

PROYECTO PLATAFORMA DE ENTRENAMIENTO PETROLERA

Autores:

Francisco Barceló, Candoit, fbarcelo@candoit.com.ar

Juan Molteni, Facultad de Ingeniería Universidad Austral, juanignaciomolteni@gmail.com

Ignacio Nuñez, Facultad de Ingeniería Universidad Austral, ignacionunez@sirius.com.ar

Anibal Rodriguez, Facultad de Ingeniería Universidad Austral, ajrodriguez@austral.edu.ar

Ivo Speranza, Facultad de Ingeniería Universidad Austral, ivosperanza@yahoo.com

SINOPSIS

El proyecto consiste en desarrollar una plataforma de capacitación y entrenamiento para operaciones vinculadas con la industria petrolera, como, por ejemplo, los servicios de perforación, workover y pulling. Esta herramienta fue diseñada con un criterio de mejora continua, por lo que se destaca su flexibilidad y adaptación, que la consolidan en una plataforma en constante evolución.

Se la denomina “Plataforma de Capacitación y Entrenamiento” debido a que integra diversos elementos:

- Una base teórica
- Un software integrador
- Una plataforma *online*
- Un simulador para entrenamiento
- Un software de evaluación y estadística
- Bibliografía de consulta para el alumno

El término “*entrenamiento*” refiere a que la herramienta está diseñada no sólo para brindar conocimientos técnicos, sino que además posibilita la práctica de maniobras, que es un estadio indispensable para la transferencia de los saberes a la acción.

Los objetivos generales que se han establecido para el desarrollo del proyecto son los siguientes:

- Entrenar al personal operativo que lleve a cabo las maniobras de las operaciones de Perforación, Workover y Pulling en yacimiento;
- Perseguir la excelencia en lo referido al material didáctico y al contenido teórico de la plataforma de capacitación;
- Aplicar un criterio de mejora continua que permita la evolución permanente de la plataforma, a través de la retroalimentación de los participantes y del progreso tecnológico de los equipos operativos y de los propios elementos de la plataforma.

Asimismo, se han planteado los siguientes objetivos específicos para el proyecto:

- Entrenar al personal en eventos que impliquen alto riesgo para la vida humana, el medio ambiente y/o los equipos de trabajo, simulando situaciones peligrosas en las que se requiera que los participantes actúen con solvencia técnica y criterio preventivo;
- Entrenar al personal sobre la operación de los equipos en situación de régimen a través de conceptos teóricos y un complemento práctico, que consiste en un simulador desarrollado a tal efecto;
- Desarrollar las actividades de entrenamiento con criterio productivo, es decir, que el desarrollo del curso impacte mínimamente sobre la operación (se entiende en los requerimientos de costos y recursos para el desarrollo del entrenamiento).

INTRODUCCIÓN

A continuación, se detallan algunas definiciones básicas adoptadas en el documento y según las cuales deberá interpretarse el mismo.

Capacitación: es el proceso por el cual se generan aprendizajes a nivel de conocimientos, habilidades y/o actitudes, en el ámbito del trabajo, con el objetivo de mejorar el desempeño respecto de la realización de tareas asociadas a una función.

Entrenamiento: es la práctica reiterada de los aprendizajes adquiridos durante la capacitación, de manera de asegurar la transferencia de los mismos a las tareas habituales del operador.

Plataforma: espacio virtual de aprendizaje que combina elementos de software y hardware, y que favorece la interacción del participante con situaciones operativas simuladas, cuya finalidad consiste en facilitar la transferencia de prácticas y conocimientos al ambiente laboral.

Contexto: La evolución sinusoidal de la actividad Petrolera en los últimos años en la Argentina y en el resto del mundo (debido a las grandes variaciones en el precio del crudo), sumado a la evolución tecnológica de los equipos y al desarrollo de nuevas tecnologías de producción, han impactado en los Recursos Humanos, generando:

- Retiro de personal de alta capacidad y experiencia que en determinados periodos no fue reemplazado debido a la retracción de la actividad.
- Periodos de aumento violento de la actividad, generando el ingreso de personal en la industria sin experiencia previa y con bajo nivel de entrenamiento.
- Necesidad de cobertura de puestos de alta responsabilidad operativa
- Imposibilidad de entrenamiento en situaciones críticas de la operación por su consecuencia implícita de daños a personas, medio ambiente y equipos.

La observación de esta problemática ha evidenciado la necesidad de generar un método innovador de entrenamiento que permita al personal adquirir los conocimientos y habilidades necesarias para una operación muy riesgosa.

En esta coyuntura, los sistemas tradicionales de capacitación y entrenamiento, si bien son positivos, no son suficientes, ya que se basan en el dictado de un curso en aula o la experiencia en la operación.

Por otro lado, la utilización de simuladores enlatados (hay algunos equipos que se están poniendo en marcha en nuestro país) aportan positivamente, pero son insuficientes, ya que, como todo enlatado, tiene el inconveniente de la falta de adaptación al esquema de trabajo de cada región, con su tecnología predominante y su idiosincrasia característica.

El análisis de esta situación y la búsqueda de un aporte a esta problemática nos llevó a una visión general y abarcativa de la situación, generándose la idea de una PLATAFORMA DE CAPACITACION.

Esta visión consiste en:

- Abordar la formación del personal apuntando al entrenamiento como objetivo (la base teórica en todos los casos está respaldada con una base practica y viceversa)
- Realizarlo a través de una plataforma de entrenamiento, compuesta por:
 - 1- Una estructura pedagógica con base teórica y bibliografía asociada.
 - 2- Una plataforma de capacitación que permite el registro del alumno, su seguimiento, su evaluación, tomar el curso on line a distancia.

- 3- Un simulador para entrenamiento de la teoría desarrollada en clases, el cual tiene las siguientes características:
 - a- es transportable de manera tal de poder acceder con el mismo a las distintas bases donde el entrenamiento sea requerido.
 - b- Tiene cabinas de operación que emulan en aspecto y sonido a las reales
 - c- Permite simular operaciones de régimen y eventos de alto riesgo
- 4- Un sistema de refresh y reentrenamiento que permitirá al alumno afianzar periódicamente sus conocimientos y acceder a los que las nuevas tecnologías generen.
- 5- Un sistema de evolución y mejora continua de la plataforma a partir de un equipo de trabajo dedicado, que permitirá incorporar nuevas tecnologías, desarrollos, técnicas de perforación, requerimientos de capacitación, etc.
- 6- Una arquitectura modular que permite la evolución de la plataforma según los requerimientos de la tecnología y de la empresa demandante.

Para realizar este desarrollo se ha conformado un equipo de trabajo dividido en 5 áreas:

- **Teoría y didáctica**
- **Desarrollo de hardware**
- **Desarrollo de motor de cálculo**
- **Desarrollo de realidad virtual**
- **Desarrollo de plataforma soporte**

En total han trabajado en el proyecto 20 personas, especialistas en cada una de las áreas indicadas.

El método de desarrollo utilizado ha sido el siguiente:

- 1- Capacitación integral del equipo en el temario técnico
- 2- Relevamiento en campo de los equipos y operaciones
- 3- Desarrollo de la idea proyecto
- 4- Comprobación en campo de la idea proyecto, corrección de la misma.
- 5- Desarrollo de base teórica, software, motor matemático, realidad virtual
- 6- Comprobación de 5- en campo y a nivel teórico.
- 7- Iteración de los puntos 5 y 6 hasta lograr el óptimo buscado
- 8- Desarrollo de la planimetría del simulador (hardware)
- 9- Compra de elementos a terceros para construcción del simulador
- 10- Construcción del simulador
- 11- Prueba del conjunto
- 12- Lanzamiento del proyecto

DESARROLLO

DESARROLLO DE TEORÍA Y DIDACTICA

El curso de capacitación se desarrollará de forma online y presencial de acuerdo a los diferentes módulos cursados y estos están soportados por una plataforma de capacitación (ver plataforma de capacitación) que comunica a los distintos actores entre si (alumnos, simulador, capacitador, base bibliográfica, administrador general)

La modalidad online y presencial permite a los alumnos mayor eficiencia en el aprendizaje y la optimización de tiempos tanto para los empleados como para las empresas que busquen capacitar a su gente.

Se contempla la alternativa 100% presencial para el caso de personas que tengan dificultades con el manejo de la tecnología.

Se desarrollaron 4 módulos de aprendizaje que van desde lo general a lo específico en las tareas sobre las cuales se busca capacitar al personal. Estos módulos son:

1. NIVELACIÓN TÉCNICA

Nociones básicas de Matemáticas y Física. (Regla de los tres simples, cálculos simples, principios de acción y reacción, presión, electricidad, hidráulica, estática...)

Tiene como objetivo reforzar y nivelar la base de conceptos técnicos que se requieren para operar de forma idónea en el puesto de trabajo. Este nivel de conocimiento afecta en la toma de decisión y el razonamiento lógico. Su refuerzo le brindará al alumno mayores herramientas para desenvolverse.

2. INTRODUCCIÓN GENERAL

Descripción básica de los yacimientos.

Descripción Geológica básica (por cuenca). Formaciones, entrapamientos, tipos de roca más frecuentes, fluidos del subsuelo.

Objetivo de la construcción de los pozos de petróleo y gas.

Vida útil del pozo.

Las etapas de su construcción, mantenimiento y abandono.

Recursos requeridos para la construcción, mantenimiento y abandono.

El objetivo es generar un marco introductorio de conocimiento general para que el usuario pueda entender el entorno en el cual está desarrollando su tarea y el porqué de las acciones que se llevan a cabo. Tomar conocimiento de conceptos que hacen referencia a la operación en su conjunto y no a lo específico en su tarea, que es básico para un entendimiento profundo de las situaciones que se presentarán en el día a día.

3. ESPECIALIZACIÓN ONLINE/PRESENCIAL

Locación y accesos

Perforación

Terminación/Completamiento

Reparación/Pulling

Abandono

Su objetivo es brindar conocimiento en lo específico de las tareas y de la operación de perforación de pozo petrolíferos, su mantenimiento y su terminación. Entender la locación de trabajo más allá de lo que es el entorno directo de responsabilidad del alumno. Para comprender como su trabajo es un eslabón en la operatoria general, entender sus responsabilidades y los alcances esperados en su accionar.

4. SIMULACIÓN

El módulo de simulación tendrá primordial importancia en el curso. Por esto se le dedicará un tiempo presencial intensivo, donde el alumno pueda familiarizarse con el entorno físico del simulador y sus componentes que representarán fielmente a la cabina del equipo.

En este módulo el objetivo es entrenar al alumno en situaciones de alto riesgo operativo donde sus fallas en el accionar pueden generar poner en peligro las vidas de las personas que trabajan con él, incluyendo la suya, y generar un potencial impacto ambiental de gran magnitud, además de pérdidas materiales inmensas.

Estas situaciones son prácticamente imposibles de entrenar en el entorno real por los riesgos ya mencionados. Por lo tanto, el simulador brinda a los alumnos un entorno 100% seguro donde operar en eventos extremos, para tener una base de capacitación que minimice los problemas en el campo real donde el alumno ya sabrá cómo debe accionar para controlar una situación de riesgo, previniéndola primordialmente o accionando adecuadamente ante el suceso en desarrollo. El alumno aprenderá a “leer” y comprender las señales que le brinda un pozo antes de comenzar a ser riesgoso.

Cada módulo constará de evaluaciones y su contenido ha sido diseñado con la participación de expertos en la industria. Para continuar con el avance del curso deberá ir aprobándose cada etapa. Esto garantizará que los conocimientos vayan afianzándose a medida que se transite el curso. Evolucionando desde lo global a lo particular, el alumno entenderá como es un pozo de petróleo, qué leyes lo rigen, qué peligros se encuentran constantemente activos para las personas que trabajan allí, qué tareas son esperables de él de acuerdo a su puesto y responsabilidades, cómo anticipar los eventos de alto riesgo cuando apenas estén gestándose, qué acciones operadas de forma errónea por desconocimiento o exceso de confianza pueden activar un evento de alto riesgo, etc. Este método, conformará en el alumno una nueva visión, un entendimiento más profundo de su lugar de trabajo y un compromiso con la seguridad y prevención.

En la primera etapa del desarrollo de la plataforma (recordar que el proyecto está pensado en un inmerso en un proceso de evolución y mejora continua), además de las situaciones de régimen, se entrenarán los siguientes eventos críticos:

Perforación: Presencia de barra pinchada, Pega de tubería durante el viaje, Surgencia debido a diferencia de presión Surgencia durante el viaje. Descenso brusco de aparejo por deficiencia de frenado. Embolamiento del trépano. Vibraciones axiales, torsionales y laterales. Empaquetamientos. Desgaste prematuro del trépano. Cambio de tipo de suelo aumento/disminución torque

Workover y pulling: Surgencia de pozo sacando o bajando caños, Surgencia de pozo sin Caños, Deficiencia de frenado bajando caños, Deficiencia de frenado sacando caños, Fijación de la Herramienta bajando caños (PKR), Surgencia debido a efectos de pistonear, Fijación de herramienta y

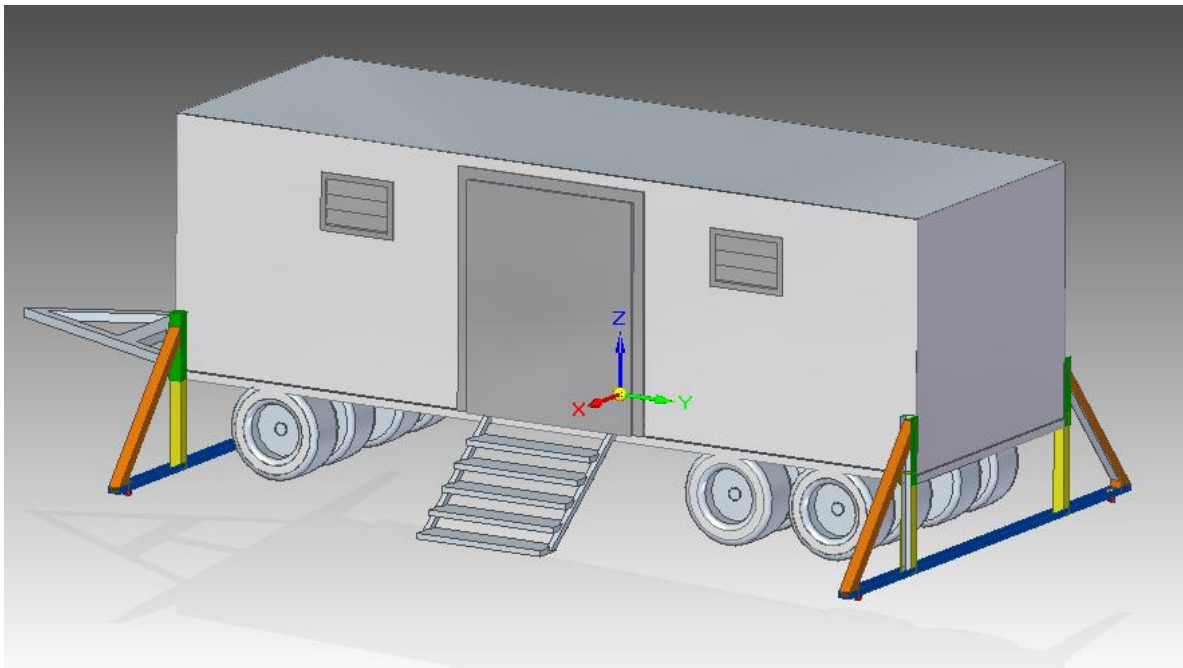
toma tensión sacando caños, Falla en el Indicador de Peso, Presencia de gas sulfhídrico sacando varillas de bombeo, Aplicación de tensión no conocida por falta de carga en sensor FS o G.

DESARROLLO DE HARDWARE

El simulador físicamente es un obrador de 7,20mts largo x 2,50mts ancho y 2,15mts altura interna.

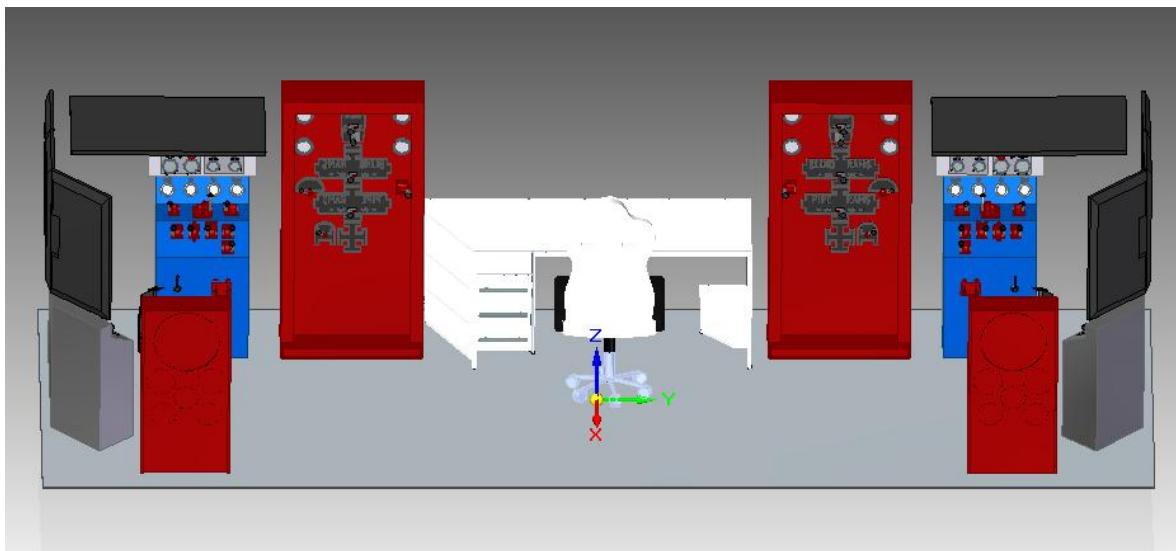
Cuenta con todos los aspectos de seguridad necesarios y un sistema de estabilidad para locaciones de climas extremos. Su exterior está fabricado en paneles enterizos de fibra de vidrio, sobre un esqueleto de hierro estructural.

Esté equipo funciona como un aula móvil. Esto ha sido pensado de manera de favorecer el acceso a los alumnos, acercando la capacitación al lugar de necesidad (concepto de productividad). Esta ventaja se combina con la posibilidad de acceso online que tienen los alumnos para completar otros módulos. lo que le da al sistema una gran flexibilidad y optimización de los recursos (reducción de tiempos fuera de operación, gastos de traslados, viáticos, incomodidad del alumno por tener que trasladarse, etc).

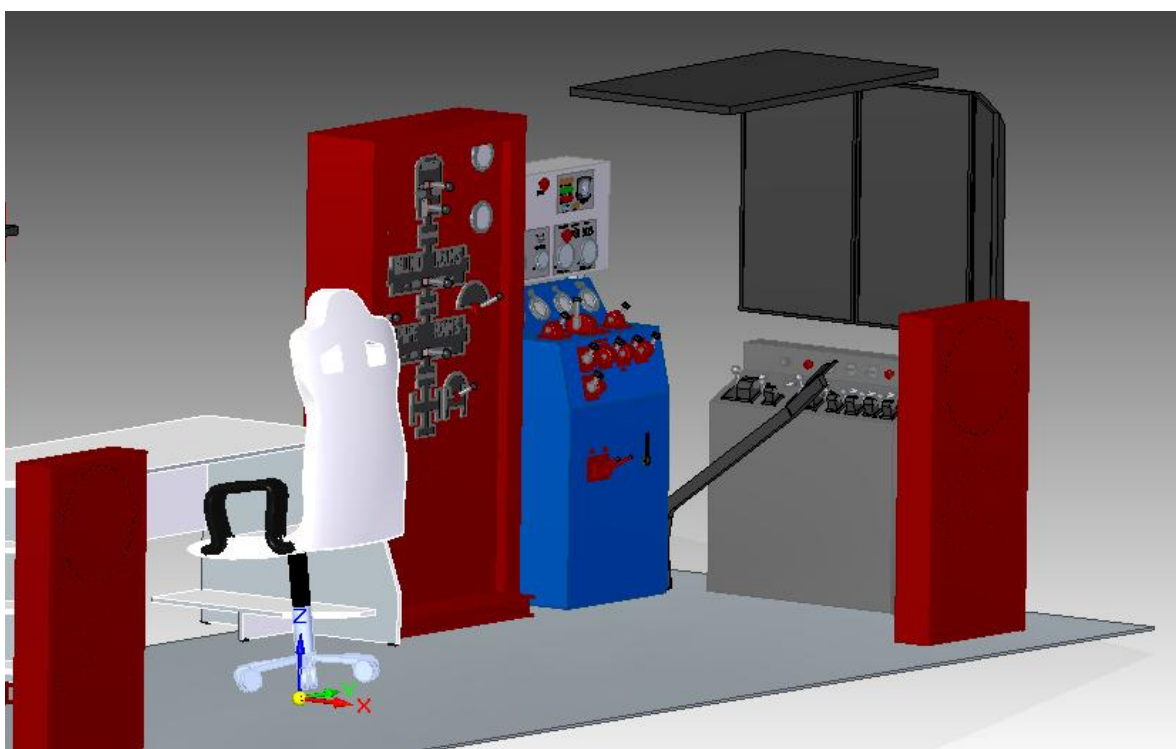


(Imagen 1) - Visión externa del Aula Móvil

Dentro del aula móvil se replicó el entorno de dos cabinas de perforación (están distribuidas en espejo en cada extremo del tráiler), fabricadas según relevamientos de equipos que operan actualmente en yacimientos. Se ha buscado obtener un alto realismo tanto en la parte física del equipamiento como en el entorno, donde las ventanas de las mismas fueron reemplazadas por TV LED HD en los cuales se proyecta la Realidad Virtual y el entorno 3d simulado del pozo de petróleo.



(Imagen 2) - Capacidad: dos cabinas de simulación independientes.



(Imagen 3) - Capacidad: entre 4 y 6 personas, más el instructor. En simultáneo dentro del aula.

De esta manera el alumno que opere esta cabina durante los días que dure su entrenamiento podrá recrear eventos de alto riesgo en un entorno seguro y que responda de la misma forma que las cabinas donde esté habituado a trabajar.

El alumno que esté operando la cabina tendrá colocados los elementos de seguridad correspondientes, utilizando las protecciones auditivas y el casco para una comunicación directa con el instructor del curso. Como elemento de alto realismo adicional se colocará en el casco un sensor que detecta el punto de vista de alumno y modifica la proyección del entorno en los televisores según la posición de la cabeza del alumno. Esto permitirá que lo que se vea en las ventanas (monitores que las simulan) cambie su perspectiva según se ubique el alumno, como lo hace la imagen que se observa desde una ventana.

DESARROLLO DEL MOTOR DE CÁLCULO

1.1 Generalidades

El motor de cálculo es un programa que contiene un modelo físico/matemático y no posee interfaz gráfica. Desarrolla las operaciones necesarias para simular el comportamiento de los equipos, el comportamiento de las variables del proceso en función de las operaciones llevadas a cabo por el alumno y de los eventos propuestos por el instructor, utilizando datos de entrada que quedan definidos en la operación real por el operario o por la geografía, como:

- perfil geológico del pozo,
- accionamiento del freno,
- RPM fijadas para el trépano (ya sea por mesa rotatoria, motor de fondo o top drive),
- caudal fijado en las bombas de lodo,
- densidad del lodo, y
- peso del conjunto sarta-herramientas,

El motor de cálculo entregara resultados en tiempo real de las variables que un operario leería en los instrumentos reales, como por ejemplo:

- presión en la inyección de lodo,
- torque aplicado en la mesa rotante,
- diferencia de peso instantánea en función del accionamiento del freno y de las características del pozo.

1.2 Procesos a simular

Las ecuaciones del modelo permiten simular los procesos correspondientes a las actividades de perforación, pulling y Workover. Dentro de las maniobras correspondientes a la perforación se consideran:

- Perforación del pozo para la instalación de la cañería Guía
- Operación de levantamiento y roscado de las cañerías de sondeo
- Control del aparejo durante la perforación
- Extracción y/o reinserción del sondeo en el pozo ya perforado
- Extracción/recambio de herramientas
- Cerrado del pozo en caso de surgencia (operación de BOP).

Este simulador no contempla en esta primera etapa las actividades necesarias para control de pozo (well-control) en caso de surgencia pero está preparado para su incorporación a futuro. La tarea del alumno finaliza con el cierre del pozo ante la detección de señales de surgencia que sí son contempladas.

Además, para cada uno de estos procesos el motor de cálculo permite que el instructor decida la ocurrencia de ciertos eventos que pueden suceder durante la operación real y que el operario deberá resolver (ver eventos en TEORIA Y DIDACTICA).

1.3 Modelo físico/matemático

En general el motor de cálculo se puede disgregar en dos modelos, uno mecánico y el otro hidrodinámico.

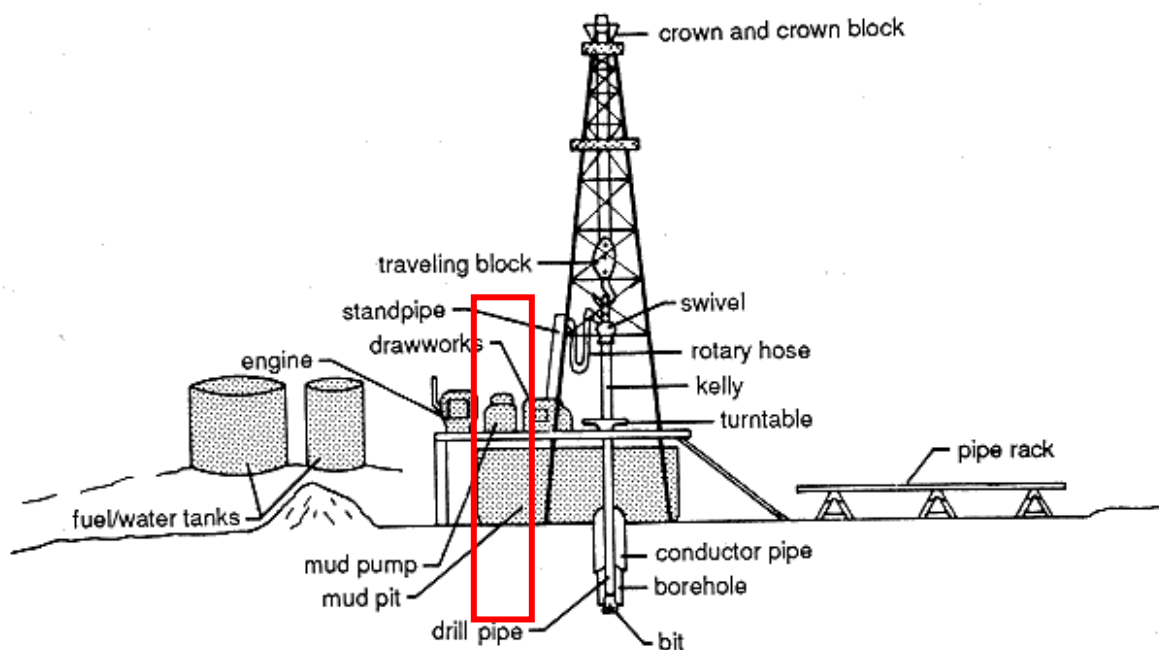
1.3.1 Modelo mecánico

En cuanto al **modelo mecánico**, se representa el conjunto herramienta-sondeo desde el punto de medición de peso (aparejo) hasta el fondo del pozo. Se contemplan como datos de entrada:

- 1) El peso del conjunto herramientas-sondeo y la adición, remoción de tubería de sondeo.
- 2) Las acciones del operario sobre el freno.
- 3) Las RPM fijadas en el sistema de rotación.
- 4) Un perfil simplificado del pozo en la posición de las herramientas (resistencia mecánica de la roca a perforar)
- 5) La geometría del conjunto herramienta-sondeo a utilizar, la cual puede ser seleccionada por el instructor al momento de configuración de un ejercicio.

Cada 40 milisegundos se resuelven las ecuaciones dinámicas que describen el comportamiento mecánico (compresión-tracción-torsión) del conjunto sondeo-herramienta en función de los parámetros de entrada para entregar, entre otros, los siguientes datos fundamentales para las operaciones:

- 1) Torque en el conjunto sondeo-herramientas
- 2) Peso diferencial instantáneo, correspondiente a la medición más sensible del Martin-Decker.
- 3) Tasa de penetración (ROP)



(Imagen 4) - Límites (en rojo) del modelo mecánico de compresión-tracción-torsión del conjunto sondeo-herramienta. (Fuente de la imagen: <http://www.kgs.ku.edu/Publications/Oil/primer12.html>)

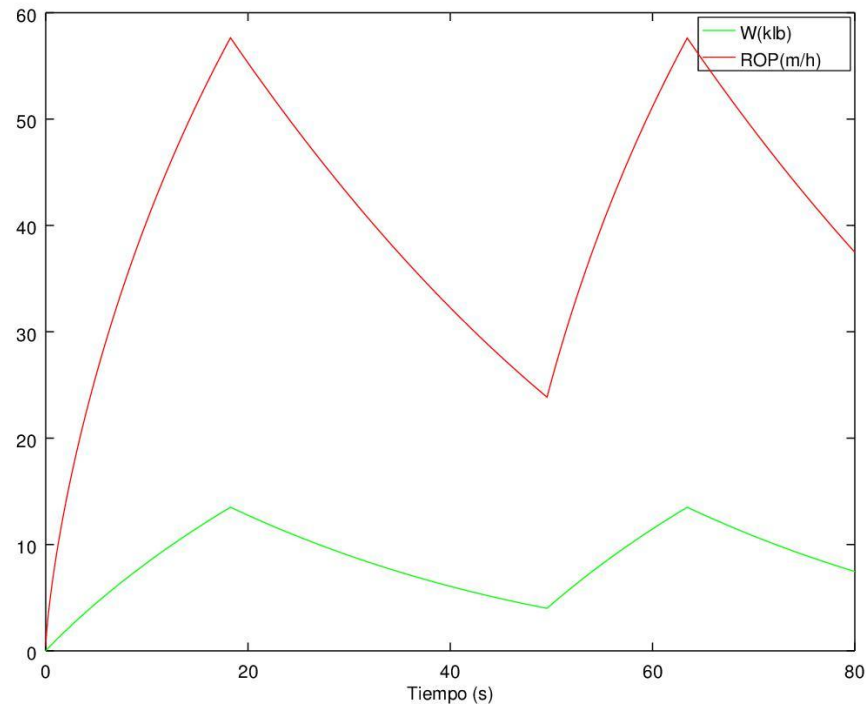
1.3.1.1 Modelo mecánico (ROP)

En cuanto al **modelo de tasa de perforación (ROP)**, se ha implementado el modelo de Bourgoyne & Young. El modelo predice que la tasa de penetración (ROP por sus siglas en inglés) expresada en pies/hora se puede determinar según:

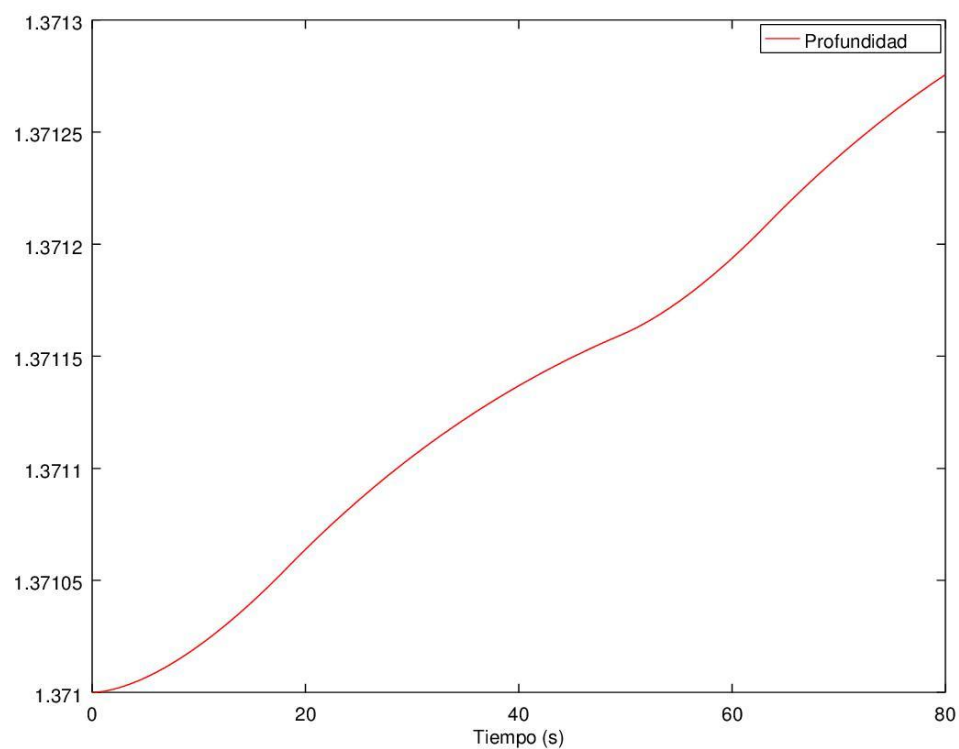
$$ROP = f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * f_5 * f_6 * f_7 * f_8$$

Cada función corresponde a una interpretación física diferente y depende de una serie de parámetros (que varían en cada simulación como el diámetro del trépano, la profundidad instantánea, el peso aplicado, la fuerza del Jet F_j , etc.) y una serie de coeficientes a_1 hasta a_8 que deben ser determinados en base a experiencias previas de perforación y dependen de las características del yacimiento.

La figura 3 expone la relación entre el peso aplicado al fondo y la tasa de perforación para una operación sencilla en la que se suelta levemente el freno dos veces. Se puede apreciar que la tasa de perforación sube hasta 60 m/h a medida que el peso aplicado sobre el fondo va ascendiendo hasta 13.5 klb, luego se aplica el freno deteniendo completamente el aparejo, y en ese momento la tasa de perforación empieza a bajar. A partir del segundo 45 se repite la operación. La figura 4 muestra la evolución de la profundidad del pozo durante dicha operación.



(Gráfico 1) - Tasa de perforación y su relación con el peso aplicado al fondo en función del tiempo.



(Gráfico 2) - Profundidad del pozo en función del tiempo para el mismo caso.

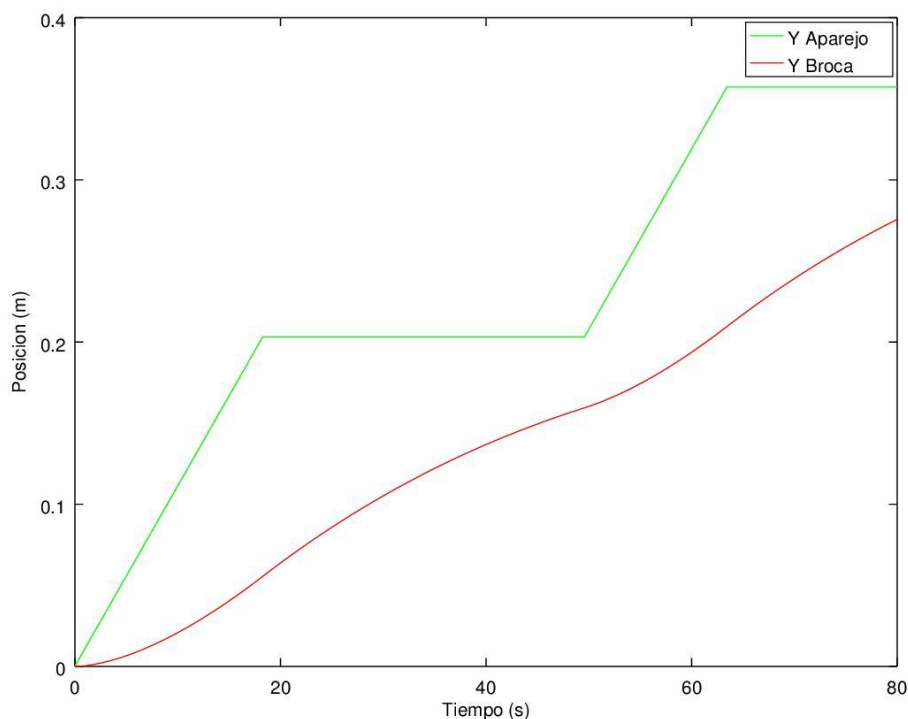
1.3.1.2 Modelo mecánico (W)

Para determinar el peso aplicado al fondo W ha sido necesario desarrollar un **modelo de peso** que consiste básicamente en un sistema de resorte y masa. Se considera a la sarta de perforación como un “resorte” que está extendido por encima de su posición de equilibrio cuando el peso del conjunto de fondo (WBHA) se encuentra completamente sostenido por la sarta sin apoyarse sobre el fondo. Cuando el tambor se mueve, la sarta baja, se apoya sobre el fondo, el peso sobre el resorte (la sarta) se reduce a medida que el peso sobre el fondo (W) aumenta siguiendo una ley lineal de deformación elástica (Hooke). Por las prácticas correctas de operación sabemos que el peso aplicado sobre el fondo nunca debe superar el WBHA, por lo que la sarta entendida como resorte nunca llegará a su posición de equilibrio ni se verá sometida a compresión.

Cabe aclarar que el modelo de peso se ve afectado por la flotación de las piezas de la sarta en el lodo.

Este dato de W sirve como entrada para el modelo de ROP que indica la velocidad con la que el trépano romperá material en función del peso aplicado hasta que el BHA quede completamente colgado de la sarta nuevamente.

La figura 5 muestra la evolución de las posiciones en el eje vertical (Y) del aparejo y de la broca respecto a sus posiciones originales para la misma operación mostrada anteriormente. En este caso se puede ver que el aparejo desciende linealmente hasta que se aplica el freno (en el segundo 20), en ese momento la broca continúa su avance a medida que la sarta de perforación vuelve a quedar completamente colgada del aparejo mientras que el aparejo queda fijo en su posición.



(Gráfico 3) - Posición vertical del aparejo y de la broca en función del tiempo para el mismo caso de las figuras 3 y 4. La posición 0 equivale a la profundidad del pozo inicial para la broca y a la altura inicial del aparejo.

1.3.1.3 *Modelo de superficie motor eléctrico (Draw-Works, Aparejo y Mesa Rotary)*

Para definir la dinámica del aparejo y su relación con los controles que puede accionar el maquinista fue necesario partir de un modelo de **motor eléctrico**, que incluye el encastre y des-encastre de draw-works y mesa rotary y un sistema de selección de cambios (alta, baja o neutro), y responde a las acciones del maquinista sobre los diversos selectores de potencia (aceleradores). La carga sobre este motor eléctrico es definida por modelos de tambor, aparejo y mesa rotary.

El **modelo de tambor** (Draw-works) consiste en utilizar los datos constructivos del tambor para determinar la velocidad de la línea viva (V_{lv}) en función de la velocidad angular (ω) del tambor acorde a la ecuación $V = \omega r$, donde r es el radio desde el cual sale la línea. Este radio a su vez varía en el tiempo como función de cuántas vueltas de cable de acero haya sobre el tambor. Además se encuentra acoplado con un modelo que, basado en la teoría disponible sobre frenos de cintas y los detalles constructivos del sistema de frenos, permita determinar el % de frenado en función del ángulo de la palanca de freno.

El **modelo de aparejo** permite determinar la velocidad (V) con la que sube o baja la sarta en función de la velocidad de la línea viva. Este modelo involucra la teoría de poleas para determinar tanto la velocidad como los efectos inerciales que aportan la flexión y deflexión de los cables de acero y demás pérdidas del sistema.

El conjunto de estos modelos permite alimentar al modelo de peso en cada paso temporal, que consecuentemente alimenta al modelo de ROP.

1.3.1.4 *Modelo de mesa rotary y torque*

El torque resistivo, que es transmitido al motor eléctrico a través de la mesa rotary, se define como una función del diámetro del trépano y de la dureza del suelo a perforar. La función que se utilice dependerá del tipo de trépano y de su forma de impulsión (motor de fondo o trépano fijo que se mueve con la mesa rotary) ya que cada combinación genera efectos diferentes en los valores de torque medidos en la boca del pozo.

1.3.2 **Modelo Hidrodinámico**

En cuanto al **modelo hidrodinámico**, se representa un circuito de flujo bi-fásico (gas-lodo) compresible que comienza en las bombas de lodo y culmina en la entrada de los tamices pasando por todo el sondeo y el fondo de pozo. Se contemplan como datos de entrada:

- 1) El caudal fijado en las bombas de lodo (emboladas por minuto)
- 2) La geometría del conjunto herramienta-sondeo a utilizar. Se debe definir un conjunto limitado de configuraciones posibles de porta-mechas, trépano, tijeras y los demás componentes que conforman la herramienta.
- 3) La profundidad del pozo instantánea.
- 4) Un perfil simplificado del pozo en la posición de las herramientas (presión poral, concentración de gas y permeabilidad de la formación).

Se resuelven las ecuaciones que describen el comportamiento hidrodinámico del circuito en función de los parámetros de entrada para entregar los siguientes datos:

- 1) Presión en la boca de pozo.
- 2) Presión diferencial.

3) Caudal de retorno y nivel de trip-tank

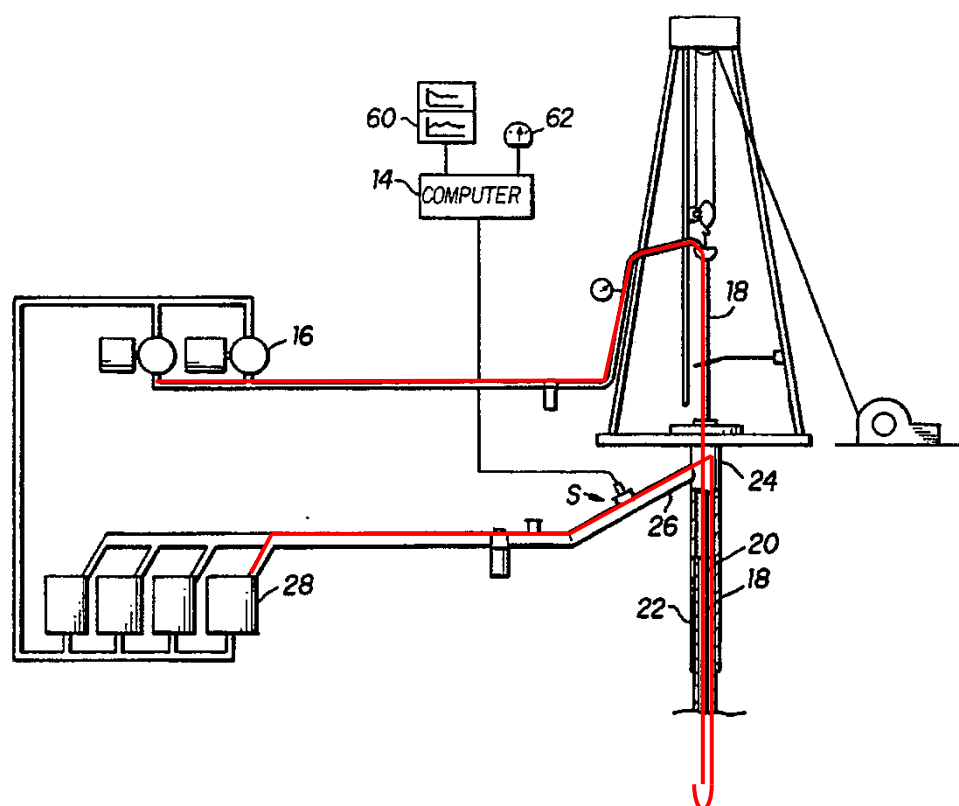
Se aborda el problema utilizando la ecuación de Bernoulli con pérdidas para determinar la pérdida de carga **de cada componente de la columna de perforación por separado** (ver diagrama de clases) en principio despreciando fenómenos de inercia.

La resolución de la ecuación es directa para el problema hidráulico dentro de la sarta de perforación, pero en el anular (espacio entre la sarta y la pared de pozo) el acople del caudal y la presión complican la resolución.

Básicamente los puntos de caudal y presión fijos no están en el mismo punto geométrico del problema. Se conoce el caudal en la salida del trépano pero no la presión y se conoce la presión en las zarandas (p atmosférica) pero no el caudal que llega allí. Este caudal a su vez dependerá de cuánto haya admitido la formación, que es función de la diferencia entre la presión local y la presión poral de la formación.

Dada esta situación es necesario utilizar un método iterativo para determinar el caudal y la pérdida de carga a lo largo del pozo. Este modelo determina la presión absoluta a lo largo del pozo y su relación con la permeabilidad de la pared para determinar el % de retorno de caudal.

Para poder representar la surgencia se incorpora un modelo de dos fases del tipo Drift-Flux, que considera a la mezcla de lodo y gas como un pseudo-fluido cuya densidad depende de la concentración de cada una de las fases. Por otro lado la densidad de la fase gaseosa es afectada por la presión local según una ecuación de estado de gas real.

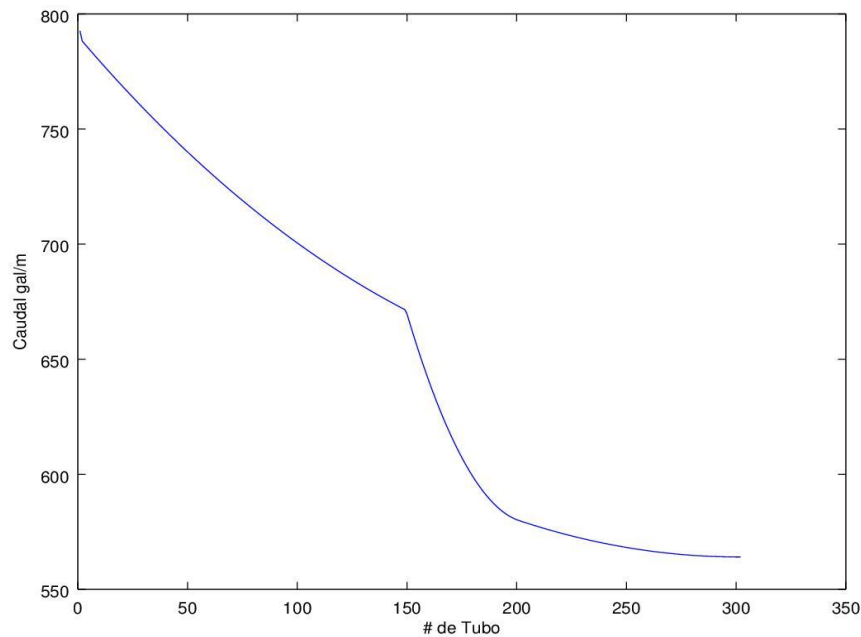


(Imagen 5) - Esquema del circuito hidráulico a resolver.

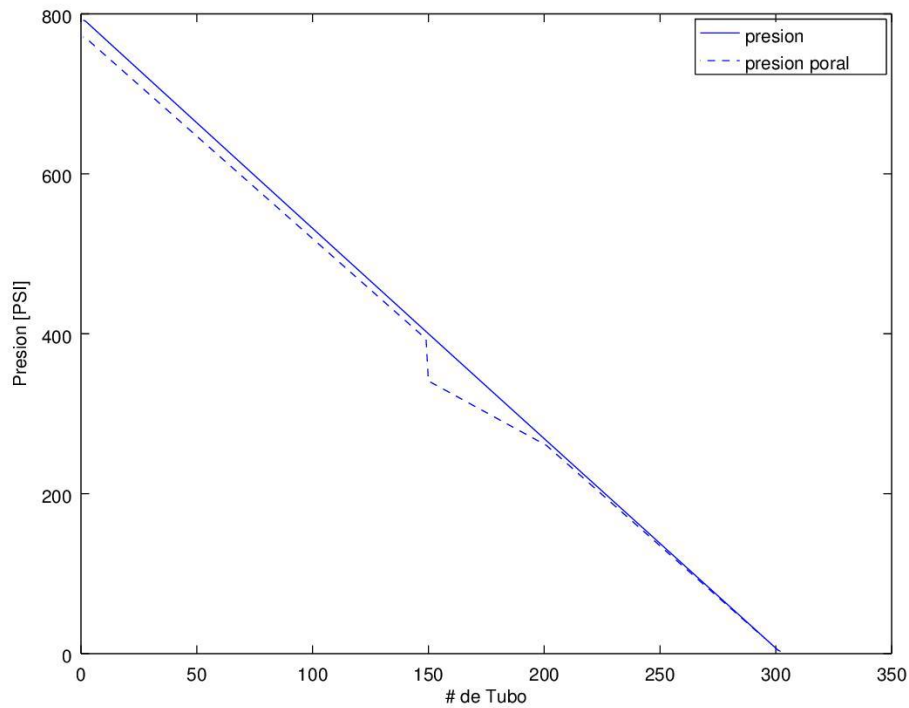
Para probar este modelo en rutinas OCTAVE se planteó un escenario en el cual hay 300 tubos numerados desde el fondo del pozo hacia arriba (es decir, en el orden en el que fueron añadidos a la

sarta). Se plantea un perfil de presión poral en el pozo que es igual a la presión de columna de agua excepto entre los tubos 150 y 200 donde la presión es algo más baja.

La figura 6 muestra el caudal a lo largo de la inversa y la figura 7 muestra la presión poral definida en cada punto y la presión del fluido. Se puede ver que en los puntos donde la presión poral baja abruptamente respecto a la presión de fluido, el caudal de fluido disminuye sensiblemente porque parte de él es admitido por la formación. Además la presión poral es algo más baja a lo largo de toda la longitud en el escenario planteado y por esto el caudal va bajando a medida que nos acercamos a la superficie. El % de retorno en el escenario planteado es de aproximadamente un 70%.



(Gráfico 4) – Caudal a lo largo de la inversa. El tubo #1 es el más cercano al fondo del pozo.



(Gráfico 5) – Presión a lo largo de la inversa. El tubo #1 es el más cercano al fondo del pozo.

Por otro lado, se utilizan las ecuaciones de conservación de masa en un volumen de control para determinar la velocidad del Jet a la salida de las boquillas del trépano, otorgando al modelo de ROP el parámetro F_j . Este modelo se acopla al modelo mecánico tanto en el efecto del jet sobre el fondo de pozo, que afecta a la tasa de perforación, como en el efecto de la flotación que modifica sensiblemente el peso de la herramienta.

El escenario planeado para la demostración es simple y solo posee tubos de diámetro constante pero el modelo implementado en el lenguaje C#, ya funcional, calcula la pérdida de carga que introducen varios tipos de piezas, por ejemplo el trépano, los estabilizadores, los portamechas, el motor de fondo, etc.

DESARROLLO DE LA REALIDAD VIRTUAL

MOTOR DE SIMULACIÓN:

El motor de simulación es un software que controla la simulación. Este posee dos ejecutables, un programa servidor que es manejado por el administrador y un programa cliente que es manejado por uno o más clientes.

A su vez, el software es el encargado de unir todas las partes que componen el simulador, gestiona y organiza las tareas que cada una de ellas hace. En líneas generales, escucha las variables de entrada del motor matemático, dispara sus eventos; escucha las variables de las palancas físicas para tomarlas como entradas; renderiza el video que muestra la simulación, tanto sus componentes 3D como todas las pantallas que despliegan información y permiten controlar la simulación; y finalmente envía los resultados de la simulación al servicio de e-learning.

El motor está construido sobre el framework Unity3D, actualmente el framework de mayor distribución en lo que respecta a experiencias visualmente ricas y complicadas. Se eligió este framework debido a la robustez que ofrece, ya que el mismo se encarga de optimizar el proceso de renderizado y de las físicas de la simulación (que no están siendo manejadas por el motor matemático).

MOTOR DE GESTIÓN DE SIMULACIÓN:

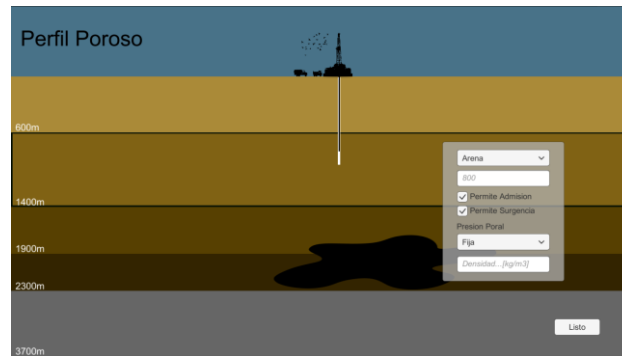
Desde este motor se crea y controla toda la simulación. El caso actualmente en desarrollo se está trabajando la creación de un equipo mecánico de perforación.

INICIO:

Se toman los parámetros de entrada con los cuales se va a trabajar en la simulación, los cuales son pedidos por el motor matemático para comenzar su análisis. Estos parámetros de entrada son:

Valores escalares: Valores que son representados solamente con un número. Entre ellos, encontramos la altura del aparejo y la profundidad del pozo (la cual tiene que ser coherente con la configuración de la sarta).

Perfil Poroso: Define como es el suelo donde se va a trabajar la perforación. Se pueden definir con cuántas capas se va a trabajar, qué material tiene cada capa, cuál es su profundidad y cual es su presión poral.



(Imagen 6) - Menú Perfil Poroso

Configuración de la sarta: Define con cuántos tubos se comienza la simulación, y cuáles son las propiedades de ellos.

Configuración del conjunto de fondo: Define como es la configuración del motor y sus componentes al iniciar la simulación.

Estado inicial del controlador: Permite definir cómo es el estado del tablero de control al iniciar la simulación; y consecuentemente, cómo está operando todo el equipo. Aquí definimos los valores de los diales de las bombas, de los motores, de la mesa rotary, el porcentaje de frenado inicial, entre otros.

Una vez tomados todos estos parámetros, podemos dar inicio al motor matemático y comenzar la simulación.

Todos estos parámetros se pueden guardar en escenarios seleccionables, de tal manera que el instructor no deba re-introducirlos cada vez que quiera volver a empezar.

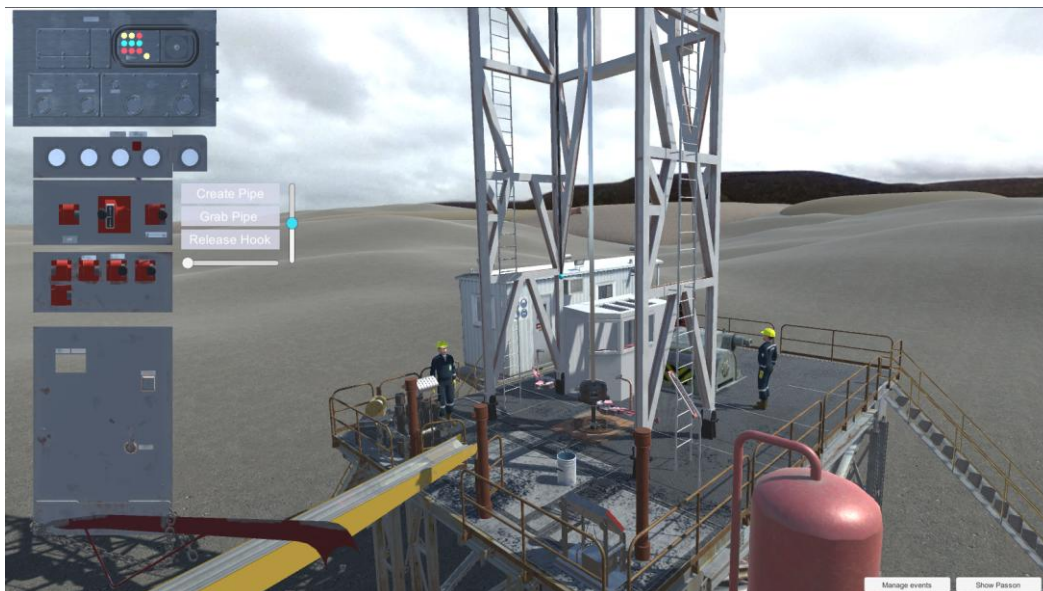
PROCESO BASE:

El simulador tiene tres modos de ser ejecutado, en modo realidad virtual o en modo de pantalla 2D de únicas pantallas (el motor es capaz de detectar si hay un casco de rv conectado, por lo que toma la decisión de iniciar un modo u otro dependiendo de esta característica) y un tercer modo, que es unido a la cabina física que emula la cabina de equipo. También tiene capacidad de detectar este tercer modo y preparar los parámetros de renderizado correspondientes para trabajarlo con múltiples pantallas.

Independiente del modo que se elija, el usuario podrá controlar el tablero de control, lo que le permitirá prender, apagar y parametrizar todos los equipos asociados a él; como por ejemplo, los motores del malacate, de la mesa rotary, o las bombas de fluido, entre otros. A su vez, el usuario tendrá la capacidad de controlar el guinche auxiliar, que le permitirá cargar nuevos tubos a la ratonera, los cuales son subidos por la plataforma auto-elevada.

Consecuente, ya en esta pantalla, el usuario tiene la capacidad de realizar todo el proceso ininterrumpido. Por ejemplo, para perforación se pueden enumerar en los siguientes pasos:

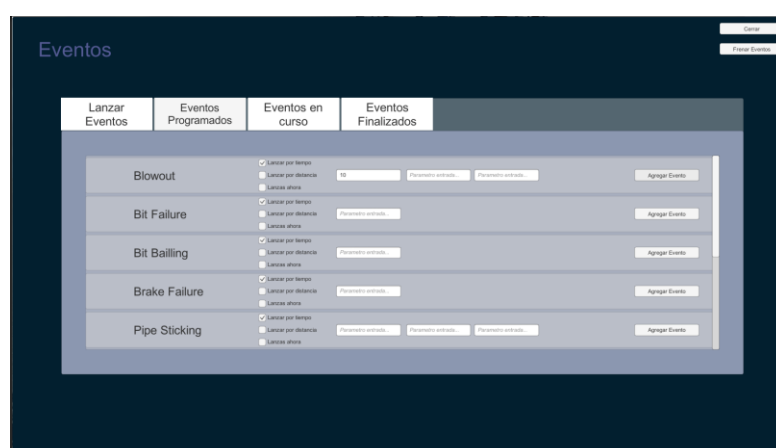
1. Perforación: El usuario encastra mesa rotary, le da potencia al motor, aumenta el caudal, y quita el freno para perforar.
2. Suba de la torre: El usuario puede frenar todos los componentes mencionados antes, y subir la torre.
3. Enrosque/Desenrosque: utilizando las llaves neumáticas, el usuario puede enroscar o desenroscar nuevos tubos.
4. Carga de nuevo tubo: El usuario puede utilizar los controles del guinche para llevar un nuevo tubo a la ratonera, el cual será luego enroscado a la sarta para continuar con la perforación.



(Imagen 7) - Simulación Pantalla 2D única

EVENTOS:

Como vimos en puntos anteriores, el simulador permitirá emular eventos críticos para entrenamiento del alumno. El motor de simulación tiene como tarea tomar los parámetros de entrada para luego pasarlo al motor matemático, el cual los gestiona y los ejecuta. Estos parámetros están compuestos por el momento de inicio, el cual puede ser dependiente de una profundidad o de un tiempo en el cual se dispara, y otros parámetros que pueden ser propios del eventos a simular.

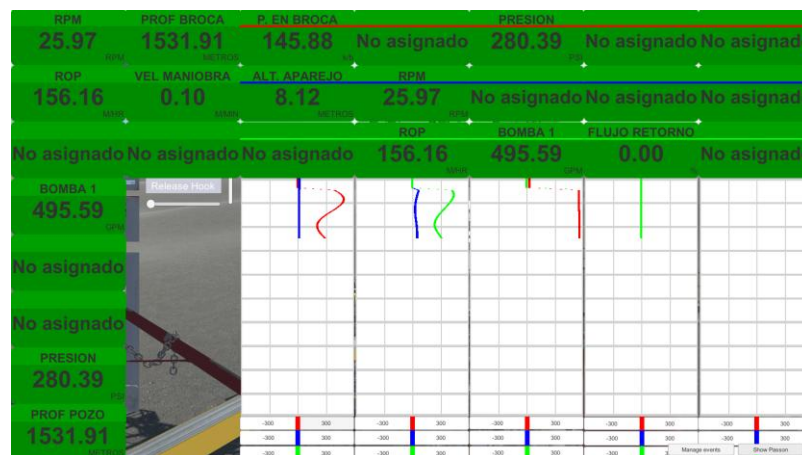


(Imagen 8) - Pantalla Selección de Eventos

Desde esta pantalla, se pueden lanzar eventos, frenar todos los eventos; y consultar los eventos programados, en curso y finalizados.

SEGUIMIENTO DE VARIABLES – PASSON:

Se construyó una pantalla similar a la pantalla Passon de la torre que permite seguir los resultados que van siendo dados por el motor matemático. Esta pantalla, al igual que la pantalla de Passon original, va graficando los valores y permite modificar las cotas de los gráficos que están siendo utilizados.



(Imagen 9) - Pantalla Passon de resultados

CONEXIÓN CON MOTOR FÍSICO

En caso de utilizar el modo físico, el motor de simulación está conectado a través de un componente electrónico a todas las palancas físicas. Este componente electrónico es el encargado de interpretar las señales de todas las palancas y diales que luego son enviados al simulador. Una vez recibidas, el motor las aplica donde corresponde, controlando de esta manera la torre que está siendo trabajada.

Dada la naturaleza modular y escalable de cómo fue construido, el simulador es capaz de aceptar diferentes tipos de componente de entrada, ya sean palancas a través de un componente electrónico, o joystick en caso de que sea un equipo eléctrico. En esta instancia, los componentes son simulados en realidad virtual, o en una pantalla 2D, dependiendo de cómo se inicializa el programa.

CONEXIÓN CON PLATAFORMA E-LEARNING

Durante toda la simulación, se van tomando resultados para evaluar la performance del usuario. Al comenzar, se le pide el nombre al simulado, de tal manera que se pueda asociar la simulación a la persona. Estos resultados son guardados en un log, que luego es enviado a la plataforma de E-Learning.

En esta primera instancia, se está tomando el tiempo de simulación, cuales son las palancas accionadas, cuando se disparó un evento, y cuánto tiempo estuvo el usuario dentro del evento.

SISTEMA MULTIPLAYER

El motor de simulación cuenta con dos programas principales, cliente y servidor.

El servidor es el administrador, es el que crea, parametriza y gestiona la simulación. Este programa servidor, el cual es corrido en su computadora independiente, es manejado por el instructor, de tal manera que pueda llevar a sus simulados a el escenario que él desee. El motor matemático corre solamente en este programa. Está encargado de introducir todos los parámetros iniciales y de disparar los eventos.

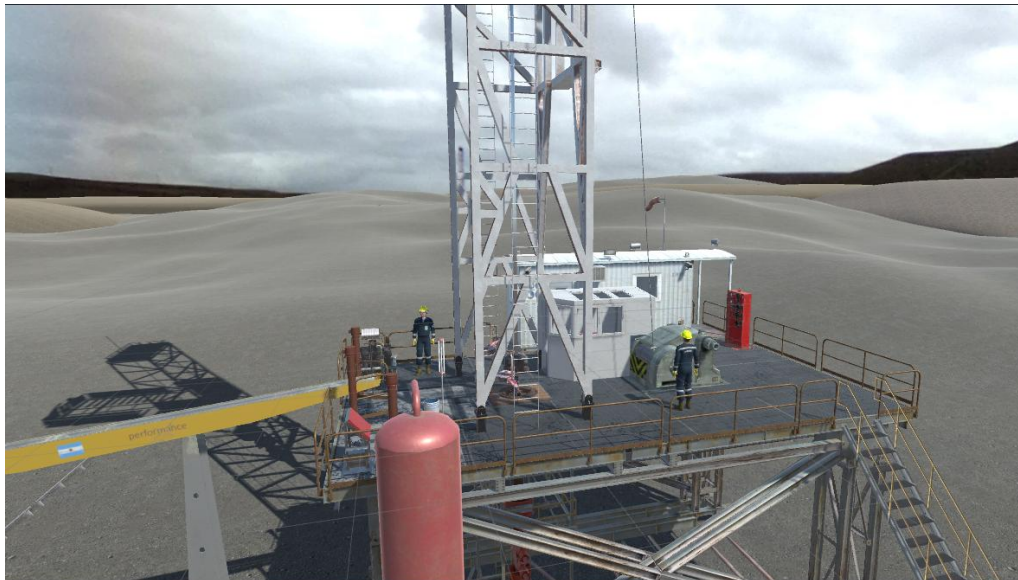
Al servidor se conectan los clientes. Estos son programas que tienen como tarea recibir input accionado por los simulados, como por ejemplo las palancas, y de renderizar toda la simulación según las órdenes del programa servidor. El cliente tiene varias maneras de inicializarse, dados los diferentes modos que tiene el simulador. Se lo asocia a un perfil, es decir, a la tarea que tiene a cargo el simulado, y a un modo de inicio. Por ejemplo, si usamos modo cabina física y maquinista, el cliente toma los inputs de las palancas reales, y renderiza a los monitores que tiene conectados. Un caso diferente es si tomamos modo realidad virtual y boca de pozo, donde el cliente toma como input los controles de realidad virtual y los elementos simulados; mientras que renderiza al casco. El programa

servidor acepta tantos clientes como perfiles acepta la simulación, y todos trabajan en simultáneo. En esta instancia, se está desarrollando solamente el perfil maquinista, y se simulan mediante inteligencia artificial todos los otros perfiles.

MODELADO 3D

Durante los relevamientos, se sacaron todas las fotos necesarias de tal manera que se pueda reconstruir la torre de la manera más similar posible. Es de particular importancia recrear el modelo de la manera más fiable posible, de tal manera que la experiencia sea lo que va a experimentar el simulado una vez que llegue a la torre.

A su vez, se modelaron personajes en 3D de tal manera que puedan tomar los perfiles de boca de pozo durante la simulación. Estos personajes están encargados de llevar adelante todas las tareas que el maquinista no puede realizar, como el enrosque con las llaves neumáticas o la carga de nuevos tubos a la ratonera.



(Imagen 10) - Torre 150



(Imagen 11) - Boca de Pozo



(Imagen 12) - Sarta

DESARROLLO DE PLATAFORMA SOPORTE

La plataforma soporte es una plataforma web tiene como principal función dictar distintos cursos de capacitación de forma online. Su utilización abarca tanto el dictado de cursos como el armado de los mismos. Los cursos están compuestos por distintos módulos independientes en los que se encuentra el contenido del mismo. Estos módulos cuentan con lecciones y exámenes para brindar el material y validar el aprendizaje de los alumnos. Al mismo tiempo la plataforma facilita distintas métricas a los usuarios para poder ir controlando el progreso de los alumnos.

2 Usuarios

A continuación, se describirán los distintos tipos de usuario de la plataforma con sus actividades principales.

2.1 Usuario alumno

El alumno es el usuario principal de la plataforma. Este usuario es el que realiza los distintos cursos de capacitación.

2.1.1 Principales actividades

Como usuario alumno las principales actividades que puedes realizar en la plataforma son las siguientes:

- Ver los cursos en los que está inscripto
- Ver los módulos y lecciones de los cursos.
- Visualizar el material de consulta de una lección.
- Realizar los distintos exámenes de un módulo, ya sean quizzes de las lecciones o el examen final del módulo.

2.2 Usuario instructor

El instructor es el usuario que se encuentra a cargo del dictado de un curso. Este usuario tiene la capacidad de ver el progreso general del curso y fijar eventos dentro del mismo.

2.2.1 Principales actividades

Como usuario instructor las principales actividades que puedes realizar dentro del sistema son las siguientes:

- Visualizar los cursos que el instructor tiene asignados.
- Administrar el calendario del curso, ya sea agregando o quitando eventos al mismo.
- Visualizar los alumnos del curso y sus estadísticas personales. Estas estadísticas incluyen la cantidad de reintentos por módulo y por examen y los módulos del curso completados.
- Visualizar los resultados de los exámenes de los alumnos.
- Visualizar los componentes de un curso. El instructor tiene acceso a los módulos, lecciones y materiales de un curso.
- Visualizar los exámenes online de un curso.
- El instructor tiene la capacidad de dar de baja del curso a un alumno.
- Para mejorar la comunicación con los alumnos el instructor puede enviar mensajes a los mismos.

2.3 Usuario experto

El usuario experto es el encargado de crear y desarrollar el contenido de un curso. Al mismo tiempo el experto tiene funciones parecidas al instructor. El usuario experto puede crear nuevos cursos y asignarles módulos, lecciones, exámenes y material a los mismos. El experto tiene asignados ciertos cursos sobre los cuales puede realizar las acciones descritas anteriormente.

2.3.1 Principales actividades

El usuario experto puede realizar todas las acciones que realiza el usuario instructor, pero además puede realizar distintas actividades que el instructor no puede. Las actividades que puede realizar el experto son las siguientes:

- Crear y modificar un curso.
- Crear, modificar, eliminar y asignar un módulo a un curso.
- Crear, modificar y eliminar una lección de un curso.
- Asignar y desasignar un material a una lección.
- Crear, modificar y eliminar un examen para un módulo o una lección.

2.4 Usuario administrador

El usuario administrador es el encargado de manejar la plataforma web para su correcto funcionamiento. Este usuario es el que tiene una mayor responsabilidad ya que tiene acceso a toda la plataforma. Este usuario tiene la facultad de agregar los distintos tipos de usuario a la plataforma.

2.4.1 Principales actividades

Las principales actividades que puede realizar el usuario administrador dentro del sistema son las siguientes:

- Agregar, modificar, eliminar otro usuario administrador al sistema.
- Agregar, modificar, eliminar usuario alumno al sistema.
- Agregar, modificar, eliminar usuarios instructor al sistema.
- Agregar, modificar, eliminar usuario experto al sistema.
- Asignar y desasignar alumnos a un curso.
- Asignar y desasignar instructores a un curso.
- Asignar y desasignar expertos a un curso.
- Crear un curso, este puede ser un curso nuevo o a partir del plan de curso ya existente.
- Modificar la información de un curso.

- Visualizar las estadísticas generales de un curso. Entre las estadísticas podemos encontrar: la cantidad de reintentos por módulo y por examen, el tiempo promedio de completitud del curso y de los módulos y el grado de avance de los alumnos en el curso.

3 Tecnologías

El Proyecto ELearning está compuesto por dos módulos. Por un lado se encuentra el módulo de front-end el cual se encarga de la parte de visualización de la aplicación. Y por otro lado se encuentra el módulo de back-end que consiste en un REST API el cual se encarga de la persistencia y consulta de la base de datos y del manejo de sesiones.

3.1 Módulo front-end

El módulo front-end se encuentra desarrollado utilizando el framework Angular 2 el cual se encarga del manejo de rutas y la visualización de las páginas. Para desarrollar este módulo se utilizaron los siguientes lenguajes de programación:

- HTML
- SCSS
- Typescript

3.2 Módulo backend/REST API

El REST API se encuentra desarrollado utilizando el framework Play Framework con el lenguaje Scala. Se utiliza la base de datos MySQL y el ORM Ebean para generar la misma.

BIBLIOGRAFÍA

W.C. Lyons. *Standard Handbook of Petroleum & Natural Gas Engineering*. Gulf Publishing Company, 1996. ISBN 088415-643-5.

A.T. Bourgoyne, F.S. Young, *A Multiple Regression Approach to Optimal Drilling and Abnormal Pressure Detection*. SPE 4238, 1974.

M.H. Bahari et al. *Determining Bourgoyne and Young Model Coefficients Using Genetic Algorithm to Predict Drilling Rate*. Journal of Applied Sciences 8 (17) pp. 3050 - 3054, 2008.

Zuber N., Findlay J. *Average volumetric concentration in two-phase flow systems*. Journal of Heat Transfer, 87:453, 1965.

White F.M. *Mecánica de Fluidos*. McGraw-Hill, sexta edición, 2008. ISBN 978-0-07-293844-9.

S. J. Chapman. *Máquinas Eléctricas*. McGraw-Hill, tercera edición, 2000.

A.T. Bourgoyne Jr, K.K. Millheim, M.E. Chenevert and F.S. Young Jr. *Applied Drilling Engineering* 1991.

Oil and Natural Gas - Society of Petroleum Engineers – Spanish 2007.

Alba Enith Rodriguez Otavo - *Estudios de control de pozos durante las operaciones de mantenimiento y workover en el campo apiay y castilla la nueva.*

Baker Hughes *Tech Facts Engineering Handbook* – 2011.

Schlumberger - *Introducción a la Perforación* – IPM.

Schlumberger - *Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores. Los cinco sistemas Básicos del equipo de perforación.*

Baker Hughes - *Introduction to Drilling Vibrations.*

Francisco Alberto Valle Conde *Geología del Petróleo.*

Ing. Gustavo Adolfo Lara Muñoz - *Diseño, construcción y mantenimiento de localizaciones y sus caminos de acceso, para la perforación de pozos petroleros terrestres* –NRF-256-PEMEX-2010.

Francisco Barceló

Título y lugar de estudio:

- Ingeniero Electromecánico – UADE.
- Maestría en Simulación Numérica y Control (En curso) – UBA.



Trayectoria:

- Desde 2009 se desarrolla tanto en el ámbito académico como en el privado a la simulación computacional de fenómenos físicos, especialmente en las áreas de mecánica de fluidos y transferencia de calor, para la resolución de problemas industriales.

Cargo actual en la empresa:

- Especialista en Simulación - CANDOIT Ingeniería y Tecnología.
- Docente Investigador – UADE.

Juan Ignacio Molteni

Título y lugar de estudio:

- 03.2007 – 02.2014 | Universidad Austral. Graduado en Ingeniería Informática.

Trayectoria:

- 02.2015 - 02.2016 | Sensus3D. Co-Fundador en el emprendimiento Sensus3D (www.sensus3d.com).
- 08.2012 - 12.2014 | ImmersiveTouch. Desarrollo e investigación en tecnologías de háptica y realidad virtual para entrenamiento quirúrgico.
- 05.2011 - 12.2011 | Intersoft. Desarrollador Java. Desarrollo de aplicaciones BPM utilizando el framework JRapid

Cargo actual en la empresa:

- 03.2016 - Actual | Universidad Austral. Director Austral Media (Laboratorio de simulación).



Ignacio Núñez

Título y lugar de estudio:

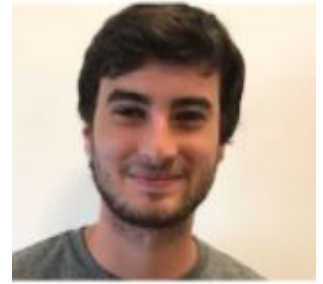
- Ingeniero en informática, Universidad Austral

Trayectoria:

- Lemans Automotores, Sector ventas. Asistente de ventas. Vendedor de autos en sucursal e e-commerce.
- Human – log S.A, sector informática. Analista funcional. Encargado de relevar los requerimientos en las empresas donde se prestaba servicio con el fin de presentar una propuesta informática. Desarrollo de aplicaciones a partir del proyecto.
- Sirius Systems, Sector informática. Coordinador del desarrollo de software. Encargado de firmar acuerdos con clientes y formar equipos eficientes para el desarrollo de sistemas

Cargo actual en la empresa:

- Coordinador del desarrollo de software.



Anibal J. Rodriguez

Título y lugar de estudio:

- Ingeniero Industrial. Universidad de Buenos Aires.
- Técnico Mecánico. E.N.E.T N° 17



Trayectoria:

- LA NUEVA METROPOL Octubre 2010-Enero 2011 / Gerente de Mantenimiento y Repuestos
- GRUPO PLAZA Octubre 2007-Septiembre 2010 / Gerente de Mantenimiento y Repuestos.
- CONSULTORIA Agosto 2007-Octubre 2007 / Desarrollo de Maestría Universitaria, Consultoría de Empresas de Servicios.
- GESTAMP BAIRES 2005-Agosto 2007 / Gerente de Planeamiento-Gerente de Logística.
- ASESORAMIENTO TECNICO/ INDUSTRIAS PLA S.A. 2002-2005 / Consultor Técnico.
- DEUTZ / AGCO ARGENTINA / CARRARO ARGENTINA 1983-2001 / Gerente de Planificación de la Producción, Proveedores, Activamiento, Inventarios, Despacho a Clientes, Atención al Cliente, Compras.
- ASESORIA E INSTALACIONES INDUSTRIALES 1982-1983 / Consultoría de Análisis de Métodos.
- GRISOLIA Y ROMER 1976-1982 / Analista.

Cargo actual en la empresa:

- FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD AUSTRAL / Marzo 2011-Actualidad / Director Desarrollo Área Transferencia Tecnológica.

SPERANZA IVO

Título y lugar de estudio:

- Licenciado en Diseño Industrial Titulo UBA.

Trayectoria:

- Conocimiento avanzado de modelado 3d CAD.
- Diseño e innovación en Empresas como Smartdrink S.A.
- Especialista en Impresión 3d brindando servicio a pymes durante 3 años.
- Especialista en desarrollo de mecanismos y dispositivos especiales.
- Prototipos funcionales y puesta en marcha de proyectos de innovación tecnológica.

Cargo Actual:

- Desde 2016 - Asesoría técnica e investigación y desarrollo para UNIVERSIDAD AUSTRAL, proyectos de ingeniería y afines, dentro de Plaza de transferencia tecnológica.

