, PFDs, BFDs, planimetría de enterrados, planos estructurales, planos de tuberías, esquemas eléctricos, etc.

Dicha documentación es entonces catalogada para definir cuáles son las versiones más recientes, las fuentes de esta información, las mejor actualizadas y definir niveles de confianza sobre cada documento. La documentación será tomada como guía y es un medio de consulta. Es importante resaltar que no será tomada como fuente de confianza por encima del resultado láser.

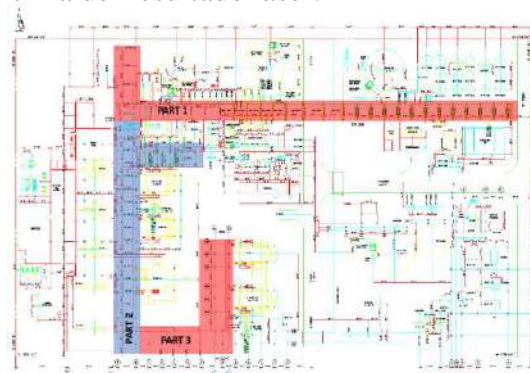


Fig 1 – Plano Planta A

3. *Levantamiento Laser (DATA)*

La tercera fase es la captura de información real del activo. Compuesta por 3 grupos de actividades, las de amarre topográfico, el levantamiento láser *aboveground* y el levantamiento laser *underground* de las áreas.

Cómo primer paso, se efectúan las actividades de topografía. Estas incluyeron primordialmente hacer georeferenciación de BMs existentes (mojones), al sistema de coordenadas del IGAC. Adicionalmente, planear los amarres específicos para el levantamiento laser.

Para el completo alcance de toma de información del escáner y garantizar un buen registro, se ubicaron alrededor de 6.000 “targets”, localizados por adhesivos

ajedrezados y/o magnéticos e identificados con numeración única y para los cuales se tomaron simultáneamente sus coordenadas (X, Y, Z) con estación total robótica.

A continuación, se inician las actividades de levantamiento de superficie o *aboveground*.



Esta primera fase es realizada usando un escáner láser inerte, de tierra que además es portable. Este es un dispositivo particularmente seguro, ya que no genera efectos colaterales con el medio ambiente, tampoco, genera ningún tipo de chispa, por lo que es seguro de trabajar en locaciones con a gases.

El dispositivo se compone principalmente con un disparador láser y espejo montado sobre un rotor, el cual dispara pulsos láser al espejo y de allí, los pulsos son reflejados y hacia el ambiente. De esta forma, dispara en todas las direcciones como si estuviera al centro de una esfera.

Los paquetes láser, viajan hasta chocar con objetos que existan alrededor y regresan al espejo para automáticamente registrar su trayectoria y tiempo de viaje. Con la información registrada, el sistema ayuda a calcular distancias y ángulos del punto de rebote y así generar el archivo de nubes de puntos. En los puntos de observación fijos establecidos se ubicó el equipo láser, registrando lo que está a su alrededor (360° horizontal X 320° Vertical) de acuerdo a la fijación de los “targets”, dieron como resultado una toma de 853 escaneos de levantamiento láser correspondiente. Acto seguido, se capturan imágenes desde

exactamente esta posición, denominadas *scanpics*, que más adelante facilitaran el proceso de generar una nube de puntos de alta densidad, a color.

Esta técnica de levantamiento garantizó un 91% de observación de la planta. Las limitaciones para no cumplir con el 100% son debidas a las áreas inaccesibles por seguridad industrial y objetos fuera de proceso presentes en las plantas al momento del levantamiento. También elementos con dificultad de toma de información a nivel ‘0 (cero)’ o inferior como es el caso específico de obstrucción por vegetación en las áreas de trabajo, por desmantelamiento, por mantenimiento u otra índole.

4. Registro Nube de Puntos (REPRESENTACIÓN)

Ya que el escáner realiza esta actividad a gran velocidad mientras el equipo gira en 2 ejes. El resultado es el objeto de estudio, representado en una nube de puntos con una exactitud de +/- 5 mm, para su registro. El registro de la nube de puntos se realizó por medio de un software especializado, usando el proceso estándar para dicho registro.

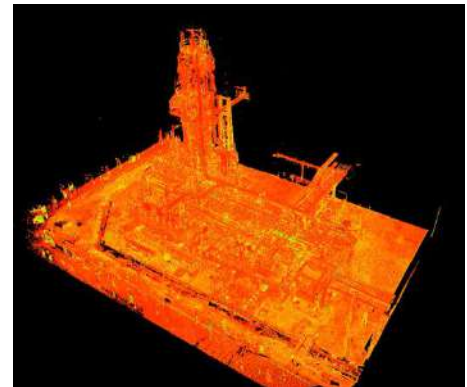


Fig 2 - Nube de Puntos–Área 5 U-001

Este proceso inicia con la organización de data, inspeccionando la nube cruda para identificar puntos no útiles. Buscando como resultado una nube más limpia y sin datos incongruentes. Se elimina el ruido blanco consecuencia de la dispersión generada por gases o elementos transitorios encontrados durante la fase de levantamiento. Posteriormente, se procede a enlazar la nube

con las coordenadas tomadas con la estación topográfica. Esto permite, iniciar las actividades de unificación, lo cual hace referencia al proceso de aglutinar todos los archivos individuales de escaneo en uno solo.

De allí resulta una nube de puntos precisa y limpia, sobre la cual se ejecutan los procesos para convertir la misma nube a color.

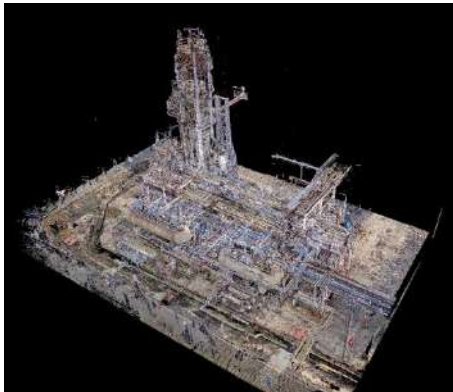


Fig 3 Nube de Puntos Color- Área 5 U-001



Fig 4 Dentro Nube de Puntos Color- Área 5 U-001

5. Modelamiento (REPRESENTACIÓN)

El objetivo de la fase de geométrizado, es la materialización y dimensionamiento digital de la nube de puntos a un modelo sólido en 3D, mediante un trabajo de Ingeniería de Reversa, partiendo de lo real hasta recrearlo en el mundo virtual. Por ende, esta fase comienza al descargar la data venida de la fase de registro, para iniciar su ajuste y manejo vectorial. Esta data es tratada para ajustar sus parámetros de color y filtros. El proceso de modelamiento continúa, mientras se van convirtiendo ciertos grupos de coordenadas en elementos geométricos. El proceso de modelamiento para una planta como la estudiada en este proyecto, se hace

preponderantemente mediante el uso de figuras primitivas, como por ejemplo: Cilindros, conos, donas, codos, esferas, flanches, válvulas, entre otras. De esta forma, se generan los modelos geométricos respectivos, teniendo en cuenta que sus proporciones y geo-localización sean precisos.

El Modelo 3D se desarrolló en las oficinas de ingeniería de Bureau Veritas, con la participación de personal experimentado en diferentes disciplinas como Tuberías, Equipos, Civil, Electricidad e Instrumentación, utilizando como información de entrada la información recogida en campo con la tecnología de laser escáner.

La calidad en la modelación, se debe en parte a la configuración y creación de la estructura del modelo 3D para permitir la modelación interdisciplinaria cuyo contenido se encuentra distribuido de manera jerárquica por áreas para garantizar la integridad y calidad del modelo 3D a entregar.

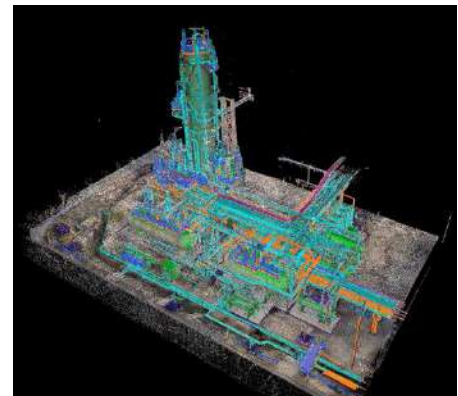


Fig 5 Modelo Geométrico- Área 5 U-001

Al final del proceso, ya se puede visualizar su composición en un modelo CAD del resultado del escaneo, preparado y entregado para fácil lectura.

6. Asignación de Atributos (INTELIGENCIA)

El alcance del proyecto hasta ahora, conlleva la inclusión de información básica del activo a la representación 3D. Esto se refiere a la asignación de sus atributos correspondientes a los componentes ilustrados en el modelo. En

otras palabras, todos los componentes incluidos en el modelo 3D, dependiendo de la base de datos a la que pertenezcan, tienen una serie de atributos estándar. La información referente a los atributos puede ser Número de equipo, Tag de instrumentos, Número de línea etc. Los cuales serán asociados en el modelo 3D a su elemento respectivo. De esta forma al navegar el modelo, el usuario podrá picar en el componente y consultar sus atributos básicos.

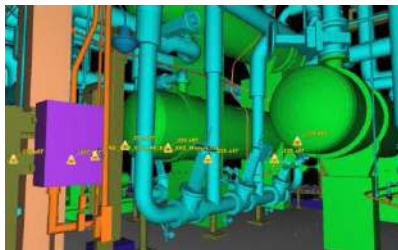


Fig 7 Dentro Modelo Geométrico-Área 5 U-001

Esta información, facilitará al cliente en un futuro, por medio de la identificación física verificar el tipo de elemento y mantener actualizada su base de datos. Dentro del ambiente de modelación 3D del programa SP3D y en las sesiones de revisión web disponibles para visualizar las instalaciones del Proyecto, la estructura del modelo 3D está distribuida por disciplinas y podrán ser reorganizadas según se tenga la necesidad, siempre y cuando la base de datos del software lo permita.

7. Revisiones de calidad (COLABORACIÓN)

Es importante resaltar que este es proyecto con una sensibilidad especial, en el sentido de generar muchas expectativas y atraer muchos espectadores. Sabiendo esto, se hace particularmente importante el monitorear la calidad de los resultados a cada paso, con el fin de garantizar un resultado exitoso.

La figura 9, ilustra un caso en el que una planta requería la inclusión de unos lazos de control o tuberías de comunicación. Estos fueron diseñados in-situ por ingenieros especializados y documentados en un CAD. Sin embargo, como una estrategia de control

de calidad y aprovechando que ya se contaba con la planta en 3D, se acude a modelar el diseño en en el 3D del activo. Esto dió como resultado la identificación de varias interferencias o choques del diseño con tubería existente y en ocasiones como el mismo diseño que se llevaría a cabo. Evidentemente un modelamiento de calidad de la planta, puede conllevar al ahorro en materiales tiempo y reprocesos, de actividades y proyectos subsecuentes.

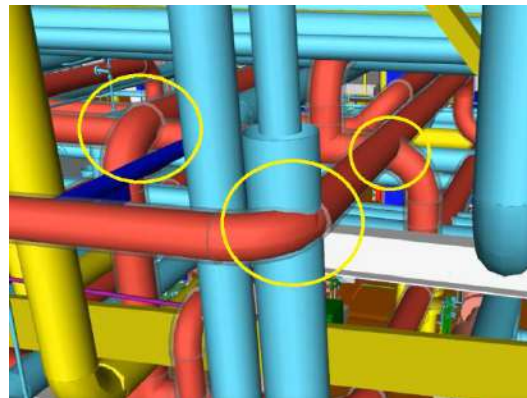


Fig 8 Revisión a diseño de tuberías de conexión

Es por ello que el control de calidad del proyecto es una de las fases críticas del mismo. Para este efecto fueron desarrollados y aplicados procesos para eliminar los errores y lograr mantener los indicadores del proyecto dentro de los márgenes estipulados por las diferentes normas internacionales.

Las revisiones de calidad se realizaron para evitar re-trabajos en las distintas áreas y garantizar tiempos de entrega consensuados con el cliente. Estas revisiones se hicieron por niveles con sistema de chequeo cruzado y con el código de colores utilizado internacionalmente para garantizar trabajo uniforme en todas las áreas.

Por esta razón, se realizaron revisiones en diferentes etapas, de manera interna e interdisciplinaria, por Bureau Veritas. Las revisiones fueron planeadas y ejecutadas para cada una de las áreas de proceso, comenzando al 30%, seguido por un 60%, 90% y finalmente 100%.

El proceso de revisión con el usuario final, fue elaborado interdisciplinariamente para cada una de las áreas de proceso y servicios a través de las emisiones de información y el procedimiento de aprobación establecido en el proyecto. Todos los comentarios recibidos fueron atendidos, aplicando las acciones correctivas necesarias por Bureau Veritas.

RESULTADOS DEL EJERCICIO

Describir los resultados y listar los entregables

- 21 Nubes de puntos
- 13 Modelos, en entregas diseminadas por áreas
- 2 Modelos para SmartPlan 3D

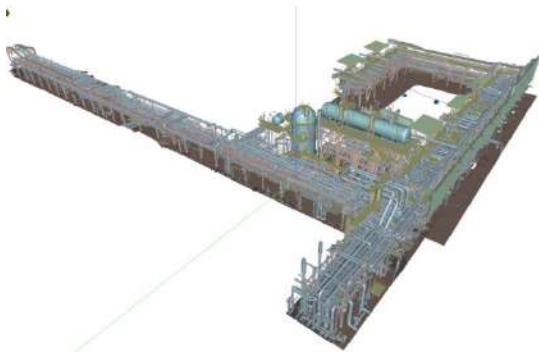


Fig 9 Modelo Geométrico U-001 completa

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la era de la INDUSTRIA 4.0 es imperativo fomentar una cultura de toma de decisiones basadas en datos, en información confiable y actualizada. Un modelo 3D ajustado, con asignación de atributos e ingeniería de ingeniería es un importante paso para fomentar esta cultura. El gemelo digital no debe ser un coloso ajeno al personal, alejado e inalcanzable. Por el contrario, debe ser una herramienta, de uso y mantenimiento transversal en la planta.

Otra conclusión evidente del proyecto, aparece de percibir que la metodología de

escaneo láser y modelamiento 3D constituyen una opción robusta y práctica para la documentación de sistemas e infraestructura complejos. La practicidad de almacenar y archivar data en una representación 3D, constituye una ventaja estratégica para la gerencia de cualquier planta.

Adicionalmente, contar con una fuente de información central, transdisciplinaria, actualizada y confiable, abre las posibilidades a la actualización y mejora de otros sistemas de documentación. Un caso de ello, es generar proyectos red-lines. El cual puede ser ejecutado tomando los planos existentes de lo que pueda haber en campo y revisarlos contra el modelo 3D, lo que existe. De esta forma se pueden corregir y la documentación existente.

Por otra parte, el crecimiento casi orgánico, hace parte de la vida de cualquier planta. Así que al contar con un gemelo digital, se pueden hacer verificaciones mucho más profundas a diseños de nuevas adiciones, arreglos y/o mejoras. Esto es útil para proyectos amplios como paradas de planta o *revamping*. Inclusive modificaciones más comunes y reducidas a la planta, como instalación o cambios en tuberías. La efectividad en estas actividades puede traer sustanciales ahorros en tiempo, coordinación, re-procesos, materiales, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C.A. Victor Borges, "THE RISE OF ASSET PERFORMANCE MANAGEMENT", whitepaper, Agosto 2017.
- [2] C.A. R A Khakimov, "DEVELOPMENT AND CREATION A MODEL OF A DIGITAL TWIN OF THE CUBEPART RECTIFICATION INSTALLATION FOR THE SEPARATION OF A BINARY WATER-ALCOHOL MIXTURE", Material Science and Engineering 450 (2018), Noviembre 2018.
- [3] C.A. Marcel Joly, "REFINERY PRODUCTION SCHEDULING TOWARD INDUSTRY 4.0", Frontiers of Engineering Magazine Vol 5 pp 202 - 213, Octubre 2017.
- [4] C.A. Milan Vathoopan, "MODULAR FAULT ASCRIPTION AND CORRECTIVE MAINTENANCE USING A DIGITAL TWIN", IFAC papers on-line 51 -11, 2018.
- [5] C.A. Marco Macchi, "EXPLORING THE ROLE OF A DIGITAL TWIN FOR ASSET LIFECYCLE MANAGEMENT", IFAC papers on-line 51 -11, 2018.
- [6] C.A. Jumyung Um, "PLUG-AND-SIMULATE WITHIN MODULAR ASSEMBLY LINE ENABLED BY DIGITAL TWINS AND THE USE OF AUTOMATION ML", IFAC papers on-line 51 -11, 2017.
- [7] R.F. Bureau Veritas, ACTIVOS DIGITALES A TRAVÉS DE LAS INDUSTRIAS, pag 11, París FRANCIA, Whitepaper de 2018.

Javier L. Salas

+57 1 3129191 ext 181

+57 322 3874503

+57 318 3398129

Francisco Ascencio

3186827696