



**GUÍA GENERAL DE ENTRENAMIENTO PARA INGENIEROS RECIÉN  
EGRESADOS O ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN PRÁCTICA EN LA LÍNEA  
DE COMPLETAMIENTO DE POZOS DE UNA COMPAÑÍA DE SERVICIOS  
BAJO LOS LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO Y  
MANEJO AMBIENTAL**

**SILVIA JULIANA ROMERO QUINTERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2018**



**GUÍA GENERAL DE ENTRENAMIENTO PARA INGENIEROS RECIÉN  
EGRESADOS O ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN PRÁCTICA EN LA LÍNEA  
DE COMPLETAMIENTO DE POZOS DE UNA COMPAÑÍA DE SERVICIOS  
BAJO LOS LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO Y  
MANEJO AMBIENTAL**

**SILVIA JULIANA ROMERO QUINTERO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
INGENIERA DE PETRÓLEOS**

**DIRECTORA**

**KATHY MARGARITA DAZA BROCHERO  
M.Sc. Gestión en La Industria de los Hidrocarburos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2018**

## DEDICATORIA

*A Dios por todos mis logros obtenidos, por guiarme y darme las herramientas para llegar a mis metas.*

*A mi madre, Carmen Cecilia por todo su esfuerzo, por creer en mí y apoyarme incondicionalmente.*

*A mi padre, Luis Ernesto por todos sus consejos.*

*A mis hermanas, Yury y Heidy por su cariño y apoyo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander y a los docentes de la Escuela de Ingeniería de Petróleos, quienes con su pedagogía, experiencia y conocimientos han formado profesionales competentes.

A mi directora de proyecto, Ingeniera Kathy Margarita Daza Brochero por su acompañamiento y direccionamiento durante todo este proceso.

A mi tío, Giovanni Quintero por apoyarme y guiarme en el ámbito profesional.

A mi gran amiga, Ingeniera Lizeth Castellanos por estar en los momentos más difíciles, por ofrecerme una amistad sincera y ayudarme siempre.

A Halliburton, por darme la oportunidad de realizar mis prácticas en la compañía.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	13
1. SISTEMA DE GESTIÓN HSEQ .....	14
1.1 NORMA ISO 9001: ENFOQUE AL DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO... 14	14
1.1.1 Aspectos generales de la calidad .....	16
1.1.2 Sistema de gestión de calidad .....	16
1.2 NORMA ISO 14001: ENFOQUE AL DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO. 17	17
1.2.1 Aspectos generales ambientales .....	18
1.2.2 Sistema de gestión ambiental .....	19
1.3 NORMA ISO 45001: ENFOQUE AL DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO 19	19
1.3.1 Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo.....	21
1.3.2 Normatividad SG - SST en Colombia .....	21
2. EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVICIO .....	24
2.1 DEFINICIÓN .....	24
2.2 PREVENCIÓN .....	25
2.2.1 Prevención personal (autoprotección) .....	25
2.2.2 Prevención personal corporativa.....	28
2.3 MANEJO DE INCIDENTES DE SEGURIDAD EN OPERACIONES .....	30
3. COMPLETAMIENTO DE POZOS .....	33
3.1 INGENIERÍA DE COMPLETAMIENTO Y SERVICIO A POZO.....	33
3.1.1 Componentes del sistema de producción de petróleo .....	34
3.1.2 Factores que afectan la selección del tipo de completamiento .....	35
3.1.3 Configuraciones de completamiento.....	38
3.2 TIPOS DE OPERACIONES.....	47
3.2.1 Operaciones de perforación.....	47
3.2.2 Registro en hueco abierto .....	48
3.2.3 Cementación.....	50
3.2.4 Operaciones de registro y cañoneo .....	53

3.2.5 Registro en hueco revestido .....	54
3.2.6 Cañoneo .....	55
3.3 ESTIMULACIONES DE POZO .....	55
3.3.1 Fracturamiento hidráulico.....	56
3.3.2 Acidificaciones .....	57
3.3.3 Recañoneo.....	58
3.3.4 Control de arena .....	58
3.4 SERVICIOS A POZOS Y WORKOVER .....	58
3.4.1 Operaciones de mantenimiento .....	59
3.4.2 Operaciones de workover .....	59
3.4.3 Operaciones de wireline y slickline .....	60
3.4.4 Operaciones de coiled tubing y snubbing .....	61
3.5 EQUIPOS DE PRODUCCIÓN EN EL POZO.....	63
3.5.1 Cabezal de pozo .....	63
3.5.2 Sartas de producción .....	64
3.5.3 Equipos de fondo .....	64
3.5.4 Equipos de superficie.....	65
4. DISEÑO GUÍA DE ENTRENAMIENTO .....	68
4.1 Identificación del contenido.....	68
4.1.1 Empleo y lugar de trabajo .....	69
4.1.2 Salud, seguridad y medio ambiente.....	70
4.1.3 Completamiento.....	71
5. CONCLUSIONES .....	72
6. RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74
ANEXOS.....	76

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Fig. 1 Ejemplo de completamiento a hueco abierto	39
Fig. 2 Ejemplo de completamiento a hueco abierto con forro no cementado	41
Fig. 3 Ejemplo de completamiento a hueco abierto con forro cementado y cañoneado	42
Fig. 4 Ejemplo de completamiento a hueco abierto empacado con grava	43
Fig. 5 Ejemplo de completamiento a hueco revestido	44
Fig. 6 Ejemplo de completamiento con forro cementado y cañoneado	45
Fig. 7 Ejemplo de completamiento sencillo simple	47
Fig. 8 Ejemplo de completamiento múltiple simple	47

## ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Guía entrenamiento para empleo y lugar de trabajo .....	76
Anexo B. Guía entrenamiento para seguridad, salud y medio ambiente .....	77
Anexo C. Guía entrenamiento para línea de completamiento en campo.....	78

## RESUMEN

**TÍTULO:** GUÍA GENERAL DE ENTRENAMIENTO PARA INGENIEROS RECIÉN EGRESADOS O ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN PRÁCTICA EN LA LÍNEA DE COMPLETAMIENTO DE POZOS DE UNA COMPAÑÍA DE SERVICIOS BAJO LOS LINEAMIENTOS DE SEGURIDAD, SALUD EN EL TRABAJO Y MANEJO AMBIENTAL.<sup>1</sup>

**AUTOR:** SILVIA JULIANA ROMERO QUINTERO\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Guía, Entrenamiento, Línea de completamiento de pozos, Compañía de servicios, HSEQ.

### DESCRIPCIÓN

Las empresas proveedoras de productos y servicios en la industria del petróleo, ofrecen tecnologías innovadoras diseñadas para satisfacer las necesidades energéticas actuales de una manera segura, ética y sostenible. Estas innovaciones han proporcionado valor a los operadores ayudándoles a incrementar la producción y recuperación de recursos no renovables de manera eficiente, a través de procesos de completamiento y recobro mejorado.

En la industria de los hidrocarburos como tal, sin importar el tipo de operaciones que se vaya a implementar, todo completamiento debe cumplir con estos requisitos principales: seguridad, economía, eficiencia y confiabilidad. Por ende, el objetivo de este proyecto es desarrollar una guía de entrenamiento basada en seguridad, salud en el trabajo y manejo ambiental dirigida específicamente a los ingenieros recién egresados o estudiantes de ingeniería en práctica de empresas prestadoras del servicio en la línea de completamiento ya que la realización inadecuada de un procedimiento puede llegar a comprometer no solo la integridad del pozo y su personal, si no las metas económicas propuestas por la operadora.

Este proyecto se basa en la experiencia propia, por lo tanto, se intentará describir de manera fácil y didáctica los primeros pasos a realizar cuando recién se llega a una empresa operadora, los procesos que se llevan a cabo en el área de completamiento, los equipos y herramientas que se utilizan; una orientación real y enfocada para tener un trabajo bien hecho durante la temporada laboral contemplando las normas anteriormente mencionadas.

---

<sup>1</sup> Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela Ingeniería de Petróleos. Directora: M.Sc. Kathy Margarita Daza Brochero.

## ABSTRACT

**TITLE:** GENERAL TRAINING GUIDE FOR RECENT GRADUATE ENGINEERS OR ENGINEERING STUDENTS IN WELL COMPLETION LINE ON A SERVICES COMPANY, UNDER THE GUIDELINES FOR HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT.\*

**AUTHOR:** SILVIA JULIANA ROMERO QUINTERO\*\*

**KEY WORDS:** GUIDE, TRAINING, WELL COMPLETION LINE, SERVICES COMPANY, HSEQ.

## DESCRIPTION

Companies that supply products and services in the oil and gas industry offer innovative technologies to satisfy current energy needs in a safe, ethical and sustainable way. These innovations have provided value to operating company, helping them to improve production and recovery of non-renewable energy, through completion processes and improved recovery techniques.

In the oil and gas industry, regardless the type of operations that will be applied, all completion processes must meet these main requirements: safety, economy, efficiency and reliability. Therefore, the objective of this project is to develop a training guide based on safety, health and environmental management, oriented to recent graduated engineers or engineering students in-training on services companies – completion services line. A bad procedure can involve, not only the well integrity and its personnel, but also the economic goals proposed by the operating company.

This project is based on own experience. Therefore, it describes the first steps to be taken when arriving to an operating company, in an easy and didactic way. To know the processes that are carried out in the completion area, as well the equipment and tools that are used. This is a real and focused orientation to have well done procedures during the working season, taking into account international standards.

---

\* Grade Project.

\*\* Physical-Chemical Engineering Faculty. Petroleum Engineering School. Director: M. S.c. Kathy Margarita Daza Brochero.

## INTRODUCCIÓN

Las empresas proveedoras de productos y servicios en el sector de hidrocarburos, ofrecen suplir necesidades energéticas del momento bajo innovaciones tecnológicas que van agregando un valor significativo ayudando a las operadoras con el incremento de la producción y recuperación de recursos no renovables de manera eficiente, a través de procesos como el completamiento y el recobro mejorado.

El completamiento de pozos comprende el diseño, selección de tubería, herramientas y demás equipos en un pozo con el propósito de converger, bombear y controlar la producción de fluidos. Dentro de estas prácticas está incluido la instalación y cementación de casing o liners, así como registros, cañoneos y pruebas.

Con el desarrollo de este proyecto se busca diseñar una guía general como base para el entrenamiento de estudiantes en práctica y/o ingenieros recién egresados que inician sus conocimientos en la línea de completamiento de pozos para una compañía de servicios, teniendo en cuenta las normas de: seguridad y salud en el trabajo para establecer medidas en cuanto al ambiente laboral, obligaciones laborales y elementos de protección acorde al sitio de trabajo; la calidad del trabajo y sobre todo conductas de manejo ambiental eficiente.

## **1. SISTEMA DE GESTIÓN HSEQ**

El sistema de gestión HSEQ (por sus siglas en inglés que significan Health, Safety, Environment and Quality) comprende un conjunto de normas y estándares internacionales que buscan contribuir a la simplicidad de las cosas para cumplir con requisitos de alta calidad de una empresa e incrementar la efectividad de los productos y servicios que se ofrecen cotidianamente; es el valor agregado del sistema funcional encaminado a integrar la gestión y el direccionamiento estratégico.

El sistema de gestión integrado es la manera en que las organizaciones se enfocan en trabajar las diferentes variables de su interés con el objetivo de adquirir una política integrada de gestión para lograr la excelencia por medio de optimización de recursos y clasificando las prioridades para satisfacer las necesidades del cliente.

### **1.1 NORMA ISO 9001: ENFOQUE AL DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO<sup>2</sup>**

La nueva norma se enfoca en la necesidad que tienen las organizaciones de identificar riesgos y oportunidades, así, de esta manera establecer acciones apropiadas con las cuales se puedan combatir las amenazas y siempre ir en busca de la mejora continua. La nueva perspectiva de gestión del riesgo asume una posición preventiva.

En ámbito de gestión empresarial se debe identificar los elementos internos y externos que puedan incidir en el éxito de la empresa. Como elemento de entrada al sistema de gestión se debe considerar a las partes interesadas; se debe tener en cuenta, gestionar y conservar el conocimiento como un activo más de la organización.

---

<sup>2</sup> <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2015/12/iso-90012015-direccion-estrategica/>

La adopción de un sistema de gestión de la calidad es una decisión estratégica para una organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible.

Los beneficios potenciales para una organización de implementar un sistema de gestión de la calidad basado en esta norma internacional son:

- La capacidad de proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente, las normas legales y reglamentos aplicables.
- Facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente.
- Abordar los riesgos y oportunidades asociadas con un contexto y objetivos.
- La capacidad de demostrar la conformidad con requisitos del sistema de gestión de la calidad especificados.

La comprensión y gestión de los procesos interrelacionados con un sistema contribuye a la eficacia y eficiencia de la organización en el logro de sus resultados previstos. Este enfoque permite a la organización controlar las interrelaciones e interdependencias entre los procesos del sistema, de modo que se pueda mejorar el desempeño global de la organización.

El enfoque a procesos implica la definición y gestión sistemática de los procesos y sus interacciones con el fin de alcanzar los resultados previstos de acuerdo con la política de calidad y la dirección estratégica de la organización. La gestión de los procesos y el sistema en su conjunto pueda alcanzarse utilizando el ciclo PHVA, con un enfoque global de pensamiento basado en riesgos, dirigido a aprovechar las oportunidades y prevenir resultados no deseados.

### **1.1.1 Aspectos generales de la calidad**

Toda empresa, que en el presente esté operando y decida no solo permanecer en los mercados conquistados, sino en ganar otros, debe prestarle atención a cómo se está dando la calidad en ella, en sus procesos. Además, de que la gerencia sabe que es necesario implementar un modelo de calidad, puesto que es señal de que la organización tiene el propósito de mantenerse en el mercado, ser competitiva, proteger los intereses de los accionistas, cuidar la fuente de trabajo y mejorar la calidad de vida de su personal. Por lo tanto, implementar modelos de calidad tiene como objetivo principal, que las empresas desarrollen sistemáticamente productos, bienes y/o servicios de mejor calidad y que cumplan con las necesidades y deseos de sus clientes.<sup>3</sup>

### **1.1.2 Sistema de gestión de calidad**

La ISO 9001 es una norma internacional que se aplica a los sistemas de gestión y que se centra en todos los elementos de administración de la calidad, con los que la empresa debe contar para tener un sistema efectivo, que permita administrar y mejorar la calidad de sus productos, bienes y/o servicios.

Cada determinado tiempo, un ente certificador realiza auditoría a las empresas registradas, con el objetivo de asegurarse del cumplimiento de las condiciones que impone la norma, así, de esta manera los clientes estén seguros y satisfechos.

ISO (International Organization for Standardization) representa un conjunto de principios de gestión dirigidos a la satisfacción del cliente, mediante entrega de productos, viene y/o servicios de calidad.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> GARCÍA, Rafael & SAAVEDRA, Ingrid (2016). Plan de transición para el sistema integrado de gestión HSEQ. Monografía, universidad industrial de Santander, Bucaramanga.

<sup>4</sup> OSORIO, Cesar (2013). Metodología para la preparación de las herramientas bajadas a pozo en las líneas de completion tools y testing & subsea para Halliburton. Trabajo de grado, universidad industrial de Santander, Bucaramanga.

## **1.2 NORMA ISO 14001: ENFOQUE AL DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO<sup>5</sup>**

Un punto clave de la nueva norma ambiental ISO 14001 se enfoca en el liderazgo y responsabilidad de la alta dirección, para asegurar que las políticas y los objetivos ambientales estén alineados con la dirección estratégica de la organización.

La norma proporciona información y orientación de cómo gestionar todos los aspectos medioambientales, como, por ejemplo; las actividades, los productos y servicios de la manera más efectiva, pero siempre teniendo en cuenta la protección medioambiental, la prevención de la contaminación y las necesidades socioeconómicas.

El sentido de la ISO 14001 es puntualizar los requisitos del sistema de gestión en la parte ambiental, y aplicable para aquellos aspectos ambientales que la organización pueda controlar y de los cuales se espera que tenga alguna influencia.

La intención de la alta dirección es garantizar que se desempeñe un papel activo tanto en la definición de dirección estratégica como en los objetivos medioambientales, asegurando relación entre sí.

Las expectativas de la sociedad en cuanto a desarrollo sostenible, transparencia y responsabilidad y rendición de cuentas han evolucionado dentro del contexto de legislaciones cada vez más estrictas, profesiones crecientes con relación a la contaminación del medio ambiente, uso ineficiente de recursos, gestión inapropiada de residuos, cambio climático, degradación de los ecosistemas y pérdida de biodiversidad.

El propósito de esta norma internacional es proporcionar a las organizaciones un marco de referencia para proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas. Esta

---

<sup>5</sup> <https://www.nueva-iso-14001.com/2017/02/norma-iso-14001-objetivos-ambientales/>

norma específica requisitos que permitan que una organización logre los resultados previstos que ha establecido para su sistema de gestión ambiental.

Un enfoque sistemático a la gestión ambiental puede proporcionar información de alta dirección para generar éxito a largo plazo crear opciones para contribuir al desarrollo sostenible mediante:

- La protección del medio ambiente, mediante la prevención o mitigación de impactos ambientales adversos.
- La mejora del desempeño ambiental.
- El control o la influencia sobre la forma en la que la organización diseña, fabrica, distribuye, consume y lleva a cabo la disposición final de productos o servicios, usando una perspectiva del ciclo de vida que pueda prevenir que los impactos ambientales sean involuntariamente trasladados a otros puntos del ciclo de vida.

### **1.2.1 Aspectos generales ambientales<sup>6</sup>**

Sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones.

La nueva visión del medio ambiente es muy positiva ya que, estudiando los problemas sociales, culturales y políticos de una sociedad y modificando determinados comportamientos, hábitos y dinámicas, se puede conseguir cambios de actitudes que darán lugar a un interés por el medio ambiente que impulse a participar activamente en su protección y mejora; consiguiendo entre todo un equilibrio entre el hombre y el entorno en el que vive y del que depende.

---

<sup>6</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE TRABAJO. Decreto 1072, (26 de mayo, 2015). Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Diario oficial Bogotá D.C, 2015, P.78.Art 2.2.4.6.3

## **1.2.2 Sistema de gestión ambiental**

La ISO 14001 es la norma internacionalmente reconocida para la gestión de sistemas medioambientales. Dicha norma proporciona orientación respecto a cómo gestionar los aspectos medioambientales de sus actividades, productos y servicios de una forma más efectiva, teniendo en consideración la protección del medioambiente, la prevención de la contaminación y las necesidades socioeconómicas.

Demostrar su compromiso con el medio ambiente y el desarrollo sostenible el cual impactará positivamente en el éxito de su organización tanto a corto como largo plazo y proporcionará beneficios como mejorar la imagen corporativa y la de sus clientes, así como sus relaciones tanto con la opinión pública como con las administraciones y autoridades de su comunidad local.

Los clientes concienciados con el respeto al medio ambiente preferirán trabajar con empresas de pensamiento similar al de su organización, que demuestren su compromiso de protegerlo y conservarlo.<sup>7</sup>

## **1.3 NORMA ISO 45001: ENFOQUE AL DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO<sup>8</sup>**

Todas las empresas necesitan una dirección estratégica, esto quiere decir de forma general, que establece un sistema de dirección, para la coordinación de actividades con un fin específico. *Hax y Majluf (1996)* consideran que: “el concepto de estrategia es de carácter multidimensional, pues abarca todas las actividades críticas de la organización, se proporciona un sentido de unidad, dirección y propósito, además de facilitar los cambios necesarios introducidos por su entorno”.

---

<sup>7</sup> OSORIO, Cesar (2013). Metodología para la preparación de las herramientas bajadas a pozo en las líneas de completion tools y testing & subsea para Halliburton. Trabajo de grado, universidad industrial de Santander, Bucaramanga.

<sup>8</sup> <https://www.nueva-iso-45001.com/2018/03/publicado-norma-iso-45001-2018/>

Esta norma es el reemplazo de las OHSAS 18001, posee una estructura de alto nivel con gestión de un contexto más amplio, se involucra la organización y el impacto de las partes interesadas; especifica los requisitos de un sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional, para hacer posible que una organización controle sus riesgos de seguridad y salud ocupacional y mejore su desempeño en este sentido. No establece criterios de desempeño de seguridad y salud ocupacional determinados ni incluye especificaciones detalladas para el diseño de un sistema de gestión.

La norma ISO 45001 abarca oportunidades y medidas de efectividad, requisitos legales, entre otros. Al establecer los objetivos de seguridad y salud en el trabajo; es necesario identificar al personal responsable y considerar los distintos recursos disponibles.

Todos los requisitos en la norma están previstos para ser incorporados a cualquier sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional. El alcance de la aplicación dependerá de factores tales como la política en seguridad y salud ocupacional de la organización, la naturaleza de sus actividades, y los riesgos y complejidad de sus operaciones; incluyendo la calidad, la gestión energética, la continuidad del negocio y la seguridad de la información.

La norma está prevista para tratar acerca de seguridad y salud ocupacional, y no acerca de otras áreas de salud y seguridad tales como programas de bienestar para los empleados, seguridad de los productos, daño a la propiedad o impactos ambientales.

El eje central de los sistemas es la mejora continua, la prevención se convierte en un requisito primordial del sistema. Todos los sistemas de seguridad y salud en el trabajo deben identificar y dar respuesta a la no conformidad. El nuevo estándar deja de un lado la idea de llevar a cabo la acción preventiva como un concepto diferente.

### 1.3.1 Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo<sup>9</sup>

La organización internacional de trabajo establece el principio de protección de los trabajadores respecto de las enfermedades y de los accidentes del trabajo. Sin embargo, para millones de trabajadores esto se sitúa lejos de la realidad. Cada día mueren personas a causa de accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo. El coste de esta adversidad diaria es enorme y la carga económica de las malas prácticas de seguridad y salud se estima en un 4% del producto interno bruto global de cada año.

Los empleadores tienen que hacer frente a costosas jubilaciones anticipadas, a una pérdida de personal calificado, a absentismo y elevadas primas de seguro, debido a enfermedades y accidentes relacionados con el trabajo. Sin embargo, muchas de estas tragedias se pueden prevenir a través de la puesta en marcha de una sólida prevención, de la utilización de la información y de unas prácticas de inspección.

Las normas sobre seguridad y salud en el trabajo proporcionan instrumentos esenciales para que los gobiernos, los empleadores y los trabajadores instauren dichas prácticas y prevean la máxima seguridad en el trabajo.

### 1.3.2 Normatividad SG - SST en Colombia

<b>NORMA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Decreto 614 de 1984	Determina las bases de organización y administración gubernamental y, privada de la Salud Ocupacional en el país.
Resolución 2013 de 1986	Establece la creación y funcionamiento de los comités de medicina, higiene y seguridad industrial en las empresas.
Resolución 1016 de 1989	Reglamenta los programas que consisten en la planeación, organización, ejecución y evaluación de las actividades de Medicina Preventiva,

<sup>9</sup> Seguridad y salud en el trabajo [Citado el 24 de agosto de 2016]. Disponible en <<http://www.ilo.org/global/standards/subjects-covered-by-international-labour-standards/occupational-safety-and-health/lang--es/index.htm>>

	Medicina del Trabajo, Higiene industrial y Seguridad industrial.
Decreto 1295 de 1994	Determina la organización y administración del sistema general de riesgos profesionales.
Decreto 1530 de 1996	Define accidente de trabajo y enfermedad profesional con muerte del trabajador.
Resolución 1401 de 2007	Reglamenta la investigación de accidente e incidente de trabajo.
Resolución 2346 de 2007	Regula la práctica de evaluaciones médicas ocupacionales y el manejo y contenido de las historias clínicas ocupacionales.
Decreto 2566 de 2009	Emite la tabla de enfermedades profesionales.
Resolución 1409 de 2012	Establece el reglamento de seguridad para la protección en caídas en trabajos en alturas.
Decreto 1443 de 2014	Dicta disposiciones para la implementación del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST).
Decreto 1072 de 2015	Compilación de toda la reglamentación existente en Colombia relacionada con los aspectos laborales. Este decreto también es conocido como el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo.
Resolución 1111 de 2017	Define los estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Se establecen las diferentes fases de aplicación del sistema de gestión según los estándares mínimos, que va desde junio de 2017 a diciembre de 2019. Las fases son: 1. Evaluación inicial, 2. Plan de mejoramiento conforme a la evaluación inicial, 3. Ejecución, 4. Seguimiento y plan de mejora, 5. Inspección, vigilancia y control.

Para asegurar que se comuniquen los temas del Sistema de Seguridad y salud en el Trabajo a los ingenieros recién egresados o estudiantes de ingeniería en práctica en compañías prestadoras de servicios, se debe crear el programa de inducción abarcando la normatividad en seguridad industrial, salud en el trabajo y medio ambiente, que permitan dar a conocer los objetivos, políticas y demás requisitos a tener en cuenta, para el adecuado desempeño laboral.

Para las inducciones como mínimo se deben socializar los siguientes temas:

- Contactos de Emergencia
- Rutas de Evacuación y puntos de encuentro
- Cumplimiento político SSTA
- Objetivos SSTA
- Funciones y responsabilidades
- Derechos y deberes laborales
- Reglamento higiene y seguridad industrial
- Riesgos presentes en el lugar de trabajo
- Programas SSTA
- Aspectos e impactos ambientales significativos
- Brigada de emergencias
- COPASST
- Uso adecuado de EPP's

## 2. EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVICIO

Los trabajos en el campo del petróleo y gas son desafiantes y se realizan virtualmente en cualquier parte del mundo en tierra o costa afuera. Parte del desafío es trabajar en forma segura; hay muchos peligros en este ambiente de trabajo.

### 2.1 DEFINICIÓN<sup>10</sup>

Se debe entender servicios o prestación de servicios petroleros a compañías privadas de pequeño, mediano o a veces de gran tamaño que se especializan en servicios de construcción y montaje de ductos, sísmica, provisión de válvulas, fabricación de turbinas, equipos de perforación, mecánica industrial, tuberías, servicios de ingeniería, sistemas de medición, obras civiles, mantenimiento y operación, software especializado a la industria, servicios contables, legales, catering, de transporte terrestre y aéreo, entre otros.

Las empresas ante el desafío de convertirse en eficientes y competitivas deben responder a qué estrategias aplica para seguir adelante. La respuesta va de la mano de aplicar ciertas políticas de administración y nueva administración:

- a) Reingeniería: ver dónde y cómo reacomodar activos.
- b) Alta competitividad: establecer cómo ser mejores y más competitivos en el nicho de mercado en el que se desenvuelve.
- c) *Benchmarking*: copiar lo bueno que hicieron otras compañías de servicios en otros países y aplicar; además de evitar los errores que se cometieron en antaño y evitar errores que cometieron esas empresas que les sirven de modelo.
- d) Tecnología: siempre apostar por nuevos procedimientos con tecnología de punta, estar al día en tecnología es estar al día en competitividad.

---

<sup>10</sup> [http://www.el-nacional.com/noticias/columnista/empresas-servicios-petroleros-resiliencia-desafios\\_199436](http://www.el-nacional.com/noticias/columnista/empresas-servicios-petroleros-resiliencia-desafios_199436)  
[Adaptado por el autor]

- e) Certificaciones: normas ISO al día son otro factor que debe considerarse como una herramienta para paliar la crisis.
- f) Alianzas estratégicas: fortalecer el rol de la asociación en tiempos de crisis. En sinergias positivas, en asociaciones accidentales de servicios para reducir costos y enfrentar proyectos
- g) Implementar políticas de eficiencia de seguridad y salud en el trabajo tanto personal como para el propio bien de la empresa.

## **2.2 PREVENCIÓN**

La mejor defensa es la prevención a través de la implementación de medidas físicas de seguridad, procedimientos y desarrollo de iniciativas instructivas para concienciar al personal de la empresa. La reacción adecuada permitirá minimizar el impacto de un evento de seguridad y facilitará la resolución eficaz del mismo.

### **2.2.1 Prevención personal (autoprotección)**

Dentro de este ítem, se contemplan seis tipos de seguridad en diferentes ámbitos que permiten tener mayor certeza que el trabajador podrá llegar a su puesto de trabajo; cada uno de ellos viene especificado en forma de consejo.

*Seguridad en la calle:*

- Mantenga un bajo perfil, vestirse y comportarse de manera conservadora, no mostrar joyas o efectivo y evitar cualquier comportamiento que llame la atención sobre la posición u origen (también aplica para extranjeros).
- En caso de ser amenazado por ladrones o asaltantes, entregue las pertenencias. Evitar llevar grandes cantidades de dinero y elementos de alto valor comercial.

- Tratar los accidentes y eventos inusuales (distracciones y llamadas de auxilio) con precaución ya que pueden ser engaños.
- Evitar el consumo excesivo de alcohol, no aceptar bebidas de envases abiertos, menos si vienen de desconocidos.
- Tener precaución en áreas de gran afluencia de público y sitios turísticos, son los más frecuentados por los ladrones.
- En lo posible, caminar por calles bien iluminadas y concurridas, evitar los atajos, callejones y calles vacías.
- Al momento de sentir que lo persiguen, cambie de ruta buscando ubicar una estación de policía o establecimientos comerciales con guardias de seguridad.

No tema mirar a las personas, delante o detrás de usted mientras camina. En el 80% de los casos, el asaltante desiste de atacar si nota que la potencial víctima lo ha mirado a los ojos en un radio de 20 metros o menos.

*Seguridad al tomar un taxi:*

- Preferiblemente solicitar el servicio telefónicamente. Si se encuentra en un hotel, solicitar el servicio a la recepción.
- Antes de abordar el taxi, verificar que coincidan las placas frontales con las laterales e internas y las planillas.
- Asegurar puertas y ventanas, estar alerta de la ruta que toma el vehículo.
- Estar atento a llamadas o claves que use el conductor que puedan ser señal de coordinar un asalto.
- Llamar (o fingir hacerlo), a un funcionario de seguridad o familiar e informar:
  - Placas del vehículo
  - Lugar donde toma el servicio y destino del servicio
  - Ruta por seguir elegida
  - Tiempo estimado que conlleva la ruta
  - Informar el momento del arribo al destino.

- No preocuparse si el conductor se molesta, informarle que son políticas de la compañía y considerar descender del vehículo en un lugar concurrido.
- Verificar las pertenencias antes de dejar el vehículo.

*Seguridad en cajeros automáticos:*

- Utilizar una mano para digitar la clave y la otra para cubrir el teclado.
- Jamás aceptar ayuda de desconocidos.
- Procurar no contar el dinero en efectivo, en lo posible guarde inmediatamente el dinero y la tarjeta.
- Retirar el dinero preferiblemente en lugares concurridos y de día; allí hay vigilancia privada y corre menos riesgo de ser víctima de robo.
- En caso de necesitar un cajero de noche, ir siempre acompañado y dejar el medio de transporte lo más cerca posible.
- Si la tarjeta es retenida por el cajero automático, notifique al banco y no retirarse del lugar hasta finalizar la transacción.

*Seguridad en vehículos:*

- No dejar el vehículo abandonado en vía pública, ni tampoco al cuidado de personas no identificadas para ese servicio.
- Hacer uso de parqueaderos públicos legalmente establecidos o recomendados por personas que conozcan y garanticen el cuidado.
- Por ningún motivo dejar las llaves del vehículo en el parqueadero, lavadero o estación de servicio.
- En accidentes de tránsito o choques leves contra su vehículo, no descienda inmediatamente; verificar si la situación es real o simulada para hurtarlo.
- Evitar conducir bajo efectos del alcohol, recuerde que su vida no es la única que está en juego.

- Las paradas en los semáforos favorecen los robos callejeros de partes externas del vehículo; evitar confrontar al ladrón, es más seguro estar dentro del vehículo. Un repuesto es menos costoso que su vida.

#### *Seguridad en establecimientos públicos:*

- Elegir sitios reconocidos y de buena reputación, evitar asistir solo.
- No perder de vista la bebida cuando se está compartiendo con más personas en lugares públicos, pueden aprovechar para agregar sustancias extrañas.
- Al utilizar tarjetas de crédito, no perderlas de vista, revisar que cuando se la devuelvan sea la misma que entregó. Conservar los recibos para verificar que corresponda a los cargos realizados; no permita que le hagan más de una transacción.

#### *Seguridad en el sitio de trabajo*

- Tener control sobre sus elementos personales o asignados por la empresa, mantenerlos bajo llave en gavetas, archivadores, lockers, etc.
- Prever medidas de seguridad con elementos de inventario como computadores y demás equipos de fácil sustracción.
- Evitar llevar fuera de las instalaciones elementos corporativos.
- En caso de ser víctima de asalto por hurtar sus bienes o los de la empresa, recuerde no presentar oposición y evitar reacciones violentas o de pánico.

### **2.2.2 Prevención personal corporativa**

Debido a las regiones donde se realizan las actividades, la mayoría de estas tienen antecedentes de alteraciones de orden público, por lo tanto, se dan una serie de pautas y recomendaciones de carácter permanente, que deben ser de conocimiento y cumplimiento por todas las personas sin excepción; con el fin de prevenir y/o minimizar cualquier riesgo.

*Normas:*

- a) Todo el personal que labore o permanezca en el área del proyecto debe dar cumplimiento a las normas de seguridad sin excepción.
- b) La relación con las autoridades debe ser de respeto y acatamiento a su trabajo, y estos a su vez tienen como norma máxima respetar a los trabajadores del proyecto y comunidad en general.
- c) Se debe informar con 24 horas de anticipación los desplazamientos vía terrestre desde y hacia el área de operación, con el fin que apoye la seguridad informando la situación del momento y monitoreo del movimiento.

*Actividades “NO” permitidas:*

- a) Ingresar bebidas alcohólicas antes y durante la permanencia en el área de trabajo.
- b) Ingresar y/o consumir estupefacientes o drogas controladas antes y durante la permanencia en el área de trabajo.
- c) Ingresar o portar armas de fuego, munición y explosivos en el área de trabajo.
- d) Ingresar personal no autorizado a realizar actividades ajenas al proyecto.
- e) Salir de las instalaciones del pozo y realizar actividades ajenas al proyecto, tales como ir a la población, hacer deporte fuera de las instalaciones del pozo, etc., sin la respectiva justificación y autorización.
- f) Realizar actividades que afecten el ecosistema, tales como: caza, pesca, tala de árboles, contaminación, entre otras.

*Recomendaciones:*

- a) El personal debe abstenerse de llevar a los pozos elementos de alto valor comercial, como: joyas, relojería, etc. Igualmente, grandes cantidades de dinero, esto con la finalidad de prevenir posibles hurtos.
- b) Cada quien se hace responsable de guardar los elementos personales en lugares seguros bajo llave.

- c) Abstenerse de ostentar como trabajador petrolero, esto con el fin de prevenir extorsiones o secuestros, no solo propias sino de familiares.
- d) El personal que, por necesidad de su trabajo, tenga que salir de las instalaciones, tiene prohibido el ingreso a sitios de dudosa reputación tales como cantinas, bares y en general a sitios donde pueda verse comprometido por elementos al margen de la ley.
- e) Cualquier información o actitud sospechosa de personas dentro o fuera de las instalaciones de los respectivos pozos deben transmitirla inmediatamente a seguridad, esto con el fin de prevenir y/o neutralizar de cualquier acto que pueda generar riesgos tanto para el personal como la infraestructura.

### **2.3 MANEJO DE INCIDENTES DE SEGURIDAD EN OPERACIONES**

En esta sección, se dan pautas y recomendaciones generales sobre cómo reaccionar en tales situaciones, sin olvidar que existen mecanismos corporativos que se rigen bajo normas legales nacionales e internacionales, que están orientadas a la protección de las víctimas en caso de que se concreten estos delitos, aunque existan restricciones en materia de negociación y prohibiciones de pago para las compañías.

La industria ha promovido recomendaciones en tal sentido, indicando la normatividad vigente que ampara la gestión por parte de las empresas. Si bien las medidas de prevención normalmente advierten el riesgo y lo mitigan, hay que tener en cuenta que los grupos criminales son una manera real y difícil de predecir, lo cual eventualmente puede hacernos víctimas de diferentes modalidades delincuenciales.

Hay que tener siempre presente como reaccionar en los primeros instantes, independientemente del tipo de acción delincencial al que nos veamos enfrentados. Como norma general, hay que evitar caer como víctima, pero si ello es inevitable, lo más importante que se debe preservar es LA VIDA.

*Prevención de hurtos y asaltos en áreas públicas:*

- Ser precavido y mantenerse atento al entorno.
- No exhibir elementos de valor.
- No distraerse hablando por teléfono, si necesita hablar entrar a un local comercial.
- Si siente preocupación por su seguridad, hable con un vigilante o empleado del local donde se encuentre y solicite acompañamiento.

*Prevención en la oficina:*

- No dejar artículos de valor e información confidencial sobre el escritorio, utilizar siempre un cajón con llave.
- Utilizar siempre cable de seguridad en el computador.
- Cerrar la oficina con llave cuando salga si maneja información confidencial, y siempre hacerlo al final del día.

*Prevención en vehículos:*

- Mantener las puertas y ventanas cerradas, si necesita abrir las ventanas, hágalo a un máximo de 5 centímetros.
- No exhibir elementos de valor al interior del vehículo, guárdelos en el baúl.
- No usar el celular en el vehículo; esto pone en riesgo de accidente, distracción y llama la atención de ladrones.

*Prevención para otro tipo de amenazas:*

➤ Amenaza de bomba:

- No tocar ni mover ningún objeto.
- Mantenerse siempre alerta si observa la presencia de objetos sospechosos, repórtelo.

- Suministrar información a seguridad, al jefe de campo, supervisor o autoridades.
  - No usar celular ni radios de comunicación cerca al objeto sospechoso, este podría activarse.
- Terremoto:
- Mantener la calma, no gritar.
  - Si está bajo techo, no intente evacuar, protegerse inmediatamente de objetos que puedan caer (vidrios, lamparas, bibliotecas). Identifique el “triángulo de vida”.
  - Si está al aire libre, alejarse de las edificaciones y objetos que puedan caer como postes, aleros, tejas, ventanas, cables eléctricos, etc.
  - Una vez pase el sismo, evalúe rápidamente la situación y si se encuentra en un lugar de riesgo, abandónelo; recuerde que después de un sismo generalmente se presentan réplicas.
  - Si después del sismo hay que evacuar, siga las instrucciones de los evacuadores, brigadistas y organismos de socorro.
- Incendio:
- Si detecta un incendio, avise a la línea de emergencias.
  - Si sabe manejar el extintor, trate de apagarlo.
  - Desconectar inmediatamente los equipos eléctricos y electrónicos.
  - En caso de humo, cúbrasela boca y nariz con un paño húmedo.
  - Al salir vaya cerrando puertas (sin asegurarlas), esto reducirá la velocidad de propagación del fuego.
- Inundación:
- Desconectar la corriente eléctrica para evitar posibles choques eléctricos.
  - Poner los equipos en partes altas.
  - Colaborar con la evacuación de material importante.
  - Si la zona está muy inundada, proceder a evacuar.

### **3. COMPLETAMIENTO DE POZOS**

En este capítulo se abordará el tema de completamiento de pozos que se define como el diseño, selección e instalación de tuberías, empacaduras y demás herramientas y equipos dentro del pozo con el propósito de producir de manera controlada, segura y rentable.

Esta etapa es el resultado de diferentes estudios realizados al pozo, empezando por la exploración hasta la evaluación del pozo en flujo algún tiempo después de haber sido perforado.

#### **3.1 INGENIERÍA DE COMPLETAMIENTO Y SERVICIO A POZO**

Son las operaciones realizadas en un pozo con el fin de ponerlo a producir para obtener la mayor cantidad del hidrocarburo original en sitio o para usarlo como pozo de inyección, utilizando para ellos las técnicas más adecuadas al menor costo posible, lo que conlleva a pensar que de un buen completamiento se puede esperar una buena producción de hidrocarburos.

El principal objetivo del completamiento es dejar el pozo en condiciones de obtener la máxima producción al menor costo posible, por lo tanto, se debe tener cuidado tanto con las propiedades del fluido de trabajo con el fin de ocasionar el menor daño posible a la formación, como también estudiar cuidadosamente los factores que afectan la selección del tipo de completamiento<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> CIED, Centro Internacional de Educación y Desarrollo. Completación y reacondicionamiento de pozos, Venezuela: CIED, 1996, p.19-20.

### 3.1.1 Componentes del sistema de producción de petróleo

1) **YACIMIENTO:** Unidad geológica de volumen limitada, porosa y permeable que contiene hidrocarburos en estado líquido y/o gaseoso. Para tener un yacimiento de hidrocarburos básicamente se debe contar con una fuente, un camino migratorio, una trampa, porosidad/almacenaje y permeabilidad.

- **Porosidad:** se define como la relación entre el volumen poroso y el volumen total de la roca, usualmente expresado en porcentaje.
- **Permeabilidad:** medida de la facilidad con que el fluido pasa a través de una roca porosa, bajo condiciones de flujo no turbulento y está en función del grado de interconexión entre los poros y su unidad práctica es el milidarcy (md).
- **Fluidos:** el aceite y el gas nunca se encuentran disponibles solos saturando el espacio poroso, el agua siempre está presente.

2) **POZO:** Compuesto por las siguientes partes:

- **Hueco (hole):** la zona circundante al pozo es importante. Primero, toda actividad intrusiva tal como perforación, cementación y completamiento del pozo alteran la condición del yacimiento.
- **Revestimiento:** es una sección armada de tubería de acero y configurada para adecuarse a un pozo específico, se coloca para proteger a aislar las formaciones adyacentes al pozo.
- **Cemento:** las operaciones de cementación pueden llevarse a cabo para sellar el espacio anular después de bajar una sarta de revestimiento, sellar una zona de pérdida de circulación, colocar un tapón en un pozo, entre otras.
- **Cañones:** son la distribución radial de cargas explosivas sucesivas alrededor del eje del cañón, se hacen con el fin de perforar la tubería de revestimiento, el cemento y la formación para alcanzar la zona de interés y permitir el flujo de los fluidos a producir.

- **Tubing:** serie de tubos sin soldadura que bajan al pozo enroscándose uno al otro hasta llegar a la profundidad deseada, conduciendo a superficie el fluido producido por la formación.
- **Empaque:** asegura el sellado entre el tubing y el casing para prevenir el movimiento del fluido al anular.

### 3) SUPERFICIE: Se encuentran los siguientes componentes.

- **Cabeza de pozo:** es un punto del sistema en el que se produce el cambio de dirección de flujo vertical a horizontal.
- **Línea de flujo:** este componente es el que comunica la cabeza de pozo con el separador y donde el fluido presenta un comportamiento que obedece a las condiciones adoptadas para el sistema de producción de petróleo.
- **Choke:** controla la producción del pozo con el cual se puede aumentar o disminuir el caudal de producción.
- **Entrada al separador:** cuando el fluido entra al separador, empieza una etapa de separación y tratamiento para que sea posible llevarlos a los terminales de embarque con las especificaciones requeridas por el cliente o ser llevados a las refinerías.

#### 3.1.2 Factores que afectan la selección del tipo de completamiento

El completamiento ideal de un pozo es aquel que represente la más baja inversión, esto considerando los costos de operación y aquel que satisfaga o cumpla con las funciones que este debe cumplir la mayor parte de su vida.

##### 1) Factores relacionados a los propósitos del pozo.

- a) Pozos de exploración: el objetivo principal de este tipo de pozos es determinar la naturaleza y características del fluido en el yacimiento, ya sea agua, aceite o gas, así mismo obtener datos como presión inicial, temperatura, permeabilidad, entre otros.

- b) Pozos de desarrollo: el propósito principal de estos pozos es poner el campo en funcionamiento, es importante probar este tipo de pozos evaluando la condición del pozo y chequeando que tan efectivo ha sido el completamiento, y de ser necesario obtener más información acerca del yacimiento.
  - c) Pozos de apreciación o confirmación: el propósito de estos es completar y mejorar la data obtenida de los pozos de exploración; las pruebas son realizadas por un periodo de tiempo más largo que los pozos de exploración ya que es necesario determinar las características del yacimiento.
- 2) Factores relacionados al medio ambiente.
- a) Puede haber limitaciones sobre las operaciones debido al país o el sitio donde el pozo está ubicado, ya sea en tierra o costa afuera.
  - b) Las limitaciones pueden involucrar dificultades para la obtención de suministros, el espacio disponible, la disponibilidad de los servicios públicos, las reglas de seguridad que se deben aplicar, así como las condiciones meteorológicas y oceanográficas que también deben tenerse en cuenta.
- 3) Factores relacionados a la perforación.
- a) Tipo de torre de perforación usada: se deben tener en cuenta las características de la torre, el tipo de equipo disponible en esta y unidades adicionales como la de cementación, es mejor elegir la torre de perforación desde el principio con las debidas consideraciones dadas para satisfacer los requerimientos del completamiento.
  - b) Programa de perforación y revestimiento: para el desarrollo de un pozo, lo más importante es tener un hueco con un diámetro suficiente para acomodar el equipo que será instalado.
  - c) Perfil del pozo: hace referencia a la desviación de este, lo que puede limitar o incluso descartar la elección de algunos equipos o técnicas usadas para trabajar en el pozo.
  - d) Cementación del revestimiento de producción: un buen sello proporcionado por la cubierta de cemento entre la formación y el revestimiento de

producción es un parámetro muy importante, principalmente por el rendimiento del yacimiento.

4) Factores relacionados al yacimiento.

- a) Presión del yacimiento y sus cambios: el parámetro más importante para empezar es la presión inicial del yacimiento, que es la clave en la capacidad de flujo natural del pozo. El cambio de esta presión está físicamente relacionada a la producción acumulada y al mecanismo de empuje involucrado.
- b) Número de niveles a producir: cuando hay varias formaciones para desarrollar, puede ser deseable perforar un pozo que pueda producir varias de ellas en lugar de una sola, ya sea el caso que se permita la producción mezclada o no.
- c) Características de la roca y tipo de fluido: estas influirán directamente en el completamiento, especialmente las que están relacionadas a la capacidad de flujo del pozo, el tipo de tratamientos de la formación que y los problemas de producción.

5) Factores relacionados a la producción.

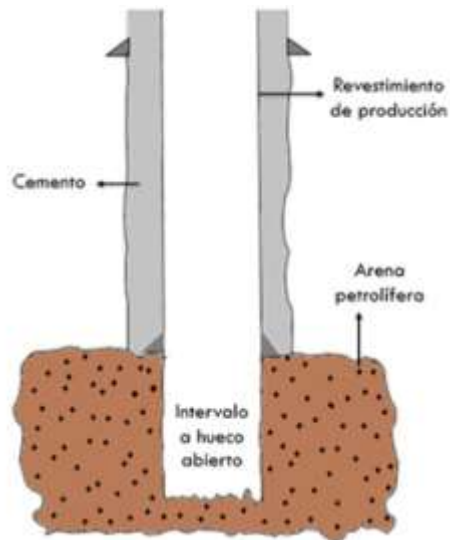
- a) Flujo natural o levantamiento artificial: la conveniencia de levantamiento artificial en el futuro debe ser bien examinada desde el principio, debido a eso, es necesario hacerse un intento para determinar el proceso que puede ser usado efectivamente.
- b) Condiciones de operación: adicionalmente a la presión de separación también debe tenerse en cuenta el espacio disponible, problemas operacionales relacionados al tipo de fluido, temperatura, operaciones a llevar a cabo en el pozo.
- c) Operaciones de medición previstas, mantenimiento o workover: durante la vida del pozo deben hacerse mediciones para asegurar la producción y monitorear la forma en la que el yacimiento se está comportando.

### 3.1.3 Configuraciones de completamiento

Los completamientos pueden ser clasificados tomando como base los tipos de revestimiento del pozo, esto se refiere a la forma de proteger el hoyo con la tubería de revestimientos, de acuerdo con la profundidad y tipos de formaciones productoras, otra base a tener en cuenta es la configuración del equipo de producción donde también se debe apreciar el tipo y número de zonas productoras, profundidad y potencial de producción de las mismas, para así diseñar el equipo de producción con varias tuberías en conjunción con los empaques necesarios para aislar las zonas productoras.

- a) Completamiento a hueco abierto u hoyo desnudo: La figura 1 es el ejemplo del completamiento a hueco abierto. En este se asienta y se cementa el revestimiento por encima de la zona productora, luego se continúa con la perforación del resto de la zona de interés usando un lodo que no es dañino, esta se deja sin revestimiento. Este tipo de completamiento se efectúa en yacimientos donde no se espera una producción tanto de agua como de gas.

Fig. 1 Ejemplo de completamiento a hueco abierto



Fuente: Presentación "Introducción al completamiento de pozos" – UIS.

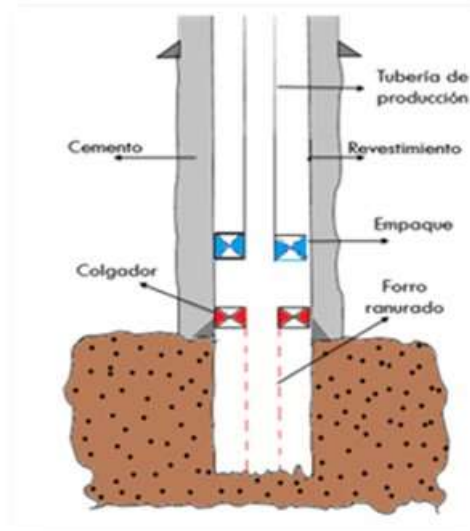
### **Ventajas:**

- El peso del lodo y su composición química pueden ser controlados para minimizar el daño de la formación dentro de la zona de interés.
- La eliminación del costo del cañoneo.
- La interpretación de los registros no es crítica.
- Todo el diámetro del hoyo está disponible para el flujo.
- El hoyo se puede profundizar fácilmente
- Reduce el costo del revestimiento.

### **Desventajas:**

- La dificultad de controlar la producción excesiva de gas o de agua.
  - La sección de hoyo desnudo puede requerir trabajos continuos de limpieza, si la formación no es compacta.
  - No puede ser estimulado selectivamente.
- *Completamiento a hueco abierto con forro no cementado o tubería ranurada:* Este tipo de completamiento se usa mucho en formaciones no compactadas debido a problemas de producción de algunos fragmentos de rocas y de la formación, donde se produce crudos pesados. Este consiste en asentar el revestimiento por encima de la zona interés y se coloca un forro en dicha zona con el fin de controlar los derrumbes. Dentro de este tipo de completamiento se encuentra la siguiente clasificación:
    - *Completamiento a hueco abierto con forro no cementado:* Consiste en colocar un forro con o sin malla a lo largo de la sección de la zona de interés, este forro puede ser empacado con grava para impedir el arrastre de la arena de la formación con la producción; en la figura 2 se puede apreciar el ejemplo de este completamiento.

Fig. 2 Ejemplo de completamiento a hueco abierto con forro no cementado



Fuente: Presentación "Introducción al completamiento de pozos" – UIS.

### **Ventajas:**

- Se reduce al mínimo el daño a la formación.
- No existen costos por cañoneo.
- La interpretación de los registros no es crítica.
- Se adapta fácilmente a técnicas especiales para el control de arena.
- El pozo puede ser fácilmente profundizable.

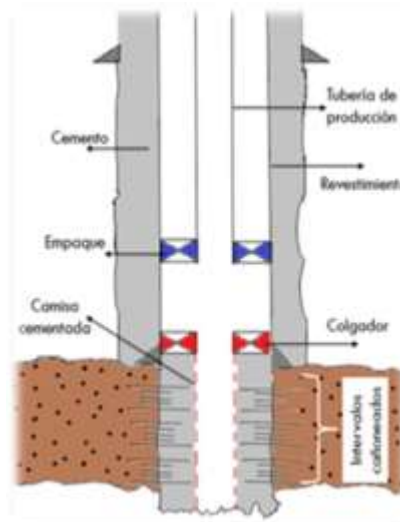
### **Desventajas:**

- Dificulta las futuras reparaciones.
- No se puede estimular selectivamente.
- La producción de agua y gas es difícil de controlar.
- Existe un diámetro reducido frente a la zona o intervalo de producción.

- *Completamiento a hueco abierto con forro cementado:* En este caso se instala un forro a lo largo de la sección de la zona de interés, el

forro se cementa y se cañonea selectivamente la zona productora. La figura 3 muestra un ejemplo de este completamiento.

Fig. 3 Ejemplo de completamiento a hueco abierto con forro cementado



Fuente: Presentación “Introducción al completamiento de pozos” – UIS.

### **Ventajas:**

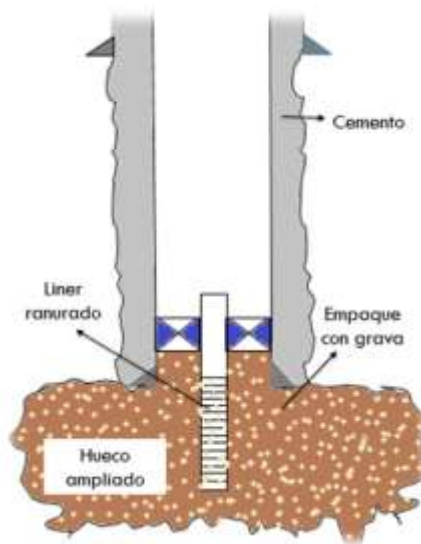
- La producción de agua y gas es fácil de controlar.
- La formación puede ser estimulada selectivamente.
- El pozo puede ser fácilmente profundizable.
- El forro se adapta fácilmente a cualquier técnica especial para el control de arena.

### **Desventajas:**

- La interpretación de registros o perfiles de producción es crítica.
- Requiere buenos trabajos de cementación.
- Presenta algunos costos adicionales como la cementación, cañoneo, taladro, etc.
- El diámetro del pozo a través del intervalo de producción es muy restringido.

- *Completamiento a hueco abierto empacado con grava:* Este completamiento se utiliza por lo general en pozos con arenas no consolidadas como un método de control de arena, para producir sin problemas los fluidos del yacimiento. La figura 4 es el ejemplo de este completamiento.

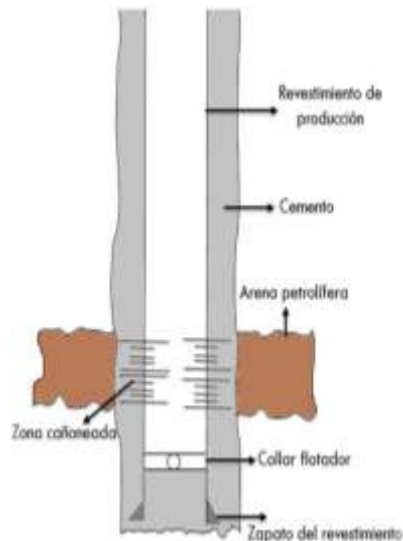
Fig. 4 Ejemplo de completamiento a hueco abierto empacado con grava



Fuente: Presentación "Introducción al completamiento de pozos" – UIS.

- b) *Completamiento a hueco revestido:* En este caso la zona de interés es revestida y cementada, posteriormente esta zona es perforada de manera selectiva mediante una operación de cañoneo. La figura 5 muestra el ejemplo de este completamiento.

Fig. 5 Ejemplo de completamiento a hueco revestido



Fuente: Presentación “Introducción al completamiento de pozos” – UIS.

### **Ventajas:**

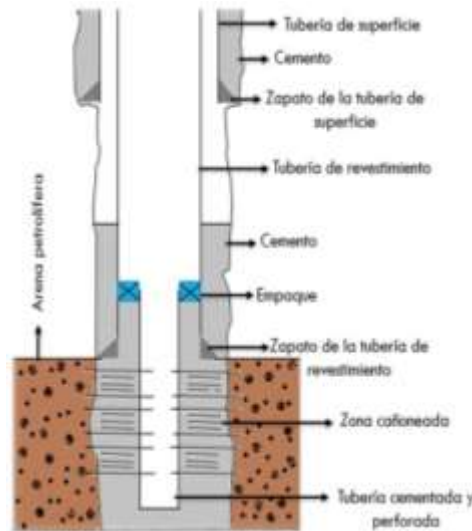
- La facilidad de controlar la producción de gas o agua durante la vida productiva del pozo.
- La posibilidad de profundizar el pozo.
- La posibilidad de controlar la producción de arena utilizando camisas ranuradas y empaques con grava.
- La disponibilidad de registros que ayudan a decidir acerca de asentar el revestimiento.
- La adaptabilidad a las configuraciones de completamientos múltiples.

### **Desventajas:**

- El costo de perforación de arenas de gran espesor puede ser apreciablemente mayor que cuando se usa un completamiento a hueco abierto.
- La interpretación de los registros de formación es crítica.
- El daño a la zona productora puede ser mayor.

- La necesidad de una buena cementación en los intervalos de producción.
  - El diámetro efectivo del pozo y la productividad pueden disminuir.
- c) Completamiento con un forro cementado y cañoneado: Se emplea muy frecuentemente en pozos profundos. Prácticamente equivale a completar la parte baja del pozo con un revestimiento de menor diámetro, donde ambos revestimientos son cementados.

Fig. 6 Ejemplo de completamiento con forro cementado y cañoneado



Fuente: Presentación “Introducción al completamiento de pozos” – UIS.

### **Ventajas:**

- La minimización del daño a la formación mientras se perfora la zona productora.
- La interpretación de los registros no es crítica.
- La adaptabilidad a técnicas especiales de control de arena.

### **Desventajas:**

- El revestimiento de producción es asentado antes de perforarse o cañonearse la zona productora.
- La reducción del diámetro a través de la zona productora.
- La dificultad para profundizar el pozo.

De acuerdo con el número de zonas productoras, los completamientos pueden ser sencillos y múltiples.

**Completamiento sencillo y múltiple:** Es aquel que tiene como objetivo fundamental producir de un solo yacimiento o una sola formación, presentando como ventajas un ahorro en gastos de tubería, un mayor control al cementar el revestimiento superior primero y el resto de las ventajas y desventajas son similares a las descritas en el completamiento a hueco revestido.

Existen combinaciones entre ellas:

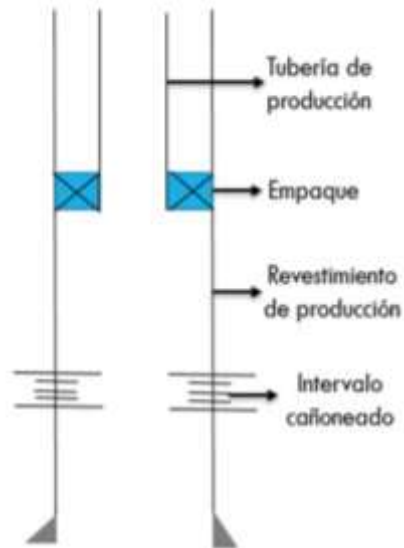
- 1) La sencilla simple
- 2) La sencilla selectiva
- 3) La múltiple simple

1) *Completamiento sencillo simple: (figura 7)* es aquel que tiene como objetivo fundamental producir una sola formación, este se subdivide en:

- *Completamiento sencillo sin empaque:* no se coloca ningún tipo de empaque con el fin de permitir el flujo en la tubería de producción y el revestimiento.
- *Completamiento sencillo con empaque:* es aquel donde se coloca un empaque para impedir el flujo a través del espacio anular.

2) *Completamiento sencillo selectivo:* se denominan así a los completamientos con una sola sarta de producción y con más de dos empaques.

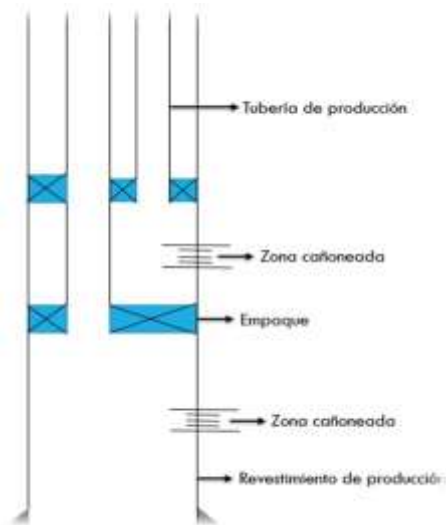
Fig. 7 Ejemplo de completamiento sencillo simple



Fuente: Presentación "Introducción al completamiento de pozos" – UIS.

3) *Completamiento múltiple simple*: Es aquel que tiene como objetivo poner a producir dos o más yacimientos en el mismo pozo sin que se mezclen los fluidos de las diferentes formaciones; se ilustra en la figura 8.

Fig. 8 Ejemplo de completamiento múltiple simple



Fuente: Presentación "Introducción al completamiento de pozos" – UIS.

### **Ventajas:**

- Se obtienen tasas de producción más altas y menores tiempos de retorno.
- Separa zonas que poseen distintos índices de productividad, con el fin de evitar que la zona de alta productividad inyecte petróleo en la zona de baja productividad.

### **Desventajas:**

- Inversión inicial alta para la tubería de producción, empaques, guaya, etc.
- Posibilidades de fugas a través de la tubería de producción, empaques y sellos de estos.

## **3.2 TIPOS DE OPERACIONES**

Para lograr determinar si una formación es productora de crudo y gas en grandes cantidades, tanto los registros como la perforación, el completamiento y por supuesto la cementación son operaciones muy importantes que indican si es factible poner a producir el pozo.

### **3.2.1 Operaciones de perforación**

1) *Perforación del hoyo superficial:* Asumiendo que ya se ha perforado la primera parte del hoyo por ejemplo de 20 a 100 pies y se ha instalado la tubería guía; la primera broca debe ser de un diámetro menor que el de esta tubería y se debe conectar al extremo del portabarrenas y se introduce en el pozo. El cuadrante o Kelly bushing se coloca en la parte superior de la sarta de perforación la cual se sostiene por medio de cuñas, después de esta conexión las bombas de lodo empiezan a funcionar y el buje de rotación se inserta en el buje maestro de la mesa rotaria, por lo que esta última empieza a funcionar y la sarta y el cuadrante empiezan

a girar. El perforador va soltando el freno del malacate hasta que la broca toca fondo y empieza la perforación.

2) *La primera carrera:* Cuando la perforación se realiza por medio de Kelly, cada 30 pies se debe parar la perforación y hacer una nueva conexión de una pieza de tubería. Para llevar a cabo la carrera, las cuñas se insertan y el cuadrante se desconecta, la cabeza de inyección se remueve del gancho que cuelga debajo del bloque de aparejo. Dentro de la ratonera se encuentra el cuadrante, el buje de rotación, la cabeza y manguera de inyección. Todavía conectados al gancho del bloque se encuentran los elevadores, son unas pinzas que se conectan a la sarta de perforación y permiten que el perforador puede sacarla o meterla al hoyo cuando se lleva a cabo una carrera.

### **3.2.2 Registro en hueco abierto**

Los registros de pozos son representaciones graficas de las diferentes reacciones de los instrumentos de registro a medida que van descendiendo dentro del pozo, lo que quiere decir que estas reacciones son función de la profundidad o del tiempo en caso de estaciones fijas.

El objetivo de los registros es ayudar en la localización de formaciones o rocas ricas en crudo o gas, además de esto los registros sirven para obtener datos necesarios para planear operaciones de terminación del pozo y estimar las reservas.

Los registros de hueco abierto son:

a) *Potencial espontáneo o SP:* Fue uno de los primeros que se usó para determinar la litología, además provee una indicación de permeabilidad.

El SP es un registro de la diferencia entre el potencial eléctrico de un electrodo móvil en el pozo y el potencial eléctrico de un electrodo fijo en la superficie en función de la profundidad.

Usos:

- Diferencia rocas potencialmente productoras, permeables y porosas (arenisca, caliza, dolomía) de arcillas y lutitas no permeables.
- Define los límites de las capas y permite la correlación entre las capas.
- Ayuda en la identificación de la litología (mineral).
- Permite la determinación de la resistividad del agua de formación,  $R_w$ .

b) Registro gamma ray o GR: Este registro es una medición de la radioactividad natural de las formaciones, los rayos gamma son impulsos de ondas electromagnéticas de alta energía que son emitidos espontáneamente por algunos elementos radioactivos. Existen dos tipos de GR: el primero es el gamma ray estándar que mide la radioactividad total; y el segundo el NGS o registro de espectrometría de rayos gamma naturales que miden la radioactividad natural y las concentraciones de potasio, torio y uranio que producen radioactividad.

c) Registros de porosidad: Entre ellos están el registro sónico, densidad y neutrón. Las mediciones de estos registros no solo dependen de la porosidad sino también de la litología de la formación, del fluido de los poros y en algunos casos de la geometría de la estructura porosa.

- Sónico: Es un registro en función del tiempo que requiere una onda sonora para atravesar un pie de formación, a lo que se le conoce como tiempo de transmisión el cual depende de la litología y de la porosidad de la formación.
- Densidad: Es un registro en función del tiempo que requiere una onda sonora para atravesar un pie de formación, a lo que se le conoce como tiempo de transmisión el cual depende de la litología y de la porosidad de la formación.
- Este responde a la cantidad de hidrogeno en la formación.

- d) Registros de resistividad: Una de las mediciones más importantes es la resistividad ya que sus mediciones en conjunto con la porosidad y resistividad del agua se usan en los cálculos de saturación de agua y de hidrocarburos. En este registro se usa la palabra conductividad la cual es un recíproco de la resistividad, por lo que a una resistividad alta corresponde una conductividad baja y viceversa. La unidad que se usa en estos registros es ohmio-metro<sup>2</sup>/metro, que se puede abreviar a ohmio-metro u ohmios.
- e) Registro eléctrico: Consiste en una curva SP y una combinación de curvas de resistividad que se llaman normal o lateral según la configuración de los electrodos. La curva normal se obtiene usando dos electrodos pozo abajo, uno de corriente y uno receptor, los valores de la resistividad se obtienen mediante la caída de voltaje entre estos. La curva lateral se obtiene usando tres electrodos, uno de corriente y dos receptores. Estas curvas no son simétricas porque debido a la presencia de estratos delgados se distorsionan, pero son efectivas para medir la resistividad real en formaciones gruesas y homogéneas.

### 3.2.3 Cementación

La cementación de los pozos petroleros consiste en dos operaciones principales como lo son:

- *Cementación primaria*: Es el proceso de colocación de una lechada de cemento en el espacio anular existente entre la tubería de revestimiento y la formación.
- *Cementación con fines de remediación*: Consiste en inyectar cementos en posiciones estratégicas de los pozos con fines de reparación de estos o de su abandono.

- 1) Antes de que el cemento llegue un tapón de goma conocido como el tapón de fondo o tapón naranja, se suelta de la cabeza para cementación.
- 2) Como las lechadas de cemento y los fluidos de perforación son químicamente incompatibles se debe mantener la separación de estos fluidos usando lavadores químicos (fluidos base agua).
- 3) Al igual que fluidos espaciadores los cuales se bombean antes de la lechada de cemento, acondicionando así el hueco para que este tenga mejor agarre del cemento.
- 4) Después de que el cemento ha sido bombeado este atraviesa la membrana del tapón naranja y se comienza a llenar el espacio anular, luego cuando el cemento va entrando en la tubería de revestimiento se suelta un tapón sólido conocido como tapón de tope o tapón negro.
- 5) Finalmente se bombea un fluido de desplazamiento que permite que la mayor parte del cemento pase al espacio anular.

**Clasificación API y ASTM de los cementos:** Casi todas las operaciones de cementación utilizan cemento portland, este consiste principalmente en compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio que se hidratan cuando se agregan al agua. El cemento Portland es el más importante e idóneo para las operaciones de cementación de pozos, algunos de estos son de fabricación especial debido a que las condiciones de los pozos difieren entre si al variar su profundidad, temperatura y presión.

Las especificaciones de los cementos son establecidas por el American Petroleum Institute (API) y el American Society for Testing and Materials (ASTM), actualmente hay ocho clases de cementos Portland y son:

- *Clase A o tipo I:* está diseñado para emplearse a 6000ft (1830 m) de profundidad como máximo, con temperatura de 77°C y donde no se requieran propiedades especiales.

- *Clase B o tipo II:* diseñado para ser usado desde la superficie hasta una profundidad de 6000ft (1830 m) de profundidad, con temperatura de 77°C y donde se requiere moderada resistencia a los sulfatos.
- *Clase C o tipo III:* diseñado para ser usado desde la superficie hasta una profundidad de 6000ft (1830 m) de profundidad, con temperatura de 77°C y donde se requiere alta resistencia a la compresión temprana, se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos.
- *Clase D:* este cemento se emplea desde los 6000ft (1830 m) hasta los 10000ft (3050 m) de profundidad, con temperatura de hasta 110°C y presión moderada, se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos.
- *Clase E:* este se usa desde los 10000ft (3050 m) hasta los 14000ft (4270 m) de profundidad, con temperatura de 143°C y alta presión, se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos.
- *Clase F:* este se usa desde los 10000ft (3050 m) hasta los 16000ft (4880 m) de profundidad, con temperatura de 160°C y donde exista alta presión, se fabrica en moderada y alta resistencia a los sulfatos.
- *Clase G y H:* se conocen como los cementos petroleros, son básicos para emplearse desde la superficie hasta los 8000ft (2440 m) tal como se fabrican, estos pueden modificarse con aceleradores y retardadores para usarlos en un amplio rango de condiciones de presión y temperatura.

### **Cementaciones correctivas o remediales**

La cementación correctiva se puede llevar a cabo por tapones de cementos bien sea balanceado o balanceado forzado, por circulación y por squeeze. Ubicar un tapón de cemento en un pozo es una operación que comúnmente es llevada a cabo en campo, esta implica usar un volumen de lechada de cemento en el pozo para llevar a cabo tareas como:

- Desviación o sidetrack por encima de un pescudo o para iniciar perforación direccional.

- Aislar intervalos o zonas y abandonar algún pozo.
- Recañonear zonas o realizar cualquier remediación al pozo después de que este se ha terminado.
- Resolver problemas de pérdida de circulación durante la perforación o reparar la tubería de revestimiento.

**Sidetrack:** Es una desviación que se realiza después de realizar una pesca y que por algún motivo la herramienta queda pegada en fondo y no se puede recuperar.

**Abandono de pozos:** Consiste en colocar varios tapones de cemento (por lo general se colocan tres) a diferentes profundidades con el fin de evitar la comunicación entre zonas y la migración de fluidos que puedan contaminar las fuentes de agua dulce subterráneas.

**Abandono de zonas:** Cuando las zonas productoras se agotan también suele colocarse un tapón de cemento para su abandono, evitando así la comunicación con otras zonas que se pueden poner a producir.

**Pérdida de circulación:** La pérdida del fluido de perforación se puede detener mediante el uso de la lechada de cemento debidamente formulada a través de la zona ladrona, aunque esta mezcla pueda perderse en dicha zona, se endurecerá y permitirá la consolidación de la formación.

### **3.2.4 Operaciones de registro y cañoneo**

El cañoneo es el proceso de crear aberturas a través de la tubería de revestimiento y el cemento, para establecer comunicación entre el pozo y la formación productora. Las herramientas que se utilizan para llevar a cabo esta operación se denominan cañones.

Un registro o perfil de pozo es una grabación contra profundidad de alguna de las características de las formaciones rocosas atravesadas, las cuales se realizan por medio de diferentes herramientas de medición.

### **3.2.5 Registro en hueco revestido**

Es muy importante tener en cuenta que obtener un buen sello en el pozo permite que se tenga un aislamiento de zonas durante un largo tiempo. Pero para determinar si esto sucede se usan registros sónicos y ultrasónicos que se han venido mejorando debido al auge de la tecnología ya que con ellos se logra cuantificar la adherencia del cemento y la tubería del revestimiento.

- Registro gamma ray: este registro en hueco revestido se correlaciona con el GR tomado en hueco abierto, con el fin de ubicarse en la profundidad correcta y adecuada dentro del pozo, identificando las zonas de interés que van a ser cañoneadas.
- Registro CCL: se corre en conjunto un registro neutrón con un detector o localizador de cuellos, permitiendo relacionar los cuellos con los intervalos productivos, es importante aclarar que cuando se requiera de otra operación de cañoneo, no es necesario volver a correr un registro GR, ya que es suficiente establecer un control de profundidad con CCL.
- Registro CBL y VDL: cement bond logging (CBL) hace referencia a la cantidad del cemento; variable density logging (VDL) hace referencia a la calidad de la adhesión del cemento.

Los registros acústicos se utilizan para evaluar la calidad de los trabajos de cementación, midiendo la propagación de ondas de sonido en las proximidades del pozo. El registro CBL mide la amplitud de una señal sónica producida por un transmisor que emite una onda acústica después de viajar a través del revestimiento, la medida se expresa en milivoltios mV o como decibeles dB. Si la amplitud aumenta indica una mejor calidad de la

adherencia entre el cemento y el revestimiento. Estos registros no proveen información radial para diferenciar presencia de canales, cemento contaminado entre otras lo que dificulta la interpretación de los datos.

- Registros de imágenes ultrasónicas: Las herramientas ultrasónicas miden la impedancia acústica (la densidad del material multiplicada por la velocidad de la onda de compresión) del material que se encuentra detrás de la tubería de revestimiento. El material sólido o sea el cemento fraguado muestra una impedancia acústica mayor que los líquidos (lodo, fluido espaciador o cemento líquido). Por lo que estas herramientas se pueden usar para diferenciar los sólidos de los líquidos a través de un contraste de impedancia acústica.

### **3.2.6 Cañoneo**

Consiste en la perforación de agujeros con explosivos a través de la tubería de revestimiento de acero, el cemento y la roca de formación. El cañoneo es el único modo de realizar túneles que establezcan enlaces entre el yacimiento de crudo o gas y el pozo revestido que va hasta la superficie, por lo que esta operación es la clave para el éxito de la producción económica del crudo y gas, la productividad del pozo a largo plazo y la recuperación eficiente de los hidrocarburos. Los orificios que se obtienen por medio del cañoneo no solo permiten el paso de los fluidos, sino que proporcionan puntos uniformes para la inyección de agua, gas y ácido, los cuales se usan para estimulaciones por fracturación hidráulica.

## **3.3 ESTIMULACIONES DE POZO**

La operación de estimulación en un pozo es el proceso mediante el cual se restituye o se crea un sistema extensivo de canales en la roca productora de un yacimiento

que sirvan para facilitar el flujo de fluidos de la formación al pozo, o de este a la formación y sus objetivos son:

- Para pozos productores: Incrementar la producción de hidrocarburos.
- Para pozos inyectores: Aumentar la inyección de fluidos como agua, gas o vapor.
- Para procesos de recuperación secundaria y mejorada: optimizar los patrones de flujo.

### **3.3.1 Fracturamiento hidráulico**

El fracturamiento hidráulico es también conocido como estimulación hidráulica y es la encargada de mejorar el flujo de los hidrocarburos o la productividad de los pozos mediante la creación de fracturas en la formación, las cuales conectan al yacimiento con el pozo. Esta técnica de estimulación consiste en generar en la roca reservorio una fractura induciendo presión por medio de la inyección de un fluido viscoso o fracturante, este fluido es bombeado a presiones que exceden la presión de fractura de la formación.

Principales sustancias que se bombean durante el fracturamiento:

- Apuntalantes: son partículas que mantienen abiertas las fracturas y las preservan para facilitar la producción, entre más grandes y más esféricas sean estas partículas forman empaques más permeables o empaques con más conductividad.
- Fluidos de fracturamiento: deben ser lo suficientemente viscosos para crear y propagar una fractura y además transportar el apuntalante hacia el interior de la fractura.
  - *Flúidos base agua*: el agua por lo general es usada como base del fluido fracturante, esta clase de fluidos posee excelentes propiedades para transportar el material de soporte y controlar el filtrado, son

económicos y de fácil preparación, no representan ningún riesgo por combustión, fácilmente están disponibles y son fácilmente viscosificados y controlados.

- *Fluidos base aceite:* entre este tipo de fluidos se encuentran los aceites refinados, la ventaja que estos poseen es el bajo costo, la disponibilidad y su fácil remoción de la fractura. Otro fluido es el aceite crudo; el cual ofrece una viscosidad de acarreo apropiada y se puede controlar su filtrado.

### **3.3.2 Acidificaciones**

Esta técnica de estimulación consiste en la inyección a la formación de soluciones químicas a presiones inferiores a la presión de ruptura de la roca, donde estas reaccionan químicamente disolviendo materiales extraños a la formación y parte de la propia roca. El objetivo de esta operación es remover el daño ocasionado en las perforaciones y en la vecindad del pozo al igual que eliminar las obstrucciones presentes en este.

Son sustancias conocidas por su pH menor de 7, entre más completa y rápida sea la disociación del compuesto en agua, en iones hidrogeno y un anión, mayor poder de disolución tendrá el ácido. En la estimulación de pozos se utilizan ácidos que reaccionan con los minerales que contienen las formaciones, estas reacciones son procesos de cambios químicos entre el ácido y los minerales para dar productos de reacción.

Los ácidos más usados en la estimulación de pozo son:

- *Ácidos inorgánicos:* ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF).
- *Ácidos orgánicos:* ácido acético, ácido fórmico.

### **3.3.3 Recañoneo**

Esta técnica es empleada en pozos donde existen problemas de taponamiento de los agujeros que comunican el pozo con la zona productora (daño), estas perforaciones o cañoneos suelen obstruirse con arena, arcilla y partículas que migran desde el yacimiento al pozo durante la producción, esta situación suele presentarse mucho en pozos cuya vida de producción es avanzada; cuando se identifica la presencia de daño se ve la necesidad de realizar un trabajo de remediación para lograr que la comunicación yacimiento-pozo sea eficiente, por lo cual se realizan trabajos de estimulación o recañoneo. El procedimiento de recañoneo se lleva a cabo de la misma manera que el cañoneo convencional.

### **3.3.4 Control de arena**

Conjunto de técnicas mediante las cuales se elimina total o parcialmente la producción de sólidos, que soportan cargas provenientes de la formación productora y que se producen juntamente con los hidrocarburos. Los problemas de producción de arena son presentes en formaciones no consolidadas, quiere decir formaciones que no son capaces de soportar los esfuerzos causados por el paso de los fluidos a través de ellas, lo que ocasiona un desmoronamiento de la arena que es arrastrada hacia el pozo.

## **3.4 SERVICIOS A POZOS Y WORKOVER**

El término servicio a pozo se refiere a todas las operaciones que pueden ser realizadas en el pozo con uno de estos dos objetivos:

1. Averiguar el estado del propio pozo o como está involucrado el yacimiento.
2. El mantenimiento o adaptación del pozo para mantener las mejores posibles condiciones operacionales.

Las operaciones que deben ser llevadas a cabo en un pozo son numerosas y se pueden descomponer en mediciones, mantenimiento y workover.

### **3.4.1 Operaciones de mantenimiento**

- *Cabeza de pozo:* se realiza la lubricación de las válvulas, reemplazo de partes averiadas corriente abajo de las válvulas maestras y una verificación periódica del sistema de control de válvulas de seguridad tanto de superficie como de fondo.
- *Tubing y su equipo:* Existen operaciones asociadas a problemas con depósitos y/o corrosión como la limpieza de tubing con raspadores, inyección de un dispersante de parafinas, inyección de inhibidores de corrosión o de formación de hidratos, entre otros.
- *Fondo de pozo y zona productora:* se llevan a cabo operaciones por wireline, nuevos cañoneos, entre otros.

### **3.4.2 Operaciones de workover**

Son intervenciones realizadas en un pozo con el fin de mantener o mejorar la producción de los hidrocarburos. Algunas de ellas son:

- El reacondicionamiento de los pozos para aprovechar de manera correcta la energía del yacimiento.
- Eliminar problemas mecánicos los cuales se interponen en la eficiencia de la producción y de la inyección.
- La estimulación del yacimiento para reactivar o mejorar el flujo de los fluidos.
- Operaciones de limpieza de sólidos indeseables que restringen el flujo.
- Reparación o cambios en el sistema de levantamiento artificial.

*Trabajo de workover mayor:* Implica todas aquellas modificaciones substanciales y definitivas en las condiciones y características de la zona de producción o inyección.

*Trabajo de workover menor:* hace referencia a la corrección de fallas en el estado mecánico del pozo y a la restauración u optimización de las condiciones de flujo del pozo, pero sin modificar definitivamente la zona de producción o de inyección.

Razones por las cuales se realiza un workover:

- **Fallas de equipo:** presentadas en diversas partes del pozo, por fugas en cabeza en la válvula maestra o en el colgador de la tubería, daños en el sistema de la válvula de seguridad de superficie, etc.
- **Restauración o modificación de la zona productora:** se realiza con el fin de mejorar las condiciones de la zona productora como una estimulación por acidificación o un fracturamiento, una implementación o restauración de un control de arena.
- **Modificaciones en las condiciones de producción:** con el fin de obtener la velocidad suficiente para transportar las fases pesadas.
- **Cambio de propósito del pozo:** al pasar el tiempo un pozo va cambiando sus condiciones, por lo que se realiza un análisis minucioso de que tan rentable es mantener dicho pozo en producción.
- **Pesca:** cuando se ejecutan las operaciones de medición, mantenimiento y workover pueden caer partes o herramientas accidentalmente en el pozo, ya sea un hueco abierto o revestido, estos elementos son denominados “pescados”, en estos casos se realizan operaciones de pesca con el fin de recuperarlos, estas operaciones suelen ser problemáticas por el tamaño de los artículos perdidos.

### **3.4.3 Operaciones de wireline y slickline**

Son usadas desde los inicios de la perforación para realizar operaciones en pozos tanto productores como inyectores usando un cable de acero; esta técnica permite entrar, correr, configurar y retirar diversas herramientas e instrumentos de medición en el pozo.

### **Ventajas:**

- Tiene la posibilidad de trabajar dentro de la tubería de producción, sin la necesidad de matar el pozo, utilizando un lubricador conectado a la cabeza de pozo; es posible realizar la operación bajo presión e incluso sin la necesidad de parar la producción.
- El tiempo de ejecución de las operaciones es mucho menor comparado con otros equipos debido a que es muy liviano.

### **Desventajas:**

- El equipo de cable solo puede trabajar bajo tensión con cargas moderadas, lo que limita las posibilidades de uso sumándole a esto que no es posible aplicar rotación ni circulación.
- A pesar de requerir poco personal, la operación requiere que los pocos operadores estén altamente calificados.

### **3.4.4 Operaciones de coiled tubing y snubbing**

**Sistema coiled tubing:** esta tecnología permite bajar herramientas y materiales a través de la tubería de producción o revestimiento, mientras el pozo continúa produciendo. tecnología permite bajar herramientas y materiales a través de la tubería de producción o revestimiento, mientras el pozo continúa produciendo.

### **Ventajas:**

- La tubería flexible puede ser bajada y recuperada mientras se están circulando los fluidos en forma continua.
- Habilidad para trabajar con presión de superficie presente, no se necesita matar el pozo.

- Por el cuerpo de la tubería flexible no es necesario realizar conexiones y desconexiones.

**Desventajas:**

- La tubería flexible es susceptible a torcerse y enroscarse, lo cual causa fatiga de esta (debilitamiento) y requiere de frecuente reemplazo.
- Tiene un espesor más delgado que la tubería convencional por tramos, lo que la limita a la resistencia a la carga de tensión de la tubería.
- Debido a las características de transporte en carretes (altura y peso), se tiene una longitud limitada de tubería flexible que puede envolverse en un carrete.

**Sistema snubbing:** es un sistema de servicio a pozos capaz de correr tubería en pozos vivos, lo que quiere decir que esta unidad fue diseñada para correr tubería hacia adentro o hacia fuera de un pozo bajo presión.

Las unidades de snubbing pueden efectuar varias tareas como:

- Control de pozo.
- Limpieza de obstrucciones en la tubería.
- Pesca y fresado.
- Perforación de cemento y tapones puente.
- Lavado de materiales de fractura.
- Acidificación y lavado.
- Circulación.
- Consolidación de arenas.
- Inyección forzada de cemento y taponamiento.
- Taponado de cierre y abandono.
- Colocado o retirado de tapones para equipo selectivo.
- Retirado de sarta usada para matar el pozo.

### **3.5 EQUIPOS DE PRODUCCIÓN EN EL POZO**

En un pozo existe gran variedad de equipos o herramientas que se encuentran disponibles para llevar a cabo la producción de los fluidos, desde la formación hasta la superficie donde este será tratado. Para satisfacer las necesidades y limitaciones que hay en la producción de un pozo es necesario tener acceso a este para realizar ciertas mediciones, contar con un flujo eficiente que permita que el fluido llegue hasta superficie, controlar en superficie el flujo y garantizar la seguridad de los equipos y del personal.

#### **3.5.1 Cabezal de pozo**

La tubería de producción o tubing necesita ser asegurado y colgado desde la superficie, por lo que debe disponer de varias válvulas y demás accesorios en superficie que permitan el flujo del fluido de una manera segura y eficiente.

Requisitos para elegir el cabezal de pozo:

- La protección contra el flujo incontrolado del fluido que proviene del pozo.
- El control de la tasa de flujo.
- El monitoreo periódico del estado del pozo y/o bajada de las herramientas de wireline dentro del pozo.
- Resistencia a la presión y a la temperatura durante la producción.

Funciones:

- Soportar cargas de tensión de las tuberías suspendidas.
- Tener capacidad de sellar a presión.
- Proporcionar una conexión entre el pozo y las líneas en superficie.
- Aislar el pozo del ambiente exterior.
- Mantener la presión durante las operaciones de control de pozo, pruebas o periodos de cierre.
- Ofrece una base para el árbol de navidad.

### 3.5.2 Sartas de producción

La tubería de producción es el conductor que dirige el fluido que proviene de la formación hasta llegar a la superficie en pozos de producción y desde la superficie hasta el yacimiento en pozos de inyección.

El tubing (figura 10) puede ser reemplazado cuando se necesita realizar alguna reparación o se requiera adaptarlo debido a un cambio en los parámetros de producción como la tasa de flujo. Si el diámetro regula el flujo de los fluidos por otro lado el material de acero y el tipo de conexión de la tubería proveen una cierta resistencia contra los fluidos químicos que son agresivos, por lo que se debe tener en cuenta que una adecuada selección, diseño e instalación de la tubería es una parte fundamental en el completamiento de un pozo.

### 3.5.3 Equipos de fondo

Existen diversas herramientas diseñadas para llevar a cabo las operaciones en un pozo, algunas de ellas quedan dentro de este durante su vida productiva, en algunos casos hasta una nueva intervención o solo durante el workover. Estas se bajan con la tubería, la línea de cable, la presión hidráulica o incluso como parte de la sarta original.

***Tubería de revestimiento:*** es la permite que la formación no se derrumbe, que los fluidos no sean mezclados de una formación a otra y la base para la instalación del cabezal de pozo. Estas tuberías son de diferentes diámetros, grados y pesos que le dan a esta la resistencia necesaria para soportar aplastamiento, reventones, tensión y otras propiedades necesarias para resistir la presión del pozo y del fluido de la formación.

***Tubería de producción:*** esta tubería tiene un diámetro más pequeño y es el conducto principal para los fluidos producidos por el pozo, protege al revestimiento de la corrosión y presión. Esta tubería se baja desde la superficie hasta la zona de

interés, se clasifica por su diámetro tanto externo como interno (OD, ID), su peso (lb/ft) y su grado (J-55, N-80).

**Liner:** esta tubería no se extiende hasta la superficie, está colgada y apoyada a un colgador de revestimiento o liner hanger, se baja con la sarta de trabajo hasta la profundidad deseada y se cementa.

**Centralizador:** son dispositivos que se usan para centrar u orientar la tubería, las herramientas de línea de cable y los cañones en el pozo.

**Raspadores:** Se usan para quitar substancias extrañas del ID de las paredes de la tubería de revestimiento.

**Enderezador (Taper Mill):** Se usan para restaurar esta tubería o la que este colapsada, abollada o doblada, por lo general es un mandril sólido ahusado al ID de la tubería que se va a restaurar.

**Empaque:** es un dispositivo que se usa para sellar el área entre la tubería de revestimiento y la de producción o la tubería de producción y el hueco abierto, con la finalidad de evitar el movimiento vertical de los fluidos por el espacio anular, además aísla el revestimiento de las presiones de producción o estimulaciones elevadas y de los fluidos corrosivos, por lo cual se asienta por encima de la zona de interés.

### **3.5.4 Equipos de superficie**

Cuando la tubería de revestimiento final se ha instalado, cementado y cañoneado, y cuando la tubería de producción está en su posición final dentro del pozo, se instala en superficie el árbol de navidad. Este equipo está compuesto por una serie de válvulas, bridas, cuerpo del estrangulador y conectores que permiten el flujo controlado de los fluidos producidos.

**Preventoras, BOP's:** son un juego de válvulas de gran tamaño, las BOP se utilizan para controlar las presiones altas, su propósito es el de cerrar el pozo, estas operan de manera rápida evitando así cualquier reventón del pozo que ocasione daños tanto a la estructura como al personal en campo. Estos equipos se pueden armar con diferentes configuraciones según el código de la API.

A → Preventora tipo anular.

G → Cabezal giratorio.

R → Preventora simple, con un solo juego de arietes, ciego o de tubería.

Rd → Preventora doble, con doble juego de ariete.

Rt → Preventora triple, con tres juegos de ariete.

CH → conector a control remoto que conecta el cabezal o las preventoras unos con otros.

CL → conector de baja presión a control remoto.

S → carretel con conexiones de salida laterales para las líneas del estrangulador y control.

Los componentes de la columna de BOP's se indican leyendo de abajo hacia arriba por ejemplo RSRRA.

**Preventora anular:** son los dispositivos que permiten controlar la presión en cabeza de pozo, estas se usan como un sello de cierre alrededor de cualquier cosa que este en el pozo y como un cabezal de lubricación para mover o deslizar la tubería bajo presión.

**Manómetros:** se usan para medir la presión de la bomba o de circulación y se encuentran montados en el tubo vertical en la plataforma, los de perforación o el del tubing están en la consola del perforador y en el panel del estrangulador, estos se usan para controlar el pozo y realizar pruebas de sensibilidad de presión. Los manómetros que miden la presión de la tubería de revestimiento o del espacio anular se encuentran en el manifold.

**Acumulador:** proveen una manera rápida y confiable para cerrar los preventores (BOP) cuando ocurre un amago de reventón, utiliza un fluido de control de aceite hidráulico o una mezcla de productos químicos y agua guardados en botellas de acumuladores, allí se guarda suficiente fluido para usar bajo presión para que todos los componentes de la columna puedan funcionar con presión.

**Desgasificador:** los desgasificadores pueden separar el gas arrastrado en el fluido por medio del uso de una cámara de vacío, una cámara presurizada, una bomba de rocío, entre otros.

**Estrangulador:** controlan el caudal del flujo de los fluidos, ya que restringen el paso de estos creando una fricción o contrapresión en el sistema, permitiendo controlar el caudal y la presión del pozo. Existen estranguladores que se pueden ajustar manualmente o a control remoto.

**Separador de gas:** es la primera línea de defensa del gas en campo o locación, este es un recipiente sencillo y abierto que está conectado a la punta de la línea del manifold o estrangulador y permite que el gas libre que sale del fluido salga del sistema y gravite o sea empujado hacia la línea de quema.

## 4. DISEÑO GUÍA DE ENTRENAMIENTO

La estructura planteada para el cumplimiento de la guía se basa inicialmente en la búsqueda y análisis bibliográfico correspondiente al tema, posteriormente se apoya en la experiencia propia. De acuerdo a la normatividad vigente que rige en cuanto a seguridad y salud en el trabajo y medio ambiente, se crea una guía general para seguir el procedimiento estándar a cumplir durante el trabajo de completamiento de pozos que realizan las empresas prestadoras de servicios en Colombia actualmente; es una guía hecha especialmente para dar orientación en el proceso, está dirigida a estudiantes en práctica y/o ingenieros recién egresados que no cuentan con la experticia necesaria para llevar a cabo dichas funciones.

### 4.1 Identificación del contenido

En relación a las buenas prácticas de acuerdo con los sistemas de gestión de calidad, se debe realizar y unificar dentro de la empresa, la forma en que se llevarán a cabo los procesos de gestión documental; estos documentos se recomiendan que sean fáciles, sencillos, y prácticos; garantizar que la forma en que se definan asegure su total entendimiento a todo el equipo de trabajo.

Con base en lo anterior, se contará con un encabezado para todos los documentos que contiene una información básica y adaptable a cualquier proceso de gestión documental de las diversas empresas que quieran acoger el contenido.

LOGO EMPRESA	TÍTULO DEL DOCUMENTO	Código:
		Versión:

1. El logo oficial que representa la empresa.
2. El título que identifica el documento, por ejemplo, en este caso se trata de una guía y de acuerdo al tema tiene su complemento de título.
3. El código, es una serie alfa-numérica que la empresa tiene la autonomía de asignar de acuerdo a lo establecido en su gestión documental.
4. La versión, está es la que permite el control del documento, tomando como inicial “versión 1”; a partir de allí cada modificación que se le realice al documento esta versión deberá ir incrementándose.

#### **4.1.1 Empleo y lugar de trabajo**

En la realización de la guía se tomaron tres ejes principales, el primero se basa en el tema del lugar de trabajo, donde se trata de establecer una rutina para así mantener un orden, aseo, equilibrio y hacer más amena la realización de las labores.

Cabe resaltar que la empresa debe garantizar al trabajador la seguridad del lugar y sitio de trabajo, debe tener en cuenta muchos aspectos para prevenir incidentes y/o accidentes relacionados con ello, en complemento se debe crear una cultura laboral con los trabajadores. Algunos de los aspectos están contemplados en el decreto 1443 de 2014, capítulo 1 numeral 12: *”aquellos elementos, agentes o factores que tienen influencia significativa en la generación de riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores: las características generales de los locales, instalaciones, máquinas, equipos, herramientas, materias primas, productos y demás útiles existentes en el lugar de trabajo. Los agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el ambiente de trabajo y sus correspondientes intensidades, concentraciones o niveles de presencia. La organización y ordenamiento de las labores, incluidos los factores ergonómicos o biomecánicos y psicosociales.”*

#### **4.1.2 Salud, seguridad y medio ambiente**

El segundo eje de la guía se basa en la seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente; esto comprende dos temas muy importantes y relacionados entre sí, nuestra industria se rige bajo normativas muy estrictas con respecto a estos asuntos.

El concepto de la seguridad y salud en el trabajo es reducir índices de incidentes y/o accidentes, dicha tarea se lleva a cabo con capacitaciones al personal y dando ejemplo, crear cultura en el trabajo de hacer uso correcto y oportuno de los elementos de protección personal adecuados para cada sitio donde se encuentren; tener claro los principios y objetivos de la empresa para la cual se está trabajando y sus políticas de seguridad, asistir a las charlas y capacitaciones, mantener actualizado a todo el personal.

Por otro lado, la parte ambiental no se puede descuidar ya que es fundamental en nuestra vida diaria, con conciencia ciudadana aplicada en el sitio de trabajo se pueden lograr grandes cambios en la industria y en el planeta, por ejemplo, apagar los equipos de cómputo mientras no se vayan a usar, evitar usar aire acondicionado, no desperdiciar agua, apagar las luces durante el día, reciclar las hojas que quedan mal impresas, entre otros.

En el marco internacional, el convenio 155 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), sobre seguridad y salud de los trabajadores<sup>12</sup>, y la Recomendación sobre seguridad y salud de los trabajadores, R164, disponen que deben adoptarse medidas políticas nacionales de seguridad y salud en el trabajo, y estipulan las actuaciones necesarias tanto a nivel nacional como a nivel empresarial para impulsar la seguridad y salud en el trabajo y la mejora del medioambiente..

---

<sup>12</sup> Convenio C155 – Convenio sobre seguridad y salud de los trabajadores, 1981 (núm. 155).  
[http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100\\_INSTRUMENT\\_ID:312300](http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312300)

### 4.1.3 Completamiento

El completamiento de un pozo representa la ejecución de muchos estudios que, aunque se realizan por separado, llegan al mismo punto: la obtención de hidrocarburos.

La elección y el adecuado diseño de los esquemas de completamiento de los pozos perforados, constituyen una parte decisiva dentro del desempeño operativo, productivo y desarrollo de un campo. La eficiencia y la seguridad del vínculo establecido entre el yacimiento y la superficie dependen de la correcta estrategia disposición de los parámetros que la conforman, de esta manera podría hablarse de la productividad del pozo en función del completamiento, que incluye un análisis de sus condiciones mecánicas y la rentabilidad económica que justifique la existencia<sup>13</sup>.

El completamiento de pozos envuelve un proceso que se extiende mucho más allá que la instalación de tubería y equipos en el pozo.

Basados en esta definición, instalar y cementar el casing de producción o liner, así como también registros, cañoneo y pruebas son parte del proceso de completamiento, sumado a esto un equipo complejo de cabezal, el procesamiento y requerimientos de almacenamiento afectan la producción de un pozo y pueden derivar en variaciones en el diseño y en la configuración del completamiento.

Durante la perforación de un pozo se requiere que las zonas perforadas se encuentren estabilizadas y no se derrumben mientras se sigue perforando. Por ello se debe bajar al pozo tuberías de completamiento y se cementan. Luego de que el pozo se termina de perforar se deben efectuar operaciones que permitan conectar el yacimiento con el pozo y se mantenga esta conexión y con ello la productividad<sup>14</sup>.

---

<sup>13</sup> [https://issuu.com/biliovirtual/docs/completaci\\_n\\_de\\_pozos](https://issuu.com/biliovirtual/docs/completaci_n_de_pozos)

<sup>14</sup> Universidad Industrial de Santander, escuela ingeniería de petróleos, contenido de la materia completamiento de pozos.

## 5. CONCLUSIONES

Durante los primeros meses de práctica realizados, se evidencia que hay poca capacitación y acompañamiento a los estudiantes y/o ingenieros recién egresados por parte de los jefes en cuanto a orientación sobre el trabajo a realizar, razón por la cual surge este proyecto de grado, de diseñar una guía general que ayude a ubicar los recién contratados.

El rendimiento obtenido meses después de recibir capacitaciones y charlas fue de un 40%, ya que se evidenció la asistencia de personal superior ayudando así con las bases y definiendo las funciones exactas a realizar; es de esperarse que con el diseño de esta guía pueda incrementar este valor.

Un enfoque hacia el procedimiento como tal y los equipos usados en la línea de completamiento es fundamental para que el estudiante en práctica y/o recién egresado ejecute sus labores sin necesidad de la supervisión constante de los jefes.

Tener claras las políticas de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente, es esencial para contribuir al progreso de la empresa prestadora del servicio y con esto al planeta, preservando tanto vidas humanas como flora y fauna propia de la región.

Con una guía el estudiante o ingeniero logra disminuir los procesos pobres de calidad, los tiempos no productivos, incidentes laborales, daños al medio ambiente y pérdidas económicas.

## **6. RECOMENDACIONES**

Realizar el diseño de nuevas guías para las diferentes líneas existentes en la cadena de los hidrocarburos para facilitar el trabajo en campo.

Aplicar un estudio de evaluación del antes y después del diseño de la guía, y así realizar una comparación en medidas cuantitativas que nos indiquen el éxito del proyecto.

Diseñar la guía de acuerdo a los lineamientos específicos de cada empresa prestadora del servicio, ya que esta guía fue descrita de manera general.

## BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, Mayra & PACHÓN, Pedro (2017). Diseño de una guía metodológica de requerimientos para la formulación de proyectos de inversión en la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de grado, universidad industrial de Santander, Bucaramanga.

BAYONA, Luis & SANTOS, Andrea (2017). Guía metodológica de implementación de la NTC 6175:2016 para las agencias de gestión y colocación de empleo en Santander. Monografía, universidad industrial de Santander, Bucaramanga.

CIED, Centro Internacional de Educación y Desarrollo. Completación y reacondicionamiento de pozos, Venezuela: CIED, 1996, p.19-20.

COLOMBIA, MINISTERIO DE TRABAJO. Decreto 1072, (26 de mayo, 2015). Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Diario oficial Bogotá D.C, 2015, P.78.Art 2.2.4.6.3

Convenio C155 – Convenio sobre seguridad y salud de los trabajadores, 1981 (núm. 155).[http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100\\_INSTRUMENT\\_ID:312300](http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_INSTRUMENT_ID:312300)

GARCÍA, Rafael & SAAVEDRA, Ingrid (2016). Plan de transición para el sistema integrado de gestión HSEQ de la empresa soldaduras y construcciones LTDA, con base en los requisitos de las NTC ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 y OHSAS 18001:2007. Monografía, universidad industrial de Santander, Bucaramanga.

[http://www.el-nacional.com/noticias/columnista/empresas-servicios-petroleros-resiliencia-desafios\\_199436](http://www.el-nacional.com/noticias/columnista/empresas-servicios-petroleros-resiliencia-desafios_199436) [Adaptado por el autor]

[https://issuu.com/biliovirtual/docs/completaci\\_n\\_de\\_pozos](https://issuu.com/biliovirtual/docs/completaci_n_de_pozos)

<https://www.nueva-iso-14001.com/2017/02/norma-iso-14001-objetivos-ambientales/>

<https://www.nueva-iso-45001.com/2018/03/publicado-norma-iso-45001-2018/>

<https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2015/12/iso-90012015-direccion-estrategica/>

OSORIO, Cesar (2013). Metodología para la preparación de las herramientas bajadas a pozo en las líneas de completion tools y testing & subsea para Halliburton. Trabajo de grado, universidad industrial de Santander, Bucaramanga.

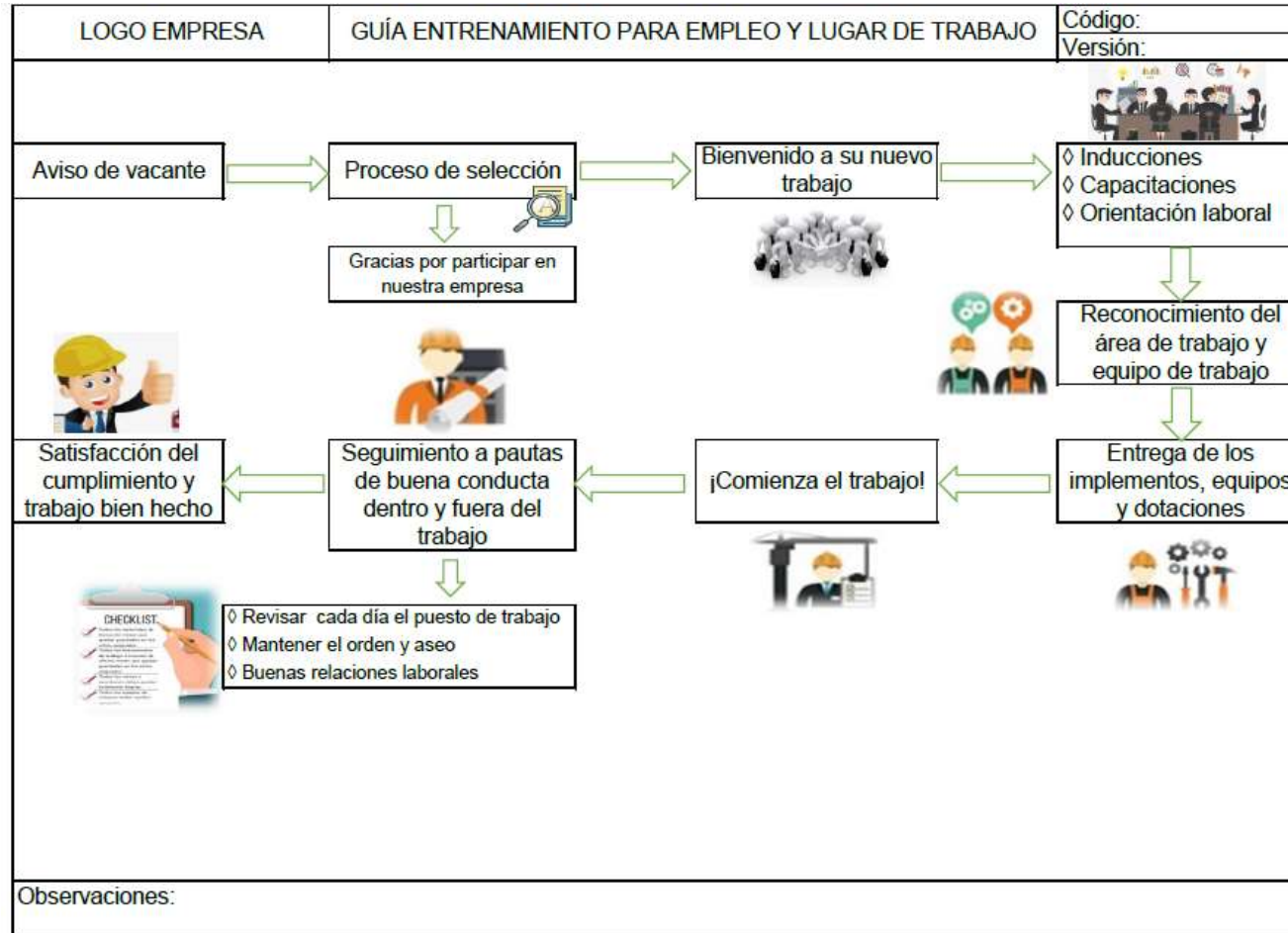
PEREZ, Shirly & SUAREZ, Maycol (2015). Implementación de una herramienta virtual como apoyo a los procesos de enseñanza y aprendizaje en la asignatura completamiento de pozos. Trabajo de grado, universidad industrial de Santander, Bucaramanga.

Seguridad y salud en el trabajo [Citado el 24 de agosto de 2016]. Disponible en <http://www.ilo.org/global/standards/subjects-covered-by-international-labour-standards/occupational-safety-and-health/lang--es/index.htm>

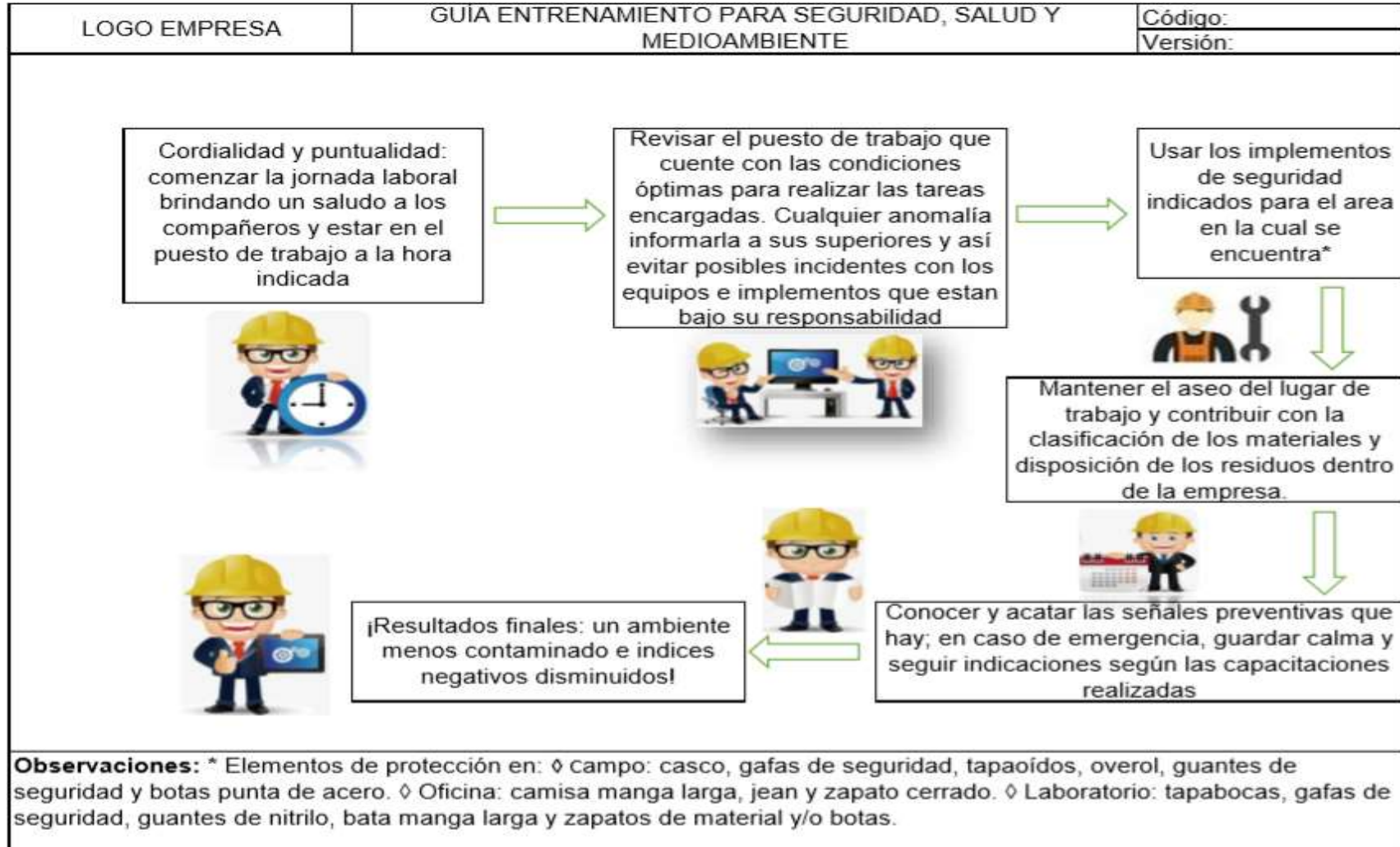
Universidad Industrial de Santander, escuela ingeniería de petróleos, contenido de la materia completamiento de pozos.

# ANEXOS

## Anexo A. Guía entrenamiento para empleo y lugar de trabajo



Anexo B. Guía entrenamiento para seguridad, salud y medio ambiente



**Anexo C.** Guía entrenamiento para línea de completamiento en campo.

