

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DIDÁCTICO PARA EL CURSO DE  
CAPACITACIÓN DE CONTROL DE POZO PARA LAS OPERACIONES DE  
PERFORACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL POZO.”**

**DUVÁN ALEJANDRO GONZÁLEZ CAMACHO  
DIEGO ENRIQUE URIBE SÁNCHEZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DIDÁCTICO PARA EL CURSO DE  
CAPACITACIÓN DE CONTROL DE POZO PARA LAS OPERACIONES DE  
PERFORACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL POZO.”**

**DUVÁN ALEJANDRO GONZÁLEZ CAMACHO  
DIEGO ENRIQUE URIBE SÁNCHEZ**

**Proyecto Integral de Grado para optar al título de:  
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**Orientador:  
CARLOS ALBERTO ESPINOSA MORA  
Ingeniero de petróleos**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTÁ D.C  
2017**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

ING. CARLOS ALBERTO ESPINOSA MORA

---

ING. IVAN EDUARDO PEÑALOSA CRISTANCHO

---

ING. RAFAEL ANTONIO DELGADO CARVAJAL

Bogotá D.C, 14 de Febrero del 2017

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

Presidente de la Universidad y rector del claustro

**Dr. Jaime Posada Díaz**

Vicerrector de Desarrollo y recursos humanos

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Vicerrectoría académica y de posgrados

**Ing. Ana Josefa Herrera Vargas**

Secretario general

**Dr. Juan Carlos Posada García- Peña**

Decano general de la facultad de ingenierías

**Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi**

Director (E) del programa de Ingeniería de petróleos

**Dr. Edgar David Cedeño Ligarreto**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto es dedicado a Dios por todas las bendiciones recibidas para el desarrollo de esta tesis, a mi familia y novia que siempre estuvieron apoyándome, y quienes me brindaron ayuda constante, y fueron un eje importante, no solo durante la realización del proyecto para optar al título profesional sino durante todos los semestres académicos cursados, convirtiéndose en parte importante para mi desarrollo profesional.

Diego Uribe Sánchez

## DEDICATORIA

A Dios primeramente dedico este triunfo porque en medio de las dificultades nunca me abandono, siempre sentí su grata presencia enseñándome a levantarme aun con más fuerza de los tropiezos que viví en este arduo camino. También le agradezco a Dios por darme salud, vida, entendimiento y sabiduría que me permitió cumplir este sueño. A mis padres William González y Luz Nelly Camacho, dedico este triunfo ya que me entregaron todo su amor y apoyo incondicional durante este arduo camino, siendo la pieza clave para cumplir esta meta. A mi mamita, abuela, consejera y sobre todo orgullo por enseñarme a no desfallecer, por infundir valores morales, éticos y espirituales que conforman mi personalidad y diario vivir, a mis hermanos Deivib William González y William Andrés González porque confiaron en mí, me apoyaron y brindaron sus más sinceros consejos cuando los necesite. A mi Esposa, amiga, consejera y fiel compañera Ángela Palacio, que demostró su amor y apoyo incondicional en los momentos difíciles, por comprender mi situación académica-laboral siendo de gran fortaleza en los momentos que más la necesite, además me regalo una gran bendición, esta bendición es mi hijo Samuel Alejandro, a quien amo con todo mi corazón pues el infundo fuerza en mi ser para seguir adelante con mis proyectos y así mismo lograr cumplir mis metas. Por último, agradezco a la Universidad América y a las personas que de una u otra manera intervinieron en este proceso de formación, gracias a todos mis compañeros, amigos, profesores, a todo aquel que confió en mí y aquellos que no también, porque sin ellos esta carrera no hubiera sido un reto de excelencia para mi vida.

Duván Alejandro González Camacho.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por ser mi guía y cuidado constante en toda mi vida.

A mi familia por apoyarme en una de mis metas personales como la es la obtención mi título profesional y en los deseos de construir un mejor futuro para cada uno de nosotros, gracias infinitas a mis padres (Myriam y Carlos) por su ayuda, paciencia, cariño y por toda la educación brindada, a mis hermanos por su apoyo incondicional y al resto de mi familia por brindarme ayuda y estar presentes en todos y cada uno de los momentos del camino.

A mi novia Catalina, porque ha estado para mí brindándome ayuda y serenidad en momentos de tensión siendo un motor para mi crecimiento personal.

A mi orientador, el Ingeniero por su guía, dedicación y enseñanza durante todo el proceso de elaboración del proyecto.

A la Universidad de América por brindarme una formación integral en aspectos académicos y éticos, proporcionándome conocimiento y herramientas para desarrollarme como profesional.

A los docentes de la Universidad de América por impartir sus conocimientos, otorgándome herramientas de aprendizaje y siendo una guía para el desarrollo como persona y profesional.

Diego Uribe Sánchez



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas durante el proceso de formación como persona y profesional, por las pruebas vividas que me enseñaron a ser una mejor persona.

A mis padres porque me dieron su confianza, su amor y comprensión en todo momento, porque sin su apoyo este sueño no hubiese sido realidad.

A mi mamita porque ha sido un pilar espiritual, Esta mujer es como un Ángel que me guía en cada decisión. Con sus consejos llenos de sabiduría y siempre guiados por la palabra de Dios (la Biblia).

A mi Esposa que me ha regalado sus consejos, apoyo incondicional y amor cada instante, demostrando sus valores espirituales en todo momento.

A la Universidad América y a cada uno de los profesores que brindaron sus conocimientos en cada etapa de la carrera.

Agradezco la confianza depositada por nuestro Director de Tesis en la elaboración del presente trabajo de grado y por su ayuda en el desarrollo del mismo.

Agradezco al Ingeniero y orientador Carlos Alberto Espinosa Mora, por su paciencia, sus consejos y por todos los conocimientos que depósito y confió desde el inicio del presente trabajo de grado hasta su culminación.

Duván Alejandro González Camacho.

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	24
INTRODUCCION	25
OBJETIVOS	27
1. DESCRIPCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN	28
1.1 CERTIFICACIÓN DEL IADC	28
1.2 DESCRIPCIÓN DEL WELLSHARP	30
1.2.1 Nuevos requisitos o procedimientos	31
1.2.2 Proceso de evaluación mejorada	32
1.2.3 Niveles del WellSharp	33
1.2.3.1 Curso de conocimientos	33
1.2.3.2 Curso introductorio	34
1.2.3.3 Curso de Perforadores	35
1.2.3.4 Curso para Supervisores	36
1.2.3.5 Curso de Ingeniería	37
1.3 OBJETIVOS DE LA CERTIFICACIÓN	38
1.4 DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	39
1.4.1 Material previamente utilizado	40
1.5 RESUMEN DE LA DESCRIPCIÓN	40
2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	42
2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	42
2.2 RECOLECCIÓN DE DATOS	42
2.2.1 Fuentes primarias	42
2.2.1.1 Descripción de la población objetivo	42
2.2.1.2 Muestra	43
2.2.1.3 Encuesta	43
2.2.1.4 Resultados de la encuesta	45
2.2.2 Análisis de los resultados	51
2.3 MATERIAL PREVIAMENTE UTILIZADO	51
2.3.1 Libro de datos	51
2.3.2 Libro de trabajo	52
2.3.3 Manual	52
2.3.4 Simulador virtual DrillSim-20	52
2.3.5 Tablero e imágenes	52
2.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA COMPETENCIA	53
2.4.1 Competidores	53
2.4.1.1 Competidores directos	53

2.4.1.2 Competidores Indirectos	54
2.4.2 Análisis de la situación actual de la competencia	55
<b>3. MODELO DIDÁCTICO ENFOCADO EN EL CONTROL DE POZO</b>	<b>56</b>
3.1 DISEÑO DEL MODELO DIDÁCTICO	56
3.1.1 Software de modelamiento	56
3.1.2 Software utilizado en el modelamiento	56
3.1.3 Descripción del programa de modelado 3D elegido	57
3.1.4 Principios básicos para trabajar en SketchUp	57
3.2 PRESENTACIÓN DEL MODELO DISEÑADO EN SKETCHUP	58
3.2.1 Componentes del modelo	58
3.3 PRESENTACIÓN DEL MODELO DIDÁCTICO	61
3.3.1 Componentes del modelo diseñado	61
3.3.2 <i>Choke Manifold</i> y manómetros.	62
3.4 MÉTODOS DE CONTROL DE POZO CONSIDERADOS PARA EL DISEÑO	62
3.4.1 Métodos con circulación	63
3.4.1.1 Método del Perforador	63
3.4.1.2 Método de esperar y densificar	67
3.4.1.3 Método concurrente	72
3.4.1.4 Método volumétrico	74
<b>4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO</b>	<b>77</b>
4.1 MANÓMETROS Y CONTADOR DE STROKES	77
4.1.1 Materiales	77
4.1.2 Procedimiento	77
4.2 <i>CHOKE MANIFOLD</i>	78
4.2.1 Materiales	78
4.2.2 Procedimiento	79
4.3 TABLERO DIDÁCTICO	80
4.2.1 Materiales	80
4.2.2 Procedimiento	82
<b>5. IMPLEMENTACIÓN DEL MATERIAL DIDÁCTICO</b>	<b>84</b>
5.1 EJERCICIOS PRÁCTICOS	84
5.1.1 Primer ejercicio	84
5.1.2 Segundo ejercicio	85
5.1.3 Tercer ejercicio	85
5.1.4 Cuarto ejercicio	86
5.1.5 Quinto ejercicio	88
5.1.5.1 Armado del choke manifold	88
5.1.5.2 Conexión con la BOP	89
5.1.5.3 Procedimientos de cierre cuando se está perforando	90
5.1.6 Sexto ejercicio	91
5.1.7 Séptimo ejercicio	92
5.2 RESULTADO DE LOS EJERCICIOS	93

6. ANÁLISIS FINANCIERO	95
6.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSIÓN	95
6.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN	97
6.2.1 Indicador financiero	97
6.3 EVALUACIÓN FINANCIERA	99
6.3.1 Valor presente neto (VPN)	99
6.3.2 Tasa de interés de oportunidad (TIO)	100
6.3.3 Flujo de efectivo	100
6.4 CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA	101
7. CONCLUSIONES	102
8. RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	106

## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Descripción de las acreditaciones.	28
<b>Cuadro 2.</b> Diferencias entre WellCAP y WellSharp.	29
<b>Cuadro 3.</b> Curso de conocimientos.	34
<b>Cuadro 4.</b> Curso introductorio.	35
<b>Cuadro 5.</b> Curso de perforadores.	36
<b>Cuadro 6.</b> Curso de supervisores.	37
<b>Cuadro 7.</b> Curso de ingeniería.	38
<b>Cuadro 8.</b> Objetivos de la Certificación del WellSharp.	38
<b>Cuadro 9.</b> Encuesta formulada.	44
<b>Cuadro 10.</b> Competidores directos.	54
<b>Cuadro 11.</b> Competidores Indirectos.	54
<b>Cuadro 12.</b> Componentes sistema de preventoras.	59
<b>Cuadro 13.</b> Control Arremetida.	65
<b>Cuadro 14.</b> Ventajas y desventajas del Método del Perforador	66
<b>Cuadro 15.</b> Comportamiento de Presiones Método del Perforador	67
<b>Cuadro 16.</b> Ventajas y desventajas del método Espere y Densifique.	71
<b>Cuadro 17.</b> Comportamiento de Presiones Método E & D.	71
<b>Cuadro 18.</b> Ventajas y Desventajas del método Concurrente.	74
<b>Cuadro 19.</b> Resultados de los ejercicios implementados.	94

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Resultados pregunta 1.	45
<b>Tabla 2.</b> Resultados pregunta 2.	46
<b>Tabla 3.</b> Resultados pregunta 3.	47
<b>Tabla 4.</b> Resultados pregunta 4.	48
<b>Tabla 5.</b> Resultados pregunta 5.	48
<b>Tabla 6.</b> Resultados pregunta 6.	49
<b>Tabla 7.</b> Resultados pregunta 7.	50
<b>Tabla 8.</b> Resultados pregunta 8.	50
<b>Tabla 9.</b> Costos de fabricación del modelo didáctico.	96
<b>Tabla 10.</b> Costos inversión del modelo didáctico.	96
<b>Tabla 11.</b> IPC del 2016 – 2019	97
<b>Tabla 12.</b> Costos de operación para el simulador virtual DrillSIM-20.	98
<b>Tabla 13.</b> Costos de operación para el simulador virtual DrillSIM-20.	98
<b>Tabla 14.</b> Costos de operación para el modelo didáctico.	99
<b>Tabla 15.</b> Costos de operación para el modelo didáctico.	99

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
<b>Imagen 1.</b> Paquete ofrecido por el IADC	40
<b>Imagen 2.</b> Simulador virtual.	52
<b>Imagen 3.</b> Tablero e imágenes.	53
<b>Imagen 4.</b> Interfaz Sistema de Preventoras Modelo Didáctico.	57
<b>Imagen 5.</b> Manómetros y contador de strokes terminado.	78
<b>Imagen 6.</b> Choke Manifold desarmado.	79
<b>Imagen 7.</b> Choke Manifold armado.	80
<b>Imagen 8.</b> Tablero didáctico.	83
<b>Imagen 9.</b> Consideraciones sobre el fluido de control y la presión.	84
<b>Imagen 10.</b> Cálculo Presión Inicial de Circulación.	85
<b>Imagen 11.</b> Cálculo Presión de Circulación Final (PCF; FCP).	86
<b>Imagen 12.</b> Válvulas tablero didáctico.	87
<b>Imagen 13.</b> Válvula de estrangulación.	88
<b>Imagen 14.</b> Choke Manifold Armado.	89
<b>Imagen 15.</b> Conexión BOP con Choke Manifold.	89
<b>Imagen 16.</b> Procedimiento de cierre suave al estar perforando.	90
<b>Imagen 17.</b> Procedimiento de cierre duro al estar perforando.	91
<b>Imagen 18.</b> Diagrama de flujo de efectivo para el simulador virtual DrillsIM-20.	100
<b>Imagen 19.</b> Diagrama de flujo de efectivo para el modelo didáctico.	101

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Muestra para poblaciones finitas	43
<b>Ecuación 2.</b> Presión Inicial de Circulación (PIC).	68
<b>Ecuación 3.</b> Presión Final de Circulación (FCP)	68
<b>Ecuación 4.</b> Sacos de material densificante.	69
<b>Ecuación 5.</b> Aumento de volumen.	69
<b>Ecuación 6.</b> Presión Inicial de Circulación	75
<b>Ecuación 7.</b> Pesos pagos por hora Instructor Ingeniero de Petróleo	98
<b>Ecuación 8.</b> Valor Presente Neto (VPN).	99



## LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
<b>Gráfico 1.</b> Resultados pregunta 1.	46
<b>Gráfico 2.</b> Resultados pregunta 2.	46
<b>Gráfico 3.</b> Resultados pregunta 3.	47
<b>Gráfico 4.</b> Resultados pregunta 4.	48
<b>Gráfico 5.</b> Resultados pregunta 5.	49
<b>Gráfico 6.</b> Resultados pregunta 6.	49
<b>Gráfico 7.</b> Resultados pregunta 7.	50
<b>Gráfico 8.</b> Resultados pregunta 8.	51

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>BOP:</b>	<i>Blowout preventer</i>
<b>Bpd:</b>	Barriles por día.
<b>cm:</b>	Centímetros
<b>DP:</b>	<i>Drill pipe</i>
<b>E:</b>	Margen de error o de imprecisión permitido = 0.05
<b>FCP:</b>	Presión Final de Circulación, psi
<b>IADC:</b>	<i>International Association of Drilling Contractors</i>
<b>Ibíd.</b>	ibídem
<b>Lpg:</b>	Libras por galón
<b>MPD:</b>	MANAGED PRESSURE DRILLING
<b>MW:</b>	Densidad del fluido de perforación, lpg
<b>n:</b>	Número de elementos de la muestra.
<b>N:</b>	Número de elementos de la población
<b>Op. cit.</b>	Opere citato
<b>PH:</b>	Presión hidrostática
<b>PIC:</b>	Presión Inicial de Circulación, psi
<b>P/Q:</b>	Probabilidades con las que se presenta el fenómeno = 0.5
<b>SICP:</b>	Presión de cierre del revestimiento, psi
<b>SIDPP:</b>	Presión de cierre en el drill pipe, psi
<b>SXS:</b>	Sacos de material densificante
<b>TP:</b>	Tubería de perforación
<b>TVD:</b>	Profundidad Vertical Verdadera, pies
<b>Z:</b>	Valor crítico correspondiente al nivel de confianza elegido =1.96

## GLOSARIO

**ACUMULADOR.** En un equipo de perforación, el acumulador almacena fluido hidráulico bajo presión de nitrógeno comprimido a 3000 psi, para el cierre del BOP en casos de emergencia. El acumulador es un recipiente o tanque (botellón) que se utiliza para recibir y almacenar temporalmente líquidos que se utilizan en el modelo didáctico.

**ARREMETIDA.** Se puede definir como una condición existente cuando la presión de formación excede la presión hidrostática ejercida por el fluido de perforación, permitiendo el ingreso del fluido de formación al pozo. Un influjo mal manejado puede derivar en un descontrol total del pozo (reventón, *Blowout*). Es razonable entonces que se utilicen todos los métodos posibles para detectar y prevenir los influjos.

**ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE CONTRATISTAS DE PERFORACIÓN (IADC).** Esta organización altamente reconocida, cuya sede central se encuentra en Houston, Texas, promueve o desarrolla investigaciones en lo que respecta a la educación, prevención de accidentes, tecnología de perforación y otros temas de interés para los contratistas de perforación y sus empleados. (*International Association of Drilling Contractors*)

**BACHE.** Bombear una determinada cantidad de una substancia (por ejemplo, cemento o ácido) a un intervalo específico del pozo

**BAJADA DE TUBERÍA BAJO PRESIÓN.** Bajar la sarta cuando el pozo este cerrado por causa de un influjo

**BARRIL.** Unidad de volumen para productos de petróleo. Un barril equivale a 42 galones US o 0.15699 metros cúbicos. Unidad de laboratorio que se utiliza para evaluar o ensayar fluidos de perforación. Un gramo de material que se agrega a 350 ml de fluido equivalente a una libra de material que se le agrega a un barril (42 galones) de fluido.

**BARRILES POR DÍA.** Medida de caudal de flujo de un pozo; el total de la producción o procesamiento de petróleo de un pozo por día.

**BOMBA.** Instrumento que aumenta la presión de un fluido. Las distintas clases de bomba son: alternativa, centrífuga, giratoria, de chorro de agua, de varilla de succión, hidráulica, de lodo, sumergible, y de fondo de pozo.

**BOMBA DÚPLEX.** Bomba reciproca que consta de dos pistones y dos cilindros, de uso muy difundido como bomba de lodo equipos de perforación.

**CABEZAL.** Equipo de control ajustado en la boca del pozo, se utiliza para controlar el flujo y prevenir explosiones y consiste de tuberías, válvulas, tomacorrientes, preventores de explosión.

**CAUDAL DE CIRCULACIÓN.** El volumen de caudal de flujo de fluido de perforación en circulación expresado generalmente en litros o metros cúbicos por minuto.

**CAUDAL DE CONTROL.** Caudal de circulación de fluido predeterminado, expresado en volumen de fluido por unidad de tiempo, que se utiliza para circular bajo condiciones de surgencia (arremetida, influjo). Generalmente el caudal de control es una fracción seleccionada del caudal de circulación que se utiliza durante la perforación.

**CIERRE.** Efecto de cerrar válvulas en un pozo a fin de interrumpir la producción, o tapar la cabeza de pozo.

**CIERRE BLANDO.** Cerrar un pozo cerrando un preventor de reventones con el estrangulador y la válvula de la línea del estrangulador abierto, y luego cerrar el estrangulador mientras se controla la presión del revestimiento para que no supere los máximos recomendables.

**CIERRE DURO.** Operación de cierre de pozo mediante el cierre de un preventor de reventones con el estrangulador y/o válvula de la línea del estrangulador cerrado.

**CIRCULACIÓN.** El movimiento del fluido de perforación desde el tanque de inyección, pasando por la bomba, la sarta, la broca, el espacio anular del pozo, y devuelta al tanque de inyección. El tiempo que toma este proceso generalmente se denomina tiempo de circulación.

**CIRCULACIÓN DE FLUIDO DE PERFORACIÓN.** Acción de bombear fluido de perforación hacia la broca y de vuelta hasta la superficie por circulación normal o por circulación inversa.

**CONJUNTO DE BOP.** Preventores de reventones que se utilizan para control mecánico o automatizado del pozo durante trabajos de perforación, o durante trabajos con cable/ alambre.

**CONTRATISTA.** Persona o entidad que por contrata ejecuta una obra material o está encargada de un servicio para el gobierno, una corporación, o un particular.

**CONTROL DE PRESIÓN ANULAR.** Se conoce que los fluidos de formación (gas, petróleo, agua) se encuentran bajo presión, estos fluidos deben ser balanceados o

sobre balanceados, para evitar flujos de descontrol. La presión hidrostática en el anular desempeña esta función.

**COMPAÑÍA DE SERVICIOS.** Es aquella cuya actividad principal es ofrecer un servicio (intangibles) con el objetivo de satisfacer necesidades colectivas cumpliendo con su ejercicio económico (Fines de lucro).

**CONTROL DE PRESIÓN ANULAR.** Se conoce que los fluidos de formación (gas, petróleo, agua) se encuentran bajo presión, estos fluidos deben ser balanceados o sobre balanceados, para evitar flujos de descontrol. La presión hidrostática en el anular desempeña esta función.

**DENSIDAD INSUFICIENTE DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN.** Una causa habitual de influjo (surgencia, amago, fluencia, aporte) es la densidad insuficiente del fluido de perforación, o un fluido que no tiene la densidad suficiente para controlar la formación. El fluido del pozo debe ejercer suficiente presión hidrostática para al menos igualar la presión de la formación. Si la hidrostática del fluido de perforación es menor a la presión de la formación, se puede producir un influjo (ingreso de fluidos de formación al pozo).

**DENSIDAD DEL FLUIDO DE CONTROL.** La unidad de densidad (ej. Libras por galón) elegida para el fluido que se utiliza para controlar una formación en surgencia.

**DENSIDAD EQUIVALENTE DE PERFORACIÓN (ECD).** La suma de la presión ejercida por la altura hidrostática de un fluido, más los sólidos perforados, más las pérdidas de presión por fricción en el espacio anular, dividido por la profundidad de interés y por 0.052, si se expresa la ECD en libras por galón.

**EFECTO DE TUBO EN U.** Por lo general en el pozo, se tiene fluido tanto dentro de la tubería de perforación (TP; DP), como en el espacio anular. La presión atmosférica puede omitirse, ya que es la misma para ambas columnas. Cuando hay diferencia en las presiones hidrostáticas, el fluido va a intentar alcanzar un punto de "equilibrio". Este fenómeno se denomina efecto de tubo en "U" y ayuda a entender por qué suele haber flujo desde la tubería al realizar las conexiones.

**ESCLUSA.** Componente de cierre y sello del preventor de reventones. Uno de los tres tipos de esclusas (ciegas, de tubería, o de corte) puede instalarse en varios preventores montados en un conjunto en la parte superior del pozo. Al cerrarse, los arietes ciegos forman un sello en los pozos que no tienen tubería de perforación; las esclusas de corte cierran sobre la tubería de perforación formando un sello.

**FLUIDO.** Es toda sustancia que tiene la capacidad de fluir. Los líquidos, como el Agua y el petróleo, así como el gas se asocian inmediatamente con la condición de “fluido”.

**FLUIDO DE PERFORACIÓN.** Es una mezcla de fluidos y sólidos (en forma de suspensión de sólidos, mezclas y emulsiones de líquidos, gases y sólidos), utilizados en perforación de pozos. Las ocho funciones básicas de los fluidos de perforación son las siguientes: transporte de recortes hacia la superficie, suspensión de recortes cuando se detiene la circulación, control de presión anular, lubricación y enfriamiento de la columna de perforación, soporte de las paredes del pozo, flotación de la columna de perforación y revestimiento (*Casing*), provisión de energía Hidráulica, un medio adecuado para registros eléctricos (perfilaje).

**GAS.** Sustancia fluida y comprimible que ocupa por completo todo recipiente en que se la encierre, su volumen depende de la cantidad de presión que se ejerza sobre el recipiente. (Gas)

**LÍNEA DE CONTROL.** Línea de alta presión que conecta a la bomba de fluido de perforación con el conjunto de preventor de reventones, por lo cual se puede bombear fluido de perforación para controlar la presión del pozo mientras se cierran los preventores.

**MÚLTIPLE.** Sistema accesorio de herramientas, parte de un sistema principal (o de otro conductor) que sirve para dividir el flujo en varias partes, para combinar muchos flujos en uno solo, o para redirigir un flujo a cualquiera de varios destinos posibles.

**MÚLTIPLE DEL ESTRANGULADOR.** El conjunto de tuberías y válvulas especiales, llamadas estranguladores, a través del cual se circula el lodo de perforación cuando se cierran los preventores anulares para controlar las presiones que se presentan durante una surgencia.

**POZO.** Perforación para el proceso de búsqueda o producción de petróleo crudo gas natural o para proporcionar servicios relacionados con los mismos. Los pozos se clasifican de acuerdo a su objetivo y resultado como: pozos de aceite y gas asociado, pozos de gas seco y pozos inyectoros.

**POZO ABIERTO.** Con referencia a un pozo, aquel que no está entubado

**PRESIÓN HIDROSTÁTICA.** La presión hidrostática (PH) es la presión total del fluido en un punto dado del pozo. “Hidro” significa fluido que ejerce presión como el agua, “estática” significa que no está en movimiento. Por lo tanto, la presión hidrostática es la presión ejercida por una columna de fluido estacionaria (que no está en movimiento).

**REVESTIMIENTO.** (*Casing*) Tubería de acero que se coloca en un pozo de petróleo o de gas a medida que se avanza la perforación para evitar que las paredes del pozo se derrumben durante la perforación y para extraer el petróleo si el pozo resulta ser productivo.

## RESUMEN

En este capítulo se realizó una descripción de la nueva certificación *WellSharp* del IADC, la cual es muy importante para el curso de capacitación que existe de control de pozo, debido a que se establecen nuevos parámetros a seguir para cualquier empresa que quiera brindar este nuevo programa, se establece una exigencia mayor en materia de conocimiento y en el desarrollo de las temáticas a tratar, y gracias a los objetivos que se plantean en el mismo, se puede observar la necesidad latente de un material que ofrezca un soporte práctico a las temáticas tratadas teóricamente, como lo son los equipos de control, el control de pozo durante operaciones de perforación, el control de presión durante la intervención del pozo y el conocimiento de métodos de control, por lo que la implementación de nuevos métodos educativos se hace cada vez más relevante, para este nuevo contexto que establece el IADC donde se requiere que en cada lugar en donde se desee impartir, se pueda transmitir el conocimiento de una manera adecuada, para que la enseñanza que se brinda pueda llegar al personal de forma más clara y concreta, y así poder generar el crecimiento de la industria nacional y de las empresas que entregan este tipo de entrenamientos y certificación.



## INTRODUCCIÓN

Las surgencias de hidrocarburos han existido desde el comienzo de la Industria Petrolera, eventos como este han dado origen a la pérdida de valiosos recursos energéticos, daños ambientales, el incremento de costos de perforación y lamentables pérdidas de recursos humanos.

Los accidentes por surgencias de hidrocarburos han ocurrido por errores y/o descuidos del personal de trabajo, errores que podrían haberse evitado si las empresas cuentan con personal mejor capacitado, que desempeñe correctas y adecuadas técnicas, con procedimientos que puedan ser experimentados fuera del campo, suprimiendo el riesgo, ejecutando sus conocimientos en un modelo didáctico 3D que ha sido propuesto en este trabajo.

Este Trabajo de Grado se ha desarrollado con la finalidad de crear un modelo didáctico 3D que permita apoyar, reforzar y experimentar los conceptos necesarios para la comprensión y manejo del control de pozos en el curso de capacitación, además pueden ser afrontados en un escenario real.

Con base en el planteamiento del proyecto, la metodología que se va a utilizar en el desarrollo, es una secuencia de pasos, que permite un análisis de la situación en la empresa enfocándose en el desarrollo de un estudio técnico y financiero, para obtener la suficiente información y poder tomar las respectivas decisiones de su posible puesta en marcha.

El valor de este proyecto es significativo debido a la importancia de la capacitación en las operaciones de perforación y acondicionamiento de pozo lo que se ha presentado en una oportunidad de evolución y preparación del personal que no sólo brinda mejor conocimiento sino mejora en los procesos de la industria petrolera, teniendo como fin complementar la capacitación teórica recibida por el personal en el primer módulo de conocimientos del curso de control de pozo.

La implementación de material didáctico se ha desarrollado con información referente al control de pozo como guía teórica, realizando análisis mediante una encuesta al personal que se encuentra en capacitación, esto permite evidenciar la necesidad de un material de apoyo nuevo he innovador, tomando en consideración elementos propuestos por la Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC), los cuales fueron suministrados por la empresa IHCA STATUS Ltda., que aportaron criterios valiosos con los cuales se puede dar una explicación clara y práctica, de cómo controlar un influjo o emergencia generada por el cambio de presión en el pozo o en superficie.

Con base en lo anterior se realizó la construcción de un modelo didáctico, que incluye un conjunto de accesorios para modelar cinco ejercicios, dicho modelo se

validó implementándolo en la empresa patrocinadora de este tema, en el mes de octubre del año 2016, elaborado en diversos materiales. Además, para su funcionamiento se usaron los siguientes fluidos: agua, gas y aceite, además se cuenta con un juego de manómetros manuales que permiten simular presión en la sarta, espacio anular y un posible número de *strokes* en la bomba.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Implementar un modelo didáctico para el curso de capacitación de control de pozo para las operaciones de perforación y acondicionamiento del pozo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir el material que se utiliza en la capacitación de los nuevos niveles de certificación WellSharp del IADC (International Association of Drilling Contractors).
- Realizar un análisis del material implementado en la capacitación de control de pozo en la empresa IHCA STATUS Ltda.
- Diseñar un modelo didáctico para el curso de capacitación, acorde a la certificación WellSharp del IADC, con base en cinco problemas que se generan en el control de pozo.
- Construir un modelo que permita el desarrollo de los trabajos didácticos aplicados al curso de control de pozo.
- Implementar en la capacitación de control de pozo actividades donde se utiliza el modelo didáctico.
- Evaluar la viabilidad financiera de la implementación de un modelo didáctico, mediante la metodología del VPN (Valor Presente Neto).

## 1. DESCRIPCIÓN DE LA CERTIFICACIÓN




El presente capítulo abarca el contenido y descripción del programa *WellSharp* de la Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC), además de la descripción del material que se utiliza en la capacitación, con el fin de establecer el sector que se pretende reforzar en materia de conocimiento, tecnología y avance en las prácticas y procedimientos entre otros aspectos relevantes, con el fin de determinar el material que la empresa IHCA STATUS Ltda., requiere para el desarrollo de su programa de control de pozo.

### 1.1 CERTIFICACIÓN DEL IADC

Con más de 75 años de experiencia en la industria, la IADC opera especialmente diseñando programas de acreditación que son reconocidos en todo el mundo. Se han desarrollado estos programas para asegurar que los contenidos de los programas de capacitación críticos se adhieren a los estándares reconocidos de la industria.

En el área de control de pozo se han tenido una serie de acreditaciones que han evolucionado con el tiempo hasta llegar a la que se encuentra actualmente como lo es el *WellSharp*. Como se ve en el **Cuadro 1**, hay descripción de las acreditaciones que existían antes de control de pozos y la actual.

**Cuadro 1.** Descripción de las acreditaciones.

Certificación	Descripción
<i>WellCAP</i> 	Ofrece directrices del plan de estudios para una amplia gama de actividades de perforación, proveedores de formación acreditados deben cumplir con los criterios para los materiales de formación, las instalaciones, la cualificación de instructor, ejercicios de simulación, administración de pruebas y gestión de formación.
<i>WellCAP Plus</i> 	Un avanzado programa de entrenamiento para el control, así que se dirige a personal de operaciones con más experiencia. Este programa fomenta la participación de los múltiples niveles de tomadores de decisiones (por ejemplo, los superintendentes de perforación, los ingenieros de operaciones, superintendentes y gerentes de los equipos de perforación, equipos de perforación), y utiliza un enfoque de aprendizaje facilitado equipo para mejorar la toma de decisiones crítico y habilidades para resolver problemas.
<i>WellSharp</i> 	Miembros del IADC están de acuerdo con que el control del pozo es el área más crítica para operaciones seguras y exitosas. El nuevo programa <i>WellSharp</i> ofrece un conjunto fiable de las normas de formación para la industria de la perforación.

Fuente: Base de datos del *International Association of Drilling Contractors* (IADC), Consultado 20 de abril del 2016.

En los centros de formación que se encuentran avalados por el IADC, y para el caso del proyecto, en la empresa IHCA STATUS Ltda., la certificación que se manejaba anteriormente era la del *WellCAP*, Como se ve en el **Cuadro 2**, aparecen las principales diferencias entre este y el actual del *WellSharp*.

**Cuadro 2.** Diferencias entre *WellCAP* y *WellSharp*.

<i>WellCAP</i>	<i>WellSharp</i>
IADC <i>WellCAP</i> tenía tres niveles (introdutoria, fundamental y el supervisor).	IADC <i>Wellsharp</i> tiene cinco niveles (conocimientos, introductorio, perforador, supervisor, ingeniero).
Proveedor de formación crea evaluaciones escritas.	Sistema centralizado de pruebas electrónicas, incluyendo la generación de prueba al azar.
Proveedor de formación especialmente vigilante en el examen escrito.	Examen escrito será entregado en línea. En la actualidad, los exámenes en línea son sólo en inglés.
Proveedor de formación emitía el certificado personalmente.	Formación de impresión profesional y Certificado de finalización de cada participante a través de la base de datos <i>WellSharp</i> .
Proveedor de formación decide la forma de puntuación de la parte práctica.	IADC proporciona directrices, plantillas y requisitos para la enseñanza y para la evaluación de las habilidades.
Proveedor de formación compra números de los certificados de capacitación del IADC.	IADC ya no venden certificados, vende los códigos de acceso para los estudiantes. Los certificados se pueden convertir en los códigos de prueba. (Se liberan sólo después de que se reciba el pago).
Tenía tres evaluaciones, un examen escrito práctico y un examen escrito de principios y otro de procedimientos.	Los estudiantes tienen que pasar dos exámenes, simulación y el conocimiento (que tiene que ser una combinación de principios y procedimientos y equipos), Hoja de calificación aprobatoria mínima de 70% para ambos exámenes para obtener el certificado. La clasificación entre el 50 - 69% equivale a retomar el examen dentro de los 45 días siguientes.
Cualquiera que obtenía más del 85% en todos los exámenes era elegible para ser un instructor.	El fortalecimiento de los requisitos de calificación de un instructor. Nuevos cursos de formación de capacitadores requeridos.

Fuente: Base de datos del *International Association of Drilling Contractors (IADC)*, Consultado 30 de abril del 2016.

En el boletín *WellSharp* 15-05 del IADC que se emite a todas las empresas que están acreditadas o están en el proceso de transferir su acreditación *WellCAP* existente, para el nuevo programa *WellSharp* y se establece la transición a *WellSharp*, por lo cual todos los proveedores de formación debieron cumplir con los siguientes plazos en la conversión de sus cursos de control de pozo:

- 04 de enero del 2016: Devolver el Formulario de reconocimiento Boletín WSP 15-05 para confirmar la recepción de este Boletín.

- 31 de diciembre de 2015: Cesar la entrega de cursos de control de pozo *WellCAP* para el personal de operaciones de perforación; *WellCAP* entrega de cursos de control de pozo, para poder continuar.
- 01 de Enero de 2016: Se va a cerrar cualquier acreditación *WellCAP* para la entrega de los proveedores de formación de perforación para los cursos de operaciones de control del pozo, si la transición del proveedor de formación para *WellSharp* no es completa.
- 11 de abril de 2016: Todas las evaluaciones del *WellSharp* deben ser entregados electrónicamente.

## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL WELLSHARP**

*WellSharp* es un programa actual de entrenamiento para el control de pozo, se enfoca en el entrenamiento riguroso para todas las personas con responsabilidades de control, ya sea que se trabaje en oficina o plataforma. Con este nuevo programa se da mayor profundidad al conocimiento, las habilidades específicas de cada función que realizan, y una mayor confianza para saber qué hacer para prevenir incidentes o, en el caso imprevisto de un incidente de control de pozo, responden con rapidez y de manera adecuada. Y viene establecido mediante un proceso de evaluación mejorada.

Enfocándose en la prevención de incidentes y gestión del pozo, en generar una mayor conciencia y valoración del riesgo, comprender las barreras adicionales, fuera de la balanza de pagos que se pueden utilizar para mantener un lugar de trabajo seguro y fiable, conocer las nuevas tecnologías, nuevos equipos, capacidades y ambientes de perforación.

El programa *WellSharp* está diseñado para proporcionar a los alumnos un conocimiento más profundo, con habilidades específicas de la función que se quiere desempeñar y con una mayor confianza para saber qué hacer en temas como la prevención de accidentes, o en el caso imprevisto de un incidente de control de pozos, responder rápida y adecuadamente.

La importancia de un curso de control de pozo radica principalmente en que una inversión que se considera alta, como es la de construir un pozo, frecuentemente ocurren problemas operacionales como son las arremetidas y que si no son controladas oportunamente podrían derivar en desastres mayores como son los reventones del pozo ocasionando considerables pérdidas materiales, causando daño al ambiente y en algunos casos pérdidas de vida humana.

Otra razón importante para realizar este curso se refiere más que todo al personal de las compañías, ya que, si el personal de esta no se encuentra certificado y

sucediera algún accidente, las compañías aseguradoras no reconocerían las pérdidas materiales a que hubiese lugar, y también porque las regulaciones gubernamentales del país exigen por ley a la certificación en control de pozo tanto de las compañías de servicios como a las empresas del estado.

**1.2.1 Nuevos requisitos o procedimientos.** A continuación, se realiza una descripción de los nuevos requisitos y procedimientos que establece el IADC para el nuevo programa del *WellSharp*:

- **PROCEDIMIENTO:** Ha sido puesto en marcha un proceso por el cual un alumno puede apelar su prueba de la categoría si la validez de una pregunta de prueba no coincide con el plan de estudio y la pregunta contribuyó al fracaso del alumno del examen. En una cuestión apelación un voto de la mayoría del Grupo Especial está obligado a revocar una pregunta de la prueba y alterar la puntuación del examen final de un aprendiz en consecuencia.
- **PROCEDIMIENTO:** Se han establecido procedimientos específicos para confirmar una la elegibilidad del estudiante para las pruebas fuera del nivel de introducción *WellSharp* con el fin de calificar para la inscripción.
- **REQUISITO:** Todo acreditado actualmente los proveedores de formación o solicite la acreditación para la conciencia del aprendizaje electrónico entregado y el nivel de introducción *WellSharp* cursos deben complementar y enviar el formulario de requerimiento. Esta forma sirve como reconocimiento por parte del proveedor de las necesidades de aprendizaje en línea y la alineación de la compañía para los requisitos. Actualmente los proveedores del curso de control de pozo fueron sometidos a la verificación por parte del IADC durante el primer trimestre de 2016.
- **REQUISITO:** Cuando la entrega en línea de la evaluación de conocimientos *WellSharp* no está disponible, la evaluación debe ser entregada por el nuevo Sistema *ROADe* del IADC, que ofrece una opción de entrega sin conexión remota. Los proveedores de formación que puede encontrarse con la pérdida de acceso a Internet deben ordenar al Sistema *ROADe*, por escrito para estar plenamente preparado para entregar la evaluación electrónica.

También se establece un nuevo procedimiento administrativo para la evaluación de conocimientos *WellSharp*, el cual se detalla en las siguientes viñetas:

- Todos los participantes del curso *WellSharp*, si se toma el curso para la certificación, deben completar el curso con una evaluación de los conocimientos de la asignatura.

- El uso del móvil no está permitido durante un examen u opinión del instructor para el desarrollo de la prueba. Los alumnos deben tener sus teléfonos celulares apagados durante todo el examen.
- Los proveedores de formación deben proporcionar una calculadora para cada participante, sino permitir que ellos traigan una, que no sea de tipo programable.
- El estudiante no puede enviar a un tercero a realizar su correspondiente examen *WellSharp*.
- No se requiere el uso hoja de fórmulas durante la prueba, pero es recomendable y beneficioso para el alumno.

**1.2.2 Proceso de evaluación mejorada.** Un proceso de evaluación mejorado es aquel que asegura la integridad y uniformidad de los estándares internacionales, basándose en los siguientes parámetros:

- Sistema centralizado de pruebas electrónicas, incluyendo la generación de pruebas al azar.
- Resultados de las pruebas inmediatas y comentarios sobre la base de los objetivos de aprendizaje.
- Evaluaciones de forma independiente y supervisada.
- El fortalecimiento de los requisitos de calificación del instructor.

El programa *WellSharp*, que se transformó a partir *WellCAP*, se ha renovado y revitalizado a petición de la industria. Trabajando en colaboración con el Grupo Asesor *WellCAP*, el Comité de Control de Pozos IADC, y otros grupos de trabajo de la industria, el programa *WellSharp* representa un esfuerzo dirigido por la industria para redefinir así controlar la formación.

El uso de puntos de referencia de calidad y los criterios desarrollados en conjunto con los operadores, contratistas de perforación, entrenadores profesionales y especialistas en control de pozos, *WellSharp* ayuda a asegurar que también se controlen las escuelas de formación, y que se cumpla con un plan de estudios desarrollado por la industria.

Este curso conduce al certificado IADC de competencia en el control de pozo a un nivel de supervisión. Para lograr este certificado, los delegados deben aprobar el examen del IADC *WellSharp*, el cual es administrado por un tercero.



La terminación exitosa de este curso genera que las personas sean capaces de:

- Realizar cálculos de presión estática y dinámica a través de una variedad de condiciones de pozo y la formación.
- Calcular volúmenes y capacidades de perforación y calcular los efectos sobre la presión de fondo durante estas operaciones.
- Explicar los efectos de la migración de gas debido a las presiones en el pozo.
- Describir las causas de patadas para en la parte inferior y fuera de la parte inferior condiciones.
- Explicar los procedimientos para el cierre de un pozo para un rango de operaciones.
- Completar la hoja para matar el pozo, tanto en verticales como desviados.
- Especificar los requisitos de los equipos de control de pozo para las operaciones de superficie.
- Describir los principios que sustentan los métodos de presión de fondo.
- El uso de un simulador, para determinar el método para matar el pozo, y así instruir al perforador para que proceda.

**1.2.3 Niveles del WellSharp.** El IADC dentro de sus estándares establece cinco niveles para el nuevo programa de WellSharp, los cuales se presentan a continuación:

**1.2.3.1 Curso de conocimientos.** El IADC lanzó este curso de control de pozo nivel 1 siguiendo las recomendaciones de la Asociación Internacional de Productores de Petróleo y Gas (IOGP) después de la tragedia de Macondo en el golfo de México. El nivel 1 se realiza para aumentar la comprensión de cómo pueden ocurrir los incidentes de control, los equipos que hay para controlar y los métodos de prevención.

Este curso va dirigido a estudiantes recién graduados, a personal con participación secundaria en operaciones de pozos, a personal de oficina o terceros involucrados en operaciones de Rig pass, o los que simplemente trabajan en la industria y requieren un interés en el control de pozo.

El nivel 1 contiene los siguientes módulos que incluyen:

Introducción a la industria del petróleo y gas

Equipos de control: BOP, *Choke Manifold*.  
 Control de pozos durante operaciones de perforación  
 Control de presión durante la intervención del pozo  
 Conocimiento de métodos de control

Al final de cada módulo hay un chequeo de conocimiento para confirmar su aprendizaje. Al finalizar los módulos, los candidatos se someterán a un examen en el que se debe alcanzar una calificación que permitirá a los candidatos acceder al certificado *WellSharp Well Control Level 1*.

El IADC recomienda que las personas que se encuentran en estos puestos o realizan estas funciones mostradas en el **Cuadro 3**, completen el curso de conocimientos.

**Cuadro 3.** Curso de conocimientos.

Tipo de empresa	Puesto
Contratista	Obrero, cuadrilla de superficie, y operadores de grúa
	Personal de traslado de equipo
Operador	Geólogo de operaciones que trabaja en oficina
	Personal de coordinación logística
Compañía de servicios	Cuadrilla de cambio de revestimiento
	Operadores de equipos de fondo de pozo
	Perforador
	Ingeniero de registros MWD/LWD
	Demás personal de perforación o intervención
	Entrenadores de control de pozo
	Personal de reparación de equipos petroleros
	Personal de inspección de tubería y equipos de perforación
	Cuadrillas de Wireline/Slickline

Fuente: Base de datos del *International Association of Drilling Contractors (IADC)*, Consultado 10 de mayo del 2016.

**1.2.3.2 Curso introductorio.** En este se enfatiza la prevención y detección de arremetidas. Se recomienda el curso de nivel de Control de Pozo 2 (Introductorio) para "todos los miembros del Equipo de Operaciones de pozo, que trabajan en roles que pueden contribuir directamente a la creación, detección o control de un influjo de pozo".

El nivel 2 es un requisito previo obligatorio para los candidatos que obtienen la certificación por primera vez. Los candidatos obtendrán un conocimiento exhaustivo de la teoría del control de pozos y aprenderán cómo aplicar este conocimiento a la mayoría de las situaciones de control de pozos. La finalización exitosa del curso y el examen dará lugar a la certificación *WellSharp Well Control Level 2* (válida por cinco años).

El IADC recomienda que las personas que se encuentran en estos puestos o realizan estas funciones mostradas en el **Cuadro 4**, completen el curso introductorio.

**Cuadro 4.** Curso introductorio.

Tipo de empresa	Puesto
Contratista / Operador / Compañía de servicios	Personal de servicios MPD (MANAGED PRESSURE DRILLING)
Contratista	Personal de tanques de lodo, personal de las bombas
	Obrero de piso de perforación
	Ingeniero Subacuático
Operador	Gerente de instalaciones costa afuera
	Cuadrilla de monitoreo en superficie
	Geólogo en el pozo
	Geólogo de operaciones que trabaja en oficina
Compañía de servicios	Perforador direccional
	Supervisor de cuadrilla de revestimiento
	Cementador
	Ingeniero de fluidos de perforación
	Operarios de herramientas de pesca

Fuente: Base de datos del *International Association of Drilling Contractors* (IADC), Consultado 10 de mayo del 2016.

**1.2.3.3 Curso de perforadores.** Dirigido a personal que participa en operaciones de perforación y que tiene la responsabilidad en la detección de una arremetida y en realizar el cierre de un pozo. Se centra específicamente en las responsabilidades principales del perforador más que en los cálculos y métodos avanzados. Incluye prevención de arremetidas, detección de influjos, monitoreo del pozo, introducción al manejo de barreras y cierre del pozo.

El curso de nivel de Control de Pozo 3 (Perforador) se recomienda para cualquier persona involucrada en operaciones de perforación y / o control de pozos (de los cargadores a los perforadores) con la superficie o la superficie combinada y costa afuera

Los candidatos obtendrán un conocimiento integral de la teoría del control de pozos y dominarán las habilidades prácticas necesarias para aplicar este conocimiento a la mayoría de las situaciones de control de pozos.

La finalización exitosa del curso y el examen dará como resultado la certificación *WellSharp Well Control Level 3* (válido por dos años). Ningún candidato a esta certificación podrá presentarse a un examen *Wellsharp* nivel 3 por primera vez sin un certificado válido del nivel 2.

El IADC recomienda que las personas que se encuentran en estos puestos o realizan estas funciones mostradas en el **Cuadro 5**, completen el curso de perforadores.

**Cuadro 5.** Curso de perforadores.

Tipo de empresa	Puesto
Contratista	Asistente de perforador
	Perforador
Compañía de servicios	Perforador direccional

Fuente: Base de datos del *International Association of Drilling Contractors (IADC)*, Consultado 10 de mayo del 2016.

**1.2.3.4 Curso para supervisores.** Encara temas más avanzados de control de pozo como operaciones para matar el pozo y manejo de riesgos para el control de pozos. Se desarrolla con base en la prevención de arremetidas, detección de influjos, introducción al manejo de barreras y el contenido de monitoreo de pozos del curso para perforadores. Requisito, haber aprobado el curso para perforadores.

El curso de nivel de Control de Pozo 4 (Supervisor) se recomienda para los supervisores de perforación, e ingenieros de pozo.

Los candidatos obtendrán un conocimiento integral de la teoría del control de pozos y dominarán las habilidades prácticas necesarias para aplicar este conocimiento a la mayoría de las situaciones de control de pozos.

La finalización exitosa del curso y el examen dará como resultado la certificación *WellSharp Well Control Level 4* (válida por dos años).

Ningún candidato a esta certificación podrá presentarse a un examen *Wellsharp* nivel 4 por primera vez sin un certificado válido de nivel 2 y nivel 3.

El IADC recomienda que las personas que se encuentran en estos puestos o realizan estas funciones mostradas en el **Cuadro 6**, completen el curso para supervisores.

**Cuadro 6.** Curso de supervisores.

Tipo de empresa	Puesto
Operador	Company man
	Representante de la compañía
	Supervisor de perforación
Contratista	Ingeniero de perforación
	Gerente de perforación que trabaja en oficina
	Supervisor de perforación, superintendente o demás personal enfocado en diseño de pozos
	Gerente de intervención que trabaja en oficina
	Ingeniero de intervenciones / reparaciones
	Toolpusher
Compañía de servicios	Ingeniero de control de pozo
	Ingeniero de control de pozo

Fuente: Base de datos del *International Association of Drilling Contractors (IADC)*, Consultado 10 de mayo del 2016.

**1.2.3.5 Curso de ingeniería.** Consiste en la planificación de pozos y mitigación de riesgos de control de pozos. El curso de nivel de Control de Pozo 5 (Ingeniero) se recomienda para al personal que labora en el equipo de perforación y reacondicionamiento, jefe de equipo, jefe de pozo, ingenieros de operaciones, ingenieros de lodos, ingenieros direccionales, personal de *mud logging*, superintendentes de perforación y demás cargos del departamento de ingeniería que estén relacionados con las actividades de la perforación y producción.

Los candidatos obtendrán un conocimiento integral de la teoría del control de pozos y dominarán las habilidades prácticas necesarias para aplicar este conocimiento a la mayoría de las situaciones de control de pozos, con un complemento de terminación y reacondicionamiento en las operaciones de *Workover*. La finalización exitosa del curso y el examen dará como resultado la certificación *WellSharp Well Control Level 5* (válida por dos años).

El IADC recomienda que las personas que se encuentran en estos puestos o realizan estas funciones mostradas en el **Cuadro 7**, completen el curso de ingeniería.

**Cuadro 7.** Curso de ingeniería.

Tipo de empresa	Puesto
Operador	Ingeniero de perforación
	Gerente de perforación que trabaja en oficina
	Supervisor de perforación, superintendente o demás personal enfocado en diseño de pozos
	Gerente de intervención que trabaja en oficina
Operador	Ingeniero de control de pozo
Compañía de servicios	Ingeniero de control de pozo

Fuente: Base de datos del *International Association of Drilling Contractors (IADC)*, Consultado 10 de mayo del 2016.

**1.3 OBJETIVOS DE LA CERTIFICACIÓN**

Dentro de la certificación del nuevo programa se establece una serie de objetivos, como se ve en el **Cuadro 8**, se nombran los objetivos y características que establece el IADC para el nuevo programa del *WellSharp*.

**Cuadro 8.** Objetivos de la Certificación del *WellSharp*.

Objetivos	Características del <i>WellSharp</i>
Cerrar los vacíos de conocimiento	Importantes temas añadidos: Gestión de riesgos, perforación direccional / horizontal. Nuevos cursos para el personal que previamente no tenía entrenamiento en control de pozo. Cursos construidos sobre conocimientos y habilidades del curso anterior ( <i>WellCAP</i> ). La retroalimentación inmediata proporcionada a individuo.
Estandarizar la metodología de evaluación	Evaluación de conocimientos estandarizados en cada nivel. Las evaluaciones que confirman el conocimiento y las habilidades Individuales son evaluaciones prácticas (simulador).
Certificar habilidades, y destrezas del instructor	Capacidad para identificar tendencias y rápidamente aplicar los cambios como resultado. Los estudiantes realizan una evaluación de formación antes de la prueba; la cual va directamente al IADC. Visibilidad directa en relación al manejo de simulador, entre instructor y estudiante. Proceso de auditoría más riguroso.
Aumentar las habilidades del instructor	Nueva formación requerida por los instructores.
Mejorar la formación en el balance teórico / practico	Ha aumentado el número y el tipo de ejercicios para el aumento de habilidades. Simulador de evaluación globalizado / estandarizado. Metodologías de enseñanza múltiples fomentadas.

**Cuadro 8. (Continuación)**

Generar un alto nivel de competencias, conocimientos y habilidades	Aumento de los requisitos de evaluación del simulador. Curso introductorio de certificación ahora expira.
Lograr centrar el contenido crítico a través de diversas posiciones y niveles	Función específica y cursos de nivel específicos. Curso introductorio de certificación ahora expira. Requisitos definidos para todo el personal, con responsabilidades en control de pozo. Cursos específicos y separados para todos los niveles.

Fuente: Base de datos del *International Association of Drilling Contractors (IADC)*, Consultado 15 de mayo del 2016.

**1.4 DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL**

Dentro de los materiales que se utilizan para la certificación del *WellSharp* se encuentran:

- Un software para el estudiante, el cual es pre-instalado en una computadora portátil por un instructor y configurado para trabajar con la unidad móvil inalámbrica.
- Versión de evaluación totalmente funcional sin conexión.
- El progreso del estudiante durante el examen de la supervisión.
- Impresión del certificado temporal.
- Sincronización de nuevas clases validadas cuando exista una conexión a Internet disponible.

Y se entrega un paquete que proporciona una manera sencilla para entregar evaluaciones en ubicaciones con una débil o nula conectividad a Internet, y está compuesto como se puede ver en la **Imagen 1**, y el cual incluye:

- Computador
- Punto de acceso inalámbrico
- Utilización de impresora inalámbrica
- Funda impermeable
- Garantía de tres años

- Convertidor de voltaje Internacional (opcional)

**Imagen 1.** Paquete ofrecido por el IADC



Fuente: Base de datos del *International Association of Drilling Contractors* (IADC), Consultado 20 de mayo del 2016.

También se entrega como material un folleto de 36 páginas, que fue desarrollado a través de los esfuerzos del grupo de armonización europea de formación del IADC, donde las sugerencias de los usuarios de la versión anterior se incorporaron para garantizar la idoneidad para operaciones en todo el mundo.

**1.4.1 Material previamente utilizado.** El material que se ha utilizado en el curso de capacitación de control de pozo basado en la certificación *WellSharp* es el siguiente:

- Manuales y Libros de Trabajo prácticos, Versión impresa y Versión electrónica en memoria USB.
- Simulador Portátil de última generación Homologado por el IADC.
- Certificado validado por el IADC a cada Participante que apruebe tanto las evaluaciones teóricas como las prácticas realizadas en el Simulador.
- Material de trabajo (Lapicero, borrador regla, resaltador, fotocopias, talleres y carpeta).

## 1.5 RESUMEN DE LA DESCRIPCIÓN

En este capítulo se realizó una descripción de la nueva certificación *WellSharp* del IADC, la cual es muy importante para el curso de capacitación que existe de control de pozo, debido a que se establecen nuevos parámetros a seguir para cualquier empresa que quiera brindar este nuevo programa, se establece una



exigencia mayor en materia de conocimiento y en el desarrollo de las temáticas a tratar, y gracias a los objetivos que se plantean en el mismo, se puede observar la necesidad latente de un material que ofrezca un soporte práctico a las temáticas tratadas teóricamente, por lo tanto la implementación de nuevos métodos educativos se hace cada vez más relevante, por lo que para este nuevo contexto que establece el IADC se requiere que en cada lugar en donde se desee impartir, se pueda transmitir el conocimiento de una manera adecuada, para que la enseñanza que se brinda pueda llegar al personal de forma más clara y concreta, y así poder generar el crecimiento de la industria nacional y de las empresas que entregan este tipo de entrenamientos y certificación.

También con la investigación realizada y en acuerdo con la empresa, se establece que el material va a ir enfocado solo al primer nivel de conocimientos, que lo realizan personas que necesitan un conocimiento básico de las operaciones de control de pozo, por lo que se incrementara el número y el tipo de ejercicios para el aumento de habilidades con una metodología encaminada al uso del material que se va a construir.

## 2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En el siguiente capítulo se realiza un análisis del material utilizado actualmente en el curso de control de pozo en la empresa mediante una descripción de lo que se ha realizado, se hace una recolección de información para establecer el comportamiento actual de la capacitación en la empresa, esto es fundamental para el proyecto ya que proporciona información relevante de los materiales previamente utilizados en el curso de control de pozo, con la finalidad de determinar características que debe tener el material con relación a diseño y con el cual la empresa va a buscar afianzarse en el mercado.

### 2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

La compañía proporciona un entrenamiento consistente y de calidad, auditorías al personal y auditorías a los equipos de perforación, así como entrenamiento adicional para ingenieros y supervisores de operaciones.

La empresa dentro de sus líneas tiene la capacitación a personal de la industria petrolera, en esa línea tiene un curso de control de pozo. Para el manejo de esta capacitación no se dispone material didáctico para apoyar la capacitación y es por esta razón que la empresa ha querido que su programa de capacitación tenga un enfoque práctico y que se pueda apoyar este contenido mediante una nueva herramienta, para fortalecer el curso de control de pozo, cumpliendo con los estándares, y temáticas del nuevo marco *WellSharp* del IADC (*International Association of Drilling Contractors*).

### 2.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Se realiza una recolección de datos con el fin de conocer cómo se encuentra la empresa respecto a la problemática que se tiene, la cual es que no se dispone de un material didáctico para apoyar la capacitación enfocada en el control de pozo.

**2.2.1 Fuentes primarias.** Estas ofrecen un punto de vista desde adentro de un evento en particular o en un periodo de tiempo que se está llevando a cabo, para el caso de la investigación será el punto de vista de la población objetivo.

**2.2.1.1 Descripción de la población objetivo.** Personas que se encuentran actualmente cursando el programa de capacitación de control de pozo en la empresa, en sus instalaciones de la ciudad de Bogotá, dirigido a personas que cursan el primer nivel de certificación del *WellSharp*, el nivel de conocimientos, el cual está dirigido a personas que necesitan un conocimiento básico de las operaciones de control de pozo, personas que trabajan cerca o que prestan apoyo a operaciones de perforación, reparación, o terminación incluyendo personal de oficina y que no trabaja en la torre de perforación.

**2.2.1.2 Muestra.** La muestra de la población se realiza mediante la **Ecuación 1** fórmula de poblaciones finitas debido a que la población que maneja la empresa es de 500 personas mensuales, y se realiza para saber que los resultados puedan representativos de la población de interés.

**Ecuación 1.**Muestra para poblaciones finitas.

$$n = \frac{Z^2 * P * Q * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * P * Q}$$

Fuente: CASTILLO, Mauricio. Guía para la formulación de proyectos de investigación. 1 Ed. Bogotá D.C. Alma Mater. 2004.

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 500}{0.05^2 * (510 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{489.804}{2.2079}$$

$$n = 217.49$$

n = Número de elementos de la muestra.

N = Número de elementos de la población

P/Q = Probabilidades con las que se presenta el fenómeno = 0.5

Z = Valor crítico correspondiente al nivel de confianza elegido =1.96

E = Margen de error o de imprecisión permitido = 0.05= Margen de error o de imprecisión permitido = 0.05

Se estima un valor de la muestra de 217.49, pero para manejo de datos se van a manejar 220 encuestas.

**2.2.1.3 Encuesta.** Busca establecer dentro de la población objetivo, la obtención de la información necesaria para la investigación y estableciendo de manera correcta características relevantes del material utilizado, tipo de material usado, costos, entre otros factores de influencia para efectuar el diseño y elaboración del mismo, como se puede ver en el **Cuadro 9**.

**Cuadro 9.** Encuesta formulada.

<p>Encuesta</p> <p>IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DIDÁCTICO PARA EL CURSO DE CAPACITACIÓN DE CONTROL DE POZO PARA LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL POZO.</p> <p>Encuesta de investigación sobre la situación actual de la empresa IHCA STATUS Ltda., en cuanto al tema del uso de material didáctico.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. ¿En la institución de capacitación IHCA STATUS Ltda., se tiene o se cuenta con material didáctico disponible?<ul style="list-style-type: none"><li>• Si</li><li>• No</li></ul></li> <li>2. ¿Considera usted importante el uso del material didáctico, para que el alumno comprenda los contenidos de estudio?<ul style="list-style-type: none"><li>• Muy importante</li><li>• Poco importante</li><li>• No es importante</li></ul></li> <li>3. ¿Cuáles de los siguientes materiales se usan en su curso de capacitación de control de pozo?<ul style="list-style-type: none"><li>○ Dibujos, diagramas, o gráficos.</li><li>○ Libros o manuales.</li><li>○ Revistas o artículos.</li><li>○ Simulador</li><li>○ Video beam.</li><li>○ Videos documentales.</li></ul></li> <li>4. ¿Con qué frecuencia utiliza usted este material en el curso de control de pozo?<ul style="list-style-type: none"><li>• Siempre</li><li>• Nunca</li><li>• A veces (1 a 3 veces)</li></ul></li> <li>5. El material que se utiliza en la capacitación está apegado a la certificación <i>WellSharp</i>:<ul style="list-style-type: none"><li>• Siempre</li><li>• Nunca</li><li>• En ocasiones</li></ul></li></ol>
---

**Cuadro 9.** (Continuación)

- 6. Con respecto al material disponible en la capacitación considera usted que éste es:
  - Muy completo
  - Suficiente
  - Incompleto
  
- 7. ¿Cree usted que aprendería más cuando usted hace uso de un material didáctico?
  - Si
  - No
  
- 8. ¿Estaría dispuesto a pagar más por el curso de control de pozo si este contara con un material didáctico?
  - Si
  - No

**2.2.1.4 Resultados de la encuesta.**

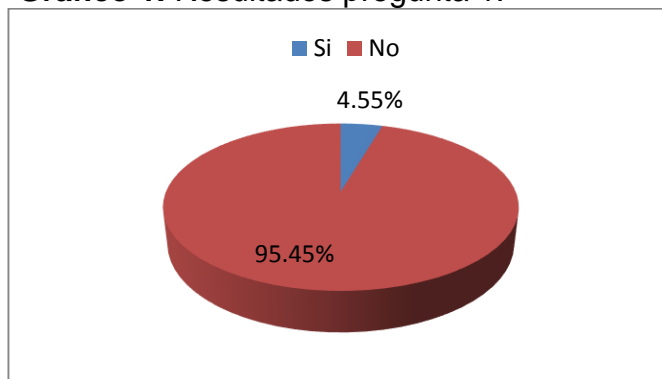
Mediante la encuesta planteada anteriormente y con la autorización de la empresa, la encuesta fue realizada a las personas que se encontraban tomando el curso de control de pozo en el primer nivel de conocimientos, aquel donde se desea realizar la implementación del modelo didáctico.

- Pregunta #1: ¿En la institución de capacitación IHCA STATUS Ltda., se tiene o se cuenta con material didáctico disponible?, en la **Tabla 1** y el **Gráfico 1** se puede observar los resultados.

**Tabla 1.** Resultados pregunta 1.

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Si	10	4.55
No	210	95.45
Total	220	100

**Gráfico 1. Resultados pregunta 1.**



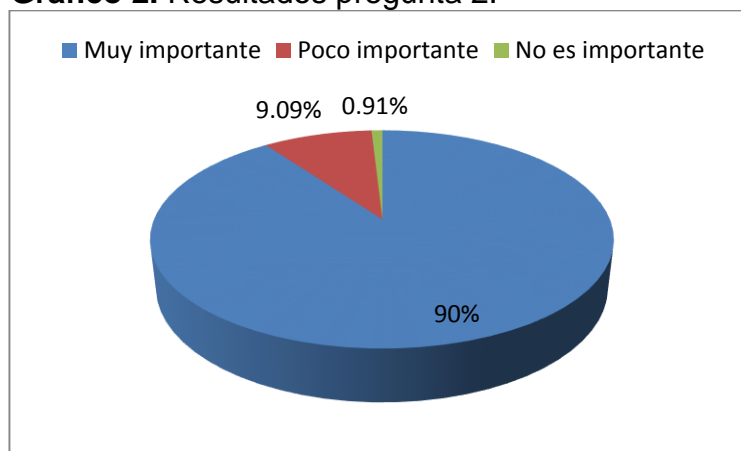
A partir de los datos obtenidos en la encuesta realizada a 220 personas se determinó la predominancia con un 95.45% o 200 personas, que en la institución educativa IHCA STATUS Ltda., no se cuenta con material didáctico disponible, con lo cual se determina que hay un mercado significativo para la implementación del material didáctico.

- Pregunta #2: ¿Considera usted importante el uso del material didáctico, para que el alumno comprenda los contenidos de estudio?, en la **Tabla 2** y el **Gráfico 2** se puede observar los resultados.

**Tabla 2. Resultados pregunta 2.**

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Muy importante	198	90
Poco importante	20	9.09
No es importante	2	0.91
Total	220	100

**Gráfico 2. Resultados pregunta 2.**



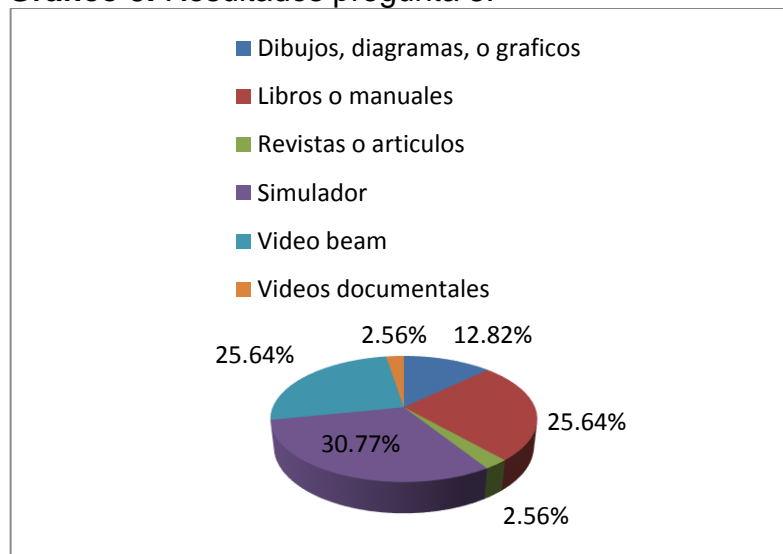
Por medio de los datos obtenidos se determinó que el 90% o 198 de las personas que toman el curso de control de pozo y se encuentran en capacitación considera muy importante el uso del material didáctico para entender las temáticas que en este son explicadas, por lo cual se determina una gran importancia para la implementación de un material didáctico.

- Pregunta #3: ¿Cuáles de los siguientes materiales se usan en su curso de capacitación de control de pozo?, en la **Tabla 3** y el **Gráfico 3** se puede observar los resultados.

**Tabla 3. Resultados pregunta 3.**

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Dibujos, diagramas, o gráficos	50	12.82
Libros o manuales	100	25.64
Revistas o artículos	10	2.56
Simulador	120	30.77
Video beam	100	25.64
Videos documentales	10	2.56
Total	390	100

**Gráfico 3. Resultados pregunta 3.**



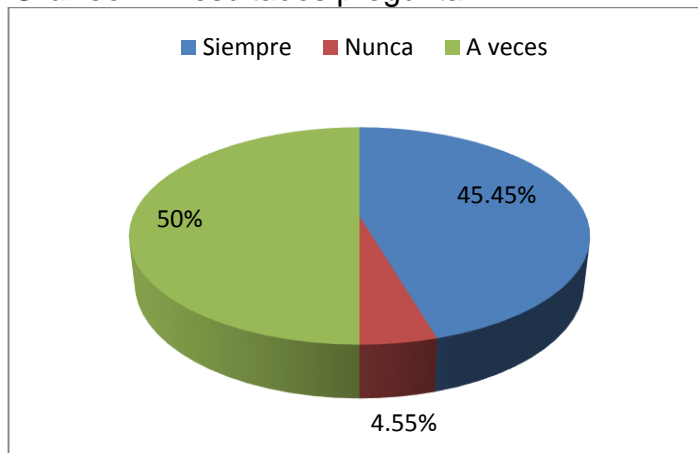
Con base en los resultados obtenidos se determina que el material más utilizado en el curso de capacitación es el simulador con un porcentaje del 30.77% (120 personas), y seguido por los libros, manuales y el video beam con un 25.64% (100 personas), que es el material normalmente utilizado para desarrollar los temas a tratar.

- Pregunta #4: ¿Con qué frecuencia utiliza usted este material en el curso de control de pozo?, en la **Tabla 4** y el **Gráfico 4** se puede observar los resultados.

**Tabla 4.** Resultados pregunta 4.

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Siempre	100	45.45
Nunca	10	4.55
A veces	110	50
Total	220	100

**Gráfico 4.** Resultados pregunta 4.



A partir del resultado se determina que el material seleccionado anteriormente es muy utilizado, lo que quiere decir que se requiere un material que pueda complementar los nombrados en la pregunta tres, para el afianzamiento del curso de control de pozo.

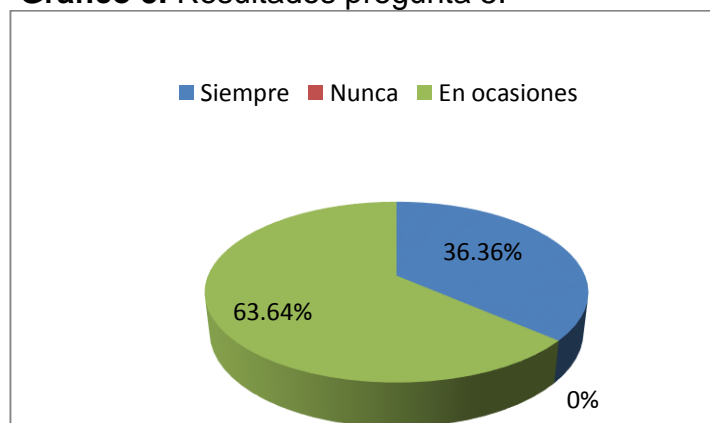
- Pregunta #5: El material que se utiliza en la capacitación está apegado a la certificación *WellSharp*, en la **Tabla 5** y el **Gráfico 5** se puede observar los resultados.

**Tabla 5.** Resultados pregunta 5.

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Siempre	80	36.36
Nunca	0	0
En ocasiones	140	63.64
Total	220	100



**Gráfico 5. Resultados pregunta 5.**



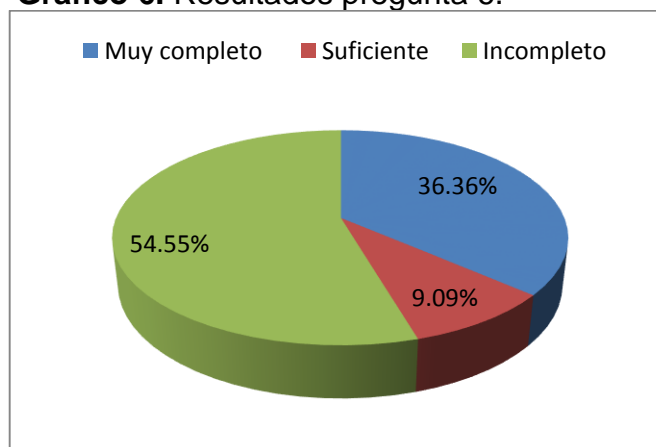
Según la población encuestada se estima que el material en ocasiones es utilizado acorde a los lineamientos que plantea el IADC para el programa del *WellSharp*, y con un 36.36% (80 personas) que consideran que el material utilizado siempre está apegado al contenido de las temáticas y a la nueva certificación.

- Pregunta #6: Con respecto al material disponible en la capacitación considera usted que éste es, en la **Tabla 6** y el **Gráfico 6** se puede observar los resultados.

**Tabla 6. Resultados pregunta 6.**

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Muy completo	80	36.36
Suficiente	20	9.09
Incompleto	120	54.55
Total	220	100

**Gráfico 6. Resultados pregunta 6.**



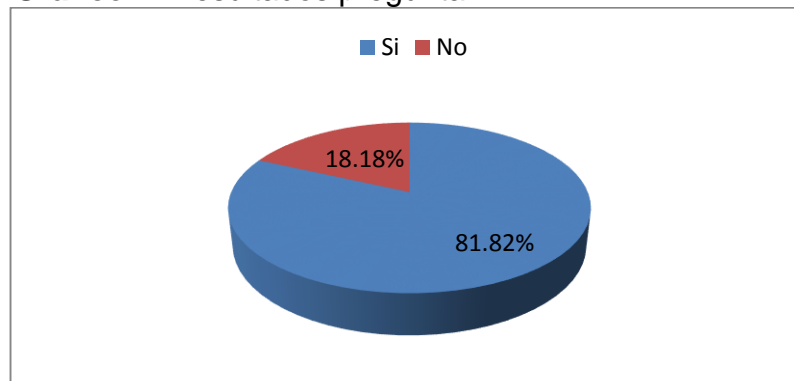
Basados en los resultados se infiere que un 54.55% (120 personas) que se encuentran cursando el programa de control de pozo, considera insuficiente o incompleto el material que tiene la institución para brindar la capacitación.

- Pregunta #7: ¿Cree usted que aprendería más cuando usted hace uso de un material didáctico?, en la **Tabla 7** y el **Gráfico 7** se puede observar los resultados.

**Tabla 7.** Resultados pregunta 7.

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Si	180	81.82
No	40	18.18
Total	220	100

**Gráfico 7.** Resultados pregunta 7.



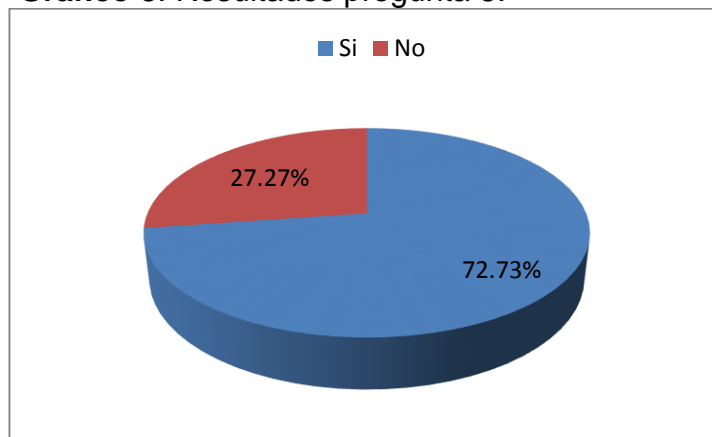
En la pregunta clave de la encuesta en la cual se evidencia que las personas consideran un mejor aprendizaje con el uso de un material didáctico, y el cual sería una ventaja competitiva, con base en la innovación con la cual se pretende alcanzar el posicionamiento de la empresa, la población encuestada mostro interés en la implementación de un nuevo producto con un 81.82% (180 personas).

- Pregunta #8: ¿Estaría dispuesto a pagar más por el curso de control de pozo si este contara con un material didáctico?, en la **Tabla 8** y el **Gráfico 8** se puede observar los resultados.

**Tabla 8.** Resultados pregunta 8.

Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Si	160	72.73
No	60	27.27
Total	220	100

**Gráfico 8. Resultados pregunta 8.**



Al observar los resultados de la encuesta se determina que un 72.73% (160 personas) que se encuentran en el curso de control de pozo estaría dispuesto a pagar más por este, si este contara con un material didáctico, el nuevo material generaría un plus, produciendo superioridad frente a la competencia, y con lo que se originaría más ingresos para la institución.

**2.2.2 Análisis de los resultados.** De acuerdo con los resultados obtenidos en cada pregunta de la encuesta, se hace evidente la falta de un material didáctico que pueda afianzar las temáticas brindadas en el curso, se demuestra también la importancia que genera tener este tipo de material para las personas que toman el curso, ya que se considera que con este material se pueden reforzar conceptos, debido a que el material con el que la empresa cuenta actualmente está siendo insuficiente y la gente no tendría un gran inconveniente con aportar un mayor costo por un curso que brinde este material didáctico que sirva para adquirir un mayor conocimiento.

### **2.3 MATERIAL PREVIAMENTE UTILIZADO**

Al construir este curso, el objetivo de la empresa fue hacer el entrenamiento de control de pozos lo más interesante e instructivo posible. Con ese objetivo en mente, se ha dispuesto de una enorme cantidad de multimedia en este curso. Cada parte del curso está lleno de gráficos, animaciones informativas, y las imágenes de la vida real de las plataformas petrolíferas de todo el mundo. Después de cada lección se va a realizar un test, del cual deben responder las preguntas de control de pozos o en su defecto hacer cálculos de control de pozos enfocados en la temática aprendida. Dentro de los materiales previamente utilizados en el curso de capacitación de control de pozo se encuentran:

**2.3.1 Libro de datos.** En este se encuentran datos relevantes para la realización de cálculos, como lo son fórmulas, ecuaciones, factores de conversión, gráficos y tablas que son utilizadas en el control de pozo.

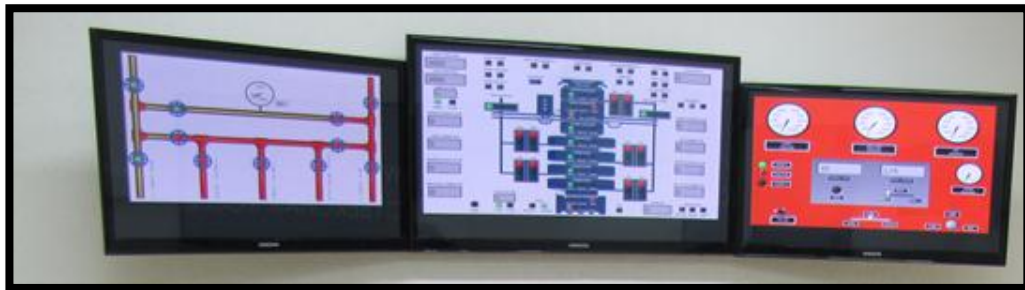
**2.3.2 Libro de trabajo.** En el que se encuentran ejercicios para que las personas que se encuentran en el curso desarrollen, y preguntas acerca de los temas vistos, para que se afiance la teoría.

**2.3.3 Manual.** En este se tiene toda la teoría tratada en el curso de control de pozo. A continuación, se nombran los capítulos que trae el manual de control de pozo:

- PRINCIPIOS DE LA PRESIÓN
- SURGENCIAS
- LA DETECCIÓN DE SURGENCIAS
- TEORÍA DE LAS SURGENCIAS
- PROCEDIMIENTOS
- FUNDAMENTOS DEL CONTROL DE POZOS
- MÉTODOS PARA CONTROLAR POZOS
- COMPLICACIONES
- FLUIDOS
- EQUIPAMIENTO DE SUPERFICIE
- CONTROL DE POZOS SUBMARINOS
- OPERACIONES DE REACONDICIONAMIENTO DE POZO
- EQUIPOS DEL SUBSUELO
- OPERACIONES DE WORKOVER
- REGULACIONES

**2.3.4 Simulador virtual DrillSIM-20.** El cual permite a los estudiantes a tomar conciencia de los procesos, permitiendo una mayor asimilación de contenidos para su aplicación en la práctica profesional. Como se ve en la **Imagen 2**, se muestra el simulador utilizado en la empresa.

**Imagen 2.** Simulador virtual.



**2.3.5 Tablero e imágenes.** Sirven como ayuda visual, diapositivas de fondo de pozo y de equipamiento para enseñar cada concepto de control de pozos importante. Como se ve en la **Imagen 3**, se muestra parte de las instalaciones de la empresa, donde se encuentra un salón de clases y un computador proyectando una serie de imágenes.

**Imagen 1.** Tablero e imágenes.



## **2.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA COMPETENCIA**

Actualmente existen varios centros de formación técnica, de capacitación y entrenamiento para la industria petrolera, que se encuentran acreditados ante el IADC, mejorando así las capacidades que tiene el personal para el control de pozo. Con la nueva metodología de *WellSharp*, se requiere que las personas que se están capacitando tengan unas aptitudes diferentes a las que se han venido trabajando, por lo que el mayor inconveniente de estas empresas es el método de enseñanza que se aplica, donde todo va ligado a un fundamento teórico, y en algunos casos apoyado con un simulador virtual.

**2.4.1 Competidores.** Actualmente en Bogotá D.C, existe un número significativo de centros de formación técnica, de entrenamiento y capacitación que se acreditan ante el IADC (International Association of Drilling Contractors), para la formación del personal que se encuentra enfocado en el control de pozo, y que requieren del nuevo estándar *WellSharp* para las operaciones en las que se desempeñan.

**2.4.1.1 Competidores directos.** Estos son las empresas que directamente van a la persona que quiere ser capacitada, o que tienen un contrato con las empresas en la industria petrolera, para que se encargue exactamente de la capacitación, entrenamiento, de sus empleados o la persona que quiere capacitarse en el curso de control de pozo, y que requiere la certificación *WellSharp*. En el **Cuadro 10** se muestran los competidores certificados por el IADC en la ciudad de Bogotá D.C.

**Cuadro 10. Competidores directos.**

Empresa	Nivel ofrecido	Descripción
Intertek Consulting Training Colombia	Perforador, supervisor	Proporciona entrenamiento en control de pozos consistente y de calidad, auditorías al personal y auditorías a los equipos de perforación, así como entrenamiento adicional para ingenieros de perforación y supervisores de operaciones.
Instituto técnico del petróleo. ITP Training School	Supervisor	Curso de acuerdo con las exigencias de la IADC, el cual se enfatiza en las responsabilidades de cada una de las personas que intervienen en las operaciones de perforación petrolera.
Q-Training & supplies SAS	Introductorio, perforador	Curso que contiene principios básicos y teoría de control de pozos, así como las técnicas más utilizadas y más avanzada información, se otorga certificación IADC.
Training Consultors	Introductorio, perforador, supervisor	Curso de entrenamiento en control de pozos que consiste en alcanzar los objetivos, y metas propuestos, con compromiso de velar por el mejoramiento continuo y de asegurar la revisión, así como entrenamiento adicional para ingenieros y supervisores de operaciones.

**2.4.1.2 Competidores indirectos.** Los competidores indirectos son aquellas grandes empresas que tienen una división dentro de su parte organizacional enfocada al entrenamiento y capacitación de sus empleados, para que estos reciban el curso de control de pozo y que cuentan ya con la certificación *WellSharp*, es decir aquellas que tienen incluido este servicio de formación y no requieren que terceros realicen este proceso. Como se muestra en el **Cuadro 11**, aparecen los competidores indirectos con certificación del IADC en la ciudad de Bogotá D.C.

**Cuadro 11. Competidores Indirectos.**

Empresa	Nivel ofrecido	Descripción
Estrella International Energy Services	Introdutorio, perforador, supervisor	Entrenamiento con certificación internacional IADC, que incluye procedimientos y estándares de equipo desarrollados bajo criterios API, IADC; mundialmente reconocidos para el control de influjos en pozos de petróleo y gas.
Nabors Drilling Colombia	Introdutorio	Capacitación que incluye procedimientos simples y cotidianos, todo el camino a lo que debe hacer en caso de un evento de control de pozo.
Occidental Petroleum Corporation	Supervisor	Capacitación con equipo de ingenieros bien entrenados, con supervisión y uso de tecnología innovadora que ayuda a desarrollar curso de manera eficaz para certificación en el control del pozo.

**2.4.2 Análisis de la situación actual de la competencia.** Como pudo ser observado los competidores que tiene la empresa son centros de formación técnica y capacitación acreditados ante el IADC, pero que, de acuerdo a la descripción del curso ofrecido, no proponen un curso de control de pozo con un enfoque práctico, lo que da la posibilidad para que la empresa ofrezca este plus en el mercado y generar un programa mejor fortalecido, atrayendo así a las personas para que se capaciten en este lugar. También se puede observar que estos cursos que ofrece la competencia generalmente son hasta de tres niveles que son el introductorio, perforador, supervisor, y como ya había sido mencionado el material que se va a implementar en la empresa solo abarca el nivel de conocimientos, el cual en estos momentos no es ofrecido sino únicamente por IHCA, generando la ventaja en cuanto a este curso de control de pozo.

### 3. MODELO DIDÁCTICO ENFOCADO EN EL CONTROL DE POZO

En este capítulo se presentan los criterios utilizados en la creación de un modelo didáctico dirigido al curso de capacitación de “control de pozo” para las operaciones de perforación y acondicionamiento del pozo. En el modelo se pueden ejecutar cinco ejercicios que se presentan en el quinto capítulo del presente trabajo, para poner a prueba el conocimiento adquirido por el personal durante el primer nivel de conocimientos del programa WellSharp del IADC.

#### 3.1 DISEÑO DEL MODELO DIDÁCTICO

En la presente sección se tiene en consideración la teoría que se encuentra en los manuales de control de pozo, sección equipos de control, esta teoría se toma como apoyo en la labor del diseño, configuración y elaboración del material didáctico.

**3.1.1 Software de modelamiento.** Vale la pena resaltar que es necesario adquirir conocimientos en el manejo de un software, enfocado en el modelamiento de figuras presentadas en una, dos o tres dimensiones para realizar el diseño de modelos.

“El modelamiento sólido se usa en el caso en que la geometría del elemento a modelar resulte compleja como para crear el modelo de Elementos Finitos por generación directa (es decir, dibujando directamente los elementos). Existen en general dos enfoques de modelamiento:

- Modelamiento *bottom up* (desde abajo): en este enfoque, el modelo se comienza a construir a partir de las entidades de más bajo orden (puntos).
- Modelamiento *top down* (desde arriba): el modelo se puede ensamblar a partir de primitivas geométricas, que son volúmenes, áreas o líneas completamente definidas. Cuando se crea una primitiva, el programa automáticamente crea todas las entidades de orden inferior asociadas a ella.

En general, en un modelamiento se pueden combinar las dos técnicas. Sólo se debe tener presente que las primitivas geométricas son construidas dentro del plano de trabajo, mientras que las entidades definidas en el modelamiento *bottom up* se crean con referencia al sistema coordenado. Por esta razón, se puede jugar con el cambio de lugar del plano de trabajo, lo cual facilita la creación de la geometría.”<sup>1</sup>

**3.1.2 Software utilizado en el modelamiento.** En el mercado online se encuentra gran variedad de programas dedicados al modelamiento de piezas y planos que se combinan para crear una serie de dibujos en una, dos o tres dimensiones, con el objetivo de facilitar a los usuarios la creación de elementos de diseño innovador o de precisión a escala. Para llevar a cabo el objetivo general del presente trabajo, se utiliza el programa de diseño y modelado 3D llamado SketchUp (software libre para estudiantes).

---

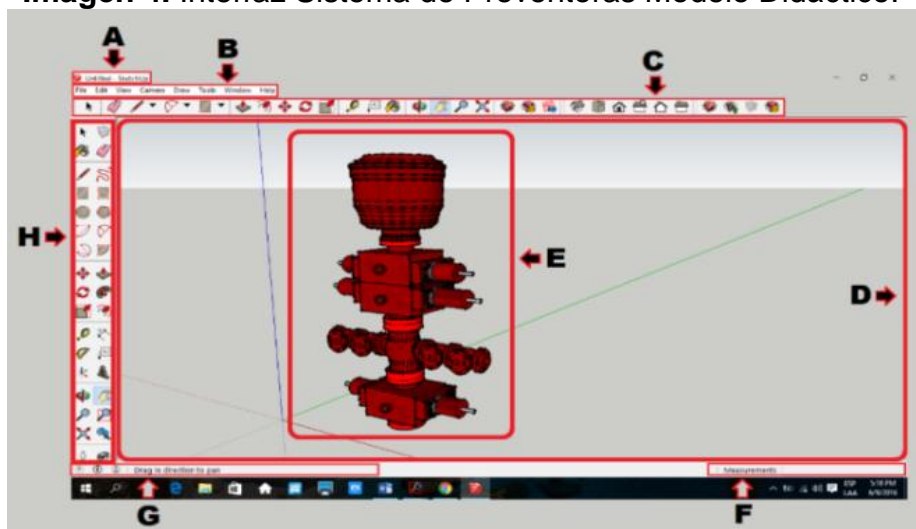
<sup>1</sup>Mercado, C. S. (2003). *Diseño y Construcción de un Banco para el Análisis de Vibraciones Paramétricas*. Cholula, Puebla, México.



**3.1.3 Descripción del programa de modelado 3D elegido.** Google SketchUp Es un programa de diseño 3D muy fácil de usar que brinda la posibilidad de crear, compartir y presentar modelos 3D. Además, permite al usuario desarrollar su creatividad, por medio de la exploración lúdica de entornos de arquitectura, ingeniería, diseño industrial, diseño escénico, entre otros. El programa es desarrollado por @Last Software, empresa adquirida por Google en 2006 y finalmente vendida a Trimble en 2012.

**3.1.4 Principios básicos para trabajar en SketchUp.** Luego de instalar el programa, al ejecutarlo, se inicia con una interfaz de aspecto limpio tal y como se muestra en la **Imagen 4**, además está se puede dividir en:

**Imagen 4.** Interfaz Sistema de Preventoras Modelo Didáctico.



**A.** Barra de Título

**B.** Barra de menú

**C.** Barra de herramientas: situada en la parte superior de la interfaz, contiene todas las herramientas y opciones necesarias para manejar Google SketchUp con facilidad.

**D.** Área de dibujo: es el espacio en donde se crea el modelo. El espacio 3D del área se identifica visualmente mediante los ejes de dibujo, que son tres líneas de colores perpendiculares entre sí. Estos ejes pueden ser de ayuda para dar un sentido de la dirección en el espacio 3D mientras se está trabajando.

**E.** Modelo de referencias: transmite la sensación del espacio tridimensional enmarcado en un plano X, Y Z, diferenciado por los colores azul verde y rojo.

**F.** Barra de estado

**G.** Cuadro de control de valores

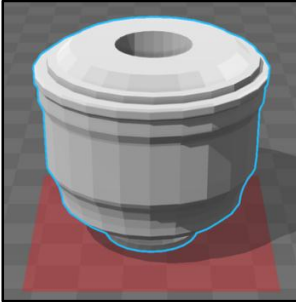
**H.** Conjunto grande de herramientas: Este conjunto de herramientas permite trabajar de forma fácil y sencilla, modelos de alta, media y baja complejidad

## 3.2 PRESENTACIÓN DEL MODELO DISEÑADO EN SKETCHUP

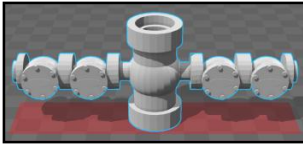
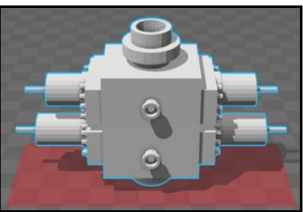
Este modelo se diseñó pensando en la versatilidad generada en la fabricación de las piezas y el bajo costo de su implementación, creando una serie de herramientas, representativas en el área de control de pozo, (fabricadas en tres dimensiones) estas herramientas pueden ser manipulables y se enfocan en la planeación y ejecución de un probable examen final que incluya el modelo y sus posibles configuraciones, basado en las necesidades presentadas en el programa WellSharp del IADC.

**3.2.1 Componentes (Partes) del modelo.** Luego de buscar posibles materiales y diversas alternativas que permitan la elaboración de los elementos creados a escala en una plataforma virtual, buscando modelar elementos de forma técnica además con el deseo de cumplir con el mayor número de cualidades de una herramienta didáctica, en el **Cuadro 12** se presentan algunas piezas del modelo, las medidas presentadas en Google Sketchup se tomaron como base a una escala [1:500], en referencia a las medidas reales aportadas por la compañía patrocinadora, el diseño es invención de los creadores del presente proyecto intentando similitud entre el sistema de preventoras reales y las didácticas, ya que para generar modelos idénticos a los reales se necesita tener un curso en modelamiento 3D y licencia profesional del producto Sketchup. El material escogido a la hora de imprimir el set de preventoras fue PLA un material plástico resistente utilizado por impresoras 3D, con la cualidad de prestar resistencia y durabilidad para la manipulación continua.

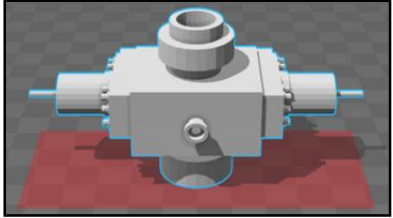

**Cuadro 12.** Componentes sistema de preventoras.

Nombre	Descripción Técnica	Imagen
<p><b>Preventor Anular</b></p>	<p>Se colocan en el tope del sistema de Preventores, generalmente es el primero que se cierra cuando ocurre una arremetida, sella sobre casi cualquier equipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kelly hexagonal</li> <li>• Botellas de perforación</li> <li>• Tubería de perforación y <i>tubing</i></li> <li>• <i>Casing</i></li> <li>• <i>Wireline</i></li> <li>• Hueco abierto en caso de emergencia</li> </ul> <p>No sella sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kelly cuadrada</li> <li>• Estabilizadores</li> <li>• Collares en espiral</li> <li>• Permite introducir o sacar tubería y herramienta con presión en el pozo.</li> <li>• Permite rotar lentamente la tubería en caso de requerirse.</li> <li>• Es posible cambiar el elemento sellante con tubería dentro del pozo.</li> </ul> <p>Componentes de un preventor anular:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuerpo</li> <li>• Tapa</li> <li>• Pistón</li> <li>• Empaque</li> </ul>	

**Cuadro 12. (Continuación)**

<p><b>Preventor tipo RAM de Tubería</b></p>	<p>Los Preventores de RAMS están compuestos básicamente por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El cuerpo, con salidas para la línea del choke y la línea de matado</li> <li>• Los RAMS, compuestos por bloques metálicos del RAM y los elementos sellantes: empaque frontal, empaques laterales y empaque superior.</li> </ul> <p>Los Preventores de RAM se cierran enviando fluido hidráulico presurizado a la cámara de cierre. El fluido hidráulico empuja los pistones que hacen cerrar los RAMS sobre la tubería. La cámara de cierre en un preventor de RAMS es más pequeña que la cámara de cierre de un Preventor anular, en consecuencia, requiere menos fluido y cierran rápidamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los RAMS son apropiados para cualquier diámetro de tubería</li> <li>• Se deben reemplazar los RAMS cada vez que se cambie el diámetro de la tubería y antes de bajar el revestimiento</li> <li>• Los RAMS cierran siempre alrededor de la tubería con una medida fija</li> <li>• Los RAMS están diseñados para soportar la presión solamente de abajo hacia arriba del pozo</li> </ul> <p>Los RAMS de tubería nunca deben cerrarse en hueco abierto durante pruebas de funcionamiento rutinarias. La acción de auto-alimentación causa que el sello de caucho se expanda una distancia considerable dentro del hueco. Un esfuerzo excesivo sobre el caucho, causa deterioro y fallas del sello.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sellan solamente sobre un diámetro de tubería</li> <li>• Tienen sello superior y sello frontal</li> <li>• Pueden tener sello lateral</li> <li>• Tienen guía para centrar la tubería</li> <li>• No deben cerrarse en hueco abierto</li> <li>• No hacen sello si se cierran sobre los cuellos de la tubería o sobre el Kelly</li> </ul> <p>Se puede mover la tubería en los pipes RAMS, pero la presión de cierre debe reducirse en 200-300 psi para evitar el desgaste del empaque</p>	<p><b>Cuerpo con Salida a las líneas de Choque y matado.</b></p>  <p><b>Preventor doble de tipo RAM</b></p> 
---	--	--

**Cuadro 12. (Continuación)**

<p><b>Preventor RAM de Tipo Ciego</b></p>	<p>Los RAMS ciegos se diseñan para sellar el pozo, cuando no hay tubería en el hueco. Los elementos son de caras planas y contienen un elemento de caucho, ocasionalmente la tubería es aplastada si se cierran accidentalmente los RAMS ciegos. Se deben tomar precauciones en el panel de control de los Preventores para asegurarse que los RAMS ciegos no sean cerrados accidentalmente</p>	
<p><b>Múltiple del Estrangulador (CHOKE MANIFOLD)</b></p>	<p>El Choke Manifold es aquel que sirve para controlar la presión del pozo y para manejar la dirección del flujo de acuerdo a las necesidades del pozo. El choke manifold puede tener diferentes presiones de trabajo como por ejemplo: 5000, 10000, 15000 y 20000 psi. La elección del tipo del choke manifold depende del tipo de pozo, la presión esperada en cabeza de pozo, el caudal esperado de aceite o gas y los requerimientos del cliente.</p>	

### 3.3 PRESENTACIÓN DEL MODELO DIDÁCTICO

El modelo diseñado tiene como objetivo principal apoyar la capacitación prestada en el curso de conocimientos dispuesto por el programa WellSharp del IADC. Donde se incluye una BOP y un *choke manifold* para el modulo de equipos de control, para el modulo de Control de pozos durante operaciones de perforación, se realiza un ejercicio donde se dan a conocer los dos tipos de cierre cuando se está perforando (cierre duro y cierre suave), para el modulo de Conocimiento de métodos de control, se presentan dos ejercicios con dos métodos de control para el conocimiento y el desarrollo mediante un tablero didáctico, igualmente con el modulo de Control de presión durante la intervención del pozo se diseñan unos manómetros donde se puede observar el cambio en la presión dependiendo las condiciones ya sea en tubería de perforación o en tubería de revestimiento.

**3.3.1 Componentes del tablero didáctico.** La idea básica es simular la interacción de los fluidos en un pozo y los elementos utilizados en el control de pozo usando los siguientes elementos: (en el capítulo 4 se presentan las imágenes de cada una de las partes descritas en el presente capítulo.)

- 1 tubo de vidrio de 10mm de diámetro, este representa la sarta.

- 1 tubo de vidrio de 14mm de diámetro, este representa el espacio anular.
- 1 Globo de látex que una vez inflado representa y simula la presión del yacimiento.
- Cinta métrica (60 cm) que permite medir la diferencia de profundidad, con el fin de calcular matemáticamente la presión hidrostática en un punto X.
- 1 colector de agua, acondicionado para representar la acumulación de fluidos en el Yacimiento y mantiene las presiones en el sistema.
- 1 conexión en cruz que permite la interacción entre los fluidos
- válvulas de bola, permiten regular y/o restringir las presiones causadas por los fluidos existentes en el sistema.
- 1 conjunto de válvulas preventoras (BOP), para configurar el sistema que se desea.
- 1 conjunto de válvulas para simular el choke manifold de acuerdo con las presiones a manejar.

**3.3.2 Choke Manifold y manómetros.** El diseño que se realizó para el proyecto tiene como tamaño establecido para su construcción las siguientes medidas: 30x20x10 centímetros de largo, ancho y alto respectivamente. Este choke manifold que es un modelo a escala no servirá para trabajar con fluidos, será utilizado para mostrar el funcionamiento superficialmente, la apertura y cierre de válvulas, así mismo va a estar relacionado con una serie de manómetros para observar y realizar ejercicios con respecto al cálculo de las presiones que se deben controlar en el pozo, se realiza para que se pueda armar y desarmar las veces que sea necesario.

También se realiza el respectivo diseño de un par de manómetros y un contador de strokes, para poder observar la variación de la presión y descarga de la bomba, a medida que se realiza el respectivo control por los diferentes métodos, igualmente servirán para la formulación de ejercicios matemáticos para el cálculo de otras presiones, como la presión inicial y final de circulación ya sea en la tubería de revestimiento o en la tubería de perforación.

### **3.4 MÉTODOS DE CONTROL DE POZO CONSIDERADOS PARA EL DISEÑO**

A continuación, se presentan los métodos que se aplican en la industria petrolera y sirven de soporte para este proyecto, se tomaron y modificaron de la fuente: “*WELL CONTROL INTERNATIONAL*, WCI, Manual de Control de Pozos, Buenos Aires, Argentina:

Impreso en Artes Gráficas Buschi S.A., 2012.”, estos métodos pueden ser encontrados en el **Anexo B**.

**3.4.1 Métodos con circulación.** Los métodos con circulación son los que se utilizan comúnmente en el control de arremetidas. Estos son:

- Método del perforador
- Método del espere y densifique
- El método concurrente

**3.4.1.1 Método del perforador.** Después de cerrar las preventoras, los fluidos de la formación continúan invadiendo el pozo hasta que la presión en el fondo del mismo iguale a la presión de la formación. En una formación con buena permeabilidad, puede ser necesario esperar varios minutos para que la presión del pozo cerrado se equilibre con la presión de la formación. Si la formación produce gas, la burbuja tiende a migrar hacia la superficie. Es por esto que las presiones en la sarta y en el espacio anular tienden a aumentar lentamente y en igual proporción. Por lo tanto, el periodo de cierre del pozo no debe ser muy largo. Las presiones deben observarse meticulosamente y registrarse cada 60 segundos, cuando el pozo está cerrado. Cuando se estime que las presiones de cierre se hayan estabilizado, deben leerse y anotarse, tanto la presión generada en la sarta de perforación, como la de la tubería del revestimiento (*Casing*), en el **cuadro 14** se presentan las ventajas y desventajas de este método.

Tanto la presión de la sarta de perforación como la de la tubería de revestimiento se emplean cuando se hace circular el fluido en el pozo. La suma de la presión de cierre de la sarta de perforación y la presión reducida de circulación, representa el valor clave para mantener la presión constante en el fondo mientras se efectúa la circulación en el pozo. La presión de cierre en la tubería de perforación sirve además para calcular el aumento de densidad del fluido de perforación necesario para equilibrar la presión de la formación.

La presión de cierre de la tubería de revestimiento, después de empezar la circulación, es el valor inicial para ajustar el choke, al cual se le modifica la apertura con el fin de mantener constante la presión en la sarta de perforación.

El control de una arremetida con el Método del perforador se realiza en dos ciclos de circulación:

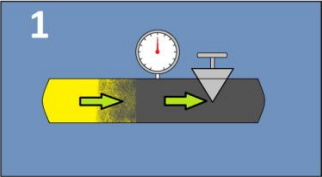
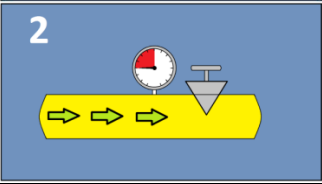
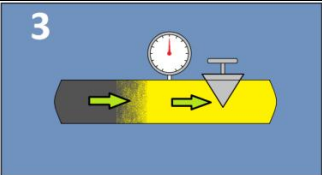
- La primera circulación del pozo se efectúa utilizando el mismo fluido de perforación que se estaba usando cuando se presentó la arremetida. Durante el proceso se mantiene constante en el manómetro del drill pipe la presión inicial de circulación que es la suma de la presión reducida a la velocidad escogida para controlar, más la presión de cierre en el drill pipe (SIDPP).

- El choke de la tubería de revestimiento se controla de manera que se mantenga constante la presión en el drill pipe durante la primera circulación. Esta circulación desplaza el fluido de la arremetida y lo lleva por el espacio anular hacia la superficie.
- La segunda circulación consiste en hacer circular el fluido de perforación con una mayor densidad para controlar la presión de formación, eliminar y reemplazar al fluido más liviano en el pozo. La velocidad de bombeo se mantiene constante, generalmente, ésta es la misma empleada durante el primer ciclo de circulación, la presión de la tubería de revestimiento se mantiene constante mediante el ajuste del choke, al mismo tiempo que se llena de fluido de control la tubería de perforación. Luego de que la tubería de perforación se ha llenado con el fluido nuevo, se anota y se mantiene constante la presión de la tubería de perforación mientras se llena del fluido nuevo en el espacio anular. La presión de la tubería de revestimiento va disminuyendo gradualmente a medida que se llena el espacio anular con el fluido de perforación nuevo.
- **Comienzo de la circulación.** Colocar las bombas a la velocidad de control escogida mientras se mantiene constante la presión del revestimiento. Esto puede mantener la presión de fondo constante, previene que el pozo fluya y minimiza las posibilidades de dañar la formación.
- **Primera circulación.** Cuando las bombas estén trabajando a la velocidad de control escogida y la presión del revestimiento se ha mantenido en el valor de la presión de cierre del revestimiento (SICP), el punto de control se transfiere a la presión de la tubería de perforación. En este momento la presión de la tubería debe ser la presión inicial de circulación. Esta presión de circulación se mantiene constante hasta que la arremetida es circulada fuera del hueco. Haga los ajustes necesarios con el choke para mantener todo el tiempo constante, la presión de circulación.
- **Tiempo de espera o lag time.** Cuando haga correcciones a la presión de revestimiento, utilizando el choke, espere para que este cambio se refleje en la tubería de perforación. Este tiempo de espera debe ser de dos segundos por cada mil pies de profundidad.
- **La arremetida en superficie.** Una vez que el gas llegue a superficie, ajuste el choke rápidamente para llevar la presión del revestimiento a la que tenía en el momento en que el gas comenzó a fluir. Una vez que la presión de revestimiento está en el valor apropiado, y después de esperar el tiempo necesario para estabilizar el sistema, cambie el control a presión de tubería, hay que tener de nuevo presión inicial de circulación, haga las correcciones necesarias. Cuando el fluido que sigue al gas llega a la superficie, la presión de



revestimiento se va aumentar de nuevo. En el **cuadro 13** se muestran los ajustes necesarios.

**Cuadro 13.** Control Arremetida.

Gas cerca de la superficie	
Al comenzar a salir el gas la presión va disminuyendo	
Para mantener la presión de fondo constante cierre el choke	

Fuente: Q- TRAINING & SUPPLIES S.A.S. Control de Pozos en Perforación. P. 65.

A medida que se efectúa la circulación en el pozo para sacar el gas del espacio anular, se produce un aumento en el nivel de los tanques de fluido de perforación equivalente al volumen de gas que se introdujo en el pozo, más el volumen equivalente a la expansión del mismo a medida que este sube por el espacio anular. Cuando todo el gas ha sido removido del pozo el volumen del fluido de perforación en los tanques vuelve a su nivel original.

Una vez que la arremetida ha sido sacada del pozo, existen dos opciones:

- **Cerrar el pozo de nuevo.** El punto de control es nuevamente la presión del revestimiento, mientras se disminuye la presión de bombeo y se paran las bombas. Debe mantenerse constante a medida que se cambian las ratas de bombeo. La segunda opción es continuar circulando mientras se mezcla el fluido de mayor densidad. Utilizando esta técnica existen menos probabilidades de que la tubería se pegue.
- **Segunda circulación.** Para comenzar la segunda circulación se debe preparar seguidamente un fluido de perforación de mayor densidad equivalente. Cualquier velocidad constante de bombeo es aceptable. La velocidad de las bombas depende de la velocidad con que se mezcle la barita para mantener la densidad deseada del fluido.

- Mientras se llena la sarta de perforación con fluido densificado, la presión de la tubería de revestimiento debe mantenerse constante en el valor de la última presión de cierre observada. A medida que se llena la sarta de perforación, la presión en el manómetro del stand pipe disminuye. Cuando la tubería de perforación esté llena de fluido nuevo, el control de la presión en la operación se traslada a la sarta de perforación, empleando el valor de presión observado en la tubería cuando se llenó. Esta presión se mantiene regulando el choke, mientras el espacio anular se llena con fluido de perforación nuevo se puede, entonces, preparar la circulación y observar que la presión sea cero en la tubería y revestimiento. Si esta presión no fuese cero, se debe calcular nuevamente la densidad del fluido de perforación requerido para controlar el pozo, aumentar la densidad del mismo y repetir la operación.

A continuación, se observa el **Cuadro 14**, este presenta las ventajas y desventajas del Método del Perforador.

**Cuadro 14.** Ventajas y desventajas del Método del Perforador

<b>Método del Perforador</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínimo tiempo de cierre.</li> <li>• Menos probabilidades de tubería pegada.</li> <li>• Menos probabilidades de utilizar métodos volumétricos.</li> <li>• Es el método preferido en pozos altamente desviados y pozos horizontales.</li> <li>• Cuando no hay suministro adecuado de barita o material para aumentar la densidad del fluido de perforación.</li> <li>• Es ideal cuando no es posible mantener una mayor densidad constante del fluido de perforación debido a limitaciones en las facilidades de mezclado del equipo de perforación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las presiones en todo el pozo aumentan paulatinamente durante la circulación hasta que la arremetida es removida.</li> <li>• Toma más tiempo pues se requiere de dos circulaciones completas.</li> <li>• Se trabaja todo el tiempo con presiones más altas.</li> </ul>

- **Comportamiento de presiones.** En el **Cuadro 15** se presenta el comportamiento de las presiones de: la tubería, Revestimiento de Fondo, presión en el Zapato y del volumen del tanque que cuando se circula una arremetida utilizando el Método del perforador.

**Cuadro 15.** Comportamiento de Presiones Método del Perforador

MÉTODO PERFORADOR	Tub (psi)	Csg (psi)	P Fondo (psi)	V Tanque	Zapato (psi)
Comenzando el bombeo	↑	↔	↔	↔	↔
Bombeando Vol Tubería	↔	↑	↔	↑	↑
Influjo debajo del Zapato	↔	↑	↔	↑	↑
Influjo dentro del casing	↔	↑	↔	↑	↔
Parando la Bomba	↓	↔	↔	↔	↔

Aumenta ↑
Disminuye ↓
Se mantiene ↔

Fuente: Ibid., p. 70.

**3.4.1.2 Método de Esperar y Densificar o método del ingeniero.** El método de densificar y esperar también es conocido como el método del ingeniero o el método de una circulación. Este método, en teoría, mata al pozo durante una circulación.

Con el fin de circular una arremetida, reemplazando el fluido de perforación liviano con un fluido de mayor densidad para controlar la presión de la formación, se ha desarrollado el llamado método de espere y densifique. Este método está basado en el supuesto de que se pueda preparar el fluido de perforación en la densidad requerida en un tiempo razonablemente corto, mientras se mantiene el pozo cerrado. En otras palabras, se debe esperar antes de iniciar la circulación hasta llegar a densificar el fluido de perforación en los tanques.

La circulación para sacar la arremetida y bombear el fluido de perforación de mayor densidad se va a efectuar al mismo tiempo, en lugar de realizarse en dos ciclos, como se hace en el Método del Perforador. En este caso, se obtiene una presión sobre el zapato de la tubería de revestimiento menor que la que se obtiene con el Método del Perforador, ya que generalmente el fluido de perforación con mayor densidad entra en el espacio anular antes de que la arremetida alcance la profundidad del zapato del revestimiento. En el **Cuadro 16** se presentan las ventajas y desventajas de este método.

Para efectuar el Método de Espere y Densifique se requiere una circulación, más el tiempo necesario para aumentar la densidad del fluido de perforación en el tanque de succión. Obviamente, el Método del perforador requiere más tiempo porque necesita dos circulaciones.

En el método de Espere y Densifique es necesario que el fluido de perforación destinado al control de la presión del pozo sea mezclado antes de comenzar la circulación. Cuando el fluido de perforación esté listo con la densidad requerida para el control, se colocan las bombas en línea a la velocidad reducida de control

escogida, de igual modo que en el Método del Perforador, mientras se mantiene constante la presión en la tubería de revestimiento en el valor de la presión de cierre (SICP), mediante el ajuste del choke.

Cuando las bombas alcanzan la velocidad elegida, se lee la presión inicial de circulación en el manómetro del drill pipe, esta presión se puede calcular mediante la **Ecuación 2**, mostrada a continuación.

**Ecuación 2. Presión Inicial de Circulación (PIC).**

$\begin{aligned} \text{PIC} &= \text{Presión Reducida (psi)} + \text{SIDPP(psi)} \\ \text{PIC} &= \text{Presión Inicial de Circulación (psi)} \end{aligned}$
--

Fuente: Ibid., p. 67.

A medida que se bombea el fluido de control por la tubería, la presión inicial de circulación disminuye una cantidad equivalente a la presión de cierre de la tubería de perforación (SIDPP), menos el aumento de presión por fricción ocasionado por el fluido de perforación de mayor densidad a medida que se bombea dentro de la tubería. Una vez que el fluido de control llega a la broca, la presión de circulación se mantiene constante porque ya se tiene dentro de la tubería un fluido con la densidad necesaria para controlar el pozo esta presión se conoce como presión final de circulación y se mantiene constante hasta que la arremetida es sacada del pozo y el fluido de control retorna a superficie, esta se halla mediante la **Ecuación 3**, mostrada a continuación.

**Ecuación 3. Presión Final de Circulación (FCP)**

$\begin{aligned} \text{Presión Final Circulación(} &\text{psi)} \\ &= \text{Presión reducida bombeo(} &\text{psi)} \\ &\quad \text{Densidad Fluido de Matar (} &\text{lpg)} \\ &\quad * \frac{\text{Densidad Fluido Original (} &\text{lpg)}}{\text{Densidad Fluido Original (} &\text{lpg)}} \end{aligned}$
--

Fuente: Ibid., p. 67.

La presión en la tubería de revestimiento aumenta hasta que el gas llega a la superficie, luego disminuye hasta cero cuando el espacio anular se llena con el fluido de mayor densidad.

Para calcular de sacos de material densificante (barita, carbonato y Hematita) que se necesitan para lograr la densidad del fluido de control requerido, se utilizan la

**Ecuación 4 y Ecuación 5:**

**Ecuación 4. Sacos de material densificante.**

$$\frac{SXS \text{ Barita}}{100 \text{ bbls}} = \frac{1470 (W_2 - W_1)}{(35 - W_2)}$$
$$\frac{SXS \text{ Carbonato}}{100 \text{ bbls}} = \frac{945 (W_2 - W_1)}{(22.5 - W_2)}$$
$$\frac{SXS \text{ Hematita}}{100 \text{ bbls}} = \frac{1680 (W_2 - W_1)}{(40 - W_2)}$$

Fuente: Ibid., p. 68.

Dónde:

$W_1$  = Densidad Inicial del fluido, lpg

$W_2$  = Densidad Final del fluido, lpg

35 = Densidad de la Barita, lpg

22.5 = Densidad del Carbonato, lpg

40 = Densidad de la Hematita, lpg

El aumento de volumen ocasionado al agregar el material densificante arriba mencionado se puede calcular así:

**Ecuación 5. Aumento de volumen.**

Al agregar barita:

$$\frac{\text{Aumento Volumen}}{100 \text{ bbls}} (\text{bbls}) = \frac{100 (W_2 - W_1)}{(35 - W_2)}$$

Al agregar Carbonato:

$$\frac{\text{Aumento Volumen}}{100 \text{ bbls}} = \frac{100 (W_2 - W_1)}{(22.5 - W_2)}$$

Al agregar Hematita:

$$\frac{\text{Aumento Volumen}}{100 \text{ bbls}} = \frac{100 (W_2 - W_1)}{(40 - W_2)}$$

Fuente: Ibid., p. 68.

Dónde:

$W_1$  = Densidad Inicial del fluido, lpg

$W_2$  = Densidad Final del fluido, lpg

35 = Densidad de la Barita, lpg

22.5 = Densidad del Carbonato, lpg

40 = Densidad de la Hematita, lpg

La circulación con el fluido de perforación de mayor densidad produce dos efectos:

- El fluido de perforación inicial es desplazado por un fluido de mayor densidad que suministra una presión hidrostática suficiente para balancear la presión de formación; Al mismo tiempo, la arremetida es llevada a superficie y removida.
- El fluido de mayor densidad se debe preparar lo más pronto posible, ya que la migración del gas va a continuar durante el tiempo entre el cierre del pozo y el inicio de la circulación.

Con la migración del gas:

- Hay el riesgo de fracturar la formación bajo el zapato.
- Puede originar errores en la determinación de la presión.
- **Densificación tanques.** Mientras se prepara el fluido de mayor densidad, el perforador debe estar pendiente de las presiones en la tubería de perforación y revestimiento. Si el gas comienza a migrar, las presiones se van aumentando por igual tanto en la tubería como en el revestimiento, aumentando la presión de fondo. Para mantener la presión de fondo constante, la presión en la tubería no debe aumentar. Si aumenta la presión de la tubería de perforación, se debe alimentar presión a través del choque hasta que esta retorne al valor original de presión de Cierre en el Drill Pipe (SIDPP).
- **Comienzo de la circulación.** Colocar las bombas a la velocidad de control escogida mientras se mantiene constante la presión del revestimiento. Esto va a mantener la presión de fondo constante, previene que el pozo fluya y minimiza las posibilidades de dañar la formación. El Método de Espere y Densifique comienza a ser efectivo tan pronto como el primer barril de fluido de mayor densidad entre la tubería de perforación. Por lo tanto, hay que tener en cuenta el volumen de las líneas de superficie (desde las bombas hasta el *Swivel* o *Top drive*). Una vez las líneas de superficie estén llenas, coloque el contador de *strokes* de nuevo en cero.
- **Control de *Strokes* vs. Presiones.** A medida que se bombea el fluido de mayor densidad por la sarta, se tiene que seguir el comportamiento de la presión de circulación, permitiendo que esta baje de presión inicial de circulación hasta la presión final de. El descenso progresivo del fluido de mayor densidad dentro de la tubería de perforación determina un aumento lineal de las pérdidas de fricción.

- **Fluido de mayor densidad en la broca.** Una vez que el fluido de mayor densidad llega a la broca, se tiene en la tubería la columna hidrostática necesaria para recuperar el balance hidrostático del pozo y la presión en la tubería de perforación debe ser la presión Final de circulación. Mantenga esa presión constante hasta que el fluido de mayor densidad retorne a la superficie.
- **Fluido de mayor densidad en la superficie** Una vez que el fluido de mayor densidad llegue a la superficie, pare la circulación y verifique las presiones, están deben ser cero (0) tanto en la tubería como en el anular. Si la situación es normal, abrir la preventora, hacer una prueba de fluido y reiniciar las operaciones de perforación. Es una buena práctica circular fondos arriba observando el pozo, para homogenizar el sistema.

**Cuadro 16.** Ventajas y desventajas del método Espere y Densifique.

Método de Espere y Densifique	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tan pronto como el fluido de mayor densidad llega a la broca se tiene control de pozo.</li> <li>• Hay un incremento paulatino de presión hidrostática a medida que se bombea el fluido de mayor densidad.</li> <li>• Se requiere menos tiempo de circulación bajo condiciones de presión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor tiempo de cierre con la tubería frente a la zona de arremetida</li> <li>• Aumento de las posibilidades de pega de la tubería.</li> <li>• Aumento de las posibilidades de migración del gas</li> </ul>

- **Comportamiento de presiones.** En el **Cuadro 17** representa el comportamiento de las presiones de: la tubería, Revestimiento de Fondo, presión en el Zapato y del volumen del tanque que cuando se circula una arremetida utilizando el método de Espere y Densifique.

**Cuadro 17.** Comportamiento de Presiones Método E & D.

MÉTODO E & D	Tub (psi)	Csg Psi	P Fondo (psi)	V Tanque	Zapato psi
Comenzando el bombeo	↑	↔	↔	↔	↔
Bombeando Fluido de control a la broca	↓	↑	↔	↑	↑
Fluido de Control llenando anular	↔	↑	↔	↑	↑
Influjo en el casing	↔	↑	↔	↑	↔
Gas a través del choke	↔	↓	↔	↓	↔
El gas está fuera del pozo	↔	↓	↔	↔	↔
Aumenta ↑    Disminuye ↓    Se mantiene ↔					

Fuente: Ibid., p. 70.

**3.4.1.3 Método concurrente.** El método Concurrente para controlar la presión en un pozo es muy parecido al método de Espere y Densifique, excepto que la circulación se comienza de inmediato y la densidad del fluido se aumenta gradualmente de acuerdo con un programa determinado. Este método se usa cuando NO se puede permanecer demasiado tiempo con el pozo cerrado y se quiere disminuir las presiones en el pozo ocasionados por la migración de la burbuja. Consiste en ir aumentando la densidad del fluido y simultáneamente bombearlo al pozo. Es necesario determinar los aumentos de la densidad del fluido que se van a bombear al pozo. En el **Cuadro 18** se presentan las ventajas y desventajas de este método.

- Es un híbrido del método del perforador y del método de Espere y Densifique.
- La densidad del fluido se aumenta por etapas y la circulación se reanuda a medida que se continúa con el aumento de la densidad del fluido.
- También se conoce como el Método de Circule y Espere.
- Requiere de más cálculos mientras se circula debido a que hay fluido de varias densidades en la tubería a diferentes profundidades.
- Se debe conservar siempre un buen registro de la información para un control efectivo.

#### **Procedimiento.**

- Cerrar el pozo, registrar las presiones de cierre y la ganancia en el tanque.
- Calcular la densidad del fluido de control, el tiempo y los *strokes* para bombear a la velocidad de control escogida, desde superficie hasta la broca, calcular la presión inicial de circulación y la presión final de circulación con el fluido para controlar.
- Decidir de acuerdo con el tiempo de bombeo y el fluido para controlar, los incrementos de densidad en que va a aumentar la densidad del fluido para cada bombeo (0, 1,0.2 o 0,3 lpg). Con esto se determina el número de baches necesarios para llevar la densidad del fluido hasta la densidad final.
- Calcular el número de *strokes* para desplazar el primer bache hasta la broca y vaya acumulando para cada bache siguiente el número de golpes hasta la broca. Grafique, la presión de las bombas (en la vertical), contra el número total de *strokes* para desplazar todos los baches hasta la broca, la densidad del fluido de control bombeado en cada bache (en la horizontal) adicionalmente se



puede graficar el tiempo total para desplazar todos los baches hasta la broca. Los controles de *strokes* o tiempo para cada densidad de fluido debe ser desde la superficie hasta la broca.

- Colocar las bombas a la velocidad de control escogida mientras se mantiene constante la presión de revestimiento.
- Bombear cada bache de acuerdo con su perfil de presión correspondiente, (la presión debe ir variando desde presión inicial de circulación hasta presión final de circulación cuando el bache llega a la broca), continuar bombeando a la velocidad inicial y siguiendo el programa de presión de las bombas para cada bache, hasta que la densidad del fluido para controlar completamente el pozo haya alcanzado la broca.
- Parar las bombas, cerrar el choque y observar la presión en la tubería, la cual debe ser cero (0).
- Abrir el choque y operar las bombas a la misma velocidad anterior, manteniendo la presión final de circulación constante hasta que el fluido de mayor densidad llegue a la superficie.
- Parar las bombas, cerrar el pozo y revisar presiones, deben ser cero (0) en la tubería y el revestimiento.
- Abrir el pozo y observar flujo.

#### **Observaciones.**

- Estar seguro de la densidad del fluido y de los *strokes* acumulados en el momento en que se va a iniciar cada desplazamiento.
- Establecer un control estricto de la densidad del fluido a la salida del pozo, para asegurarse del retorno del fluido de mayor densidad a superficie.

**Cuadro 18.** Ventajas y Desventajas del método Concurrente.

<b>Método Concurrente</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las actividades relacionadas con el aumento de la densidad del fluido se pueden iniciar inmediatamente se cierra el pozo.</li> <li>• Se puede usar en equipos de perforación con facilidades de mezclado limitadas.</li> <li>• Se inicia la circulación inmediatamente.</li> <li>• Menos probabilidades de pega de tubería.</li> <li>• Se limita la migración de gas.</li> <li>• Ya que no hay necesidad de parar las bombas o arrancarlas de nuevo, se reducen las posibilidades de arremetidas adicionales o excesos de presión en el pozo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los cálculos de presiones son más complicados.</li> <li>• Es necesario ajustar las presiones iniciales de circulación, cada vez que se cambia la densidad del fluido.</li> </ul>

**3.4.1.4 Método volumétrico.** Se puede describir como la expansión controlada del gas, durante la migración.

Este método puede ser usado, inmediatamente se ha cerrado el pozo hasta que se haya determinado el método de circulación para controlar y puede ser usado para llevar el influjo hasta superficie, sin utilizar las bombas. Así como los otros métodos que mantienen la presión de circulación constante, el método volumétrico está basado en la Ley de Boyle (ley del gas). Se imprime una presión por volumen a un tiempo apropiado, para mantener la presión de fondo que debe ser igual o ligeramente mayor que la presión de formación, sin que exceda la presión de fractura de la formación, la **Ecuación 6** representa este fenómeno.

El método volumétrico, no se debe entender como un método que controla el pozo, pero que sirve, para controlar la presión en el fondo y la superficie, mientras se determina el método de circulación, para su control final. Se usa, también, en caso que se genere un influjo por succión, para llevar el influjo, hasta la superficie. Finalmente se puede usar para reemplazar el gas por fluido de perforación y condicionar nuevamente al pozo para controlar.

Fundamentalmente se debe considerar que la migración del gas puede generar aumentos de presión en superficie, en el fondo y en todo el pozo, consecuentemente se pueden ocasionar fallas en los equipos de superficie, en el revestimiento y/o fracturar la formación, conllevando problemas de pérdida de circulación y un posible descontrol interno. El método volumétrico reduce las altas presiones por medio de un sistemático drenaje del fluido de perforación, para permitir la expansión del gas.

El método volumétrico se puede utilizar en los siguientes casos:

- Tubería (sarta, herramienta) fuera del pozo.

- Bombas inoperables, por problemas mecánicos o eléctricos.
- La sarta presenta pegada
- Periodos largos de espera. Densificación del fluido de perforación para el método espere y densifique, reparaciones de equipos de superficie (estrangulador, líneas, mezcla de fluidos, etc.)
- Fuga o lavado en la tubería, que evita el desplazamiento del influjo, por alguno de los métodos de circulación.
- Sarta (tubería, sondeo, herramienta) a una distancia considerable del fondo y que el influjo se encuentra por debajo de la sarta.
- Desarrollo de presión anular en un pozo de producción o de inyección, por problemas de fuga en el *tubing* o empaque.
- Durante las operaciones de deslizamiento de tubería con pozo presurizado.

#### **Ecuación 6. Presión Inicial de Circulación**

$$P_1 * V_1 = P_2 * V_2$$

Fuente: *WELL CONTROL INTERNATIONAL*, WCI, Manual de Control de Pozos, Buenos Aires. Argentina: Impreso en Artes Gráficas Buschi S.A., 2012. p. 147.

Dónde:

$P_1$  = Presión en posición 1, atm

$V_1$  = Volumen en posición 1, L

$P_2$  = Presión en posición 2, atm

$V_2$  = Volumen en posición 2, L

La necesidad de usar o no el método volumétrico, se puede determinar con base en la observación de la presión de cierre del revestimiento. Si la presión en el revestimiento no observa aumento alguno, después de 30 minutos, es muy probable que el influjo no está asociado con gas. (Excepto si se está trabajando con fluidos de perforación base aceite o pozos horizontales, donde la solubilidad o ángulo de desviación evita o frena la migración del influjo.). Si la presión en el revestimiento continúa incrementando, por encima de la presión de cierre, entonces el influjo tiene gas. Otra posibilidad del uso de este método es cuando los tiempos de inicio de la primera circulación, observan retrasos.

Se requiere tomar en cuenta algunas consideraciones básicas, para llevar adelante, correctamente, el método volumétrico.

- Ley del gas. La ley de Boyle es usado con propósitos de controlar un pozo (ignora los efectos de temperatura y factores de compresibilidad).
- La ley de Boyle describe la relación entre la presión y volumen del gas. Si el gas se expande (aumento de volumen), la presión dentro del gas disminuye. Esto es precisamente lo que hace efectivo el método volumétrico. Se deja que la burbuja de gas se expanda, purgando un volumen del fluido de perforación, cuidadosamente medido a la superficie, disminuyendo la presión en el pozo.
- Teoría de burbuja simple. Usado en la discusión de control de pozo por simplicidad. Se asume que el influjo viene de la profundidad total del pozo. El influjo aparece en forma de muchas burbujas a lo largo de miles de pies o metros, en sentido de que se ha permitido una considerable expansión del gas, al momento de cerrar el pozo. Esto significa una menor presión de cierre en el revestimiento (SICP).

**Nota.** Al culminar el curso en el primer nivel de conocimientos incluyendo la evaluación propuesta con el modelo didáctico, se logra generar una mejor comprensión de cómo ocurren los incidentes de control, los equipos que hay para controlar y los métodos de prevención. Con esto se evidencia la funcionalidad del modelo en el curso.

## 4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

En el presente capítulo se encuentra el registro fotográfico y paso a paso de la construcción del modelo didáctico, Resaltando diseño, materias primas e insumos utilizados en la elaboración, que se adaptaron a las necesidades de la empresa.

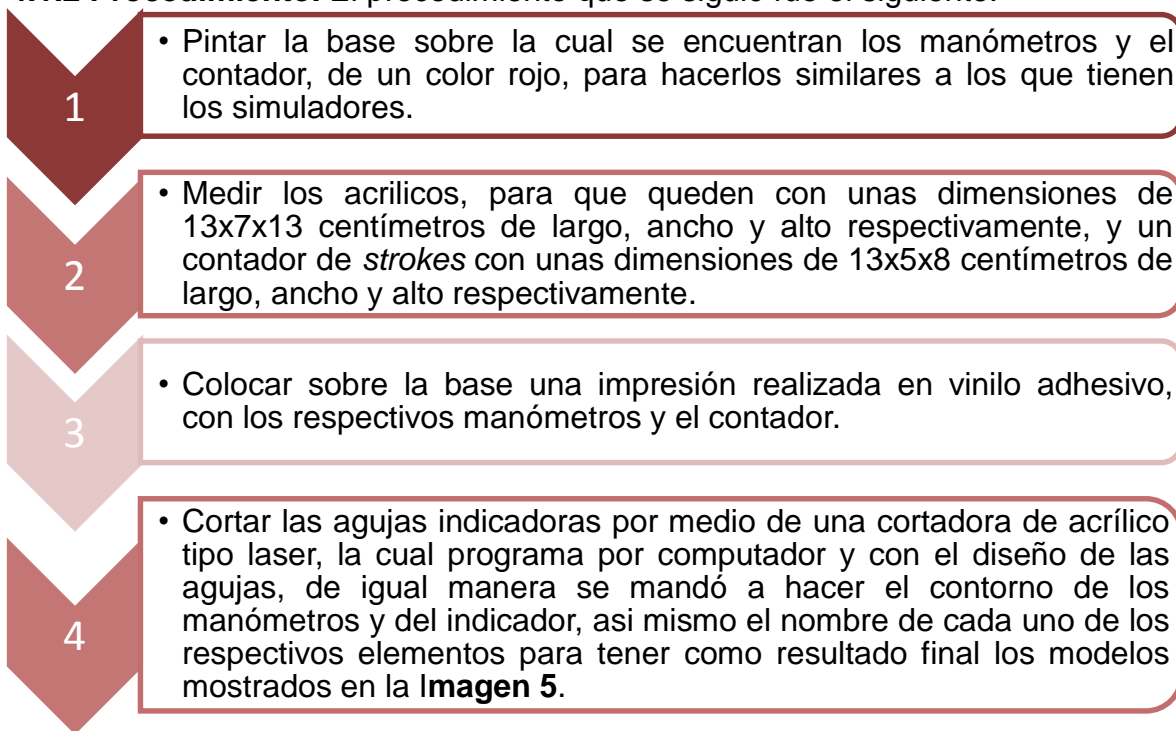
### 4.1 MANÓMETROS Y CONTADOR DE *STROKES*

Para la creación de los manómetros y el contador de *strokes* se utilizó una serie de materiales y procedimiento que se nombran a continuación.

**4.1.1 Materiales.** Los materiales para la construcción del modelo fueron:

- Acrílico
- Vinilos adhesivos
- Pintura en spray multiusos color rojo

**4.1.2 Procedimiento.** El procedimiento que se siguió fue el siguiente:



**Imagen 5.** Manómetros y contador de strokes terminado.



#### **4.2. CHOKE MANIFOLD**

Para la creación del *choke manifold* se utilizó una serie de materiales y procedimiento que se nombran a continuación:

**4.2.1 Materiales.** Los materiales para la construcción del modelo fueron:

- Acrílico
- Balso
- Imanes
- Alfileres
- Pegante instantáneo súper bonder
- Pegante para madera aplicador Carpincol
- Pintura en spray multiusos color rojo

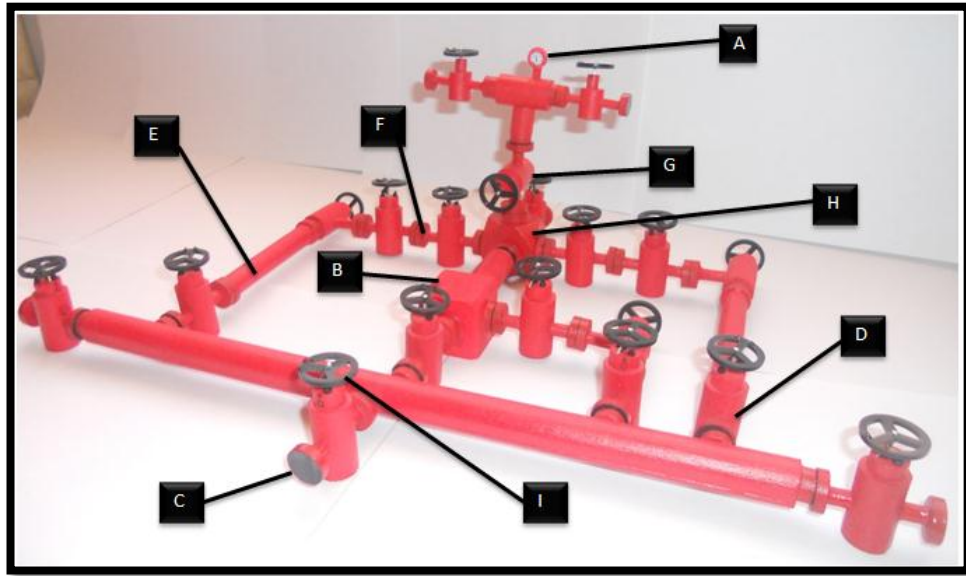
**4.2.2. Procedimiento.** El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- 1 • Realizar los volantes de dirección utilizando una cortadora de acrílico tipo laser, la cual se programa por computador y con el diseño del volante se puede cortar, posteriormente se procede a introducirles un alfiler en el orificio central en representación del vástago para poder realizar su posterior rotación.
- 2 • Realizar el cuerpo de las válvulas utilizando balsa, que mediante el uso de una segueta, y con la ayuda de un taladro se puede perforar para poder hacer el cuerpo de las válvulas, posteriormente se procede a pintar con el spray color rojo,, para que después pegar los imanes al cuerpo, con el pegante instantáneo.
- 3 • Realizar la construcción del choke con unas dimensiones de 41x26x13 centímetros de largo, ancho y alto respectivamente, estas medidas son únicamente cuando el modelo se encuentra armado, como se muestra en la **Imagen 7**, y viene desarmado como se muestra en la **Imagen 6**.

**Imagen 6.** Choke Manifold desarmado.



**Imagen 7.** Choke Manifold armado.



- A. Manómetro.
- B. Te o Cross.
- C. Brida ciega.
- D. Válvula de estrangulación.
- E. Espaciador de bobina.
- F. Brida de acoplamiento
- G. Válvula de debate
- H. Pieza de cinco vías.
- I. Volantes de dirección.

### **4.3. TABLERO DIDÁCTICO**

Para la creación del tablero didáctico mostrado en la **Imagen 8**, se utilizó una serie de materiales y procedimiento que se nombran a continuación:

**4.3.1 Materiales.** Los materiales para la construcción del modelo fueron:

- Abrazaderas.
- Accesorio de conexión rápida tipo macho de  $\frac{1}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ ".
- Acople en PVC tipo macho conexión  $\frac{1}{2}$ ".MDF (madera industrial sintética).
- Caucho espuma.
- Cinco conexiones para manguera.

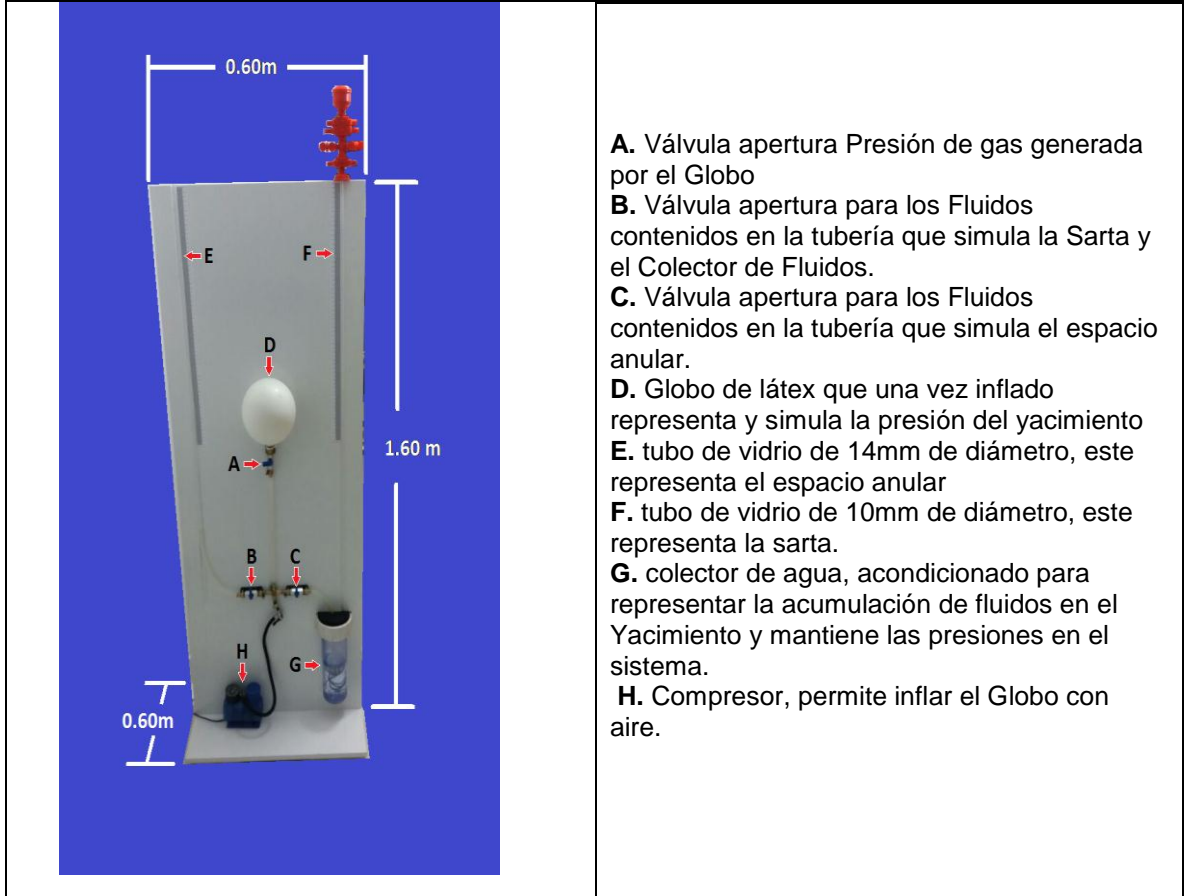


- Contenedor para filtro en policarbonato conexión 1”.
- Cuatro rectángulos en madera natural (Pino).
- Dos botellas de *thinner*.
- Dos imanes redondos.
- Dos soportes triangulares en madera natural (Pino).
- Estrangulador de manguera tipo hembra conexión ½”.
- Lija de grano 280 y 800.
- Manguera látex siliconada.
- Masilla.
- Pegante para madera Carpincol.
- Puntillas.
- PLA (material para la impresión 3D).
- Teflón.
- Tres válvulas de bola.
- Un tubo de 10mm fabricado en vidrio.
- Un tubo de 14mm fabricado en vidrio.
- Una conexión en cruz metálica
- 1/16 de base para pintura.
- 1/16 de laca transparente catalizada.
- 1/16 de pintura blanca.

#### 4.3.2. Procedimiento. El procedimiento que se siguió fue el siguiente:



**Imagen 8.** Tablero didáctico.



- A.** Válvula apertura Presión de gas generada por el Globo
- B.** Válvula apertura para los Fluidos contenidos en la tubería que simula la Sarta y el Colector de Fluidos.
- C.** Válvula apertura para los Fluidos contenidos en la tubería que simula el espacio anular.
- D.** Globo de látex que una vez inflado representa y simula la presión del yacimiento
- E.** tubo de vidrio de 14mm de diámetro, este representa el espacio anular
- F.** tubo de vidrio de 10mm de diámetro, este representa la sarta.
- G.** colector de agua, acondicionado para representar la acumulación de fluidos en el Yacimiento y mantiene las presiones en el sistema.
- H.** Compresor, permite inflar el Globo con aire.

## 5. IMPLEMENTACIÓN DEL MATERIAL DIDÁCTICO

En el siguiente capítulo se establece la implementación del material en la capacitación de control de pozo, con cinco actividades propuestas, y se pretende mostrar cada una de las actividades a realizar y su relación con el material previamente elaborado.

### 5.1 EJERCICIOS PRÁCTICOS

Todas las operaciones de control de pozo (control de influjos) necesitan la aplicación de cálculos matemáticos de forma básica, sencilla y directa. Las operaciones más comunes son: suma, resta, multiplicación, división y lo más complicado sería obtener el cuadrado de una cifra.

En los ejercicios **5.1.1**, **5.1.2** y **5.1.3** se aplicará una matemática básica que permite entender mejor los procedimientos expuestos enfocados en el control de influjos.

**5.1.1 Primer ejercicio.** El presente ejercicio permite entender por qué es necesario aumentar la densidad del fluido de perforación a la hora de controlar un influjo.

Densidad del fluido de control, esta es la densidad que se necesita para balancear la presión hidrostática del pozo con la presión de la formación ver **Imagen 9**. El fluido de control densificado debe circular por el pozo antes que se reinicien las operaciones de perforación. El momento de ser bombeado el fluido de control densificado depende del método a ser usado (Perforador, Espere y Densifique, o Concurrente).

**Imagen 9.** Consideraciones sobre el fluido de control y la presión (cálculo de densidad del fluido de control).

$$\boxed{\text{LPG}} = \boxed{\text{PSI}} \div \boxed{0.052} \div \boxed{\text{FT}} + \boxed{\text{LPG}}$$

Densidad del Fluido de Control (LPG) = SIDPP (PSI) ÷ 0.052 ÷ TVD (FT) + Densidad actual del Fluido de Perforación (LPG)

Profundidad Vertical Verdadera (a la broca o Zona de Surgencia o de Influjo)

Fuente: *WELL CONTROL INTERNATIONAL*, WCI, Manual de Control de Pozos, Buenos Aires, Argentina: Impreso en Artes Gráficas Buschi S.A., 2012. p. 85.

**Problema:** calcular la densidad del fluido de control si la presión de cierre en la tubería (SIDPP) es de 400 psi, la Profundidad Vertical Verdadera (TVD) es de 10.000 pies y la densidad del Lodo Actual es de 13.5 lpg

**Solución:**

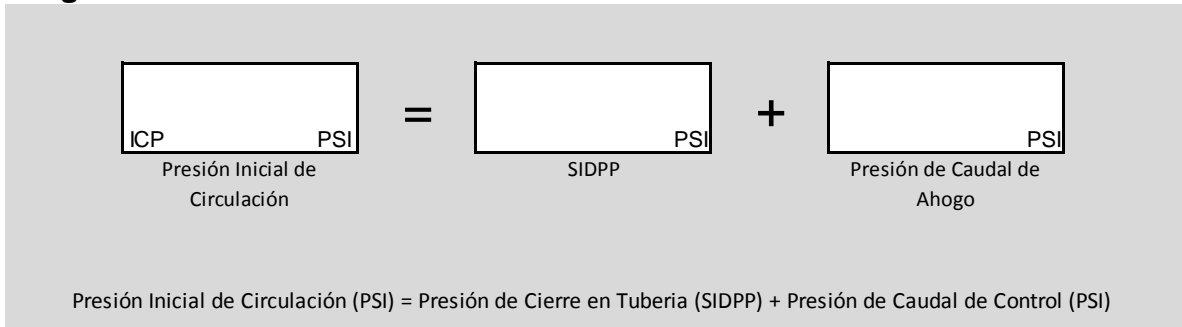
*Densidad del fluido de control = 400psi ÷ 0.052 ÷ 10.000 pies + 13.5 lpg*

*Densidad del fluido de control = 14.26 ≈ 14.3 lpg*

**5.1.2 Segundo ejercicio.** Este ejercicio permite entender la importancia de la presión inicial de circulación como referencia de las presiones necesarias al caudal de control.

Presión inicial de circulación, es la presión de la sarta de perforación que se requiere para la circulación inicial al caudal de control seleccionado mientras se mantiene la presión del revestimiento (casing) en la válvula de cierre; es numéricamente igual a la presión de circulación del caudal de control más la presión de cierre de la sarta de perforación, (*Initial Circulating Pressure*) mostrado en la **Imagen 10**.

**Imagen 10.** Cálculo Presión Inicial de Circulación.



Fuente: *Ibid.*, p. 86.

**Problema:** calcular la presión de circulación inicial (PIC; ICP) si la Presión de cierre en tubería (SIDPP) es de 300psi con una Presión a caudal de Control de 1000 psi, una Densidad del Lodo Actual de 12.5 lpg y una Profundidad Vertical Verdadera (TVD) de 10.000 pies

**Solución:**

ICP = 300psi + 1000 psi

ICP = 1300 psi

**5.1.3 Tercer ejercicio.** Este ejercicio permite entender la importancia de la presión de control corregida como referencia de las presiones necesarias durante la transición que va del fluido de perforación al fluido de control.

Presión de circulación final (PFC; FCP), es la presión de control corregida por el uso del fluido de perforación de mayor densidad (fluido de control) ver **Imagen 11**, esta presión debe mantenerse desde el momento que el fluido de control llega a la broca (trepano, mecha) hasta que el espacio anular se llene de fluido de control.

**Imagen 11.** Cálculo Presión de Circulación Final (PCF; FCP).

$$\boxed{\text{FCP}} \text{ PSI} = \boxed{\text{Presión de Caudal de Ahogo}} \text{ PSI} \times \boxed{\text{Densidad del Fluido de Control}} \text{ LPG} \div \boxed{\text{Densidad actual del Fluido de Perforación}} \text{ LPG}$$

Presión de Circulación Final (PCF; FCP) = Presión de Caudal de Control (PSI) x Densidad del Fluido de Control ÷ Densidad del Fluido de Perforación Actual.

Fuente: Ibid., p. 87.

**Problema:** calcular la presión de circulación Final (PCF; FCP), si la Presión de cierre en tubería (SIDPP) es de 300 psi con una Presión a caudal de Control de 1000 psi, una Densidad del Lodo Actual de 12.5 lpg y una Profundidad Vertical Verdadera (TVD) de 10.000 pies

**Solución:**

Inicialmente calcular la densidad del fluido de control

$$\text{Densidad del fluido de control} = 300\text{psi} \div 0.052 \div 10.000 \text{ pies} + 12.5 \text{ lpg}$$
$$\text{Densidad del fluido de control} = 13.07 \approx 13.1 \text{ lpg}$$

Ahora con este dato se procede a calcular la presión de circulación final

$$\text{FCP} = 1000 \text{ psi} * 13.1 \div 12.5$$
$$\text{FCP} = 1048 \text{ psi}$$

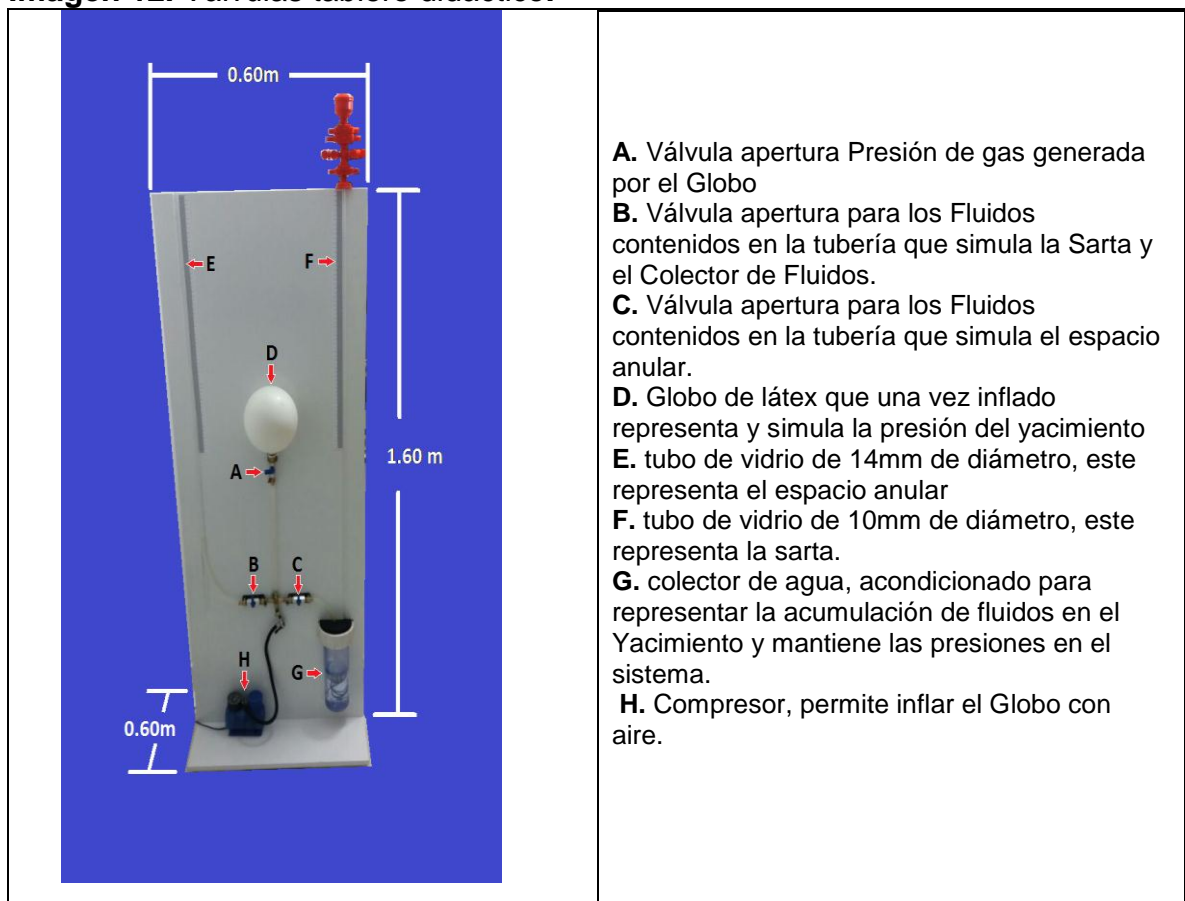
**5.1.4 Cuarto ejercicio.** Influjo bifásico (agua - gas), utilizando el tablero didáctico mostrado en la **Imagen 12**, demostrar su funcionalidad y efectividad a la hora de simular un descontrol de pozo (influjo).

Con el tablero didáctico se experimenta e ilustra uno de los mayores riesgos en la perforación. El descontrol de un pozo de petróleo (un influjo), donde para el desarrollo de este experimento se siguieron los siguientes pasos:

- Cerrar las válvulas. Cargar el sistema (tubos, colector y globo) con agua, 10 cm antes del borde superior, simulando la analogía del “tubo en U” en un pozo además inflar el globo con aire.
- Posterior a la carga del sistema se abren las válvulas B y C, para permitir el equilibrio de presiones del sistema y lograr observar el efecto del tubo en “U”, esto se puede hacer con un fluido de densidad conocida (agua) en todo el sistema, o con dos fluidos de densidades diferentes (agua y aceite).

- Con el equilibrio en el sistema se cierra la válvula B y se inicia la apertura de la válvula A, permitiendo paso a la presión generada por el Globo (inflado con aire). su funcionamiento, permite observar el desplazamiento por presión del fluido en el tubo que simula el espacio Anular
- Cuando la presión del gas (generada por el globo) es mayor que la presión hidrostática en el espacio anular, se inicia el descontrol, se puede observar la primera burbuja de gas que entra en el tubo. Se observa cómo aumenta su tamaño a medida que sube por el tubo, mientras que disminuye la presión hidrostática, en el momento en el cual la presión del yacimiento sea mucho mayor que la presión hidrostática generada por el fluido en la columna del espacio anular se presenta un influjo o patada de pozo.
- El aumento de volumen de la burbuja de gas desplaza el agua que se derrama fuera del tubo del pozo. Como la cantidad de agua en el pozo disminuye, también baja la presión hidrostática, y entra más gas en el tubo, desplazando toda el agua.

**Imagen 12.** Válvulas tablero didáctico.



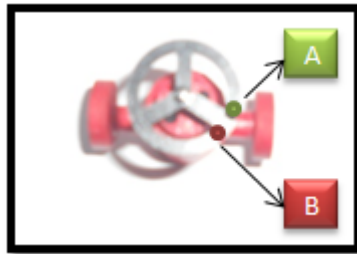
**5.1.5 Quinto ejercicio.** Manipulación del *Choke Manifold*, proponer una configuración (Armar con las piezas del múltiple del estrangulador), donde se observe la apertura y el cierre correcto de las válvulas de alivio que componen el *Choke Manifold*, con el fin de facilitar la circulación desde el conjunto del BOP bajo una presión controlada.

A continuación, se muestra el paso a paso de la conexión del BOP con el *Choke Manifold* donde se hace una breve demostración y explicación de dos procedimientos de cierre cuando se está perforando; cierre suave y cierre duro.

**5.1.5.1 Armado del *Choke Manifold*.** Para la conexión de las válvulas que componen el *Choke Manifold* se presenta la **Imagen 14**. Que ilustra su ensamble, de esta manera las personas en capacitación lo pueden realizar sin ningún inconveniente.

**Nota:** Cada válvula del *choke* tiene sobre los volantes de dirección dos puntos, uno rojo y uno verde, los cuales indican hacia donde se abre o se cierra la válvula como se muestra en la **Imagen 13**, esto va enfocado al sentido del flujo.

**Imagen 13.** Válvula de estrangulación.

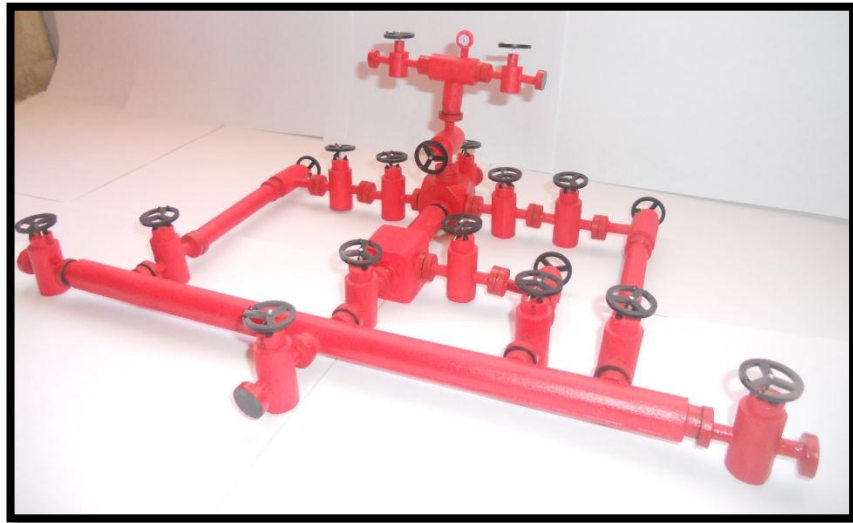


- A. Abrir.
- B. Cerrar.

Debajo de los volantes se encuentran dos puntos negros que indican el final del recorrido, a continuación, en la **Imagen 14** se puede ver observado el *Choke Manifold* armado.

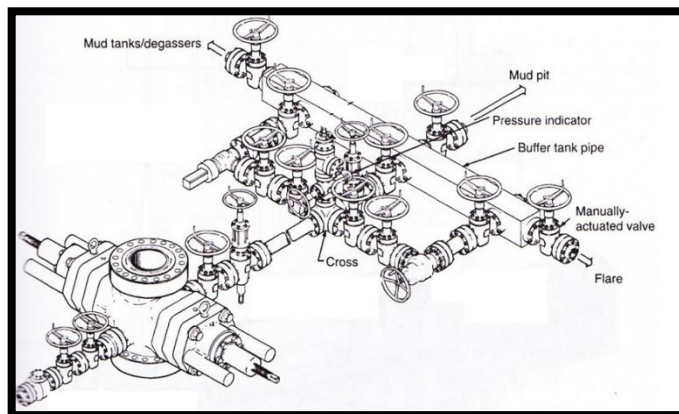


**Imagen 14.** *Choke Manifold Armado.*



**5.1.5.2 Conexión con la BOP.** Es difícil controlar las patadas de pozo mediante el método de estrangulación manual, el perforador está a menudo lejos de los medidores de presión que señalan la presión de descarga y la presión en el espacio anular entre el agujero y la tubería de perforación. Hay estranguladores accionados hidráulicamente en la industria, por control remoto desde un panel de control, con un mayor o menor grado de sofisticación, pero como ejercicio práctico se diseñó el *manifold* únicamente con válvulas manuales, a continuación, se muestra en la **Imagen 15**, la conexión de la BOP con el *Choke Manifold*.

**Imagen 15.** Conexión BOP con *Choke Manifold*.



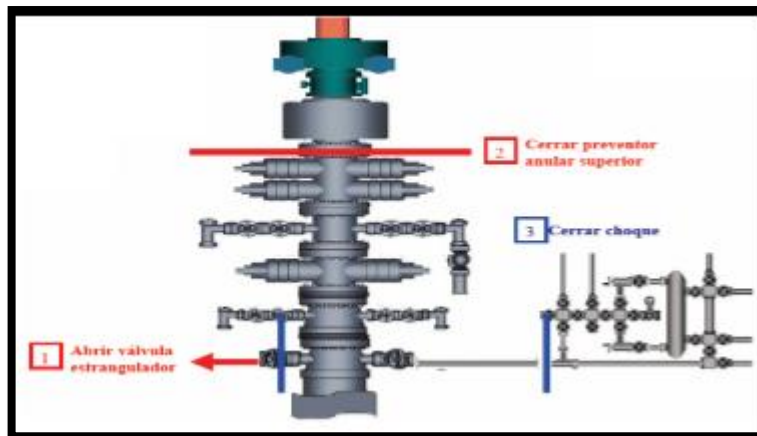
Fuente: ISSUU. Manual básico de control de pozos. {En línea}. Consultado 10 de octubre 2016. Disponible en: <[https://issuu.com/biliovirtual/docs/manual\\_control\\_de\\_pozo](https://issuu.com/biliovirtual/docs/manual_control_de_pozo)>

**5.1.5.3 Procedimientos de cierre cuando se está perforando.** A continuación, se presentan los respectivos procedimientos para la realización de los dos tipos de cierres:

- Cierre suave: Este procedimiento reduce el golpe de ariete y el efecto de presión es menor sobre el pozo y las conexiones en superficie, también permite observar la desviación del flujo. Lo que se debe hacer en este método es lo siguiente y lo principal se puede ver observado en la **Imagen 16**:

- Detener la perforación.
- Detener el bombeo de lodo.
- Abrir la válvula de estrangulación.
- Cerrar el preventor superior o preventor anular.
- Cerrar el *Choke Manifold*.
- Observar que los preventores no tengan fugas.
- Verificar la presión de los acumuladores.

**Imagen 16.** Procedimiento de cierre suave al estar perforando.

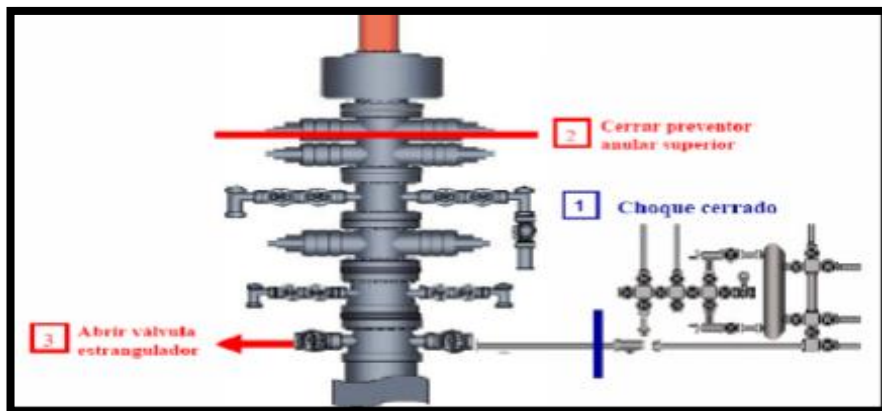


Fuente: ISSUU. Manual básico de control de pozos. {En línea}. Consultado octubre 2016. Disponible en: <[https://issuu.com/biliovirtual/docs/manual\\_control\\_de\\_pozo](https://issuu.com/biliovirtual/docs/manual_control_de_pozo)>

- Cierre duro: Este procedimiento es preferido porque es más rápido, se previene mayor entrada de influjo. Lo que se debe hacer en este método es lo siguiente y lo principal se puede ver observado en la **Imagen 17**:

- Detener la perforación.
- Detener el bombeo de lodo.
- El *Choke Manifold* se encuentra cerrado.
- Cerrar el preventor superior o preventor anular.
- Abrir la válvula de estrangulación.
- Verificar que el pozo este cerrado.
- Verificar la presión de los acumuladores.

**Imagen 17.** Procedimiento de cierre duro al estar perforando.



Fuente: ISSUU. Manual básico de control de pozos. {En línea}. Consultado octubre 2016. Disponible en: <[https://issuu.com/biliovirtual/docs/manual\\_control\\_de\\_pozo](https://issuu.com/biliovirtual/docs/manual_control_de_pozo)>

**5.1.6 Sexto ejercicio.** Control de Influjo bifásico (agua - gas), utilizando la metodología del método del perforador en el tablero didáctico, ver la **Imagen 12**, demostrar la funcionalidad y efectividad a la hora de simular el control de pozo por influjo.

Con el tablero didáctico se experimenta e ilustra uno de los mayores retos en un pozo petrolífero, controlar el influjo de gas en un pozo de petróleo, donde para el desarrollo de este experimento se intentó seguir los pasos propuestos en el método del perforador aclarando que su funcionalidad está limitada ya que en el modelo no se pueden tomar datos de presión. El procedimiento sugerido es el siguiente:

- Cerrar las válvulas, cargar el tubo que simula el espacio anular con un fluido de mayor densidad al utilizado en el primer ejercicio presentado en este capítulo (30 cm antes del borde superior), además inflar el globo con aire.
- Posterior a la carga del sistema se abren las válvulas B y C, para observar el desequilibrio de presiones en el sistema y lograr observar el efecto del tubo en “U” ahora con dos fluidos de densidad diferente.
- Seguido se cierra la válvula B y se inicia la apertura de la válvula A, permitiendo paso a la presión generada por el Globo (inflado con aire). su funcionamiento, permite observar el desplazamiento por presión del fluido en el tubo que simula el espacio Anular
- Cuando la presión del gas (generada por el globo) inicie su recorrido, se pondrá un corcho de silicona al anular simulando el control que brinda el sistema de preventoras (BOP).
- Con el corcho de silicona controlando la presión del sistema, tomamos una aguja hipodérmica la introducimos en el corcho de silicona y de forma pausada se empieza a controlar la salida de la presión (influjo) generado por el globo.
- Con la ayuda de una jeringa se inicia la inyección del fluido de control hasta lograr controlar el desbalance de presiones.
- En este momento se logra controlar el pozo con el fluido de control pertinente a un fluido de mayor densidad a la del agua, y aplicando la metodología presente en el método del perforador.

**5.1.7 Séptimo ejercicio.** Control de Influjo bifásico (Agua - Gas), utilizando la metodología del método espere y densifique en el tablero didáctico, ver **Imagen 12**, demostrar la funcionalidad y efectividad a la hora de simular el control de pozo por influjo.

Con el tablero didáctico se experimenta e ilustra uno de los mayores retos en un pozo petrolífero, controlar el influjo de gas en un pozo de petróleo, donde para el desarrollo de este experimento se intentó seguir los pasos propuestos en el método espere y densifique aclarando que su funcionalidad está limitada ya que en el modelo no se pueden tomar datos de presión tan solo se pueden simular. El procedimiento sugerido es el siguiente:

- Cerrar las válvulas luego de haber verificado un posible influjo o sobre presión en el sistema. Mostrar en los manómetros didácticos las posibles presiones iniciales en el pozo para este caso la presión de cierre de la tubería de

perforación (SIDPP) es de 520 psi, la presión del espacio anular o *casing* (SICP) es de 820 psi. Con cero *strokes* en las bombas.

- El primer cálculo a realizar es el de la densidad del lodo de control.
- Iniciamos el aumento de *strokes* secuencialmente hasta llegar al régimen de control normalmente 24 *strokes* por minuto. Mientras va aumentando modificamos la presión de la tubería de perforación (SIDPP) simulando el aumento de presión hasta 1290 psi debido al aumento de *strokes* de las bombas y mantenemos la presión de la tubería de revestimiento (SICP) de manera constante si esta última presión varia puede ocasionar bien sea otro influjo o lo más indeseado una fractura de la formación.
- Preparar un nuevo fluido (de otro color y mayor densidad) para intercambiarlo por el existente en el espacio anular.
- Se densifica y se cambia el fluido de perforación antes de iniciar la apertura (inyectando algún colorante de diferente color al del fluido actual).
- Con ayuda de la aguja hipodérmica y la jeringa controlamos el nivel de fluido para observar un control de arremetida correcto y modificamos la presión de la tubería de perforación hasta 832 psi ya que en este momento se logra cambiar el fluido de perforación por fluido de control.
- Ahora se procede a circular el influjo y se abre paso mediante la válvula A.
- Cuando la presión del gas (generada por el globo) inicie su recorrido, se pondrá un corcho de silicona al anular simulando el control que brinda el sistema de preventoras (BOP).
- Con el corcho de silicona controlando la presión del sistema, tomamos la aguja hipodérmica la introducimos en el corcho de silicona y de forma pausada se empieza a controlar la salida de la presión (influjo) generado por el globo. En este momento se logra controlar el pozo con el fluido de control pertinente a un fluido de mayor densidad a la del agua, y aplicando la metodología presente en el método espere y densifique.

## 5.2 RESULTADO DE LOS EJERCICIOS

Los ejercicios fueron implementados en el primer nivel de conocimientos del programa *WellSharp* para el control de pozos, a 16 personas que se encontraban tomando el respectivo curso. En el **Cuadro 19** se muestran el resultado de la realización de los ejercicios.

**Cuadro 19.** Resultados de los ejercicios implementados.

Ejercicio realizado	Personas que realizan la capacitación	Resultados	
		Aprobó	No Aprobó
EJERCICIO 5.1.3 (dentro de este se encuentra el ejercicio 5.1.1 y 5.1.2)	8 Ingenieros de petróleos junior, 3 Ingenieros de petróleos con énfasis en perforación, 2 Cuñeros, 2 Ingenieros de registros eléctricos, 1 <i>Tool pusher</i> .	14	2
EJERCICIO 5.1.4		16	0
EJERCICIO 5.1.5		15	1
EJERCICIO 5.1.6		14	2
EJERCICIO 5.1.7		13	3

De este cuadro se puede concluir que:

- El ejercicio 5.1.3 de las 16 personas que realizaron el 87% (14 personas) lo supieron realizar y no lo supieron realizar el 13% (2 personas).
- El ejercicio 5.1.4 lo realizaron el 100% (16 personas).
- El ejercicio 5.1.5 de las 16 personas que realizaron el 94% (15 personas) lo supieron realizar y solo un 6% (1 persona) no lo pudo realizar.
- El ejercicio 5.1.6 de las 16 personas que realizaron el 87% (14 personas) lo supieron realizar y no lo supieron realizar el 13% (2 personas).
- El ejercicio 5.1.7 lo realizaron el que realizaron el 82% (13 personas) lo supieron realizar y no lo supieron realizar el 18% (3 personas).
- Promediando los resultados obtenidos en la calificación el 87% (14 personas) obtuvieron un buen resultado en las pruebas que se les hizo, el 13% (2 personas) tuvieron malos resultados por falta de manejo de las ecuaciones. En el **Anexo A** se muestra avalada la implementación del modelo por la empresa IHCA STATUS Ltda.

## 6. ANALISIS FINANCIERO

La empresa IHCA STATUS LTDA., dentro de sus líneas, ofrece a personal de la industria petrolera un curso de capacitación enfocado al control de pozo, en el desarrollo del mismo, no se dispone de material didáctico. Por tal razón el proyecto está enfocado en reforzar el programa mediante la implementación de un prototipo didáctico que fortalecerá la capacitación del personal, brindando la ayuda necesaria para que los conocimientos adquiridos teóricamente se afiancen mediante la práctica.

El análisis financiero se realiza desde el punto de vista de una compañía de servicios aplicando la metodología del valor presente neto (VPN), en la cual se tiene en cuenta como unidad monetaria de valor corriente el peso colombiano (COP), donde el horizonte y alcance del proyecto está definido en un lapso de tiempo de cuatro años contados en periodos anuales, la tasa interna de oportunidad (TIO) es del quince por ciento efectivo anual (15% EA). Con base en esta información se evaluarán dos escenarios diferentes, en el primer escenario se describen los costos operativos y de mantenimiento del simulador virtual DrillSIM-20, actualmente implementado en la empresa, y en el segundo escenario se describen los costos operativos, de implementación y mantenimiento del modelo didáctico desarrollado en el presente proyecto. Con esta comparación se busca establecer la mejor opción financiera de implementación.

### 6.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión, llamados también costos pre-operativos, corresponden a aquellos que se incurren en la adquisición de los activos necesarios para poner el proyecto en funcionamiento, son todos aquellos costos que se dan desde la concepción de la idea que da origen al proyecto hasta poco antes de la producción del primer producto o servicio.

En este proyecto los costos de inversión corresponden a los recursos necesarios para poner en marcha la implementación del modelo didáctico en la empresa IHCA STATUS LTDA. A continuación, se presentan los escenarios pertinentes al análisis financiero de este proyecto:

- Escenario 1: Simulador virtual DrillSIM-20. Para este escenario la empresa no requiere hacer una inversión debido a que ya cuenta con el simulador.
- Escenario 2: Modelo didáctico, los recursos necesarios incluyen: fabricación, materias primas, personal administrativo, de servicios e imprevistos. La inversión inicial para la puesta en marcha del modelo se muestra en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.** Costos de fabricación del modelo didáctico.

Materiales	Pesos colombianos (COP)
Abrazaderas x 6 unidades	\$6.000
Caucho espuma x 30 cm	\$50.000
Colector porta filtro LUISE	\$250.000
Diseño modelo en SketchUp	\$300.000
Fibra de vidrio x 20 cm	\$20.000
Globos x 12 unidades	\$15.000
Imanes x 24 unidades	\$10.000
Impresión 3D	\$250.000
Madera x 1metro	\$60.000
Mano de obra	\$500.000
Manguera de silicona x 1metro	\$45.000
Proceso de alistamiento y Pintura	\$38.000
Silicona líquida x 3 tubos	\$90.000
Tornillos x 12 unidades	\$12.000
Tubos en vidrio x 2 unidades	\$2.000
Transportes e improvisos	\$320.000
Válvulas x 3 unidades	\$32.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$2'000.000</b>

Fuente: INDUSTRIAS ASOCIADAS S.A.S., UNIVERSAL DE CAUCHOS HURTADO S.A.S., PIÑATERIA DIEX., ALMACEN MLTRACORES., RODA QUIMICOS LTDA., HOME CENTER., TALLER DE PINTURA FELIX.

En la **Tabla 10** se puede observar los costos de inversión del modelo didáctico.

**Tabla 10.** Costos inversión del modelo didáctico.

Costos de inversión	
Periodo	COP
0	\$ 2.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2.000.000</b>

Fuente: INDUSTRIAS ASOCIADAS S.A.S., UNIVERSAL DE CAUCHOS HURTADO S.A.S., PIÑATERIA DIEX., ALMACEN MLTRACORES., RODA QUIMICOS LTDA., HOME CENTER., TALLER DE PINTURA FELIX.



## 6.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN

“Los costos operativos son todos aquellos que se dan desde la puesta en marcha del proyecto y se incurren periódicamente o aquellos que fluctúan en forma directa con la variación de los niveles de actividad. Aquí se tienen los siguientes: costos de producción (sueldos y salarios del personal, insumos, etc.), gastos de mercadotecnia, gastos administrativos y generales, gastos de la gerencia del proyecto, gastos financieros, impuestos, entre otros. Un componente muy importante de estos costos son los costos de mantenimiento que requieren los bienes de capital.

A diferencia de los costos de inversión que se dan una sola vez (salvo los costos de reposición), los costos operativos son periódicos. Su frecuencia es relativamente alta (semanal, quincenal, mensual).”

**6.2.1 Indicador financiero.** El presente proyecto utiliza el Índice de Precios al Consumidor (IPC), el cual mide la evolución del costo promedio de una canasta de bienes y servicios representativa del consumo final de los hogares, expresado en relación con un período base. La variación porcentual del IPC entre dos periodos de tiempo representa la inflación observada en dicho lapso, y por medio este se realizarán proyecciones de costos operacionales y viene definido para los años del 2016 al 2019 como se muestra en la **Tabla 11**.

**Tabla 11.** IPC del 2016 – 2019

Año	IPC (%)
1	3.63
2	3.48
3	3.33
4	3.19

Fuente: Proyecciones de indicadores marco económico entidad bancaria Bancolombia. Disponible en: <http://investigaciones.bancolombia.com/inveconomicas/Indicadores/home.aspx?C=B>. Consultado el 22 de noviembre del 2016.

A continuación, se realiza una descripción de los costos operativos en los que incurriría la empresa para el desarrollo del proyecto.

Escenario 1: Simulador virtual DrillsIM-20.

- Para el desarrollo del proyecto se necesitará: recurso humano que para este caso es un instructor, con profesión ingeniero de petróleos y que tenga un enfoque en operaciones de control de pozo. El cual tiene un salario de \$100.000 por hora laborada **Ecuación 7**.

**Ecuación 7.** Pesos pagos por hora Instructor Ingeniero de Petróleo

$$\frac{\$}{\text{año}} = \frac{100.000}{1h} * \frac{6h}{1\text{ dia}} * \frac{5\text{ dias}}{1\text{ semana}} * \frac{4\text{ semanas}}{1\text{ año}} = 12.000.000$$

Fuente: Empresa IHCA STATUS Ltda.

También se necesitará renovar la licencia del simulador cada año lo cual tiene y por último se realizará un mantenimiento del equipo anual, debido a que el simulador se compone de un computador y una serie de tres monitores.

Estos datos son proporcionados por la empresa para el desarrollo del proyecto en el año 2016, como se muestra en la **Tabla 12**.

**Tabla 12.** Costos de operación para el simulador virtual DrillSIM-20.

Costos anuales de operación	
Concepto	Peso colombiano (COP)
Recurso humano	\$ 12.000.000
Mantenimiento	\$ 1.500.000
Licencia	\$ 3.000.000
Total	\$ 16.500.000

Fuente: Empresa IHCA STATUS Ltda.

Para realizar la proyección de los costos de operación del año 2017 al 2019 se utilizó el índice de precios al consumidor, dando como resultado los datos mostrados en la **Tabla 13** y en la **Tabla 15**.

**Tabla 13.** Costos de operación para el simulador virtual DrillSIM-20.

Costos de operación	
Periodo (Años)	Peso colombiano (COP)
1	\$ 16.500.000
2	\$ 17.098.950
3	\$ 17.693.993
4	\$ 18.283.203

Escenario 2: Modelo didáctico.

- Para el desarrollo del proyecto se necesitará: recurso humano que para este caso es un instructor, con profesión de ingeniero de petróleos y que tenga un enfoque en operaciones de control de pozo. El cual tiene un salario de \$100.000 por hora laborada ver **Ecuación 7**.

Por último, se realizará un mantenimiento del equipo anual, debido a que el modelo se compone de materiales que con los años se pueden ver deteriorados, y requiere un cambio o reparación, para el caso del *Choke manifold* y el tablero didáctico, como se puede observar en la **Tabla 15**.

Estos datos son proporcionados por la empresa para el desarrollo del proyecto en el año 2016, como se muestra en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Costos de operación para el modelo didáctico.

Costos anuales de operación	
Concepto	Peso colombiano (COP)
Recurso humano	\$ 12.000.000
Mantenimiento	\$ 150.000
Total	\$ 12.150.000

Fuente: Empresa IHCA STATUS Ltda.

**Tabla 15.** Costos de operación para el modelo didáctico.

Costos de operación	
Periodo (Años)	Peso colombiano (COP)
1	\$ 12.150.000
2	\$ 12.591.045
3	\$ 13.029.213
4	\$ 13.463.086

### 6.3 EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera de proyectos está destinada a observar los factores involucrados en llevar a cabo un proyecto. Sin ella, una entidad comercial no tiene la información necesaria para tomar una decisión fundada sobre los alcances y riesgos de un proyecto.

6.3.1 Valor Presente Neto (VPN). Representa la diferencia entre el valor de los ingresos y el de los egresos calculados en el flujo de caja, teniendo en cuenta la tasa de interés de oportunidad y sirve para tomar decisiones sobre alternativas de inversión. En la **Ecuación 8** se muestra la fórmula para el desarrollo del VPN.

**Ecuación 8.** Valor Presente Neto (VPN).

$$VPN(TIO) = -I \pm \frac{FN \text{ año } 1}{1 + TIO} \pm \frac{FN \text{ año } 2}{(1 + TIO)^2} \pm \frac{FN \text{ año } 3}{(1 + TIO)^3} \pm \frac{FN \text{ año } 4}{(1 + TIO)^4} \pm \frac{FN \text{ año } 5}{(1 + TIO)^5} \pm \dots \pm \frac{FN \text{ año } n}{(1 + TIO)^n}$$

Fuente: INGENIERIA ECONOMICA, Guillermo Bacca, 8 ed., pág. 197.

Dónde:

*I*: Inversión inicial

*FN*: Flujo neto

*TIO*: Tasa de Interés de Oportunidad

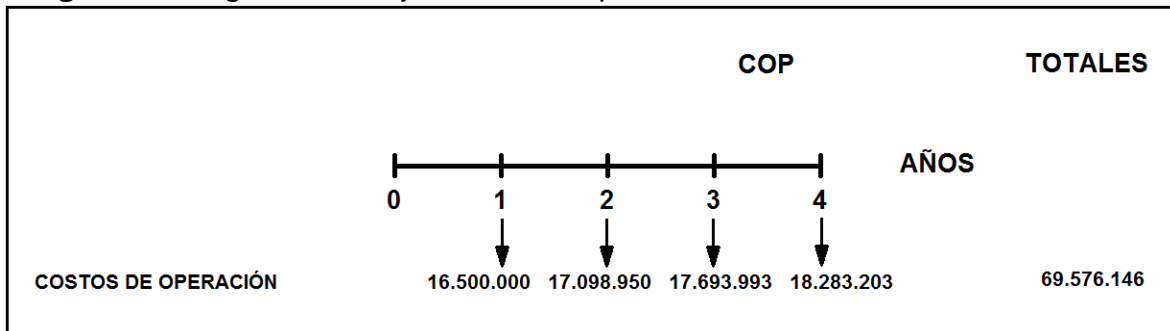
La interpretación de la metodología del valor presente neto (VPN), se refiere a pesos colombianos (COP) de hoy cuánto cuesta realizar el proyecto.

**6.3.2 Tasa de Interés de Oportunidad (TIO).** Es un concepto que varía dependiendo del inversionista, y se define como la tasa de interés mínima que se desea obtener, demuestra el interés o rendimiento que obtiene el proyecto frente a otras actividades con igual riesgo. Para la empresa IHCA STATUS Ltda., la Tasa de interés de oportunidad (TIO) es igual al 15% por periodo anual.

**6.3.3. Flujo de efectivo.** Se refiere al estado de ingresos y egresos de efectivo, estados de fuentes y usos de efectivo, sirve para establecer las entradas y salidas de efectivo que ha tenido o puede tener una compañía en el futuro, y se considera una herramienta de vital importancia dentro de la planificación financiera a corto plazo.

Escenario 1: En la **Imagen 18** se presenta el diagrama de flujo efectivo para el simulador virtual DrillsIM-20.

**Imagen 18.** Diagrama de flujo de efectivo para el simulador virtual DrillsIM-20.



$$VPN(0.15) = - \left( \frac{16.500.000}{1+0.15} \right) - \left( \frac{17.098.950}{(1+0.15)^2} \right) - \left( \frac{17.693.993}{(1+0.15)^3} \right) - \left( \frac{18.283.203}{(1+0.15)^4} \right)$$

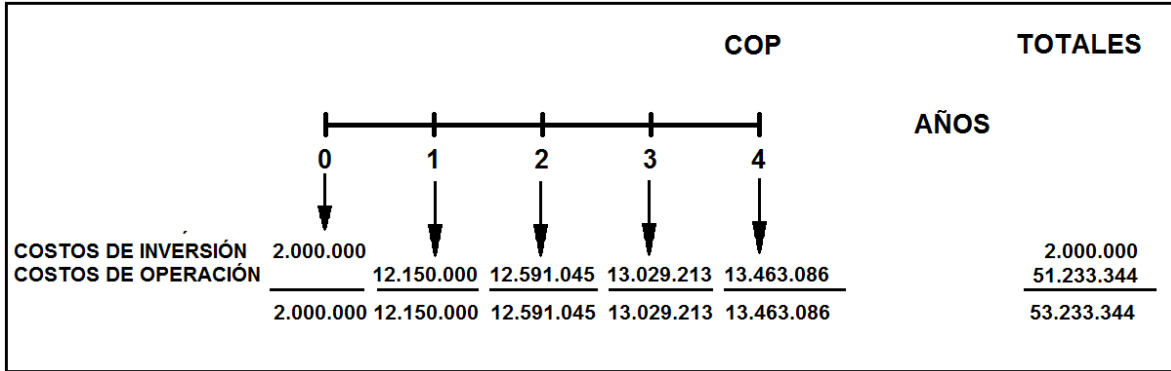
$$VPN(0.15) = - \left( \frac{16.500.000}{1.15} \right) - \left( \frac{17.098.950}{1.3225} \right) - \left( \frac{17.693.993}{1.5209} \right) - \left( \frac{18.283.203}{1.7490} \right)$$

$$VPN(0.15) = -14.347.826 - 12.929.263 - 11.634.088 - 10.453.481$$

$$VPN(0.15) = -49.364.658$$

Escenario 2: En la **Imagen 19** se presenta el diagrama de flujo de efectivo para el modelo didáctico.

**Imagen 19.** Diagrama de flujo de efectivo para el modelo didáctico.



$$VPN(0.15) = -2.000.000 - \left(\frac{12.150.000}{1+0.15}\right) - \left(\frac{12.591.045}{(1+0.15)^2}\right) - \left(\frac{13.029.213}{(1+0.15)^3}\right) - \left(\frac{13.463.086}{(1+0.15)^4}\right)$$

$$VPN(0.15) = -2.000.000 - \left(\frac{12.150.000}{1.15}\right) - \left(\frac{12.591.045}{1.3225}\right) - \left(\frac{13.029.213}{1.5209}\right) - \left(\frac{13.463.086}{1.7490}\right)$$

$$VPN(0.15) = -2.000.000 - 10.565.217 - 9.520.639 - 8.566.919 - 7.697.563$$

$$VPN(0.15) = -38.350.338$$

#### 6.4 CONCLUSIÓN DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

Desde el punto de vista financiero la mejor opción para la compañía es utilizar el modelo didáctico en los próximos cuatro años debido a que esto representaría un ahorro en los costos del 22.31% (COP \$11'014.320), frente al simulador virtual DrillSIM-20, originados en la disminución de costos de mantenimiento y licencias.

## 7. CONCLUSIONES

- Se establece que el IADC en su nueva certificación *WellSharp* y en los objetivos planteados para el mismo, tiene un enfoque teórico / práctico que crea la necesidad de un nuevo material que puede ser adecuado para complementar el nivel de conocimientos en el curso de control de pozo.
- Según el análisis de resultados obtenido a través de la encuesta a 220 personas y la información suministrada por la empresa (ver Capítulo 2 pág. 39), se evidencia la falta de material con un 95.45%, que corresponde a 210 personas que toman el curso y consideran que no hay material para apoyar la parte teórica del curso, por lo que se hace indispensable la implementación de un modelo encargado de afianzar los conceptos, temáticas y los conocimientos.
- El diseño del modelo a partir del programa SketchUp tardó más de 40 horas, debido al poco conocimiento que se tenía en el manejo del mismo, por esta razón se atrasó el avance y la impresión de las preventoras didácticas incluidas en el proyecto.
- Durante la construcción se presentaron problemas de diseño y ensamble (generadas por la hermeticidad, corte y acople de las partes del modelo), debido a la elección incorrecta de materiales generado por falta de experiencia con los mismos.
- Al finalizar la construcción del modelo didáctico se logró simular una serie de cinco ejercicios, que fueron un aporte porque hubo interacción y pudieron llevar a la práctica lo que se vio en teoría. significativo para el personal en capacitación del primer nivel de conocimientos dispuesto en el programa *WellSharp* del IADC.
- En la implementación se realizó una prueba con cinco ejercicios propuestos por persona, del resultado se obtuvieron los siguientes porcentajes: el 87% equivalente a 14 de las 16 personas que participaron en la prueba aprobaron todos los ejercicios, y un 13% equivalente a 2 personas que no aprobaron la prueba, con base en lo anterior se evidencia que el modelo fue útil en la capacitación del personal.
- Con el análisis financiero se avala el proyecto para los próximos cuatro años debido a que esto representaría un ahorro en los costos del 22.31% que se ven reflejados en COP \$11´014.320 en cuanto inversión, mantenimiento.

## 8. RECOMENDACIONES

- Realizar un material para cada nivel del *WellSharp* siempre y cuando la empresa requiera de este para los demás niveles.
- Realizar un proyecto para el control de pozo en operaciones de cementación, producción.
- Complementar o modificar el modelo didáctico incluyendo dentro de su funcionamiento medidores de presión automáticos, con los cuales se logren percibir las magnitudes que genera un cambio brusco de presión.
- Hacer el diseño de un modelo didáctico que sea implementado en los demás niveles de capacitación.
- Elaborar un modelo en el cual su diseño destaque las cualidades de un pozo horizontal o desviado.

## BIBLIOGRAFÍA

BACCA CURREA, Guillermo. Ingeniería económica. 8 Ed. Bogotá D.C. Fondo Educativo Panamericano. 2000.

BANCOLOMBIA. Proyecciones de indicadores marco económico Bancolombia. {En línea}. {Consultado en noviembre del 2016}. Disponible en: <<http://investigaciones.bancolombia.com/inveconomicas/Inicadores/home.aspx?C=B>>

CHOKER MANIFOLD. {En línea}. {Consultado en Julio del 2016}. Disponible en: <<https://prezi.com/bo-zh7rvyaxy/choke-ajustable-choke-fijo/>>

CONTROL DE POZOS. {En línea}. {Consultado en junio del 2016}. Disponible en: <<http://es.slideshare.net/AAG1992/well-control-25553354>>

GRABCAD. Diseño del *choke manifold*. {En línea}. {Consultado en agosto del 2016}. Disponible en: <<https://grabcad.com/library/choke-manifold-2>>

GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 45. Bogotá D.C. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. 2011.

IADC. Objetivos del WellSharp. {En línea}. {Consultado en mayo del 2016}. Disponible en: <<http://www.iadc.org/safety-alerts/>>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC, Norma Técnica Colombiana - NTC 1486. Sexta actualización. 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC, Referencias bibliográficas, contenido, formas y estructura- NTC 5613. 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC, Referencias documentales para fuentes de información electrónica - NTC 4490. 1998.

ISSUU. Manual básico de control de pozos. {En línea}. {Consultado febrero 2016}. Disponible en: <[https://issuu.com/biliovirtual/docs/manual\\_control\\_de\\_pozo](https://issuu.com/biliovirtual/docs/manual_control_de_pozo)>

MONOGRAFIAS.COM. Análisis de datos de una encuesta. {En línea}. {Consultado en Junio del 2016}. Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos105/falta-materiales-didacticos-practica-campo-materia-topografia/falta-materiales-didacticos-practica-campo-materia-topografia.shtml>>



PRUEBA DE WELL CONTROL. {En línea}. {Consultado en junio del 2016}. Disponible en: <<http://fundaecuador.com/Cursos2016/J-CURSO%20WELL%20CONTROL.pdf>>

PRUEBAS DEL WELLSHARP. {En línea}. {Consultado en junio del 2016}. Disponible en: <<https://es.scribd.com/doc/139284446/Well-Control-Examen>>

REVISTA PETROQUÍMICA. Petróleo, gas, química, & energía. Falta de recursos humanos capacitados es un problema. {En línea}. {Consultado febrero 2016}. Disponible en: <<http://revistapetroquimica.com/la-falta-de-recursos-humanos-capacitados-es-un-problema-de-dificil-solucion/>>

REVISTA PETROQUÍMICA. Petróleo, gas, química, & energía. Satisfacer la formación de personal técnico una prioridad en el sector petrolero, ante la creciente demanda de recursos humanos calificados. {En línea}. {Consultado febrero 2016}. Disponible en: <<http://revistapetroquimica.com/promueven-la-formacion-de-personal-tecnico-en-el-sector/>>

SAFEKICK EMPOWERED SOLUTIONS. Implementación de software en control de pozos. {En línea}. {Consultado febrero 2016}. Disponible en: <[http://www.safekick.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=58&Itemid=56](http://www.safekick.com/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=56)>

SCHLUMBERGER. El próximo pasó en los programas de capacitación. {En línea}. {Consultado febrero 2016}. Disponible en: <[https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield\\_review/spanish00/aut00/p30\\_41.pdf](https://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish00/aut00/p30_41.pdf)>

SPE (Society of Petroleum Engineers). The Macondo inflow test decision: implications for well control and non-technical skills training. {En línea}. {Consultado marzo 2016}. Disponible en: <<https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-173123-MS>>

TARQUIN, Anthony y BLAND, Leland. Ingeniería económica. 4 Ed. McGraw-Hill. México. 1986.

## ANEXO A CARTA DE IMPLEMENTACIÓN



Ingeniería de Hidrocarburos, Civil y Ambiental - STATUS - Ltda.

Bogotá D.C. 30 de Octubre de 2016

Señores  
COMITÉ DE PROYECTO DE GRADO  
Facultad de Ingenierías  
Programa de Ingeniería de Petróleos  
Fundación Universidad de América  
Bogotá D.C.

Respetados Señores:

En mi calidad de representante legal de la Empresa **IHCA STATUS Ltda.** comunico a ustedes que el Proyecto de Grado que lleva por título: **IMPLEMENTACION DE UN MODELO DIDÁCTICO PARA EL CURSO DE CAPACITACIÓN DE CONTROL DE POZO PARA LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL POZO**, presentado por los estudiantes: **Duván Alejandro González Camacho**, **Diego Enrique Uribe Sánchez** y con la ayuda del director de proyecto asignado: **Ing. David Ricardo Casas**, ya fue implementado en nuestras instalaciones, y estamos satisfechos con los resultados logrados por los Investigadores, en conjunto con la Universidad de América y nuestra Empresa.

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
**ING. ESTHER VARGAS CASTELLANOS**  
Gerente general

  
\_\_\_\_\_  
**ING. DAVID RICARDO CASAS**  
Director del proyecto

---

***Siempre en busca de la calidad***  
CALLE 36 No. 78A - 77 Telefax. 2637213 Celulares: 3106798276 / 3107672095  
[lhca\\_status@cable.net.co](mailto:lhca_status@cable.net.co) Bogotá D.C.

## ANEXO B METODOS DE CONTROL



régimen y evitar que el pozo se des controle. Matemáticamente se puede expresar como:  $PCI (ICP) = (SIDPP) + (KRP)$ . Si se han usado los procedimientos adecuados de bombeo y si se observa diferencias significativas entre las presiones calculadas y las que observa, se debe tomar una decisión de continuar con el régimen actual o cerrar el pozo y evaluar nuevamente.

**5. Mantener régimen de bombeo:** Una vez se ha seleccionado el régimen de bombeo para el control, no debe de ser cambiado. Si se cambia el régimen de bombeo, los cálculos de presión de circulación inicial, presión de circulación final y las presiones de control en la planilla, deben de ser cambiados.

### METODO DEL PERFORADOR

El método del perforador es una técnica que se utiliza para circular fluidos de formación fuera del pozo sin llegar a controlar el pozo. Con frecuencia se usa para eliminar influjos succionados durante la sacada de la herramienta en una maniobra. Este método es simple y directo.

Es muy importante el entendimiento de la técnica e ideas usadas en el método del perforador, por el simple hecho de que otros métodos de control de pozos, incluyen muchos de sus principios.

Sin embargo en ciertos casos el método del perforador origina presiones anulares muy altas, en comparación con otros métodos y se requiere de mucho más tiempo para controlar el pozo. Este método es ideal para aplicar en las maniobras. Una vez se regresa al fondo del pozo el fluido del anular es circulado y retirado el influjo.

Se usa también, en situaciones, donde no se necesita tener preparado el lodo de control

o en su caso que no se dispone del material para densificar. Finalmente se usa para eliminar influjos de gas, donde las velocidades de migración altas pueden ocasionar problemas de cierre. Se puede utilizar, también en casos donde se tiene limitaciones con la experiencia de personal y suministro de equipo.

Este método, sin embargo, no se comúnmente usado en zonas donde se anticipan o se esperan, pérdidas de circulación.

En el método del perforador, primero se circula o elimina el influjo. Luego, después que el pozo esta desbalanceado, reemplaza el fluido del pozo con otro fluido que debe ejercer mayor presión que el anterior contra la formación.

### EL PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO DEL PERFORADOR ES EL SIGUIENTE:

1. Pozo se cierra después de verificar el influjo
2. Registrar las presiones de cierre estabilizadas, tanto en la tubería (PCIP; SIDPP), como en el revestidor (PDCR; SICP)
3. El influjo es inmediatamente circulado fuera del pozo.
4. Después de terminar con la circulación, el pozo será cerrado por segunda vez.
5. Si es necesario, se densifica el lodo
6. Se circula por segunda vez el pozo, con lodo nuevo denso (pesado) para recuperar presión hidrostática.



## MÉTODO CONCURRENTE

El método Concurrente implica densificar el fluido presente mientras se circula. Es más complejo que otros métodos y ofrece pocas ventajas con respecto al método de Espere y Densifique, por esta razón no se lo utiliza con mucha frecuencia. Por otro lado se tienen dos o más densidades de fluido en la tubería a diferentes intervalos, dificultando la determinación de la presión de fondo.

Su principal ventaja reside en que puede comenzar la operación de control, tan pronto como se registran las presiones de cierre, o cuando se determina que puede llegar a sobrepasar la Máxima Presión Admisible en Superficie (MASP).

Para la ejecución del método concurrente se requieren mantener ciertas anotaciones y cálculos adicionales. Por que algunos cálculos se

deben realizar sobre la marcha y por esta razón el personal en operación optan por el método, ya sea Espere y densifique o del Perforador, desechando el método concurrente por ser muy complicado.

La siguiente discusión y ejemplo demuestra como la acumulación de datos y cálculos subsecuentes pueden simplificar la operación. Normalmente el mantenimiento de datos se centraliza en el panel de operación del estrangulador.

La recolección de datos necesarios es una prueba de una herramienta muy valiosa, que puede ayudar a organizar la operación de control del pozo y dar confianza en el trabajo. En suma, se puede saber que esta ocurriendo y sentir el control de la situación. Dos columnas de datos adicionales son incluidos en la tablas normales de control (Cambios de presión requeridos, junto

al cambio de peso del lodo versus cuando entra el lodo diferente a la tubería y que llega hasta la broca (trepano, mecha, bit)).

Algunos operadores requieren datos del método concurrente, aun cuando ellos entienden el uso de los métodos del Perforador y/o Espere y Densifique. En el sentido que, con los datos necesarios siempre disponibles, el método Concurrente puede ser usado, en el momento que se tenga problemas de densificar el lodo, sin necesidad de cerrar y restablecer la circulación (la pérdida de circulación o el ingreso de otro influjo, ocurre durante el inicio y cierre de la operación)- Por lo tanto en base a la ventaja potencial del método Concurrente, se recomienda mantener registros de datos adecuados, durante el proceso de circulación de cualquier influjo. Se usara una planilla de trabajo y tomaremos como guía.

### • EJEMPLO

*Nota: El procedimiento que a continuación se detalla, es para pozos verticales, donde la profundidad medida (PM; MD) es esencialmente la misma que la profundidad vertical (PV; TVD). Los procedimientos especiales, para los métodos de Espere y Densifique y Perforador, para pozos altamente desviados, se desarrollaran mas adelante. Se usaran los mismos datos de pozo y de influjo, que se utilizaron para los métodos de Espere y densifique y Perforador.*

1. El pozo fue cerrado después de verificar un influjo. Se registraron el volumen del influjo y las presiones de cierre estabilizadas de la tubería (PDTP; SIDPP) y del revestidor (PDCR; SICP), anotados luego en la planilla de trabajo. Hasta el momento se tiene disponible una serie de datos para los cálculos estándar de control de pozos.

$$\begin{aligned} \text{Lodo de control (LDC; KMW)}_{\text{mca}} &= \frac{(\text{PCTP; SIDPP})_{\text{mca}}}{\text{PV (TVD)}_{\text{mca}}} / 0,052 + \text{PESO LODO ACTUAL (PLA; OMW)}_{\text{mca}} \\ &= (520 / 10.000 / 0,052) + 12,5 \\ &= 13,5 \text{ PPG} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lodo de control (LDC; KMW)}_{\text{mca}} &= \frac{(\text{PCTP; SIDPP})_{\text{mca}}}{\text{PV (TVD)}_{\text{mca}}} / 0,000981 + \text{Peso lodo actual (PLA; OMW)}_{\text{mca}} \\ &= (35,85 / 3048 / 0,000981) + 1498 \\ &= 1618 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$



## MÉTODO ESPERAR Y DENSIFICAR

El Método esperar y densificar es un resumen de los diferentes métodos de presión de fondo constante. Este método desplaza al influjo en el menor tiempo y mantiene la presión en el pozo y superficie mas bajo que cualquier otro método de presión de fondo constante.

Requiere buena disponibilidad de equipos para la mezcla y densificación de lodo de control, turno completo y una supervisión adicional, para llevar adelante la operación. Todas las facilidades están disponibles en operaciones marinas y en pozos profundos o donde se espera presiones de formación anormales. Para algunas compañías este es el método preferido para controlar un pozo.

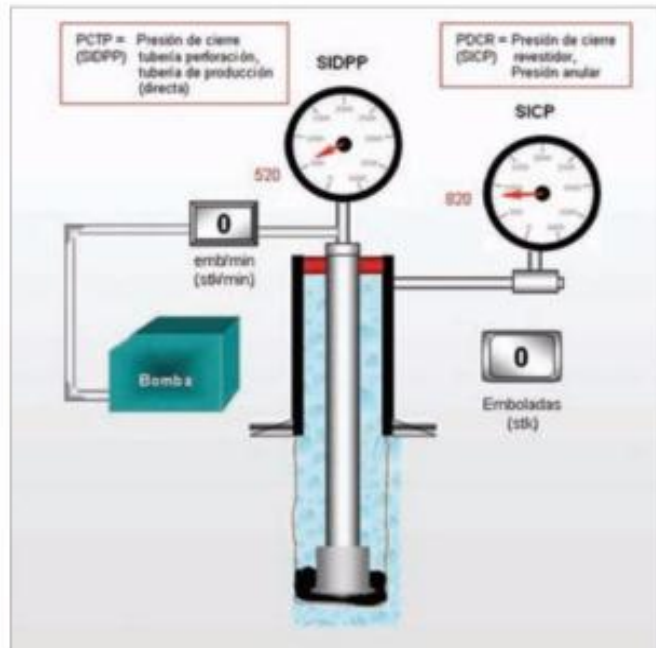
En el método de espere y densifique, el pozo se cierra luego de haberse registrado un influjo.

Se registran las presiones estabilizadas y el volumen de la surgencia. Se densifica el fluido antes de comenzar la circulación (espere y densifique). Luego se circula el fluido por el pozo, manteniendo las presiones y la densidad correctas mientras dura el control del pozo.

En la práctica, es casi imposible controlar un pozo con una sola circulación, porque el fluido no se desplaza de manera eficiente por el espacio anular. Esto sucede con todos los métodos de control.

### EL PROCEDIMIENTO DEL MÉTODO DE ESPERAR Y DENSIFICAR ES EL SIGUIENTE:

1. Pozo se cierra después de verificar el in-



• MANTENER LA PRESIÓN EN EL REVESTIDOR CONSTANTE, AL ALINEAR LA BOMBA

flujo

2. Registrar las presiones de cierre estabilizadas, tanto en la tubería (PCTP; SIDPP), como en el revestidor (PDCR; SICP)

3. Preparar tanques con lodo, esperando el cálculo del nuevo peso


4. Una vez es densificado el lodo en las pilatas, se inicia la circulación

5. Se monitorea en base a la tabla de pre-

siones preparada, la circulación del lodo, en el pozo.

### • EJEMPLO

Se cierra el pozo luego de verificar un influjo y se registran la PCTP (SIDPP), PDCR (SICP) y el volumen del influjo. Usar los datos de pozo de la página 4 y la siguiente información, para desarrollar, el método de espere y densifique (pese).


 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

#### AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES


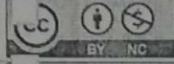
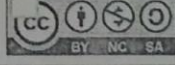
Nosotros Duván Alejandro González Camacho y Diego Enrique Uribe Sánchez en calidad de titulares de la obra **Implementación de un modelo didáctico para el curso de capacitación de control de pozo para las operaciones de perforación y acondicionamiento del pozo**, elaborada en el año 2016, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la *licencia Creative Commons* que se señala a continuación:

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	X
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	

Licencias completas: [http://cc.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://cc.creativecommons.org/?page_id=13)

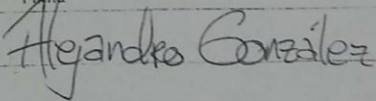
Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	
Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicará (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los dos días del mes de Marzo del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1	
Nombres	Apellidos
Duván Alejandro	González Camacho
Documento de identificación No	Firma
1033717995 de Bogotá	
Autor 2	
Nombres	Apellidos
Diego Enrique	Uribe Sánchez
Documento de identificación No	Firma
1010209906 de Bogotá	