



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA

TESIS PROFESIONAL

**“EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE FORMACIONES PARA EL DISEÑO
DE LA COLUMNA GEOLÓGICA EN SIMULADOR DE CONTROL
DE BROTES EN POZOS PETROLEROS.”**

Que para obtener el título de:

Ingeniero Petrolero

Presenta:

PATRICIA ALVARADO HERNANDEZ

No. De Control. 133S0215

CLAUDIA CECILIA ZAVALA HERRERA

No. De Control. 153S0048

Asesor:

ING. ROSALINO DEL ANGEL AVILES

Agradecimientos

Hay personas en la vida que te guían por diferentes caminos, unos te brindan su apoyo en los buenos momentos, como en tiempos de tristeza y desesperación, haciéndose presente con una sonrisa o unas palabras de ánimo, alentándote a perseguir los objetivos y no descansar hasta lograrlos.

A dios por guiar siempre mi camino y darme la fe para seguir siempre adelante hasta alcanzar mis metas.

A mis padres que son el motor para levantarme cada día y seguir en un proceso de mejora continua, brindándome siempre tranquilidad en el hogar, nunca podré terminar de agradecerles su ayuda constante. Por brindarme la oportunidad de existir, sacrificando sus propias aspiraciones para poder darme una educación y siempre impulsarme a seguir adelante, gracias por cada consejo y cada una de tus enseñanzas que me han guiado a lo largo de mi vida.

A mi novio, por su apoyo incondicional, tanto en los buenos como en los malos momentos, gracias por ser la fuente motivacional que impulsa mi vida hacia el éxito.

A mi asesor Ing. Rosalino Del Ángel Avilés por su tiempo, experiencia y conocimiento que aporta mi trabajo, así mismo por su entusiasmo y su visión crítica y constructiva.

Al M.C Raúl Hernández Rivera por su tiempo, apoyo y conocimientos aportados a este proyecto.

A mi jefa de carrera I.Q. Diana Franco Clemente que tuvo la paciencia para revisar y realizar sugerencias pertinentes a este trabajo, hasta poder concretarlo.

A mis docentes y compañeros, que me ayudaron de forma profesional, intelectual, laboral o motivacional, les agradezco por ser parte de este camino que llega a su fin.

Al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca por darme la oportunidad de ser parte de uno su comunidad educativa y de esta manera formar mi carrera profesional.

Resumen

Unos de los mayores problemas que se pueden encontrar al momento de realizar un pozo petrolero es la invasión de fluidos de la formación al pozo, fenómeno conocido como brote, que en caso de no ser detectado a tiempo puede originar un reventón, el cual sería totalmente catastrófico, porque provocaría pérdidas de materiales y equipo, e inclusive de vidas humanas, además de causar severo daño al medio ambiente.

1. El entrenamiento de estudiantes y trabajadores juega un papel importante en la formación de habilidades y competencias, por tal motivo se llevo a cabo este dicho proyecto que trata del diseño y elaboración de un equipo electrónico que ayude a los estudiantes del ITSTA a desarrollar conocimientos prácticos en el tema de perforación de pozos petroleros.

El equipo electrónico consta de una balanza para medir la densidad del lodo de perforación, ésta se fabricó con una celda de carga y la tarjeta Arduino Uno para la lectura y procesamiento de los datos; y un simulador que está desarrollado en el entorno gráfico de LabVIEW 2017. A partir de los datos obtenidos con la balanza es posible monitorear y controlar los parámetros como la profundidad de perforación, presión hidrostática, volumen de presas y revoluciones por minuto de la barrena. Con la ayuda de este equipo los estudiantes pueden entender mejor los problemas que se presentan en la perforación de pozos, generar experiencia, controlar situaciones y evitar accidentes.

Para esto se requiere de software y equipo que puedan simular las condiciones de operación que se generan al momento de presentarse el brote, el mercado ofrece varios simuladores pero tienen un costo elevado que algunas instituciones educativas no pueden solventar, de ahí la importancia de este software que ayuda a los estudiantes a tomar decisiones correctas al momento de presentarse una invasión de fluidos a la formación del pozo.

Palabras Clave: Brote, pozos, software, fluido invasor, plataforma petrolera, Arduino, LabVIEW, Lodo, Simulador.

Abstract.

One of the biggest problems they may encounter when making an oil well is the invasion of formation fluids to the well, a phenomenon known as an outbreak, which if not detected in time can cause a blowout, which is totally catastrophic, because it would cause loss of materials and equipment, and even human lives, in addition to causing severe damage to the environment.

The training of students and workers plays an important role in the formation of skills and competences, for this reason this project was carried out that deals with the design and development of an electronic team that helps ITSTA students to develop practical knowledge in The issue of drilling oil wells.

The electronic equipment consists of a balance to measure the density of the drilling mud, this fabric with a load cell and the Arduino Uno card for reading and processing the data; and a simulator that is developed in the graphic environment of LabVIEW 2017. From the data detected with the balance it is possible to monitor and control the parameters such as drilling depth, hydrostatic pressure, volume of dams and revolutions per minute of the auger. With the help of this team, students can better understand the problems that arise in drilling wells, generate experience, control situations and avoid accidents. This requires software and equipment that can simulate the operating conditions that may occur at the time of presenting the outbreak, the market offers several simulators but they have a high cost that some educational institutions cannot solve, hence the importance of this software which helps students make the right decisions when presenting an invasion of fluids to the formation of the well.

Key Words: Outbreak, wells, software, invasive fluid, oil platform, Arduino, LabVIEW, Mud, Simulator.

Introducción.

El petróleo se encuentra a gran profundidad. Conforme con la profundidad proyectada del pozo, las formaciones que se marchan a atravesar y las condiciones propias del subsuelo, se escoge los equipos de perforación más indicados.

La perforación, así como la exploración, son un tipo de actividad que demanda mucho tiempo y también recursos financieros. De ahí que, un equipo de perforación solo se instala y empieza a perforar solo cuando geofísicos y geólogos han acordado la ubicación más capaz para buscar hidrocarburos ubicados en el subsuelo.

Para esto se requiere de personal calificado que conozca los procedimientos que deban llevarse a cabo para evitar que ocurra un brote, mantener bajo control la excavación de pozos, para así evitar tanto perdidas económicas como humanas.

Es por ello que se desarrollara un equipo electrónico que mida la densidad del lodo y simule el monitoreo de parámetros de formación y control de brotes en pozos petroleros; en el entorno de programación de Arduino Uno y LabVIEW 2017.

El capítulo I pertenece al Marco Referencial en el cual se presentan los antecedentes del proyecto y como a lo largo del tiempo se ha ido desarrollando técnicas y aplicando distintos simuladores de perforación de pozos petroleros, a esto llamamos estado del arte. También se explica el

planteamiento del problema a resolver. Se exponen los objetivos y la justificación para la realización del proyecto, así como los alcances y limitaciones del mismo.

El capítulo II corresponde al Marco Teórico en el cual se describe los temas de importancia que se deben tomar en cuenta para el mejor entendimiento del problema a resolver, así como los materiales necesarios para la realización del aparato electrónico y desarrollo del software de simulación.

En el capítulo III que es el Marco Metodológico se exponen los métodos de investigación utilizados para llevar a cabo el proyecto.

El capítulo IV perteneciente al Marco Operativo, se explica el procedimiento que se siguió para elaborar el simulador de técnicas de detección, de monitoreo de parámetros de formación y control de brotes en pozos petroleros, se muestran los diagramas de conexión, el código Arduino y se describe el funcionamiento del programa en LabVIEW.

En el capítulo V se presentan los resultados obtenidos al poner en práctica el equipo electrónico elaborado (balanza y simulador). Se exponen las conclusiones y se hacen algunas recomendaciones acerca de cómo utilizar y mejorar el proyecto.

INDICE

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Introducción.....	4

CAPITULO I. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes.....	13
1.2. Descripción de la Empresa.....	15
1.2.1 Política Integral.....	15
1.2.2. Objetivo de la Calidad.....	15
1.2.3. Objetivo Ambiental.....	15
1.2.4. Misión.....	15
1.2.5. Visión.....	16
1.3 Planteamiento del Problema.....	17
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 Objetivo General.....	18
1.4.2 Objetivos Específicos.....	18
1.5 Justificación.....	19
1.6 Alcances y Limitaciones.....	20
1.6.1 Alcances.....	20
1.6.2 Limitaciones.....	20

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1 Perforacion de Pozos Petroleros.....	22
2.1.1Control de Pozos.....	23
2.1.2Parametros importantes en el control de Pozos.....	25

2.1.3Registro Previo de Informacion.....	26
2.1.4Registro de las Presiones de cierre de Pozo.....	27
2.2Fluidos de Control de Perforacion.....	28
2.2.1Caracteristicas de los fluidos de Perforacion.....	28
2.2.1.1Densidad.....	28
2.2.1.2Viscosidad.....	28
2.3Objetivo de los Fluidos de Perforacion.....	24
2.4Fluidos de Perforacion mas Comunes.....	24
2.5Causa de los Botes.....	30
2.6Indicadores de un Brote.....	31
2.6.1Contaminacion por Gas, Aceite o Agua.....	31
2.6.2Presion Hidrostatica.....	33
2.6.3Densidad Insuficiente del Lodo.....	34
2.6.4Incremento de la tasa de Perforacion.....	35
2.6.5Incremento del Volumen de Fluido en Superficie.....	35
2.6.6Disminucion de la Presion de la Bomba.....	36
2.7Medidas de la densidad del lodo en el Campo.....	36
2.7.1Causas Comunes de Errores.....	37
2.8Control de Densidad.....	38
2.9 Procedimientos de Cierre.....	39
2.9.1Cierre al estar Perforando.....	39
2.9.2Cierre al Viajar con TP.....	40
2.9.3Cierre al sacar o meter herramienta.....	41
2.9.4Cierre sin tuberia dentro del Pozo.....	41
2.10Estratigrafia.....	42
2.10.1Objetivos de la Estratigrafia.....	44
2.11Rocas.....	45
2.11.1Clasificacion de las rocas.....	45
2.11.1.1Rocas Igneas o Eruptivas.....	45
2.11.1.2Rocas Plutonicas, Intrusivas o Abisales.....	48

2.11.1.3Rocas Efusivas o Volcanicas.....	48
2.11.1.4Rocas Sedimentarias.....	49
2.11.1.5Rocas Metamorficas Clasticas.....	52
2.12Microestructura de las Rocas.....	55
2.13Estrato.....	56
2.14Simulacion de Control de pozos.....	57
2.15LabView.....	58
2.15.1Entorno.....	59
2.15.2Estructuras.....	60
2.15.2.1Sequence.....	60
2.15.2.2CASE.....	61
2.15.2.3WHILE.....	62
2.15.2.4FOR.....	63
2.15.2.5EVENT.....	64
2.16 Arduino Uno.....	66
2.16.1Entradas y Salidas.....	67
2.16.2Pines Especiales de Entradas y Salidas.....	67
2.16.3Alimentacion de un Arduino.....	68
2.17Celda de Carga.....	68
2.17.1Galga Extensiometrica.....	70
2.17.2Puente de Wheatstone.....	71
2.17.2.1Funcionamiento.....	72
2.17.2.2Medicion.....	72
2.18 Modulo HX711.....	73

CAPITULO III. DESARROLLO

3.1Metodologia del Proyecto.....	75
----------------------------------	----

CAPITULO IV. MARCO OPERATIVO

4.1Elaboracion de la Balaza con la Celda de Carga.....	77
--	----

4.2Conexion de la celda de carga al Modulo HX711.....	77
4.3Conexion de la Balanza a la Tarjeta Arduino Uno.....	78
4.4Codigo Arduino.....	78
4.5Programa LabView 2017.....	80

CAPITULO V. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1Resultados.....	84
5.2Conclusiones.....	87
5.3Recomendaciones.....	88

CAPITULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y VIRTUALES

6.1Fuentes de Informacion Bibliografica.....	90
6.2 Fuentes de Informacion Virtual.....	92
ANEXOS.....	94

INDICE DE FIGURAS

Figura I. Perforacion de un Pozo Petrolero.....	22
Figura II. Proceso de Perforacion.....	22
Figura III. Reventon en Pozo Petrolero.....	23
Figura VI. Monitoreo de Presion de Cierre.....	27
Figura V. Lodos de Perforacion	30
Figura VI. Expansion de Gas en la Boca del Pozo.....	32
Figura VII. Medicion de Flujo en Linea de Flote.....	35
Figura VIII. Balanza Para Medir Densidad de Lodos.....	37
Figura IX. Estratos de Diferentes Espesores.....	56
Figura X. Panel Frontal.....	59
Figura XI. Diagrama de Bloques.....	59
Figura XII. Estructuras de tipo Sequence.....	60
Figura XIII. Estructuras CASE.....	61
Figura XIV. Tipos de datos que son validos en CASE.....	62
Figura XV. Estructura WHILE.....	63
Figura XVI. Estructura FOR.....	64
Figura XVII. Estructura EVENT.....	65
Figura XVIII. Placa Arduino Uno.....	66
Figura XIX. Caracteristicas tecnicas del Arduino Uno.....	67
Figura XX. Celda de Carga.....	69
Figura XXI. Balanza con celda de Carga.....	69
Figura XXII. Galga Extensiometrica.....	70
Figura XXIII. Diagrama de un Puente Wheatstone.....	71
Figura XXIV. Modulo HX711.....	73
Figura XXV. Balanza con Celdas de Carga.....	77

Figura XXVI. Conexion de la celda de Carga al Modulo HX711.....	77
Figura XXVII. Diagrama de Conexion.....	78
Figura XXVIII. Programa Arduino para leer Densidad de Lodos.....	79
Figura XXIX. Programa en LabView para determinacion de Densidad de lodos.....	80
Figura XXX. Programa en LabView para determinar la densidad del lodo mediante su peso.....	81
Figura XXXI. Comparacion correcta de densidad de lodos.....	82
Figura XXXII. Comparacion de Densidad de prueba Incorrecta.....	82
Figura XXXIII. Calibracion de Balanza.....	84
Figura XXXIV. Captura de Datos.....	84
Figura XXXV. Comparacion de datos obtenidos.....	85
Figura XXXVI. Grafica de los datos obtenidos en tiempo real.....	85
Figura XXXVII. Demostracion de Peso del Lodo.....	85
Figura XXXVIII. Simulador en LabView, Pestaña Docente.....	86
Figura XXXIX Simulador en LabView.....	86

INDICE DE TABLAS

Tabla I. Rocas Igneas.....	46
Tabla II. Rocas Sedimentarias o Dentriticas.....	50
Tabla III. Rocas Sedimentarias Quimicas.....	51
Tabla VI. Rocas Metamorficas Comunes.....	53
Tabla V. Terminologia aplicada a los sedimentos y rocas dentriticas.....	55
Tabla VI. Parametros para determinar densidad de Lodos.....	80
Tabla VII. Valores de Peso y Densidad de Lodo.....	81

CAPITULO I.

MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

El Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, fue creado hace 23 años, con el propósito de brindar una educación de calidad desde sus inicios hasta la fecha por tal motivo se actualiza en cada una de sus especialidades en este caso será en base a un sistema de competencias en el que se requiere la formación de un estudiante de manera integral, además obtener la capacidad de capacitar a trabajadores de compañías que lo soliciten.

Desde los inicios de la perforación de pozos petroleros no se tenía un control para los fluidos que emergían del pozo porque las operaciones eran artesanales, con el paso del tiempo la profundidad a la que se encontraban los yacimientos fueron aumentando y se tuvo que emigrar a la ingeniería para poder extraer los hidrocarburos atrapados entre las rocas y minimizar el impacto ambiental causado por esta actividad.

En el ITSTA aún no se cuenta con un software y equipamiento necesario para hacer prácticas en donde los estudiantes de ingeniería petrolera puedan realizar lo práctico en base a lo teórico. Para un ingeniero petrolero es de vital importancia conocer los tipos de rocas que se encuentran en un yacimiento así como sus propiedades, para saber que se realizara y que se hará en cada uno de los casos que se vayan presentando por lo que el diseño de este simulador le será de gran ayuda en su formación profesional, porque podrán interactuar con equipos similares que encontrara en el área laboral.

Hace muchos años, la detección de los brotes no era una ciencia como la de hoy en día. Había un método popular llamado "marco señalador de brotes" ya que se utilizaba la altura del lodo expulsado a través de la mesa rotatoria para determinar si había ocurrido un influjo. Esto fue a su vez tanto la causa como el efecto de una renuencia a utilizar el arreglo de preventores de reventones

para cerrar un brote. La cuadrilla de perforación temía que al cerrar los preventores, se perdiera la circulación o se pegara la tubería. Solo mediante la experiencia suficiente y un costoso experimento a tanteo, el personal se dio cuenta que un cierre tardado era la causa de los problemas.

En la industria de explotación de hidrocarburos se requiere estar preparado para enfrentarse a diversos problemas que surgirán cuando se perfore un pozo, que en caso de no saber actuar ante tales incidencias pueden provocar daños y pérdidas de vidas humanas, instalaciones, equipos y el medio ambiente, que representa pérdidas millonarias para las empresas dedicadas a esta rubro. Uno de los problemas que se puede enfrentar un ingeniero petrolero al perforar en un pozo es la entrada de fluidos no deseados como aceite, gas y/o agua que provienen de la formación, conocido como brote, que si no es controlado a tiempo puede causar daños irreversibles.

En esta investigación se hace el diseño de un software de simulación de control de pozos petroleros para el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca (ITSTA) en donde podremos como estudiantes interactuar con las variables que entran en operación durante el control de un pozo, y puedan implementar los conocimientos teóricos adquiridos en clases tales como presión, temperatura, volúmenes, caudal, entre otros, que son parámetros importantes que tienes que conocer para aplicar una metodología de control de pozo.

1.2 Descripción de la Empresa

1.2.1. Política Integral

Estamos comprometidos a ofrecer un servicio educativo integral, orientado hacia la satisfacción de nuestros clientes y partes interesadas, logrando la mejora continua y la preservación del medio ambiente, cumpliendo con los requisitos legales aplicables y otros requisitos, basado en un sistema de gestión integral.

1.2.2. Objetivos de Calidad

- Ofrecer un servicio educativo integral de calidad.
- Mejorar el proceso educativo asegurando el cumplimiento de los objetivos y requisitos del sistema de gestión de la calidad.

1.2.3. Objetivo Ambiental

- Crear una cultura de responsabilidad ambiental en el personal, estudiantes y partes interesadas.

1.2.4. Misión

Somos un equipo comprometido con la excelencia educativa, ofreciendo Servicios a nivel licenciatura y posgrado, integrales, certificados, acreditados, que contribuyen a satisfacer las necesidades del entorno regional, nacional e internacional siendo líder en la formación de profesionistas con conciencia

humana y de protección al medio ambiente, para impulsar el desarrollo del sector social, productivo y de servicios.

1.2.5 Visión

Ser una institución reconocida al contar con programas educativos flexibles, conocimientos certificados, incorporando estudios de posgrado, movilidad académica y servicios virtuales.

Por su personal, desarrollando capital humano con perfil deseable.

Socialmente responsable, al generar investigación así como el desarrollo tecnológico sustentable cumpliendo con las normas ambientales.

Competitiva, al posicionar a los egresados en el sector laboral, evaluando de acuerdo a estándares de desempeño global que satisfaga las necesidades del entorno.

1.3 Planteamiento del Problema

El instituto tecnológico Superior de Tantoyuca tiene la necesidad de brindar una educación de calidad en base a un sistema de competencias en el que se requiere la formación de los estudiantes de manera integral y didáctica. Esta institución aún no cuenta con el software y equipamiento necesario para hacer práctica en donde los estudiantes de ingeniería petrolera y carreras afines puedan ver reflejados todos los conocimientos que adquirieron en el aula.

Para un ingeniero petrolero es de vital importancia comprender el comportamiento de un pozo y saber qué hacer en caso de que exista un brote, por lo que el diseño de este software le será de gran ayuda en su formación profesional, porque podrán interactuar con equipos similares que encontrara en el área laboral.

Para diseñar este simulador es necesario saber los procedimientos que se llevan a cabo en la operación de control de pozos y que los estudiantes manejaran al culminar sus estudios..

Es difícil pronosticar el costo de un reventón, sin embargo puede asegurarse que será muy costoso. Ya que los descontroles son peligrosos para cualquiera que esté cerca del equipo o de la plataforma; el mayor peligro lo constituyen las lesiones graves o la pérdida de vidas. Además, el costo de la plataforma y de la barrena podría ser de poca importancia en comparación con el costo de limpiar la contaminación, los requerimientos de rendir informes en cumplimiento de los reglamentos, falsa publicidad y poner en peligro al personal que esta laborando.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un software para la simulación de control de pozos petroleros, a través de un algoritmo sencillo que sea fácil de entender y amigable con el usuario, para que sean accesibles y comprensibles a los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca y puedan mejorar sus conocimientos y habilidades para enfrentarse a su vida laboral.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar un software sobre los métodos de control pozos petroleros, para desarrollar y seleccionar los métodos a utilizar en la simulación.
- Desarrollar un análisis de los softwares actuales que se utilizan en la simulación para registrar los variables que se presentan en un descontrol.
- Generar la opción para que el usuario pueda crear su propio estado mecánico.
- Hacer algoritmos para determinar la presión de la prueba de goteo.
- Tener opciones de acuerdo al tipo de causa que genere el brote que se presente que permita evaluar e inferir el comportamiento de las variables o cambios que originan un brote, con ayuda de una base de datos.
- Preparar un algoritmo para determinar el cambio de las presiones al momento de estar evacuando un brote.

1.5 Justificación

En la actualidad las grandes empresas petroleras tienen equipos y software que utilizan para capacitar a su personal. Por diferentes razones como son el costo de los equipos y la dificultad de conseguirlos, nuestro instituto no cuenta con la facilidad de conseguir dichos software; actualmente existen dos versiones, las cuales son sumamente costosas, por tal motivo las instituciones de educación pública no tienen el recurso para adquirirlos. Por ende, es de gran importancia diseñar y desarrollar software de simulación para el control de pozos petroleros que sean eficientes y de bajo costo, pero sin disminuir la calidad y exactitud de la simulación, que sirvan a los estudiantes de las instituciones educativas que brindan la carrera de ingeniería petrolera, como el ITSTA, para estar mejor preparados y experimenten situaciones reales que pueden darse al momento de perforar un pozo para extraer hidrocarburos y puedan tomar las decisiones correctas.

Al tener herramientas que sean semejantes a las que utilizan en el área laboral los estudiantes estaremos mejor capacitados para actuar en una situación de contingencia y el ITSTA tendrá mejor calidad educativa sin depender de licencias privadas o cursos de control de pozos externos a nuestra institución.

1.6. Alcances y Limitaciones

1.6.1 Alcances

Poner en práctica conocimientos teóricos.

- Llevar a cabo prácticas simuladas de monitoreo y control de pozos petroleros.
- Aprender a determinar la densidad del lodo.
- Llevar a cabo el proceso simulado de perforación de pozos.
- Generar conocimientos sobre cómo actuar en caso descontrol de pozo y posibles brotes.

1.6.2 Limitaciones

- No se trabaja en un entorno real.
- No se puede comparar el resultado obtenido de la balanza implementada con una balanza especial para medir la densidad del lodo.
- No es posible monitorear todas las variables del lodo de perforación.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 Perforación de Pozos Petroleros

El término pozo petrolífero alude a cualquier perforación del suelo diseñada con el objetivo de hallar y extraer fluido combustible, ya sea petróleo o hidrocarburos gaseosos.

La parte de
imagen con el
identificador de
imagen 0512 no
se encontró en el
archivo.

La parte de
imagen con el
identificador de
imagen 0512 no
se encontró en el
archivo.



Figura I. Perforación de Pozos Petroleros

El proceso de perforación consiste en hacer un agujero mediante la rotación de la sarta de perforación y la aplicación de una fuerza de empuje en el fondo, utilizando una barrena

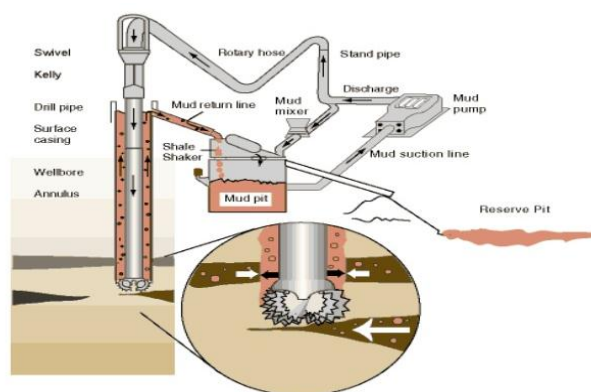


Figura II. Proceso de Perforación

Hay dos fuerzas principales que trabajan en forma opuesta en un pozo. Estas son la presión de la columna hidrostática de fluido y la presión de formación. Si una de las presiones supera a la otra entonces puede ocurrir un brote o una pérdida de circulación. Debido a que la presión hidrostática es función de la

densidad del fluido de trabajo en el pozo, su valor debe ser muy controlado. Realizando cálculos pequeños y con cuidado, y manipulando las ecuaciones para la presión hidrostática, es posible probar trabajos de cementación, estimar la presión de integridad de la formación, proyectar las densidades máximas del fluido de perforación y controlar el brote en los pozos. (González, 2018)

2.1.1 Control de Pozos

Antes de efectuar cualquier operación dentro del pozo es necesario que se encuentre totalmente bajo control. Para lograrlo, se bombea fluido contra formación de una densidad tal que su columna hidrostática genere una presión mayor del yacimiento. (Terminación y mantenimiento de pozos. Pag.124)

Los brotes y los reventones son prevenidos por personas que son capaces de trabajar en forma rápida y decidida bajo situaciones de estrés.

Uno de los aspectos más importantes del entrenamiento necesario para la prevención de reventones es entender los conceptos de presión y la habilidad para realizar cálculos exactos. Cuando llega el momento de cerrar un pozo, la decisión correcta debe ser tomada con rapidez y firmeza.

Puede no haber tiempo para una segunda opinión. El pozo va ganado impulso mientras uno está tratando de decidir la acción a tomar. El costo de cerrar un pozo comparado con el potencial de la pérdida de recursos, equipos y vidas humanas es insignificante. (Figura III)

Una vez que se ha tomado la decisión de cerrar el pozo, se debe hacerlo rápidamente y de acuerdo con los procedimientos. Se han perdido pozos por no tener procedimientos de cierre o por no aplicar los procedimientos, lo que pueden conducir a indecisiones y cursos de acción equivocados.



Figura III. Explosión por reventón de gas.

Los procedimientos para el cierre del pozo deben ser establecidos, conocidos y ejecutados. Los trabajadores sin experiencia deben ser entrenados en relación con los procedimientos de cierre de un pozo.

Una vez entrenados, deben realizar prácticas hasta conseguir la máxima habilidad. Los trabajadores deben ser rotados entre los diferentes tipos de trabajos, de tal manera que queden familiarizados con las distintas responsabilidades de cada función. No siempre están presentes todos los miembros, por lo que todos deben conocer los procedimientos de cierre del pozo durante un control.

Se deben realizar simulacros semanalmente, a menos que los reglamentos dictaminen de otra forma, para asegurarse que todos están familiarizados y tener la habilidad suficiente en su labor. Los reventones son evitados por las cuadrillas capaces de detectar que el pozo está en presencia de un brote, y que luego tomen las acciones apropiadas para cerrar el pozo.

Esto requiere entrenamiento, práctica y experiencia de las dotaciones para reaccionar con rapidez y serenidad bajo presión. Las técnicas de detección están todas sujetas a interpretaciones o medidas equivocadas. Con estas limitaciones, las técnicas de predicción aun valen la pena, porque la mejor manera de eliminar un brote es evitarlo.

Las técnicas de predicción son confiables y si se aplican todos los métodos inteligentemente, las probabilidades de que algunos indicadores serán obvios son grandes.

Para evitar un brote en un pozo, la densidad del fluido debe estar lo suficientemente alta como para dominar las presiones de formación sin perder circulación o disminuir la velocidad de penetración. La predicción de altas presiones encontradas al perforarse puede medirse de tres formas. Pueden ser utilizadas evidencias geológicas o sísmicas para predecirlas antes de comenzar la perforación del pozo.

Aumentar o bajar las presiones afectan la perforación, y los cambios en las condiciones de perforación pueden alertar al perforador que la columna ejercida por el fluido es pobre. Las técnicas de los registros de control geológico pueden alertar sobre el crecimiento de la presión y pueden ser utilizadas para monitorear las presiones de formación.

2.1.2 Parámetros Importantes en el Control de Pozos

El control de pozos puede describirse en pocas palabras como una de las bases para la seguridad del personal que se encuentra en la instalación. Esta labor incluye gran variedad de elementos y procesos que se utilizan para prevenir un brote no deseado de fluidos de la formación. La instalación debe de ser funcional para cumplir su propósito. Estos elementos y procesos son instalados, controlados y realizados por el personal, es por esto que es de vital importancia que los trabajadores conozcan las operaciones que deben de realizar, así como detectar los problemas para que se pueda actuar de forma correcta y lo más pronto posible. También es importante que el personal conozca los diferentes escenarios que se pueden presentar si ocurre algún brote.

Las diferentes técnicas de control de pozos son utilizados en diversas situaciones dependiendo de una gran variedad de factores. Estos pueden ser la profundidad a la que surgió el problema, la posición de la sarta de perforación, la habilidad del personal y la capacidad del equipo, por mencionar algunos.

En primer lugar, el control de pozos radica en tener la presión del fondo del pozo constante, durante la entrada de los fluidos hasta su desalojo. Para que esto ocurra, debemos identificar la entrada de ellos visualmente y enseguida cerrar el pozo utilizando el equipo de control superficial.

Los tres principales métodos de control de pozos que mantienen una presión constante en el fondo del pozo son: □

- Método del Perforador. □
- Método del Ingeniero.
- Método del concurrente.

La selección del método a utilizar dependerá de la cantidad y el tipo de fluidos de bombeo que ingresaron al pozo, las capacidades de los equipos de perforación, la presión mínima de fractura en el pozo abierto y las políticas de control de pozos de las empresas de perforación y operación (Omosebi, 2012).

Estos métodos tienen como objetivo desalojar el brote hasta que se obtiene el control total del pozo.

Cada método de control tiene sus propias ventajas y desventajas por lo que se recomienda identificarlas a fin de aplicar el método adecuado cuando se presente un brote en el pozo.

Cuando tenemos cerrado el pozo, se puede tomar el control sobre el pozo, así será más sencillo tener la presión del fondo del pozo constante. (González, 2018)

2.1.3 Registro Previo de Información

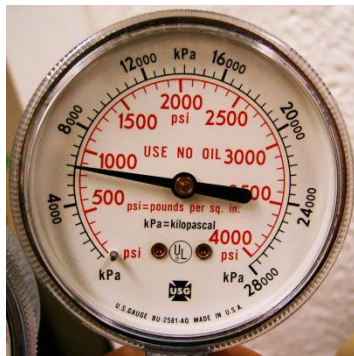
Para aplicar cualquiera de los métodos de control antes mencionados está referido a tener disponible y de inmediato la siguiente información (BP, 1995)

- Capacidad de desplazamiento de la bomba. □
- Máxima presión de la bomba. □
- Presión del conjunto de preventores. □
- Volumen de las presas. □
- Volumen correspondiente a las conexiones superficiales. □
- Densidad del lodo actual. □
- Densidad del lodo para obtener el control del pozo. □
- Presión máxima permisible en superficie. □
- Densidad equivalente a la prueba de goteo. □

- Profundidad de la zapata. □
- Geometría de la sarta. □
- Estado mecánico del pozo. □
- Profundidad de la zona del brote.

2.1.4 Registro de las Presiones de Cierre de Pozo

Cuando se cierra un pozo, el intervalo aportado seguirá fluyendo hasta que las presiones hidrostática y de formación se equilibren y estabilicen, lo cual puede llevar algunos minutos, dependiendo del tipo de fluido invasor y de la permeabilidad de la roca. Una vez estabilizado el pozo, las presiones de cierre serán el resultado de la diferencia entre la presión hidrostática y la presión de formación (BP, 1995).



Presión de la tubería de Perforación (TP)

Figura IV. Monitoreo de Presión de cierre

En la mayoría de los casos, la Presión de Cierre en la Tubería de Revestimiento (PCTR) será más alta que la Presión de Cierre en la Tubería de Perforación (PCTP).

Esto se debe a que los fluidos de la formación con mayor facilidad fluyen al espacio anular, desplazando al lodo y disminuyendo su columna hidrostática, lo que no ocurre comúnmente con el lodo del interior de la sarta, por lo que generalmente se toma el valor de PCTP como el más confiable para calcular la densidad de control.

Sin embargo, debe señalarse que existen situaciones ocasionales, donde la presión de cierre en la tubería de perforación (TP) no es muy confiable. Tal caso ocurre cuando se presentó un brote al estar perforando y no fue detectado oportunamente.

La descompensación de columnas puede ser tan grande que al cerrar el pozo, la columna de la TP esté parcialmente vacía y no haya presión ($P_{CTP} = 0$).

2.2 Fluidos de Control de Perforación

Definición API: “Fluido circulante, usado en la perforación rotatoria, para ejecutar alguna o todas las funciones requeridas”.(Benítez,1979)

El fluido de control es el fluido circulatorio que se utiliza en un equipo de perforación o terminación de pozo, formando una mezcla de aditivos químicos que proporcionan propiedades físico-químicas idóneas a las condiciones operativas y a las características de la formación litológica a perforar.

La estabilización de sus parámetros físico-químicos, así como la variación de los mismos al contacto con los contaminantes liberados en la formación perforada son controlados mediante análisis continuos.(Fluidos de control pág.4)

2.2.1 Características de los Fluidos de Perforación

2.2.1.1 Densidad

La densidad de un fluido es una de las propiedades más importantes, ya que gracias a su correcto manejo se logra el control de un pozo; manteniendo la presión hidrostática igual o ligeramente mayor que la presión de la formación.

La densidad o peso específico es la densidad de un material en relación a la

densidad del agua.

2.2.1.2.Viscosidad

La viscosidad es la medida de la resistencia interna al flujo, que tiene un líquido. La viscosidad se mide en segundos marsh, que es el tiempo que un litro de sustancia tarda en fluir. (Terminación y mantenimiento de pozos. Pag.31)

2.3.Objetivos de los fluidos de perforación

Los fluidos de formación tienen la obvia función de remover los cortes de la Perforación fuera del pozo, y de lubricar y refrigerar la broca y la sarta de perforación.

De hecho, el lodo tiene muchas otras funciones y es la columna vertebral de Virtualmente todas las operaciones de perforación de un pozo. Es muy importante que el fluido de perforación pueda llevar a cabo todas estas funciones eficientemente.

2.4. Fluidos de Perforación más Comunes

Los fluidos de perforación más comunes, son medios de circulación que llevan los cortes perforados fuera de debajo de la barrena, hasta el espacio anular y de allí a la superficie.

Los diversos fluidos que son usados en la perforación rotaria son:

- Aire - Gas
- Espuma / Fluidos Aireados
- Lodos en base agua
- Lodos en emulsión de aceite



- Lodo en base aceite

Figura V. Lodos de Perforación

2.5 Causa de los Brote

La mayoría de los brotes no son intencionales, se definen como la entrada de fluidos no deseados de la formación al pozo, tales como aceite, gas, agua o una mezcla de estos. Al ocurrir un brote el pozo desaloja una gran cantidad de lodo de perforación, y si dicho brote no es detectado y corregido a tiempo, se produce un descontrol. El descontrol se define como un brote de fluidos que no pueden manejarse a voluntad. El personal de perforación debe reconocer las señales de advertencia de un amago y reaccionar inmediatamente con los procedimientos de control de pozos para minimizar el efecto del brote (Rossland, 2013).

La severidad del incidente este directamente relacionada con el volumen del brote, por esto es de máxima importancia la detección rápida y el cierre del pozo. Durante las operaciones de perforación convencional, se conserva una presión hidrostática ligeramente mayor a la de formación. De esta forma se previene el riesgo de que ocurra un brote. Sin embargo, en ocasiones, la presión de formación excederá la hidrostática y ocurrirá un brote.

La experiencia en la industria ha demostrado que las causas más comunes de los brotes son: □

- ❖ Suaveo durante los viajes. •
- ❖ Llenado insuficiente del agujero durante los viajes. □
- ❖ Densidad insuficiente del lodo (error humano). □
- ❖ Pérdidas de circulación. □
- ❖ Contaminación del lodo. □
- ❖ Presión anormal de formación. La experiencia muestra que la mayoría de los brotes ocurren durante los viajes.

2.6 Indicadores de un Brote

Al momento de ocurrir un brote, el lodo en primera instancia es desplazado fuera del pozo. Si el brote no es detectado ni corregido a tiempo, el problema se puede complicar hasta llegar a producir un descontrol. Con una detección oportuna las estadísticas demuestran que se tiene hasta un 98% de probabilidad de controlarlo (Rossland, 2013).

Las señales tempranas de peligro son: □

2.6.1. Lodo contaminado por Gas, Aceite o Agua

Un brote se confirma en superficie como un incremento en la tasa de flujo y en el volumen de presas (Schlumberger, 1992).

Sin embargo, una entrada menor de flujo que no ha sido detectado como un aumento en las presas puede ser detectado primero en superficie en el lodo de retorno.

En equipo, cuando la línea de flujo aparece el lodo cortado por aire o gas, se debe tener en cuenta la posibilidad de un inminente brote. Es muy importante conocer las diferentes causas de la presencia del gas o el aire en el lodo y tener un juicio correcto para controlar la situación.

Debido al decremento de la presión hidrostática que se encuentra actuando al entrar gas al lodo de perforación, cada burbuja de gas se expande desde su volumen original a condiciones de fondo, a un volumen dependerá de su posición en el espacio anular.

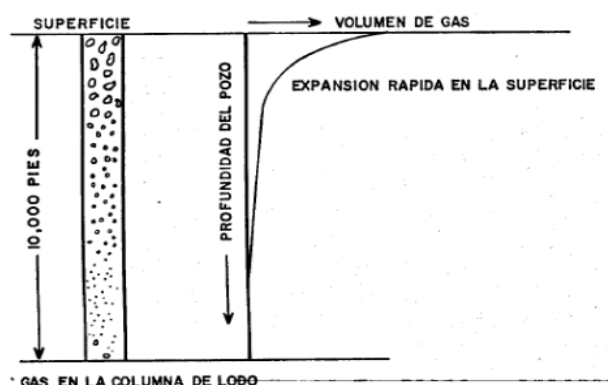


Figura VI; expansión de gas en la boca del pozo

A medida que transcurre el tiempo, el gas se expande cientos de veces conforme las burbujas suben a la superficie en su volumen y reducirá su densidad en la línea de flujo y el espacio anular de manera considerable. Sin embargo, este efecto en la densidad estará limitado a la longitud de la columna del lodo por lo cual el efecto reducido de la presión hidrostática a la profundidad será mínimo.

Las tres causas por la que se manifiesta un lodo cortado con gas o aire en la línea de flujo son: durante la circulación se forma una gran cantidad de espuma en el lodo; gas liberado de los cortes; o flujo de gas de la formación.

Si el lodo cortado por aire está circulando, el aire entrampado será compresionado a volúmenes despreciables a la presión de fondo y solamente se expandirá su volumen original cuando se circule a la superficie.

La reducción en la densidad debido a esta causa tendrá efectos mínimos sobre la presión hidrostática y el aumento de volumen de lodo en las presas será mínimo a consecuencia de circular aire en el lodo, disminuyendo la eficiencia del bombeo. En esta situación puede corregirse reduciendo el punto de cedencia y la gelatinosidad, la adición de un reactivo apropiado, o por eliminación mecánica del aire.

Si la reducción en la densidad del lodo en la línea de flujo es debida a la liberación de gas en los cortes provienen de una formación porosa saturada de gas, la presión hidrostática decrecerá. Este fenómeno no se puede evitar, pero no presenta peligro si los cortes son pequeños. Sin embargo, si la formación se perfora rápidamente, el desprendimiento de gas puede ser apreciable, tanto que puede ocasionar un brote imprevisto. (*Benítez, 1979*)

2.6.2. Presión hidrostática

Es la presión ejercida por una columna de fluido, a una profundidad vertical dada, que actúa en todas direcciones. Para una densidad dada se puede calcular la presión hidrostática con las siguientes ecuaciones:

$$P_H \left(\frac{lb}{pg^2} \right) = \text{Gradiente del lodo} \left(lb / \frac{pg^2}{pie} \right) \times \text{profundidad vertical}$$

$$P_H \left(\frac{lb}{pg^2} \right) = 0.052 \times \text{Densidad} (lb/gal) \times \text{profundidad vertical}$$

$$P_H \left(\frac{kg}{cm^2} \right) = \frac{\text{Profundidad vertical (m)} \times \text{densidad (gr/cm}^3\text{)}}{10}$$

La definición matemática de esta ecuación esta expresada como: “La presión Hidrostática es igual al gradiente de presión por la profundidad vertical del punto de interés”

2.6.3. Densidad insuficiente del lodo

Es una de las causas predominantes por las que se origina los brotes. En los últimos años se ha hecho énfasis en perforación con densidades de lodo mínimas con el objeto de optimizar las velocidades de penetración.

Sin embargo, cuando se perfora una zona permeable mientras se usan densidades mínimas de lodo, los fluidos de la formación pueden fluir hacia un pozo y puede producirse un brote.

Los brotes causados por densidades insuficientes de lodo pudieran padecer tener la solución obvia de perforación con densidades de lodo altas; sin embargo, no es lo más variable por varias razones:

- ❖ Se puede exceder el gradiente de fractura de la formación e inducir una pérdida de circulación.
- ❖ Se incrementa el riesgo de tener pegaduras por presión diferencial.

Se reduce significativamente la velocidad de penetración. Por lo tanto, lamejor

solución sería mantener la presión hidrostática ejercida por el lodo ligeramente mayor que la presión de formación. (González, 2018)

2.6.4. Incremento de la tasa de Perforación

Esta situación puede ser detectada observando el flujo del lodo a través de la temblorina y cualquier cambio fuera de lo normal; existen equipos medidores de gasto, que pueden detectar esas variaciones en forma automática. (ver figura 2.9)

Cuando se “observa el pozo”, la práctica normal consiste en subir la sarta de perforación de manera que la flecha se encuentre arriba de la mesa rotatoria (Schlumberger, 1992).

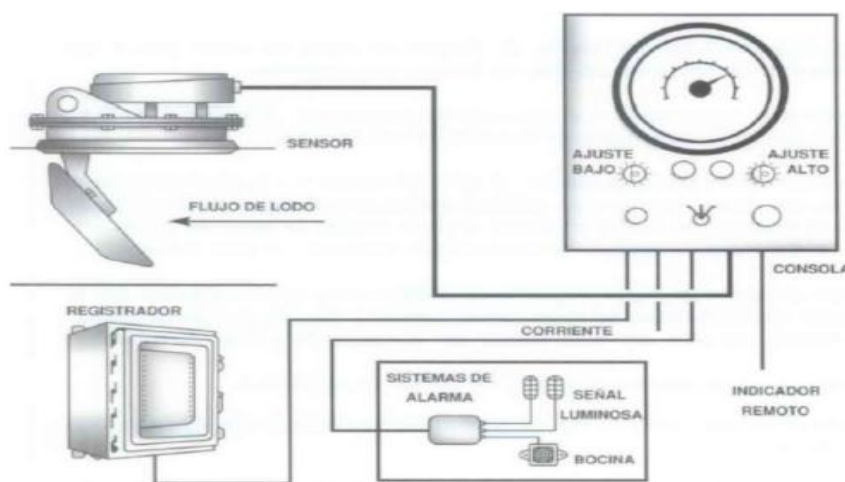


Figura VII Medición de flujo en la línea de flote

2.6.5 Incremento del volumen de fluido en la superficie

Lo que es comúnmente denominado como un aumento en el nivel de las presas o un aumento en la tasa de flujo.

Generalmente, el primer indicador de que hay un brote es un incremento repentino en la velocidad de penetración. La velocidad de penetración está en función de varios factores como lo son el peso sobre la barrena, velocidad de rotación, densidad del lodo e hidráulica.

□

2.6.6. Disminución de la presión de la Bomba □

Un decremento de la presión de bombeo con su correspondiente incremento de la velocidad de bombeo durante un brote es causado por la reducción de la presión hidrostática en el espacio anular (Schlumberger, 1992).

Es importante tener en cuenta que una disminución en la presión de bombeo también se puede deber a las siguientes causas: □

- ❖ Reducción en el gasto de circulación. □
- ❖ Rotura o fisura en la TP. □
- ❖ Desprendimiento de una tobera de la barrena. □
- ❖ Cambio en las propiedades del lodo.

2.7. Medidas de la densidad del lodo en el campo

En el campo, la densidad del fluido se determina por medio de una balanza convencional. La balanza, que debe ser un instrumento permanente en cada pozo.



Figura VIII balanza para medir densidad de lodos

La mayoría de las balanzas tienen una regla graduada de tal manera que se puede leer la densidad directamente, en diferentes unidades, lb/gal, lb/pie³ , gr/cm³ , o sea la densidad específica del fluido, así como el gradiente de presión correspondiente.

Recientemente se ha desarrollado una nueva balanza presurizada (tru-watecup) que ha sido aprobada por el A.P.I. para medir la densidad de los fluidos de perforación. Esta balanza se utiliza primero para determinar la densidad de lechadas de cemento que contenían aire o espuma.

Es efectiva, pues elimina el efecto de las burbujas de gas atrapadas y determina la densidad real. La práctica de verificar la densidad del lodo en el campo puede dar datos erróneos. Los errores en el reporte del lodo pueden causar: pérdida de circulación y altos costos en la perforación.

2.7.1 causas comunes de errores

a) La balanza descalibrada

- Debido a partes de cemento o lodo seco en la copa.
- Debido a pérdida de metal en la copa.

b) Aire o gas en el lodo

- Debido a flujo de gas o gas en los cortes.
- Debido a espuma
- Debido a alto valor de cedencia y gelatinosidad.
- Por aereacion en el equipo superficial.

c) Errores de Procedimiento

- La copa no fue llenada apropiadamente.
- El bulbo no fue centrado correctamente
- Lectura apresurada de la densidad. (*Benítez, 1979*)

2.8. Control de Densidad

Uno de los principales problemas es mantener la densidad del lodo dentro de determinado rango. Los sólidos perforados que no sean separados en la primera circulación, en la superficie, proseguirán y causarán efectos adversos en la densidad del lodo y en otras propiedades.

El primer paso para la eliminación de sólidos en el fluido de perforación es hacerlo pasar por vibradores que eliminan los recortes grandes. Las mallas de 80 - 100, eliminan las partículas finas. Se puede mejorar la separación utilizando floculantes químicos, desarenadores y limpiadores para lodos ligeros, o centrifugas para lodos pesados. Para tener un buen control de los sólidos en el lodo, el equipo utilizado debe estar apropiadamente instalado, tener suficiente capacidad y ser operado continuamente. La instalación correcta de la succión y la descarga de cada equipo, por compartimientos separados es preferible a que estén en serie. Para obtener mejores resultados se recomienda instalar en paralelo, dos o más juegos de los dispositivos mencionados.

Por regla general se debe instalar un equipo para procesar del 120 al 150% del valor máximo de lodo esperado. La única excepción a esta regla es que la capacidad efectiva de las centrifugas debe ser de 8 a 15% mayor del valor del flujo esperado.

Además del equipo para remover sólidos se debe contar con dispositivos para la adición de sustancias floculantes que auxilien a remover las partículas micrométricas y a controlar la densidad del lodo. Los floculantes comúnmente usados para lodos de bajo contenido de sólidos no dispersos, también son compatibles y aplicables a los lodos dispersos y a los salados.

Otra manera de controlar la densidad del lodo es mediante la adición de agua. Únicamente hay que tener cuidado de que un exceso de agua puede causar una excesiva dilución, que resulta en un elevado costo de tratamiento.

2.9 Procedimientos de cierre de Pozos

Cuando alguna de estas señales de advertencia es observada, el personal del equipo debe proceder inmediatamente con el procedimiento de cierre establecido. Es importante que la cuadrilla este propiamente entrenada y sepa reaccionar ante esta situación.

El éxito de la operación de control de un pozo depende de la respuesta de la cuadrilla en esta fase crítica (PEMEX, 2003).

Los procedimientos de cierre varían para cada caso en particular. Mucho dependen de la operación que se tenga disponible en el momento de tomar la decisión de cierre del pozo. Ahora se describirán las técnicas que se realizan.

2.9.1 Cierre al estar Perforando

Una vez identificado el brote, lo más importante es cerrar el pozo con el fin de reducir al mínimo la entrada de fluido invasor con sus posibles consecuencias, a continuación se explican los pasos para cerrar el pozo al estar perforando.

Este procedimiento es conocido como cierre suave. En este tipo de cierre el choque está abierto durante el proceso del cierre y se cierra después de cerrar el preventor. Este tipo de cierre tiene dos ventajas, una es reducir el golpe de ariete y la onda de presión sobre el pozo y las conexiones superficiales.

1. Parar la rotaria, levantar la flecha para que su conexión inferior esté arriba de la mesa rotaria.
2. Parar la bomba de lodo.

3. Observar el pozo y mantener la sarta suspendida.
4. Abrir la válvula de la línea de estrangulación.
5. Cerrar el preventor de arietes superior o el preventor anular.
6. Cerrar el estrangulador.
7. Medir el incremento en el nivel de las presas.
8. Anotar las presiones de cierre de TP y TR durante cada minuto hasta la estabilización de la presión y posteriormente cada cinco minutos sin que se rebase la presión máxima permisible.
9. Observar que los preventores no tengan fugas.
10. Verificar la presión de los acumuladores.

El otro procedimiento es el cierre duro, en el cual el choque está cerrado durante el proceso del cierre de tal forma que la presión del pozo está contenida por el cierre del preventor. se tienen los siguientes pasos:

- 1) Parar la rotaria y levantar la flecha arriba de la mesa rotaria.
- 2) Parar las bombas de lodos
- 3) Abrir la válvula de la línea de estrangulación.
- 4) Cerrar el pozo con el preventor de arietes superior o con el preventor esférico.
- 5) Medir el incremento de volumen y de presión.
- 6) Anotar las presiones de cierre de TP y TR durante cada minuto hasta la estabilización de la presión y posteriormente cada cinco minutos sin que se rebase la presión máxima permisible. Registrar la presión en TP y TR.

2.9.2 Cierre al viajar con TP

Cuando se detecta un brote, el procedimiento para el cierre es el siguiente:

- I. Suspender el viaje dejando una junta sobre la mesa rotaria.
- II. Sentar la TP en sus cuñas.
- III. Instalar la válvula de seguridad abierta.
- IV. Cerrar la válvula de seguridad.
- V. Suspender la sarta en el elevador.
- VI. Abrir la válvula hidráulica de la línea de estrangulación.

VII. Cerrar el estrangulador (swaco) cuidando no rebasa la máxima presión permisible en el espacio anular.

VIII. Anotar presiones de TP y TR

IX. Medir el incremento de volumen en las presas de lodo.

X. Registrar la presiones cada minuto hasta estabilizarse, y después cada cinco minutos.

XI. Observar que los preventores no tengan fugas.

2.9.3 Cierre al Sacar o meter herramienta

Los pasos que se siguen son similares a los anteriores, con la variable que al estar metiendo o sacando herramienta se debe considerar la posibilidad de conectar y tratar de bajar una lingada de TP lo que da la posibilidad de operar los preventores de arietes con un factor adicional de seguridad.

En caso de tener una emergencia deberá de soltarse la herramienta dentro del pozo para después cerrarlo con el preventor de arietes (PEMEX, 2003).

2.9.4 Cierre sin tubería dentro del pozo

Los pasos del procedimiento son los siguientes:

I. Abrir la válvula hidráulica de estrangulación.

II. Cerrar el preventor de arietes ciegos o de corte.

III. Colocar los candados.

IV. Cerrar el estrangulador (swaco) cuidando las presiones máximas.

V. Registrar las presiones cada minuto hasta estabilizarse y después cada cinco minutos.

VI. Observar que los preventores no tengan fugas.

Hay que recordar que el aumento de volumen en las presas, la presión de la TP y el espacio anular al inicio y con el paso del tiempo, son factores importantes para controlar un brote. También las presiones en superficie son críticas para determinar las condiciones del pozo y el potencial éxito del procedimiento de control del pozo. El análisis de la ganancia de volumen en superficie en consideración con la presión de la TR es crítico al momento de considerar un potencial descontrol subterráneo.

En algunas ocasiones, debido a la poca familiaridad que se tiene con el equipo superficial, las cuadrillas han fallado al no cerrar el pozo debidamente. Llevar un registro de las presiones superficiales es muy importante. La migración del gas causará un aumento de las presiones en superficie con el paso del tiempo. No reconocer una sobre presurización puede resultar en el fracaso del procedimiento de control del pozo. Estos procedimientos son fundamentales para controlar la presión. Son responsabilidad del personal del equipo y deben ser practicados y estudiados hasta que se vuelvan rutinarios. La operación depende de la habilidad del perforador y de la demás cuadrilla para reaccionar ante esta situación. Ahora, el pozo está bajo control y se puede proceder a circular el brote con alguna de las técnicas de control de un pozo.

2.10. Estratigrafía

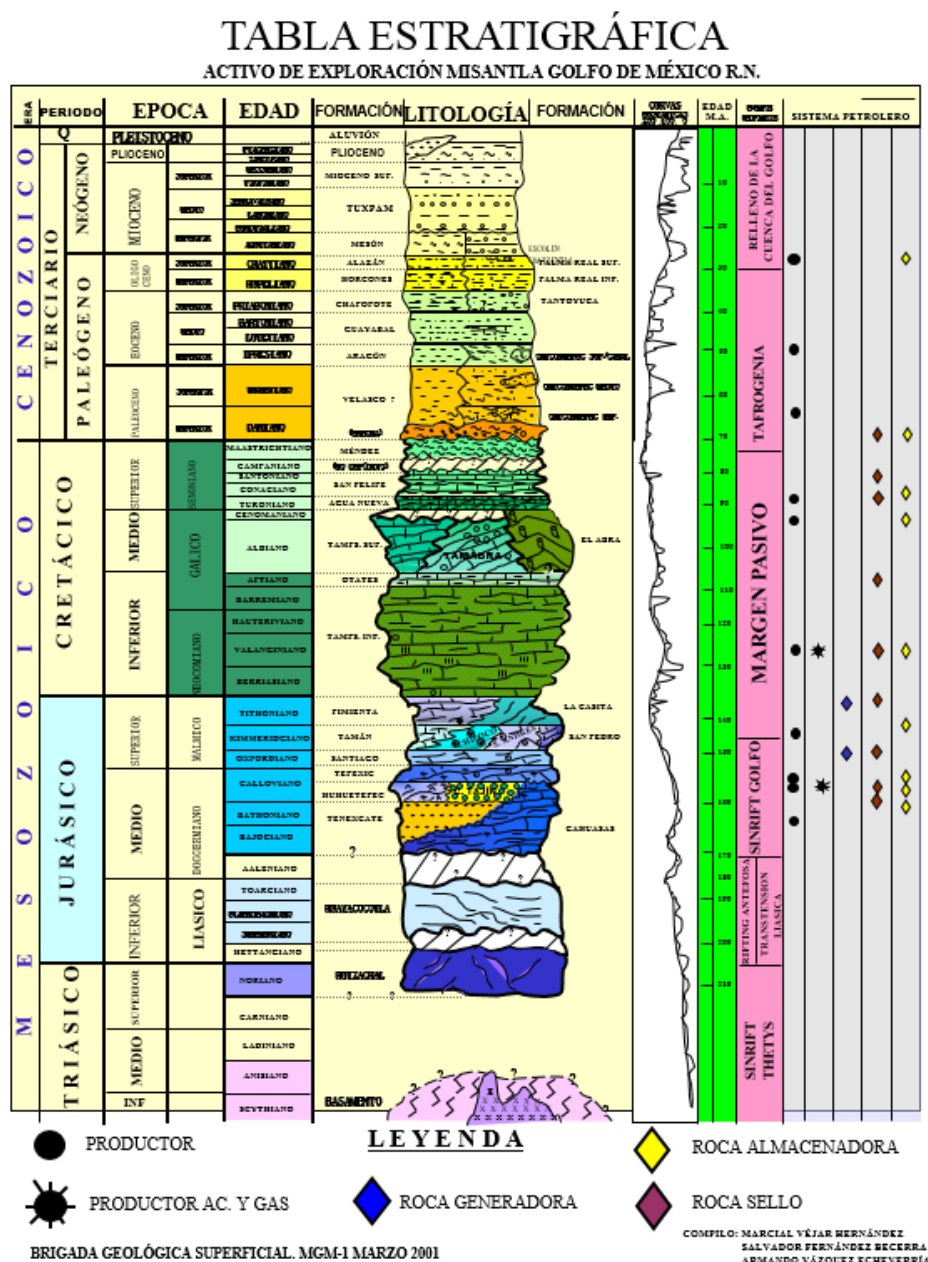
El término Estratigrafía proviene del latín *stratum* y del griego *graphia*, alude etimológicamente a la “ciencia que trata de la descripción de las rocas estratificadas”. Este concepto fue introducido en la nomenclatura Geológica por d’Orbigny hacia mediados del siglo XX.

La rama de la Geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades Estratigráficas de rocas. (Weller 1960)

El estudio e interpretación de los procesos registrados en las sucesiones sedimentarias que van a permitir además de conocer la naturaleza y

disposición de las rocas estratificadas, la correlación, tanto de los materiales como de los sucesos, y una ordenación temporal correcta de la secuencia de materiales y sucesos. (Corrales 1917)

La Estratigrafía no solo se trata de la sucesión y relaciones cronológicas originales de los estratos, si no también de su forma, distribución, composición litológica, contenido fósil, propiedades geoquímicas y geofísicas, es decir de todas las características, propiedades y atributos de las rocas “como estratos”, de la interpretación de su ambiente de formación o modo de origen y de su historia geológica”. Hedberg (1980)



Columna estratigráfica general de la Provincia Tampico-Misantla.

Los propósitos de la estratigrafía o ciencia que estudia las capas geológicas de menor orden (estratos), implican conocer las relaciones entre el conocimiento básico (investigación básica o pura) y el conocimiento aplicado (investigación aplicada); propósitos que podemos agrupar en los siguientes ocho objetivos fundamentales.

Identificación de los materiales.

- Delimitación de unidades litoestratigráficas.
- Ordenación relativa de las unidades (secciones estratigráficas).
- Interpretación de genética de las unidades.
- Levantamiento de secciones estratigráficas.
- Correlación.
- Introducción a la coordenada de tiempo.
- Análisis de cuencas (de interés petrolero).

2.7. Rocas

Se le denomina roca a la asociación de uno o varios minerales como resultado de un proceso geológico definido. Estas rocas están sometidas a continuos cambios por las acciones de los agentes geológicos, según un ciclo cerrado, llamado ciclo litológica o ciclo de las rocas, en el cual intervienen incluso los seres vivos.

Las rocas están constituidas, en general, por mezclas heterogéneas de diversos materiales homogéneos y cristalinos, es decir, minerales. Las rocas poliminerálicas están formadas por granos o cristales de varias especies mineralógicas y las rocas monominerálicas están constituidas por granos o cristales de un mismo mineral. Las rocas suelen ser materiales duros, pero también pueden ser blandas, como ocurre en el caso de las rocas arcillosas o arenosas.

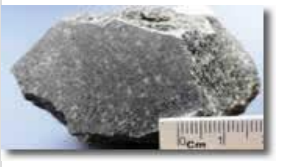
2.11.1 Clasificación de las Rocas

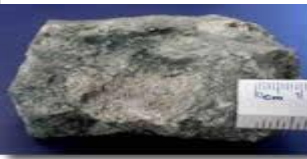
Se clasifican según su origen, su textura su composición mineralógica.

2.11.1.1 Rocas Ígneas o Eruptivas

Son rocas formadas en un ambiente profundo de altas temperaturas. Cuando enfrían en el interior terrestre son rocas granulas o feneríticas; cuando enfrían sobre la superficie terrestre generalmente son afaníticas.

Son las mas importantes en cuanto a dureza, son rocas que se forman por enfriamiento y solidificación del magma.

ROCAS ÍGNEAS		
MINERALES ESENCIALES	ROCAS PLUTÓNICAS	ROCAS VOLCÁNICAS
Cuarzo, Feld K > Plag Na, biotita, hornblenda	Granito 	Riolita 
Cuarzo, PlagNa >= Feld K, biotita, hornblenda	Granodiorita	Cuarzolatita
Feld K > Plag Na, biotita, augita, hornblenda	Sienita 	Traquita 
Plag Na >= Feld K, biotita, hornblenda, augita	Monzonita	Latita
Feld K >= < Feldespatoides, Plag Na, máficos	Sienita feldespatóidica 	Fonolita 
Cuarzo, Plag Na, biotita, hornblenda	Tonalita	Dacita
Plag Na, hornblenda, biotita	Diorita 	Andesita 

Plag Ca, augita, hiperstena, olivino, hornblenda	Gabro 	Basalto 
Plag Ca, olivino, piroxeno, hornblenda, magnetita, ilmenita, etc.	Peridotitas (dunita) 	
Plag Ca, olivino, piroxeno, hornblenda	HIPOABISAL Pegmatita (diabasa) 	
	Tamaño del grano	PIROCLÁSTICAS
Material expulsado por chimeneas volcánicas, transportados por aire y depositados en la superficie del suelo, en lagos o en las aguas de mar y posteriormente consolidados.	>32 mm	Aglomerado 
	>4 <32	Brecha 
	>1/4 <4	Tobas de lapilli
	<1/4	Tobas (cenizas) 

Al descender la temperatura del magma o solución de roca fundida, se inicia la cristalización.

El orden de la cristalización es el orden en que los componentes minerales se hacen insolubles en la solución de la roca. El tamaño y disposición de los cristales que componen las rocas ígneas, da lugar a la propiedad llamada textura.

2.11.1.2 Rocas Plutónicas, intrusivas o Abisales

Son aquellas que se han consolidado a partir de soluciones de roca fundida llamado magma en el interior de la corteza terrestre sin comunicación con el exterior que han penetrado en otras rocas. El tamaño de estas intrusiones varia desde pequeñas masas, hasta masas de cientos de kilómetros de extensión. Pueden penetrar en rocas sedimentarias, metamórficas o en otras rocas ígneas. Tienen los granos gruesos, están formados de cuarzo feldespato y mica, se utilizan como fuentes de apoyo de grandes estructuras, y sirve como material de relleno.

Métodos de presentarse:

Batolitos. Un batolito es una gran masa de roca ígnea que se ha cristalizado a una profundidad considerable bajo la superficie de la tierra y solo ha podido llegar a quedar expuesta a causa de la erosión.

Mantos. Es un tipo de pluton tubular similar, de espesor variable entre 2 y 3 cm, hasta unos 100m, y por supuesto de menor edad que las rocas encajantes, criterio que por otra parte sirve para diferenciarlo de los derrames de lava.

Rocas de masa. se llaman comúnmente rocas en masa área de rocas ígneas, de contorno mas o menos circular expuestas por la erosión sobre una extensión de menos de 45 a 60 kilómetros cuadrados. Pueden ser en parte afloraciones o asomos de un batolito subyacente, todavía no expuesto, o intrusiones independientes.

2.11.1.3 Rocas Efusivas o Volcánicas

Las rocas volcánicas típicas son formadas por el rápido enfriamiento de la lava y de fragmentos piroclásticos. Este proceso ocurre cuando el magma es expulsado por los aparatos volcánicos; ya en la superficie y al contacto con la temperatura ambiental, se enfría rápidamente desarrollando pequeños cristales que forman rocas de grano fino (no apreciables a simple vista) y rocas piroclásticas. Los piroclásticos son producto de las erupciones volcánicas explosivas y contienen fragmentos de roca de diferentes orígenes, pueden ser de muchas formas y tamaños.

2.11.1.4 Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias se forman por la precipitación y acumulación de materia mineral de una solución o por la compactación de restos vegetales y/o animales que se consolidan en rocas duras. Los sedimentos son depositados, una capa sobre la otra, en la superficie de la litósfera a temperaturas y presiones relativamente bajas y pueden estar integrados por fragmentos de roca preexistentes de diferentes tamaños, minerales resistentes, restos de organismos y productos de reacciones químicas o de evaporación.

Una roca preexistente expuesta en la superficie de la tierra pasa por un Proceso Sedimentario (erosión o intemperismo, transporte, depósito, compactación y diagénesis) con el que llega a convertirse en una roca sedimentaria; a esta transformación se le conoce como litificación. Debido a que las rocas sedimentarias son formadas cerca o en la superficie de la tierra su estudio nos informa sobre el ambiente en el cual fueron depositadas, el tipo de agente de transporte y, en ocasiones, del origen del que se derivaron los sedimentos.

Rocas sedimentarias detríticas o clásticas

Son acumulaciones mecánicas de partículas o sedimentos de rocas preexistentes denominadas “detritus” o “clastos” formados por los materiales producto de la intemperie y la erosión en la superficie; éstos son transportados y finalmente depositados, por lo que presentan una textura denominada clástica. Estas rocas se dividen en una gran variedad de tipos, los cuales se caracterizan por el tamaño de sus partículas constitutivas:

ROCAS SEDIMENTARIAS DETRÍTICA			
SEDIMENTO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN	ROCA
Grava	>2mm	Partículas redondeadas	Conglomerado 
		Partículas angulosas	Brecha  Villa Madero, Mich.
Arena	1/16 a 2mm	Principalmente arena de cuarzo	Arenisca de cuarzo 
		Cuarzo con >25% de feldespato	Arkosa
		>25% de fragmentos de roca	Grawaca
Lodo	<1/16mm	Principalmente limo	Limolita

		Limo y arcilla	Limonlita
		Principalmente arcilla	Lutita y Arcillita 

Rocas Sedimentarias Químicas

Son las que se originan a partir de los materiales depositados por medios químicos, donde los cristales son mantenidos juntos por uniones químicas o entrelazadas unos dentro de otros. Los materiales, ya disueltos, son transportados y concentrados formando minerales que se acumulan en agregados y posteriormente son litificados como en las rocas detríticas, para formar una roca. Casi todas estas rocas se originan por precipitación química en extensiones de agua superficial, ya sea por procesos químicos inorgánicos o por la actividad química de los organismos. A las rocas formadas por la actividad de los organismos se les conoce como rocas sedimentarias bioquímicas.

ROCAS SEDIMENTARIAS QUÍMICAS		
TEXTURA	COMPOSICIÓN MINERAL	NOMBRE DE LA ROCA
Varía	Calcita	Caliza 
Varía	Dolomía	Dolomía
Cristalina	Yeso	Yeso

		
Cristalina	Halita	Sal de roca 
ROCAS SEDIMENTARIAS BIOQUÍMICAS		
Clástica	Conchas de carbonato de cálcio	Caliza (creta, coquina) 
Generalmente	Conchas microscópicas alteradas de	Pedernal
Cristalina	bióxido de silicio	
Generalmente Cristalina	Principalmente carbono de restos alterados de plantas	Carbón mineral 

2.11.1.5. Rocas Metamórficas Clásticas

Son rocas deformadas por grandes presiones y/o esfuerzos que originan plegamiento, fallamiento, flujo o granulación, producto de un metamorfismo dinámico. Las etapas iniciales de la deformación son expresadas por la granulación del mineral ya que el movimiento intenso continuado, bajo la acción de un esfuerzo, origina el desgaste progresivo de los granos del mineral y de las partículas de la roca.

CLASIFICACIÓN DE ROCAS METAMÓRFICAS COMUNES				
TEXTURA	ROCA METAMÓRFICA	TIPO DE MET.	GRADO MET.	ROCA ORIGINAL
FOLIADA	Argilita	Regional	Bajo	Piedras arcillosas
	Pizarra 	Regional	Bajo	Limonita, arcilla, ceniza volcánica, otras.
	Filita	Regional	Bajo a medio	Limonita
	Esquisto 	Regional	Bajo a alto	Limonita, carbonatos, rocas ígneas máficas.
	Gneis 	Regional o Dinámico	Alto	Limonita, areniscas, ígneas félsicas.
	Anfibolita	Regional	Medio a alto	Ígneas máficas
	Granulita	Regional	Alto	Ígneas félsicas y arcosas
	Charnokita	Regional	Alto	Ígnea félsica
	Eclogita 	Regional	Alto	Ígnea máfica

	Migmatita	Regional con magmatismo	Alto	Ígneas félsicas mezcladas con sedimentarias.
NO FOLIADA	Mármol 	Contacto o Regional	Bajo a alto	Caliza o Dolomía
	Cuarcita 	Contacto o Regional	Medio a alto	Arenisca de cuarzo
	Roca Verde		Bajo a alto	
	Corneana (hornfels) 	Contacto	Bajo a medio	Limonita, ígneas, tobas
	Skarn 	Contacto	Alto	Caliza o Dolomía
	Antracita		Alto	Carbón mineral
CATACLÁSTICA	Milonita 	Dinámico		Casi cualquier clase de roca
	Cataclasita	Dinámico		Casi cualquier clase de roca

2.12 Micro-estructura de las Rocas

Las rocas de todas las tres clases principales de rocas, están compuestas de un grupo grande y variado de minerales, aunque solamente unos pocos minerales son los principales componentes de la roca. Los minerales más comunes son los feldespatos y en una menor proporción el Cuarzo.

Diámetro de la partícula (mm)	Origen sedimentario				Origen volcánico	
	Forma de la partícula					
	Redondeada a subangulosa		Angulosa		Redondeada a angulosa	
	Sedimento	Roca	Sedimento	Roca	Fragmentos piroclásticos	roca
>256	Grava de cantos rodados	Conglomerado de cantos rodados	Ripio en bloques	Brecha en bloques	Bloques volcánicos	Brecha volcánica
256-64	Grava de guijarros	Conglomerado de guijarros	Ripio	Brecha	Bomba	Aglomerado de brecha, o aglomerado
64-4	Grava de guija	Conglomerado de guija	Fragmentos angulosos de tamaño de guija	Brecha	Lapilli	Lapilli Toba
4-2	Granulo Grava Arena	Conglomerado de granulo Arenisca	Gránulos Arena	Granulo Brecha Gravilla o arenisca	Ceniza gruesa	Toba gruesa
1/16-1/256 <1/256	Fango Arcilla	Limolita Pizarra (Shale)	Fango Arcilla	Limolita Pizarra (Shale)	Ceniza fina	Toba fina

Tabla V .Terminología aplicada a los sedimentos y rocas detríticas.

2.13 Estrato

El Estrato El término estrato fue introducido en Geología por Steno, en el siglo XVII, para denominar una capa de roca (o de sedimento) limitada por superficies horizontales con continuidad lateral y que equivale a una unidad de tiempo en el depósito. A partir de esta definición el estrato ha sido definido con una doble acepción: geométrica y genética. Si se combinan las dos acepciones, se puede definir al estrato como un nivel (un cuerpo generalmente tabular) de roca o sedimento, con litología homogénea o gradacional, que se depositó durante un intervalo de tiempo definido. Los estratos pueden estar delimitados, con respecto a materiales infrayacentes y suprayacentes, tanto por superficies netas o graduales. Las superficies de estratificación bruscas suelen ser expresión de cambios bruscos en el régimen de la sedimentación, interrupciones sedimentarias y/o etapas de erosión. Para que sea considerado como estrato debe tener un espesor mayor o igual a 1 cm.



Figura IX estratos de diferentes Espesores

2.14. Simulación de control de pozos

Existe un importante soporte documentado para la eficacia del uso de la simulación en el entrenamiento del equipo de trabajo de perforación. Los ejercicios de simulación son efectivos en el entrenamiento para las operaciones de perforación por varias razones. Cuando se encuentran en un trabajo de alta exigencia los trabajadores tienen un alto nivel de estrés por tal motivo la presión del tiempo es un factor importante que debe estar integrado en la simulación. La presión del tiempo es un factor clave en situaciones de perforación y un componente crítico que afecta la toma de decisiones. Por el contrario, los informes obtenidos en una sala de conferencias no transmiten ninguna sensación de tiempo o urgencia, aunque puede ser una buena forma de presentar ciertos tipos de información o de conducir una discusión.

Con la simulación es posible crear escenarios alrededor de un problema específico, de esta manera se puede interactuar con incidentes y problemas que se han presentado en el pasado, para generar buenas prácticas en las operaciones de control a partir de las lecciones aprendidas de los accidentes del pasado. Esto genera que a través del estudio de casos la simulación es probable que sea preferible para las personas de práctica orientadas a la acción porque reproduce las muchas acciones, reacciones e interacciones simultáneas que ocurren tanto en operaciones normales como de crisis, presenta una mejor reproducción de las operaciones la reunión informativa, brinda un paso atrás para que los participantes revisen las acciones y decisiones y determinen el mejor camino a seguir en situaciones futuras, para abordar cuestiones de equipo y de comportamiento para rediseñar los protocolos de comunicación y plantear cuestiones de procedimiento.

Hasta hoy existen muchos softwares para la simulación de control de pozos que tienen un costo elevado debido a sus características. Uno de los mayores atributos del software avanzado es la capacidad de entrenamiento

proveedores a medida de ejercicios sobre la base del mundo real eventos para enfatizar las lecciones aprendidas en el campo.

El contenido de un curso de control de pozos es flexible, pero se enfoca en ejercicios progresivamente difíciles para lo cual los participantes deben desarrollar soluciones de equipo.

En una desviación de la instrucción tradicional de software básico, no se requiere examen de salida y los participantes son juzgados por su participación y trabajo en equipo. Los softwares avanzados no están destinados a reemplazar la capacitación específica del sitio, el objetivo para todos los interesados se fomenta cuando el previenen las características y desafíos de un particular bien, esto genera una pre planificación adicional para tomar medidas y mitigar los errores los procedimientos al momento de presentarse una situación. Existen varios softwares en el mercado que ofrecen ambientes de

simulación muy cercanos a la realidad cada uno tiene diferentes características que van en función de lo que el usuario desee saber. (*Golding, 2016*).

2.15. LabVIEW

LabVIEW es el acrónimo de Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench. Es un lenguaje y a la vez un entorno de programación grafica en el que se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla.

National Instruments es la empresa desarrolladora y propietaria de LabVIEW, comenzó en 1976 en Austin, Texas y sus primeros productos eran dispositivos para el bus de instrumentación GPIB.

2.15.1. Entorno

LabVIEW es una herramienta de programación gráfica. Originalmente este programa estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usados en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual.

Por este motivo los programas creados en LabVIEW se guardarán en ficheros llamados VI y con la misma extensión, que significa instrumento virtual (Virtual Instruments). También relacionado con este concepto se da nombre a sus dos ventanas principales: un instrumento real tendrá un Panel Frontal donde estarán sus botones, pantallas, etc., y una circuitería interna. En LabVIEW estas partes reciben el nombre de Panel Frontal y Diagrama de Bloques respectivamente.

- **Panel Frontal**, es la parte que vera el usuario, suele tener fondo gris.

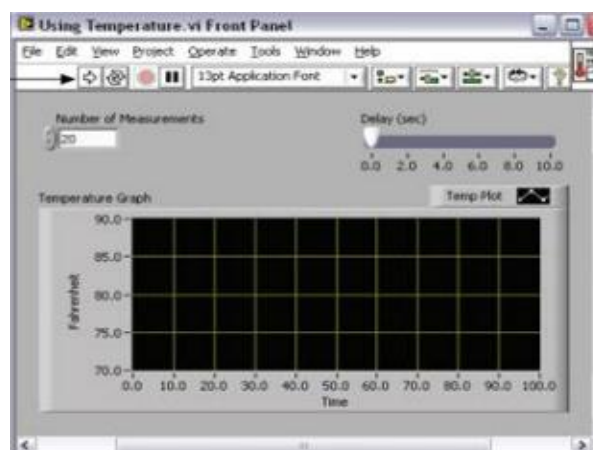


Figura X. Panel Frontal

- **Diagrama de Bloques**, es donde se realizará la programación y suele tener fondo blanco.

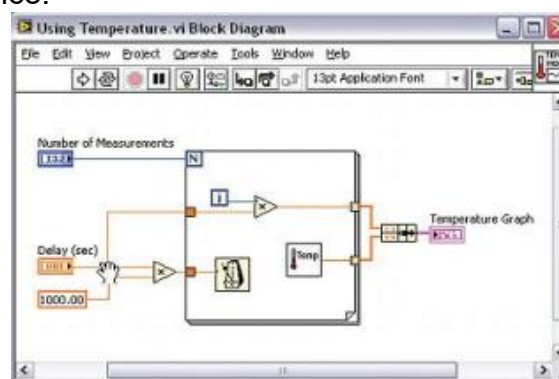


Figura XI. Diagrama de Bloques

El panel frontal y diagrama de bloques están conectados a través de los terminales (elementos que sirven como entradas o salidas de datos).

2.15.2. Estructuras

Las instrucciones de control permiten a un programa ejecutar un código de forma condicional o repetirlo cierto número de veces.

En LabVIEW estas instrucciones son estructuras que encierran en su interior el código al que afectan. Se encuentran en el menú Programming > Structures.

2.15.2.1. Sequence

En los lenguajes tradicionales basados en texto, el orden de ejecución se corresponde con el orden en que las instrucciones están escritas. Ya se ha visto que el sistema de ejecución de LabVIEW sigue el modelo de flujo de datos (dataflow), un nodo necesita tener disponibles los datos en todas sus entradas para ejecutarse, pero si hay dos nodos en condición de ejecutarse no se podrá determinar, en principio, el orden de ejecución; esto en la mayoría de los casos no será un problema, es más, será incluso beneficioso. No obstante, puede haber ocasiones en que haya nodos independientes, ambos en situación de ejecutarse, pero se necesita fijar el orden de los mismos.

Las estructuras de tipo SEQUENCE sirven precisamente para esto: ordenan el orden de ejecución del código que está en su interior.

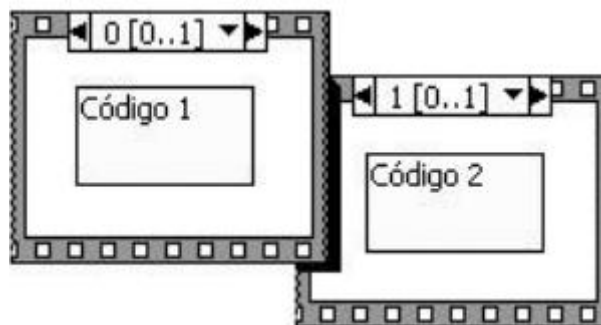


Figura XII. Estructuras de tipo SEQUENCE (Lajara, Pelegri, 2007)

El menú contextual puede desplegarse presionando con el botón secundario del ratón en el borde de la estructura, este menú permite crear frames antes y después del mostrado, además de otras opciones.

La opción Sequence Local crea unos 49 'túneles' entre un frame y los demás para compartir datos, en uno de ellos se escribirá un valor (simbolizado con una flecha hacia el exterior del frame) y en los posteriores podrá leerse (con una flecha hacia el interior), no se podrá leer en frames anteriores al de escritura.

2.15.2.2. CASE

La estructura CASE es el equivalente a varias de los lenguajes basados en texto: IF, SWITCH y TRY. Su utilidad es ejecutar un código u otro dependiendo de una condición.

Al igual que una estructura SEQUENCE, en este caso también se tiene un menú en la parte superior donde se puede elegir el subdiagrama que se muestra. En este menú se puede ver la condición para ejecutar el código del subdiagrama correspondiente. En la Figura 13 se muestra un CASE con dos subdiagramas, uno se ejecutará cuando la condición que se evalúa sea FALSE y otro cuando sea TRUE.

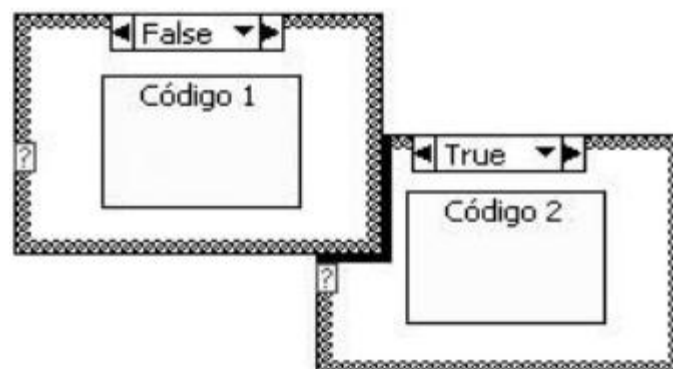


Figura XIII. Estructura CASE (Lajara, Pelegri, 2007)

El terminal que aparece en el lado izquierdo marcado con el símbolo «?» es llamado selector. El valor que llega a este selector es la condición que se evalúa para seleccionar el subdiagrama a ejecutar. Si el tipo de datos que se conecta al selector del CASE es booleano, éste actuará como una sentencia IF...THEN...ELSE de un lenguaje de texto tradicional. También pueden conectarse otros tipos de datos, en este caso actuará como un SWITCH...CASE. Pueden conectarse al selector datos booleanos, numéricos (incluidos enum y ring), strings y clusters de error.

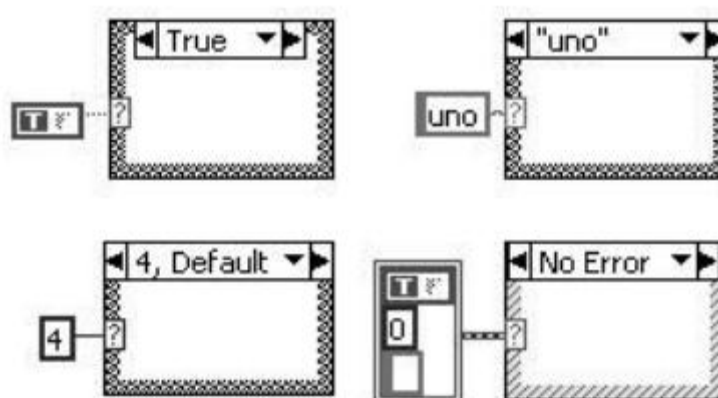


Figura XIV. Tipos de datos que son válidos en un CASE (Lajara, Pelegri, 2007)

Para un selector booleano sólo se tendrán dos casos: verdadero o falso. Para numéricos la condición será que el dato del selector sea igual al mostrado en el menú del CASE, para datos enum puede escribir el nombre del ítem en lugar del valor numérico. Con los strings sucede lo mismo que con los numéricos, el valor mostrado en el menú aparecerá como un texto encerrado en comillas dobles.

En el caso de conectar al selector un cluster de error cambiará el color del borde de la estructura, los subdiagramas se ejecutarán dependiendo de si el selector marca un error o no.

2.15.2.3. WHILE

El bucle WHILE repetirá el código de su interior hasta que se cumpla una condición, la cual es evaluada en cada iteración.

En él se aprecian dos terminales:

El terminal de iteración es el cuadrado azul con el símbolo «i». El valor de este terminal es un número entero que irá aumentando en una unidad por cada iteración del bucle, empezando a contar desde cero.

La condición de stop es el terminal verde de la esquina inferior derecha de la imagen. A este terminal se podrá conectar bien un valor booleano, bien un cluster de error. A través del menú contextual podrá elegirse para los booleanos que el bucle se detenga cuando el valor sea True(Stop if True) o False(Continue if True), en el caso de los cluster de error sucede algo parecido con Stop on Error y Continue while Error.



Figura XV. Estructura WHILE (Lajara, Pelegri, 2007)

2.15.2.4. FOR

El bucle FOR es muy parecido al WHILE, también repite el código de su interior un número de veces, pero a diferencia del anterior este número es fijado a priori y no puede cambiarse una vez empieza a ejecutarse.

Consta de dos terminales numéricos:

El terminal de iteración se sitúa igual que en el bucle WHILE, está en el interior de la estructura y se va incrementando en una unidad por cada iteración empezando desde cero.

El terminal de cuenta está colocado en la esquina superior izquierda de la estructura simbolizado con una «N». En él se conectará un valor numérico que será el que fije el número de repeticiones del bucle.

Todo lo dicho en la explicación del bucle WHILE respecto a los shift register, los Feedback Nodes y la salida indexada también es válido para el FOR. Tanto en el menú contextual del WHILE como del FOR se tiene la opción de sustituir uno por el otro.

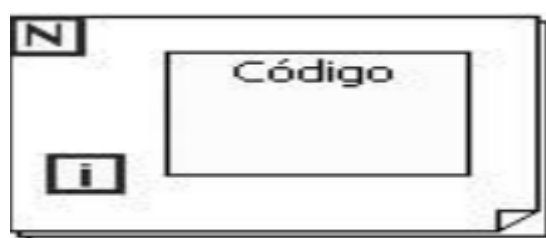


Figura XVI. Estructura FOR (Lajara, Pelegri, 2007)

Los túneles indexados son la opción por defecto en los bucles FOR. Cuando se cablea un array de forma indexada como entrada puede obviarse el terminal de cuenta porque se toma el tamaño del array como el número de veces que se ha de repetir el bucle.

2.15.2.5. EVENT

La estructura EVENT es una estructura muy útil en VIs con los que interactúa el usuario porque mejora la eficiencia del programa.

Al igual que la estructura CASE tienen varios subdiagramas y un menú en la parte superior para cambiar el que se muestra. En este menú también se tiene una condición que hace que el código del subdiagrama correspondiente se ejecute. La diferencia con CASE es que EVENT detiene la ejecución del hilo del programa hasta que se da esa condición, es decir, congela el programa hasta que ocurre un evento.

En la esquina superior izquierda tiene un terminal llamado Event Timeout que se usa en el evento por defecto: el Timeout. El código del diagrama para el evento timeout se ejecutará cuando pase el número de milisegundos indicados en el terminal Event Timeout.

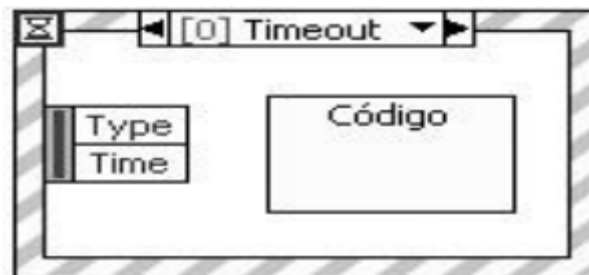


Figura XVII. Estructura EVENT (Lajara, Pelegri, 2007)

Para añadir más subdiagramas hay que proceder de igual manera que con CASE, es decir, a través del menú contextual. Cada diagrama debe tener asociados uno o varios eventos, éstos se configuran desde la ventana Edit Events.

En esta ventana primero se muestra el número del diagrama (Events Handled for Case) y a continuación la lista de los eventos que pueden dar lugar a la ejecución del diagrama (Event Specifiers), para añadir o eliminar eventos se usan los botones de la izquierda. Para definir un evento primero hay que especificar su fuente en Event Sources, los eventos de las secciones Applicationy This Vle están predefinidos y son acciones típicas, como cerrar la ventana, presionar una tecla, etc. La fuente de eventos Dynamicsólo está disponible cuando se activa Show Dynamic Event Terminalsy se cablean convenientemente, para más información se puede consultar el tema dedicado a programación multihilo; Panes se activa cuando el Panel Frontal se divide en varias partes, Splitterssólo se activa cuando hay uno de estos elementos en el Panel Frontal y finalmente Controls muestra una lista de todos los controles que hay en el VI. En Eventsse podrá elegir el evento concreto asociado a la fuente seleccionada. (*Lajara, Pelegri, 2007*)

2.16. Arduino uno

Arduino es una placa con un microcontrolador ATmega328P y con toda la circuitería de soporte, que incluye, reguladores de tensión, un puerto USB (En los últimos modelos, aunque el original utilizaba un puerto serie) conectado a un módulo adaptador USB-Serie que permite programar el microcontrolador desde cualquier PC de manera cómoda y también hacer pruebas de comunicación con el propio chip.

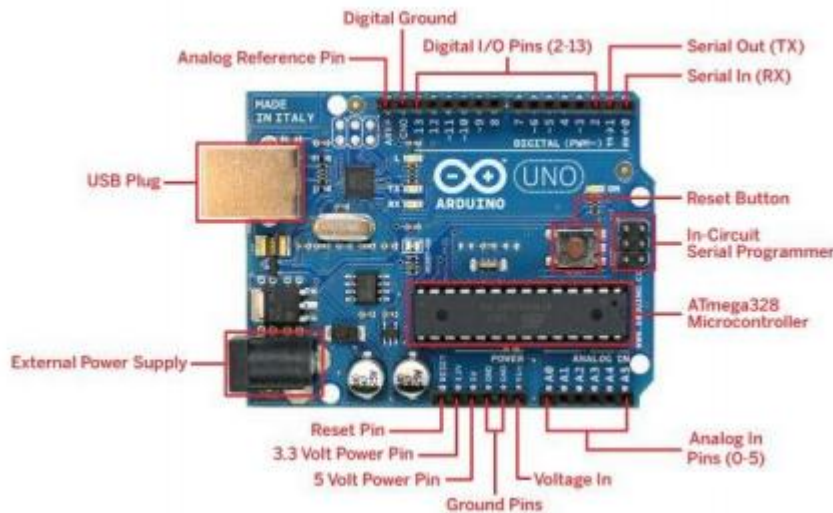


Figura XVIII. Placa Arduino Uno (Tecnología Robótica).

Un Arduino dispone de 14 pines que pueden configurarse como entrada o salida y a los que puede conectarse cualquier dispositivo que sea capaz de transmitir o recibir señales digitales de 0 y 5 V.

También dispone de entradas y salidas analógicas. Mediante las entradas analógicas podemos obtener datos de sensores en forma de variaciones continuas de un voltaje. Las salidas analógicas suelen utilizarse para enviar señales de control en forma de señales PWM.

Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Límite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Figura XIX. Características técnicas de Arduino Uno (Características – Arduino, 2013).

2.16.1. Entradas y salidas

Cada uno de los 14 pines digitales se puede usar como entrada o como salida. Funcionan a 5V, cada pin puede suministrar hasta 40 mA.

La intensidad máxima de entrada también es de 40 mA. Cada uno de los pines digitales dispone de una resistencia de pull-up interna de entre 20K Ω y 50 K Ω que está desconectada, salvo que se indique lo contrario.

Arduino también dispone de 6 pines de entrada analógicos que trasladan las señales a un conversor analógico/digital de 10 bits.

2.16.2. Pines especiales de entrada y salida

- ☐ RX y TX: Se usan para transmisiones serie de señales TTL.
- ☐ Interrupciones externas: Los pines 2 y 3 están configurados para generar una interrupción en el ATmega. Las interrupciones pueden dispararse cuando se encuentra un valor bajo en estas entradas y con flancos de subida o bajada de la entrada.
- PWM: Arduino dispone de 6 salidas destinadas a la generación de señales PWM de hasta 8 bits.
- ☐ SPI: Los pines 10, 11, 12 y 13 pueden utilizarse para llevar a cabo comunicaciones SPI, que permiten trasladar información full dúplex en un entorno Maestro/Esclavo.

- □ I2C: Permite establecer comunicaciones a través de un bus I2C. El bus I2C es un producto de Phillips para interconexión de sistemas embebidos. Actualmente se puede encontrar una gran diversidad de dispositivos que utilizan esta interfaz, desde pantallas LCD, memorias EEPROM, sensores.

2.16.3. Alimentación de un Arduino

Puede alimentarse directamente a través del propio cable USB o mediante una fuente de alimentación externa, como puede ser un pequeño transformador o, por ejemplo una pila de 9V. Los límites están entre los 6 y los 12 V. Como única restricción hay que saber que si la placa se alimenta con menos de 7V, la salida del regulador de tensión a 5V puede dar menos que este voltaje y si sobrepasamos los 12V, probablemente dañaremos la placa.

La alimentación puede conectarse mediante un conector de 2,1mm con el positivo en el centro o directamente a los pines Vin y GND marcados sobre la placa.

Hay que tener en cuenta que podemos medir el voltaje presente en el jack directamente desde Vin. En el caso de que el Arduino esté siendo alimentado mediante el cable USB, ese voltaje no podrá monitorizarse desde aquí. (*Características – Arduino, 2013*).

2.17. Celda de carga

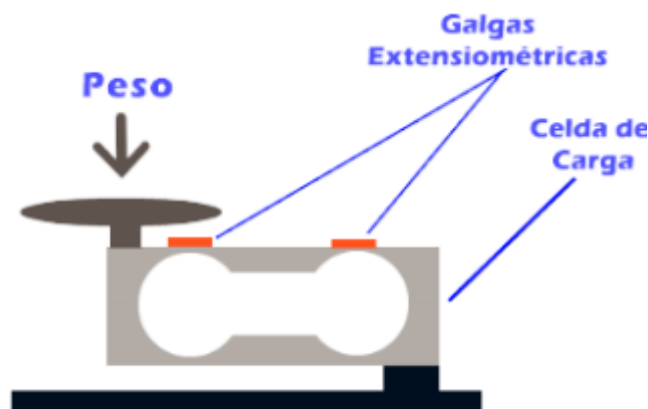
Una celda de carga es un transductor utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión empieza a partir de un dispositivo

mecánico, es decir, la fuerza que se desea medir, deforma la galga extensiométrica y por medio de medidores de deformación, que son pequeños patrones de resistencias utilizados como indicadores de tensión, obtenemos una señal eléctrica con la cual podemos obtener el valor de la fuerza.



Figura XX. Celda de carga (Naylamp)

Los medidores están unidos a la viga que se deforma cuando se aplica peso, a su vez, deformando el indicador de tensión. Cuando se deforma el medidor de deformación la resistencia eléctrica cambia en proporción a la carga. Esto se logra por medio de un puente de Wheastone, el cual se utiliza para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de “brazos” del puente. Estos están contruidos por cuatro resistencias que forman un circuito cerrado. En el caso de las celdas de carga las resistencias son los medidores de deformación. La celda de carga es ideal para poder medir variaciones sobre presión en una superficie o como simple transductor para medir un peso de algún elemento en contacto con el dispositivo. *(Mi Arduino tiene un blog. 2016).*



2.17.1 Galga Extensiometrica

Una galga extensiométrica o extensómetro es un sensor, que mide la deformación, presión, carga, par, posición, etc. y se basa en el efecto piezorresistivo, que es la propiedad que tienen los materiales de cambiar el valor nominal de su resistencia cuando se les somete a esfuerzos y se deforman en dirección de los ejes mecánicos.



Figura 22. Galga extensiometrica

Un esfuerzo que deforma la galga extensiométrica generará una variación en su resistencia eléctrica.

En su forma más común, consiste en un estampado de una lámina metálica fijada a una base flexible y aislante. La galga se adhiere al objeto cuya deformación se quiere estudiar mediante un adhesivo, como el cianoacrilato. Según se deforma el objeto, también lo hace la lámina, provocando así una variación en su resistencia eléctrica. Habitualmente una galga extensiométrica consiste en un alambre muy fino, o más comúnmente un papel metálico, dispuesto en forma de rejilla, que se puede unir por medio de soldadura a un dispositivo que pueda leer la resistencia generada por la galga.

Esta forma de rejilla permite aprovechar la máxima cantidad de material de la galga sujeto a la tensión a lo largo de su eje principal. Las galgas extensiométricas también pueden combinarse con muelles o piezas deformables, para detectar de forma indirecta los esfuerzos.

Idealmente, las galgas deberían ser puntuales, para así poder medir esfuerzos en puntos concretos. En la práctica las dimensiones de la galga son apreciables, por lo tanto, se supone que el punto de medida es el centro geométrico de la galga. Si se pretenden medir vibraciones, es necesario que las longitudes de las ondas de esas vibraciones sean bastante mayores que la longitud de la galga. Las galgas pueden estar adheridas en una placa pequeña o dos elementos que presionan el alambre que transporta la electricidad.

Las galgas tienen ciertas características, unas físicas y otras relativas a su funcionamiento. Entre las físicas se encuentra su tamaño, peso y materiales con los que sea fabricada; es pequeña y dura, lo que facilita la velocidad con que genera las respuestas. Estas son muy importantes, puesto que el resultado correcto depende de estos aspectos. Existen también características que dependen de la fabricación de la galga, por ejemplo, la temperatura del funcionamiento y el factor de la galga, que indica la sensibilidad que tiene el sensor. También la resistencia de la galga, el coeficiente de temperatura, la prueba de fatiga y el coeficiente de expansión lineal, son características necesarias para conocer bajo qué circunstancias la galga arrojaría resultados adecuados.

Los materiales que suelen utilizarse para fabricar galgas son aleaciones metálicas, como por ejemplo constantán, nicrom o elementos semiconductores como por ejemplo el silicio y el germanio.

2.17.2. Puente de Wheatstone

Un puente de Wheatstone es un circuito eléctrico que se utiliza para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente. Estos están constituidos por cuatro resistencias que forman un circuito cerrado, siendo una de ellas la resistencia bajo medida.

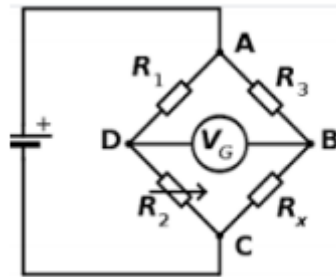


Figura XXIII. Diagrama de un puente de Wheatstone

El puente de Wheatstone es un circuito inicialmente descrito en 1833 por Samuel Hunter Christie (1784-1865), Pero fue el Sr. Charles Wheatestone quien le dio muchos usos cuando lo descubrió en 1843. Como resultado este circuito lleva su nombre.

2.17.2.1. Funcionamiento

Para determinar el valor de una resistencia eléctrica bastaría con colocar entre sus extremos una diferencia de potencial (V) y medir la intensidad que pasa por ella (I), pues de acuerdo con la ley de Ohm, $R=V/I$. Sin embargo, a menudo la resistencia de un conductor no se mantiene constante -variando, por ejemplo, con la temperatura y su medida precisa no es tan fácil. Evidentemente, la sensibilidad del puente de Wheatstone depende de los elementos que lo componen, pero es fácil que permita apreciar valores de resistencias con décimas de ohmio.

2.17.2.2. Medición

Cuando el puente se encuentra en equilibrio: $R_1 = R_2$ y $R_x = R_3$ de donde $R_1 / R_x = R_2 / R_3$. En este caso la diferencia de potencial (la tensión) es de cero "0" voltios entre los puntos A y B, donde se ha colocado un amperímetro, que muestra que no pasa corriente entre los puntos A y B (0 amperios). Cuando $R_x = R_3$, $V_{AB} = 0$ voltios y la corriente = 0 amperios. Si no se conoce el valor de R_x , se debe equilibrar el puente variando el valor de R_3 . Cuando se haya conseguido el equilibrio, R_x será igual a R_3 ($R_x = R_3$). R_3 debe ser una resistencia variable con una carátula o medio para obtener valores muy precisos.

2.18. Módulo HX711

Este módulo es una interface entre las celdas de carga y el microcontrolador, permitiendo poder leer el peso de manera sencilla. Internamente se encarga de la lectura del puente wheatstone formado por la celda de carga, convirtiendo la lectura analógica a digital con su conversor A/D interno de 24 bits.

Es muy utilizado en procesos industriales, sistemas de medición automatizada e industria médica.

Se comunica con el microcontrolador mediante 2 pines (Clock y Data) de forma serial. (Naylamp Mechatronics.2015)



CAPITULO III

DESARROLLO

3.1. Metodología del proyecto

El método de la investigación describe a detalle la forma en que se ha llevado a cabo la investigación. Este permite explicar la propiedad de los métodos utilizados y la validez de los resultados, incluyendo la información pertinente para entender y demostrar la capacidad de replicación de los resultados de la investigación.

El método deductivo se basa en el estudio de la realidad y la búsqueda de verificación o falsificación de unas premisas básicas a comprobar. A partir de la ley general (generalización) se considera que ocurrida en una situación particular. (Abreu, 2014).

El proceso para derivar las conclusiones del proyecto se llevó a cabo con el método deductivo ya que el simulador se apega al estudio de la realidad de las experiencias vivenciales en el mercado laboral petrolero. Se estudian datos generales de la perforación de pozos petroleros para determinar un hecho en particular que es el control y monitoreo de los mismos.

A si mismo por la naturaleza de los datos y la información el estudio es de tipo cuantitativo ya que el análisis de la realidad es a través de procedimientos sustentados en la medición. Se realiza la medición del peso del lodo de perforación y a partir del resultado se hacen comparaciones y se determina si los valores son correctos o se tienen que corregir para controlar el pozo y evitar posibles brotes de crudo. De la misma manera se miden otras variables como las revoluciones por minuto de la barrena, la profundidad de perforación, presión hidrostática y volumen de presas; todas estas se pueden visualizar en la pantalla principal del simulador. Por los medios para obtener los datos es un estudio de laboratorio ya que es de carácter experimental y comprende la

observación minuciosa y detallada de la perforación y el control de pozos, esta tarea debe llevarse a cabo en un lugar especial y previsto. Debido a que se trata de un simulador los conocimientos y experiencias no se aplican en una realidad como tal, entonces, por la manipulación de sus variables la aplicación del proyecto es de tipo cuasi-experimental ya que los hechos solo se asemejan a la realidad.

CAPITULO IV

MARCO

OPERATIVO

4.1. Elaboración de la balanza con la celda de carga

Se elaboró la balanza colocando un extremo de la celda de carga a la base y el otro extremo la tara de carga, de esta manera se deja libre el centro ya que es donde se ubican las galgas extensiométricas que medirán la deformación de la celda cuando se aplique un peso. Es importante tomar en cuenta la dirección de la flecha ya que esta indica la dirección de la fuerza o peso que se va aplicar.

En la siguiente figura se muestra la manera en que debe quedar instalada la balanza.



Figura XXV. Balanza con celda de carga. (Naylamp)

4.2. Conexión de la celda de carga al módulo HX711

Una vez armada la balanza se conecta el módulo transmisor HX711 a la celda de carga. El módulo convierte de los datos analógicos medidos por la celda a digitales. La conexión se hace de acuerdo a la tabla 1 del capítulo II.



Figura XXVI. Conexión de la celda de carga al módulo HX711 (Naylamp)

4.3. Conexión de la balanza a la tarjeta Arduino Uno

El módulo transmisor es una interfaz entre la celda de carga y la tarjeta Arduino Uno. Se conecta como lo indica la tabla 2 del capítulo II. El diagrama es el siguiente:



Figura XXVII. Diagrama de conexión. (Naylamp)

La tarjeta Arduino Uno se encarga de leer los datos medidos por la celda de carga.

4.4. Código Arduino

Se utilizó la librería del módulo HX711 para Arduino

Una vez descargado hay que importarla a nuestro IDE de Arduino.

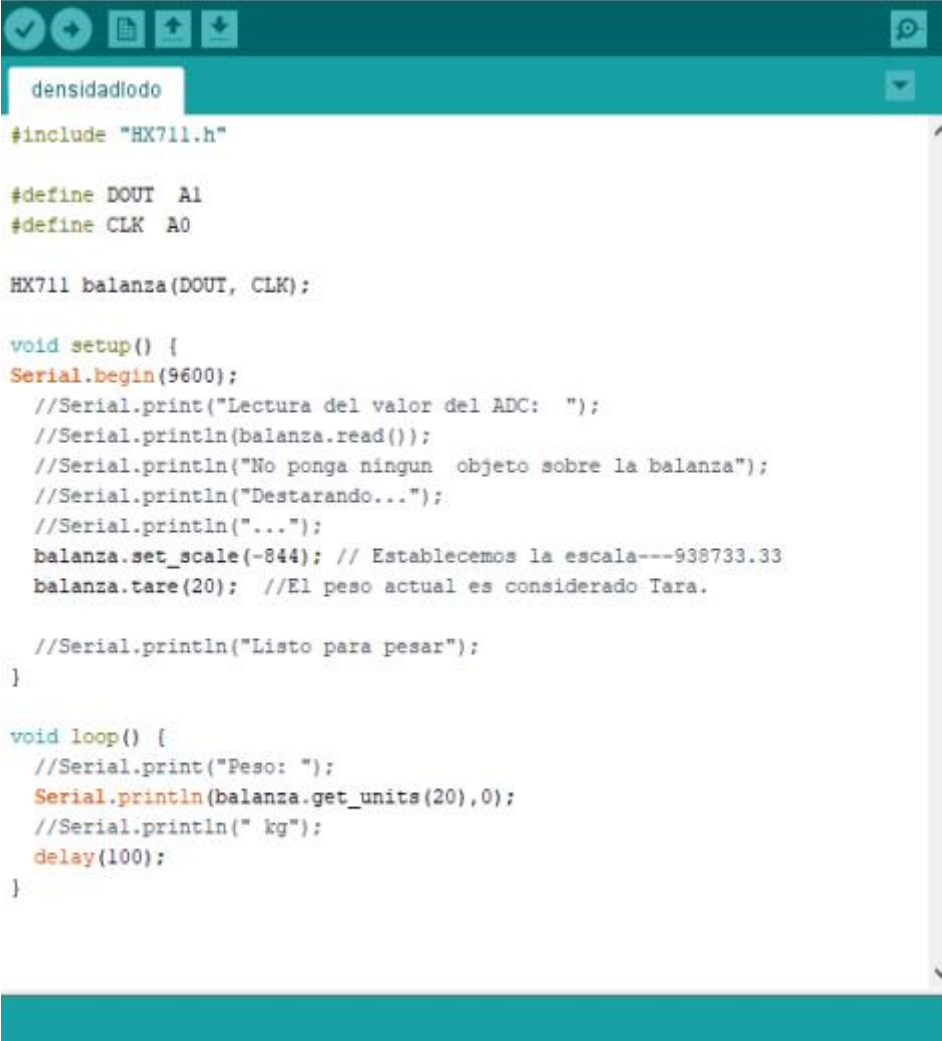
Explicaremos las funciones principales de esta librería.

- Con la función **Balanza.Set_Scale(-844)**; Se establece el valor de la escala, que es el factor de conversión para convertir valor de lectura en un valor con unidades de peso.
- **Balanza.tare(20)**; Establece el peso actual como el peso de tara, **n** indica el número de lecturas que se realizan para obtener la tara, en este caso son 20

- **Balanza.get_units(byte n);** Devuelve el valor actual restado del peso de tara y dividido por la escala. Es equivalente a (get_value()/SCALE). Si se especifica un valor de n, devuelve el promedio de n lecturas. (Naylamp Mechatronics.2015).

Entonces se definen los pines de entrada A1 y A0. Se inicializa el puerto serial y se establece la escala con la que va a trabajar la balanza, se establece el valor de tara. Y en el monitor serial se imprime el peso en kilogramos.

En la siguiente figura se muestra el programa de Arduino para determinar el peso del lodo puesto en la balanza



```

densidadlodo

#include "HX711.h"

#define DOUT A1
#define CLK A0

HX711 balanza(DOUT, CLK);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //Serial.print("Lectura del valor del ADC: ");
  //Serial.println(balanza.read());
  //Serial.println("No ponga ningun objeto sobre la balanza");
  //Serial.println("Destarando...");
  //Serial.println("...");
  balanza.set_scale(-844); // Establecemos la escala---938733.33
  balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.

  //Serial.println("Listo para pesar");
}

void loop() {
  //Serial.print("Peso: ");
  Serial.println(balanza.get_units(20),0);
  //Serial.println(" kg");
  delay(100);
}

```

Figura XXVIII. Programa Arduino para leer densidad del lodo. (Fuente propia).

4.5. Programa en LabVIEW 2017

Posteriormente se realizó el programa en LabVIEW 2017, en el cual se establece que dependiendo de la profundidad de perforación del pozo se deben cumplir las condiciones de la tabla 3. Es decir, conforme los rangos de profundidad de la perforación se determina la densidad del lodo y las revoluciones por minuto de la barrena, esto para mantener bajo control los posibles brotes de crudo y trabajar de manera segura en la perforación.

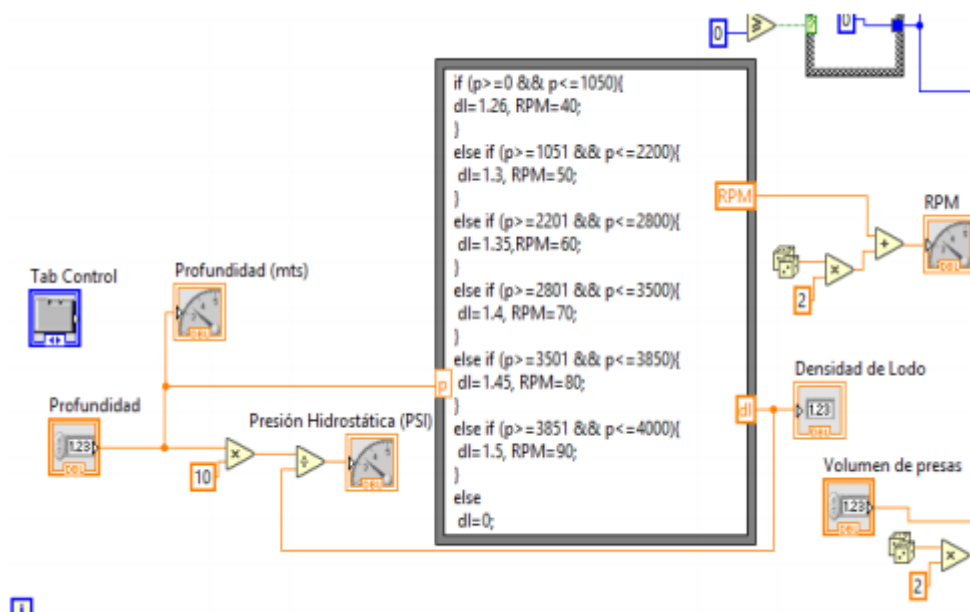


Figura XXIX. Programa en LabVIEW para determinar la densidad del lodo (Fuente propia)

A continuación realizamos cálculos de densidad

Profundidad en Metros	Densidad del Lodo	Revoluciones por Min.
De 0 a 1500	1.26	40
De 1501 a 2200	1.3	50
De 2201 a 2800	1.35	60
De 2801 a 3500	1.4	70
De 3501 a 3850	1.45	80
De 3851 a 4000	1.5	90

Tabla. VI. Parámetros para determinar densidad del lodo (Fuente propia)

Se leen los valores de la balanza medidos por Arduino y se compara si son mayores de cero, si es verdadero y el valor del peso del lodo se encuentra en los rangos establecidos en la tabla 4 se puede determinar el valor de la densidad del lodo.

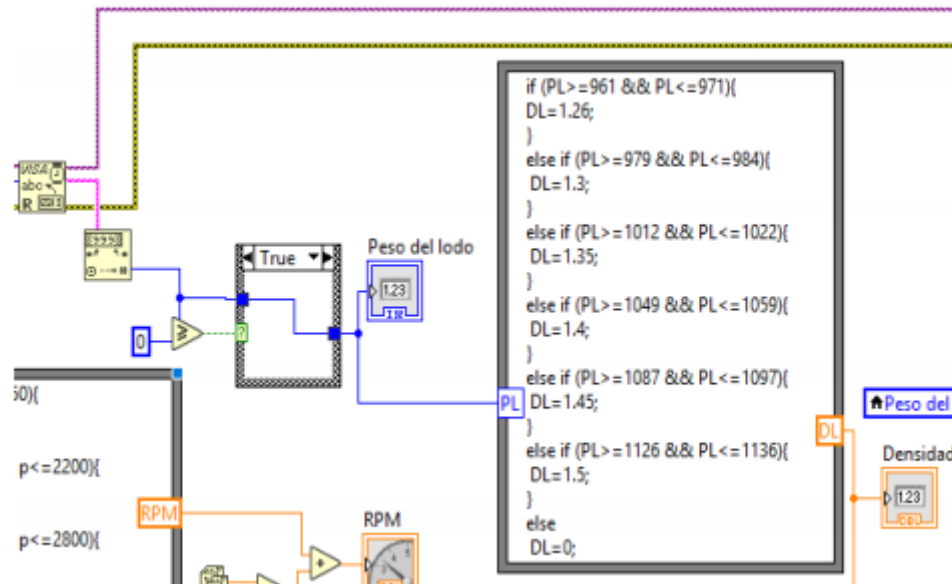


Figura 30. Programa en LabVIEW para determinar la densidad del lodo mediante su peso (Fuente propia)

Peso del Lodo (gr)	Densidad del Lodo
De 961 a 971	1.26
De 979 a 984	1.3
De 1012 a 1022	1.35
De 1049 a 1059	1.4
De 1087 a 1097	1.45
De 1126 a 1136	1.5

Tabla. VII. Valores de peso y densidad del lodo (Fuente propia)

Seguido de esto se compara la densidad del lodo de prueba con los valores de la tabla 3. Si el valor de las densidades comparadas es correcto el programa se mantiene funcionando de manera normal.

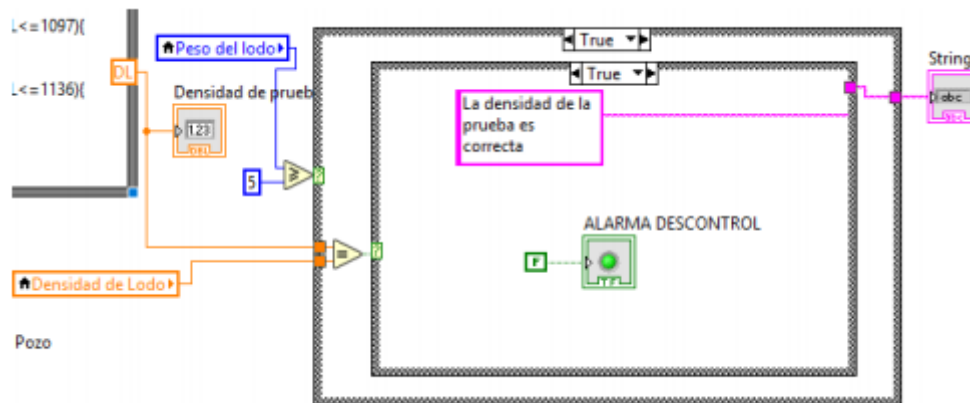


Figura XXXI. Comparación correcta de densidad de lodo (Fuente propia)

Si las densidades comparadas son distintas a los valores de la tabla 3, se enciende una alarma de descontrol que alerta del error para que el usuario pueda corregir la falla.

En el caso de que no sea posible conseguir la densidad del lodo adecuada, el programa permite el cierre del pozo para evitar que ocurra un brote.

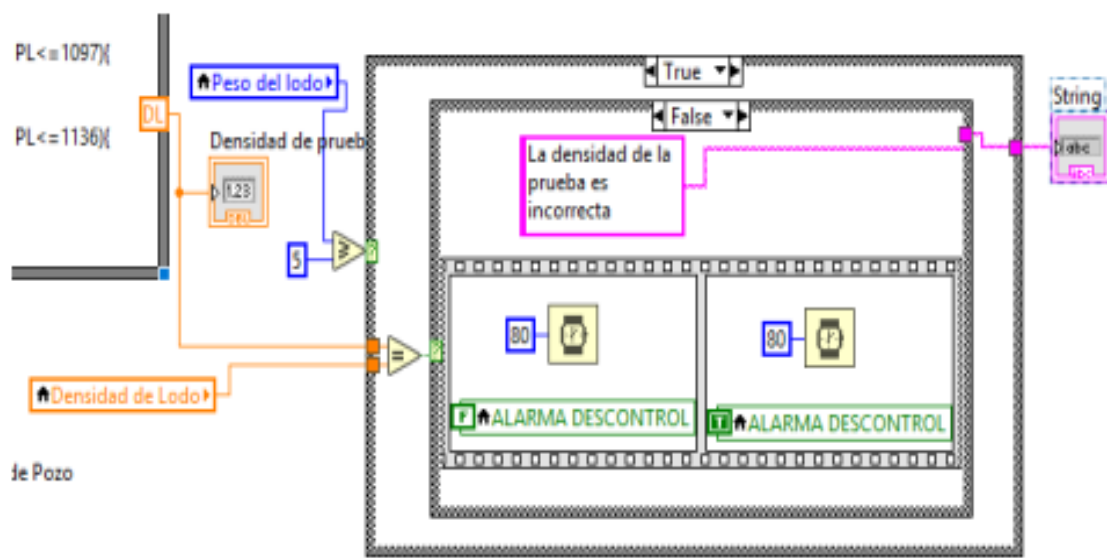


Figura XXXII. Comparación de densidad de prueba incorrecta (Fuente propia)

CAPITULO V.

RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Resultados

Para empezar la toma de muestras lo primero que se tiene que hacer es calibrar la balanza, para la obtención de datos correctos.



Figura XXXIII. Calibración de la balanza (Fuente propia)

Una vez que se calibra la balanza se procede a capturar los datos obtenidos al pesar el lodo de perforación.

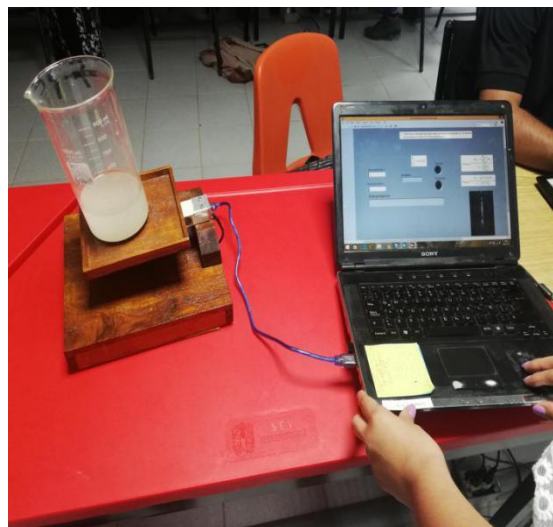


Figura XXXIV. Captura de datos (Fuente propia)

El lodo es pesado en la balanza y la tarjeta Arduino Uno obtiene los valores para ser comparados en el programa de LabVIEW.

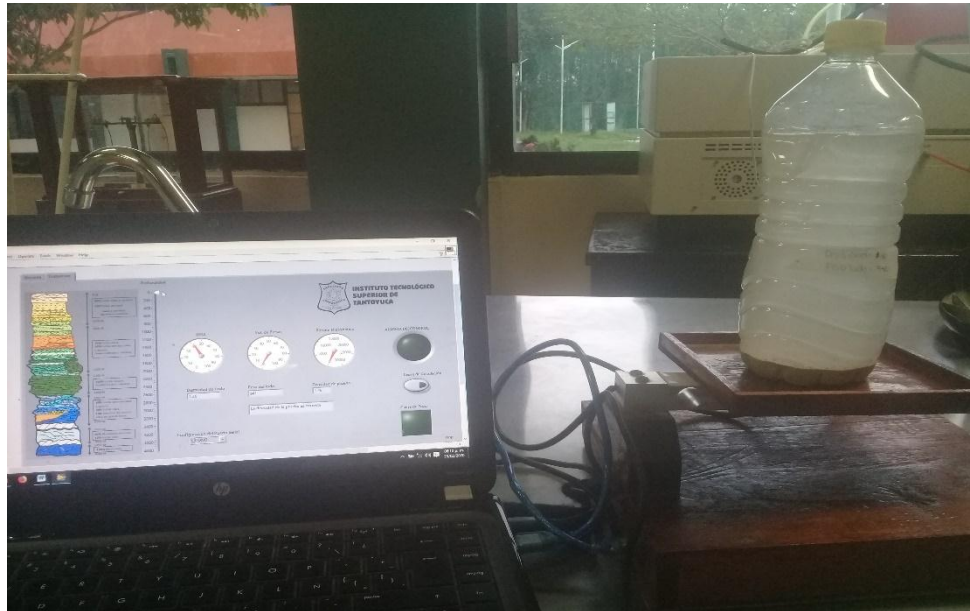


Figura XXXVII. Demostración de pesos de lodos (Fuente propia)

Para empezar con la simulación el docente debe introducir el valor del volumen de presas del lodo y la profundidad de perforación. Estos datos se utilizan como referencia para determinar el valor correcto de la densidad del lodo de perforación.



Figura XXXVIII. Simulador en LabVIEW. Pestaña docente (Fuente propia)

Es posible visualizar los parámetros importantes en la perforación de pozos como las revoluciones por minuto de la barrena, la profundidad de perforación en metros, la presión hidrostática y los valores de la densidad del lodo. Si hay alguna variación en el peso de la densidad del lodo que pueda provocar un brote se enciende una alarma para corregir los valores de peso. En caso de que no se pueda controlar de la descompensación se prosigue a cerrar el pozo para evitar brotes.

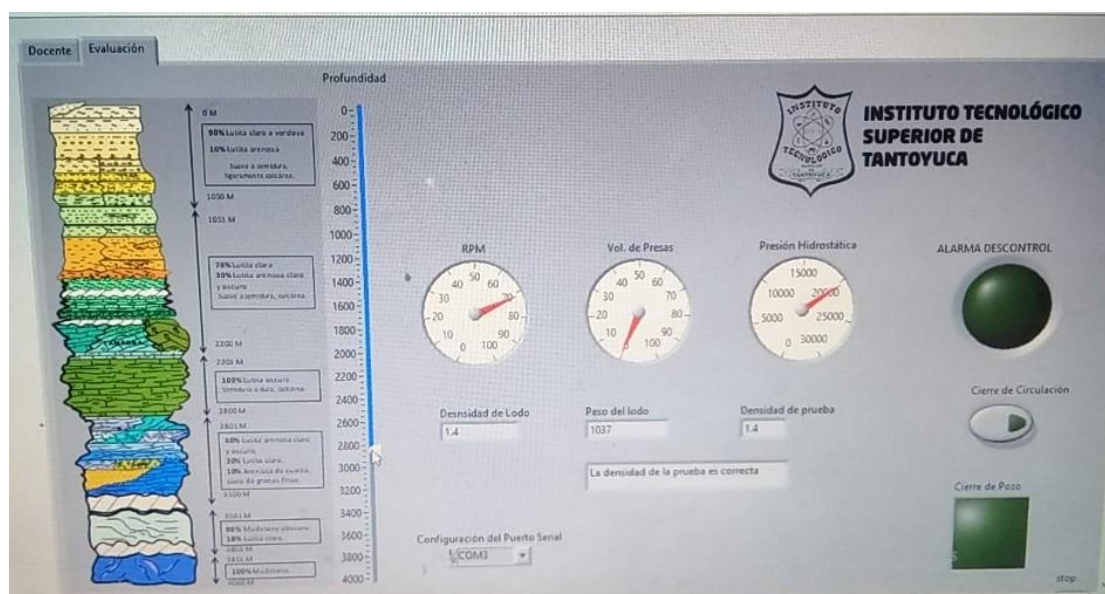


Figura XXXIX. Simulador en LabVIEW. (Fuente propia)

5.2 Conclusiones

Con este programa de simulación de técnicas de detección, monitoreo de parámetros de formación y control de brotes en pozos petroleros aplicado a la ingeniería petrolera; se determinó la densidad de lodo de perforación con la balanza programada en Arduino Uno.

Se logró visualizar los datos numéricos y posteriormente se graficaron los datos obtenidos de la densidad del lodo en tiempo real.

Se elaboró el programa en LabVIEW, el cual compara los datos obtenidos de la densidad del lodo con los valores establecidos y se determina si el peso del lodo es correcto. Si no es correcto el valor de la densidad del lodo se activa una alarma y posible corregir la descompensación, en caso de que no se pueda corregir se puede cerrar el pozo. De igual manera se observan los parámetros de perforación en la pantalla del simulador.

Es por esto que sería una cuestión interesante el enseñar lenguajes de programación más actualizados, los cuales permiten crear programas con una mejor interfaz, sobre todo más interactiva y que pueden ser más útiles en campo.

Es de gran ayuda que el ingeniero de pozo no solo realice sus trabajos operativos si no que vaya más allá, es decir, que se puede dar un tiempo de ir capacitando a sus compañeros de trabajo como técnicos, trabajadores de piso, etc., esto con el fin de que podamos compartir el conocimiento que tenemos y que junto con la experiencia de campo que ya tiene gran parte del personal, se pueda hacer un excelente equipo de trabajo en el pozo.

5.3 Recomendaciones

- Calibrar correctamente la balanza.
- Llenar correctamente el recipiente de medición.
- Colocar el recipiente de medición en el centro de la balanza para obtener lecturas correctas.
- Esperar que la balanza termine de tomar la medición.
- Limpiar correctamente el recipiente de medición para evitar que queden residuos de lodo.
- Al iniciar la simulación el docente debe de introducir los valores de la profundidad de perforación y volumen de presas.

Se recomienda a los estudiantes de Ingeniería Petrolera y a profesionales de geociencias que trabajan con yacimientos petroleros a documentarse para ampliar el conocimiento sobre el origen, desarrollo y propiedades de las trampas por variación de permeabilidad para que manejen información actualizada en qué repercute. Se recomienda conocer con precisión las características de las Trampas Estratigráficas para realizar cálculos de reservas con mayor precisión. Se recomienda aplicar el conocimiento sobre las Trampas por Variación de Permeabilidad para la aplicación de procesos de Recuperación Secundaria y Mejorada. A los estudiantes de Ingeniería Petrolera se les recomienda ampliamente comprender los conceptos de Perforación Direccional para Trampas por Variación de Permeabilidad ya que en la actualidad hay una serie de grandes retos a los que se enfrenta la

industria petrolera del país, y así mejorar las técnicas de diseño de perforación para pozos direccionales. Por otro lado, se recomienda revisar literatura de métodos que se aplican para explotar los hidrocarburos en Trampas por Variación de Permeabilidad cuando la energía propia del yacimiento ha declinado o cuando las localizaciones en el yacimiento no son las óptimas durante su descubrimiento y desarrollo.

CAPÍTULO 6.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

Y VIRTUALES

6.1 Fuentes de Informacion Bibliograficas

Leach, C; Mounter, J; (2013) "Deep water well control an important way forwards" Ámsterdam, SPE/IADC 163550.

Auwalu, I.M; (2015) "Effectiveness of simulations on well control during HP-HT well drilling" Nigeria, SPE 178281-MS.

Gasopedia & Blogger. (2015). *¿En qué consiste la perforación de pozos*

petroleros? Marzo 13, 2019, de GASOPEDIA Sitio web:

<https://www.gasopedia.net/2015/07/en-que-consiste-la-perforacion-de-pozos-petroleros.html>

Golding, F. (2016). *Deepwater well control: Integrated simulation for risk management.* Galveston, SPE 180351-MS.

González, P. (2018). *Diseño de software de simulación de control de pozos petroleros didáctico.* Villahermosa, Tabasco: CIATEC.

Hawker, D., Vogt, K., & Robinson, A. (2001). *Manual de perforación procedimientos y operaciones en el pozo.* Canadá: Datalog.

Lajara, J., & Pelegri, J. (2007). *LabVIEW Entorno grafico de programación.* Barcelona: Marcombo.

Naylamp. (2015). *Tutorial transmisor de celda de carga HX711, Balanza Digital.* marzo 12, 2019, de Naylamp Mechatronics Sitio web: https://naylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html

Publico (2019). *Fluidos de control. Tomo 3. de Pozos Petroleros.* México: Limusa.

Kropla, S.M; (2008) "Building a well control culture with well cap" Orlando, IADC/SPE 112736.

Alvarado, D, (2004). *Análisis de Pruebas de Presión.* Venezuela: S. E.

Wiegand, K.D; (2013) "Automatic well control and decision support in a massive parallel simulation environment" The Woodlands, SPE 163597. □

QimiNet. (2016). *Lodos de perforación en la industria petrolera*. Marzo 13, 2019, de QuimiNet.com Sitio web: **Abreu, J. (2014).** *El método de la investigación*. Daena.

Rossland, O; (2013) "A discussion of well control methods" Universidad of Stavanger

Darley, H.; Gray, G. (2011). "Composition and properties of drilling and completion fluids" (6th ed.). Houston, Texas. Gulf Professional Publishing.

Publico (2019). *Terminación y mantenimiento de pozos*.

ASME Shale Shaker Committee (2005). "Drilling fluids processing handbook" Estados Unidos. Gulf Professional Publishing.

Torrente, O. (2013). *Arduino curso práctico de formación*. Madrid, España: Alfaomega

Benítez, M. (1979). *Fluidos de perforación*. México: UNAM

Da Silva, A. (2007). *LODO DE PERFORACIÓN*. Marzo 06, 2019, De LA COMUNIDAD PETROLERA Sitio web: <https://www.lacomunidadpetrolera.com/2007/12/lodos-de-perforacin.html>

Algeroy, J., Auzerais, F., Bryant, I., Crabtree, M., Davies, J., Eslinger, D.,

Fletcher, P., Gai, M., Johannessen, O., Johnson, A., & King, G. (1999). *Control remoto de yacimientos*. Oilfield Review, Vol. 11, Págs. 18-29.

Benítez, M. (1979). *Fluidos de perforación*. México: UNAM

Del Campo, M. (2016). *Balanza digital de hasta 20Kg con celda de carga y*

transmisor HX711. Marzo 15, 2019, de Mi Arduino Tiene un Blog Sitio web:

<https://miarduinounotieneunblog.blogspot.com/2016/06/balanza-digital-de-hasta-20kg-con-celda.html>

Emerson. (2019). *Desempeño de densidad y viscosidad insuperable*. 2019,
de Emerson Sitio
web:<https://www.emerson.com/es-mx/automation/measurement-instrumentation/flow-measurement/density-viscosity-learn-about>

Enríquez, R. (2009). *Guía de Usuario de Arduino*. USA: S, E.

Evans, B. W. (2007). *Manual de programación Arduino*. San Francisco, California: Creative Commons.

6.2 Fuentes de Informacion Virtuales

http://www.portaldelpetroleo.com/2016/04/perforacion-direccional-componentes-de_2.html

http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1349/A7_CAP%C3%8DTULO_4.pdf?sequence=7

<https://es.slideshare.net/MagnusMG/perforacion-de-pozos-petroleros-42587724>

<http://red.ilce.edu.mx/20aniversario/componentes/redescolar/publicaciones/publicaciones/rocas/calizacoralina.htm>

<https://docplayer.es/59557826-T-e-s-i-s-guia-basica-de-perforacion-direccional-con-aplicacion-en-un-pozo-i-n-g-e-n-i-e-r-o-p-e-t-r-o-l-e-r-o-que-para-obtener-el-titulo-de.html>

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14735/Tesis.pdf?sequence=1>

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5459/TESIS%20CARACTERIZACION%20INTEGRADA%20DE%20YACIMIENTOS.pdf?sequence=5>

ANEXOS

MANUAL DE USUARIO

“Evaluación y Análisis de formaciones para el diseño de la columna geológica en simulador de control de brotes en pozos petroleros”

MATERIALES Y REACTIVOS.

- Vaso precipitado de 1000mL.
- Balanza de lodos.
- Barita.
- Bentonita.
- Sal.
- Agitador.
- Pesa.
- Calculadora.
- Software, LabVIEW, sensor conectado, funcionando gráfica, digital y físicamente.

(Antes de empezar el procedimiento de la práctica se la balanza analítica con agua.)

PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE LODOS BENTONITICOS.



1. Pesar el matraz o vaso de precipitado de 1000 mL y anotarlo para restarlo (mm).



El peso fue de 303 gr

2. Preparar la salmuera al 10% es decir 50grs de sal en 500 ml de agua.
Pese 50gr de sal en la balanza para agregarlo vaso de precipitado en el cual se añadió 500 ml de agua.



Se taro a cero el peso de la hoja, y se agrego la sal al agua.



3. Pese la masa del vaso de precipitado con la sal al 10% y con el agua en el vaso de precipitado a los 500 ml.



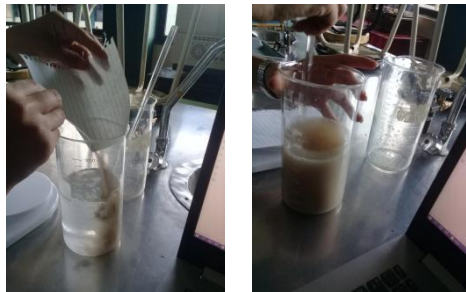
El

peso fue de 839 gr.

4. Elaborar un lodo bentonítico al 7% es decir se pesaron 35 gr por los 500 ml de agua salada.



5. Se utilizó un agitador para que el lodo bentonítico se mezcle perfectamente.



6. Pesar la masa del vaso junto con la bentonita y la salmuera (mmsa).

Calcular la densidad del lodo de perforación con la balanza de lodos, quite la tapa del vaso y llene completamente el vaso con el lodo a pesar, vuelva a poner la tapa y gire hasta que esté firmemente asentada, asegurándose que parte del lodo sea expulsado a través del agujero de la tapa, limpie el lodo que está fuera del vaso, coloque el brazo de la balanza sobre la base y desplace el caballero, hasta que el nivel de burbuja esté nivelado. Anote el resultado de la densidad en la escala de unidades correcta.



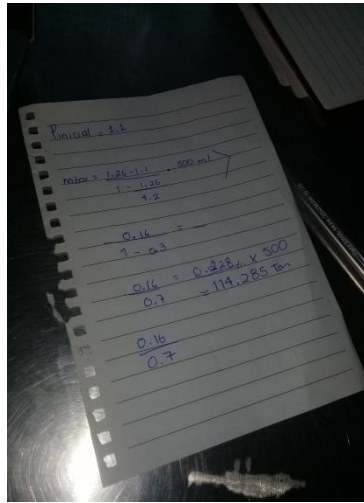
7. Calcular la masa de la barita [gr.] de acuerdo al peso a la que se desea densificar el lodo con la fórmula:

$$m_{Bar} = \frac{df - di}{1 - \frac{df}{\rho_{Bar}}} \cdot \forall LI$$

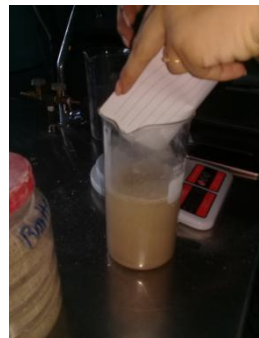
Donde:

- df= Densidad de lodo final [gr/cm³]
- di = Densidad del lodo inicial en [gr/cm³]
- VLI= Volumen del Lodo Inicial
- ρ_{Br} = Densidad de la barita





m Bar = 114gr



Se repitieron los pasos anteriores para densificar el lodo a los pesos establecidos.



A continuación se presenta el desarrollo de la práctica para control de brotes por medio de la densificación de lodo de perforación, para el proyecto de:

Desv. Lindero - Tametate S/N, Col. La Morita

CP 92100, Tantoyuca, Veracruz
Tel. (01 789) 8931680, 8931552
<https://itsta.edu.mx>



“Evaluación y Análisis de formaciones para el diseño de la columna geológica en simulador de control de brotes en pozos petroleros”

1. Solicitar todos los materiales para la ejecución de la práctica.
****sin distinciones.****
2. Calibrar la balanza de lodos con ayuda de H_2O (AGUA). Para obtener resultados de mayor exactitud.
3. Distribuir materiales de acuerdo a su orden de uso.
4. Iniciar la PC con el software Labview instalado.
5. Conectar el dispositivo (sensor) a la PC, con el cual se pesaran las pruebas de lodo.
6. Iniciar el programa Lavview y verificar su funcionamiento correcto.
7. Correr el programa para iniciar la simulación, verificando los parámetros del programa de perforación.
8. Ahora el simulador presenta un cambio de su programa de perforación de manera, manual o automática.
9. El simulador presenta una alarma de manera automática el software necesita una densificación.
10. Para preparar la densificación parar la circulación del simulador.
11. Este paso es el más importante se tiene que aplicar la fórmula de densificación utilizada en campo para obtener las cantidades de aditivos para la densificación (ver procedimiento para calcular lodos bentónicos).
12. Cuando ya se aplica la formula y se obtuvieron las cantidades en este paso se prepara el lodo en el vaso de precipitación utilizando todos los materiales solicitados (ver procedimiento para calcular lodos bentónicos).
13. Ahora colocar el lodo en el sensor para que el simulador compruebe o deniegue la práctica.
14. Si el simulador deniega la práctica el simulador presentara un descontrol y posteriormente un brote.



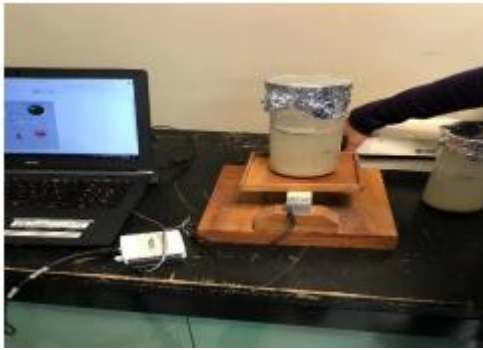
14.1 ESTO INDICA QUE EL ALUMNO NO APROBO LA PRUEBA.

15. Si el simulador acepta y aprueba la práctica continuara con la simulación de perforación.

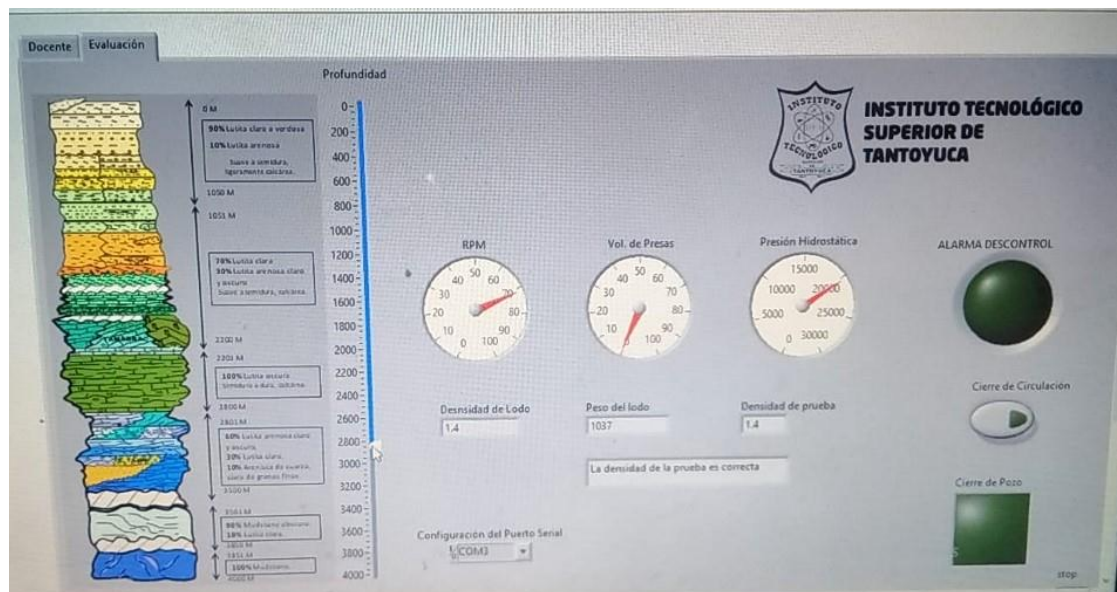
15.1. Esto indica que el alumno aprobó la práctica y el software continua simulación automática

16.. Termina la práctica y posteriormente se genera un ciclo de trabajo.





Demostración de pesos de lodos



Simulador LabView

Desv. Lindero - Tametate S/N, Col. La Morita

CP 92100, Tantoyuca, Veracruz
Tel. (01 789) 8931680, 8931552
<https://itsta.edu.mx>





INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA

FORMATO DE LIBERACIÓN DEL PROYECTO PARA TITULACIÓN INTEGRAL

Tantoyuca, Veracruz; a 17 de Febrero de 2020
Asunto: Liberación De Proyecto Para La Titulación Integral

MC SONIA CRUZ RIVERA
Jefe De Departamento De Estudios Profesionales Y Titulación

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del Alumno:	PATRICIA ALVARADO HERNANDEZ
Carrera:	INGENIERIA PETROLERA
No. De Control:	13350215
Nombre del Proyecto:	"EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE FORMACIONES PARA EL DISEÑO DE LA COLUMNA GEOLÓGICA EN SIMULADOR DE CONTROL DE BRITOS EN POZOS PETROLEROS"
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL- PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

+ Lo anterior lo hago de su conocimiento para los fines correspondientes a su Examen Profesional, por lo cual deberá de entregar al Departamento de Estudios Profesionales, su trabajo profesional en 5 mini CD's (debidamente rotulados) de su trabajo en archivo PDF, así como donar un libro (nuevo) de su especialidad al centro de información.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

ING. DIANA FRANCO CLEMENTE
JEFE DE DIVISION DE CARRERA DE INGENIERIA PETROLERA

ING. ROSALIND BEL ANDEL AVILES Asesor	ING. BETSABE NATALY ESCUDERO DIAZ Revisor	M.C. FELIX HERNANDEZ SANTIAGO Revisor

Caja Deposito En Simbolos Escritos, y una carta de no necesidad
Copia: Se Remite Al Archivo, Para el efecto de archivarlo correspondiente.
Copia: Titulares Profesionales
Expediente:

R00/05/14

F-EP-34

