

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**ESTUDIO TÉCNICO ESTADÍSTICO DE TIEMPOS NO
PRODUCTIVOS DE LAS OPERACIONES INVOLUCRADAS EN LA
PERFORACIÓN DE LOS POZOS DEL CAMPO AUCA DURANTE EL
AÑO 2014**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIEROS EN
PETRÓLEOS**

EDGAR VINICIO FAUTA MACAS

vinikjj@hotmail.es

LUIS GEOVANNY PACHECO CARRERA

geovanny19@live.com

DIRECTOR: ING. BLADIMIR CERÓN GUERRA

ignacio.ceron@epn.edu.ec

Quito, Abril 2016

DECLARACIÓN

Nosotros, Edgar Vinicio Fauta Macas, Luis Geovanny Pacheco Carrera, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación personal; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Edgar Vinicio Fauta Macas

Luis Geovanny Pacheco Carrera

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edgar Vinicio Fauta Macas y Luis Geovanny Pacheco Carrera, bajo mi supervisión.

Ing. Bladimir Cerón Guerra
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, por estar siempre presente en mi vida, por brindarme fortaleza para salir adelante, no decaer y triunfar ante cualquier adversidad.

A mis padres, Byron y Lilián, por todos los sacrificios realizados durante tanto tiempo, por ser el apoyo en los momentos más difíciles de mi vida y sobre todo, por el amor y cariño incondicional que me han demostrado.

A mi hermana, Gaby, que nunca me ha dejado solo, siempre ha estado pendiente de mí, brindándome su apoyo cuando más lo necesito. A mis hermanitos pequeños, Shaggy y Jade, por enseñarme el significado de la amistad y amor verdadero.

A mis abuelos paternos y maternos, porque de ellos nunca faltó una palabra de aliento para salir adelante.

A mis tíos, por estar presentes en cada acontecimiento importante de mi vida, por los consejos brindados que me han ayudado a lo largo de mi vida.

A mis primos, por los momentos felices que hemos compartido.

Al Señor Director, Ing. Bladimir Cerón, por el conocimiento, sabiduría y apoyo brindado para la culminación de este proyecto de titulación, quien me enseñó a pensar más allá de las expectativas que me plantee como profesional.

Al profesor del departamento de matemática, Miguel Flores, por su gran apoyo durante la elaboración de este proyecto.

A la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, y en especial a los Ingenieros Marcelo Rosero y Einstein Barrera por la colaboración para el desarrollo de mi proyecto de titulación.

A mis amigos y compañeros, por la amistad que formamos durante todo este tiempo.

A mis maestros, quienes con su sabiduría y conocimientos impartidos fueron un gran aporte para mi formación profesional.

A mi universidad, Escuela Politécnica Nacional, que me abrió sus puertas para forjarme como una persona y profesional competitivo.

Edgar Vinicio

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida y sabiduría para conseguir este sueño ahora hecho realidad y regalarme una madre única que me ha sabido sacar adelante y me ha dado la oportunidad de estudiar en una de las mejores universidades de este país como es la POLITECNICA NACIONAL.

Agradezco a mi madre Rosa Carrera por ser la persona que me apoyo siempre en los momentos difíciles de mi vida, por haberme inculcado desde muy temprana edad los valores humanos y a ser una persona de bien, es la persona que yo más amo y pido a Dios que le de muchos años de vida para que ella sea mi guía y compañía.

Agradezco a mi Padre Manuel Pacheco que desde el cielo ha sabido guiar mis pasos y me ha dado la bendición para cumplir mis sueños como es la de ser un profesional.

Agradezco a mis queridos hermanos que me han apoyado moralmente en toda mi vida y en gran parte en esta etapa de estudio Edu, Ele, Susi, Carmen, Ana, Chela, Juan, Lucí, los quiero mucho y gracias por sus consejos.

No podría pasar en alto sin agradecer al Ing. Bladimir Cerón quien con su ciencia y sabiduría supo guiarnos paso a paso en este trabajo, inculcando sus sabios conocimientos y dándonos su apoyo incondicional y brindándonos su amistad transparente.

También a mi amigo incondicional que me supo apoyar en todas las etapas de mi vida estudiantil Lenin Castro, e hizo que este proyecto se lleve a cabo por nociones aprendidas en la vida, no me queda más recalcar y reconocer que el destino nos concibió ser amigos, pero el tiempo nos hizo hermanos.

También a la persona que apareció en mi vida sentimental e estudiantil Tania Sabrina, y me ha dado la bendición de ser padre de una hermosa niña Melanie Nicole, a la cual amo con mi vida y espero ser un ejemplo para ella e inculcarle desde muy temprana edad mis valores y principios.

A los docentes que me han sabido compartir sus conocimientos y experiencias en las aulas de la institución y se ven reflejados en este proyecto.

A mis compañeros y amigos de estudio con quienes tuve el gusto de compartir experiencias buenas y malas, alegrías y tristezas a lo largo de esta profesión.

Geovanny Pacheco

DEDICATORIA

A mi Dios, por el amor incondicional que me brinda cada día de mi vida.

A mis padres, ya que sin ellos, no sería la persona en la cual me he convertido.

A mi hermanos, por el cariño más sincero que he tenido el privilegio de recibir.

A toda mi familia paterna y materna.

DEDICATORIA

A mi Madre

Rosa Carrera con todo mi cariño y amor quien hizo posible que mis sueños se hagan realidad, por su perseverancia y constante apoyo, a usted por siempre mi corazón y mi eterno agradecimiento.

A mis familiares

A mi hermana Lucia por ser parte de mi linda familia con la que he compartido un montón de cosas y secretos, que se quedaran clavadas en las escrituras de mi vida y atesoradas en mi alma.

A hermano Juan por ser un ejemplo de hermano que me ha brindado su apoyo moral en los momentos más difíciles de mi vida y he compartido vivencias inolvidables.

A mi hermano Eduardo por compartirme sus vivencias y experiencias atreves de su vida para que mañana sea un hombre de bien.

A hermana Carmen por ser como mi segunda madre, siempre dándome consejos para que mi vida sea diferente y tenga mejores oportunidades en la misma.

A mi novia

A ti Tania Sabrina por ser el gran amor de mi vida, quien me ha sabido escuchar cada segundo de mi vida y apoyarme siempre, además demostrarme el gran amor que me tienes.

Geovanny Pacheco

CONTENIDO

CARÁTULA	I
DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	VI
CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XX
ÍNDICE DE FIGURAS	XXI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XXII
ÍNDICE DE TABLAS	XXIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XXVII
RESUMEN	XXVIII
PRESENTACIÓN	XXX
CAPÍTULO I	1
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA GEOLOGÍA Y CONDICIONES DEL CAMPO AUCA ...	1
1.1 Reseña Histórica	1
1.2 Descripción Geográfica	1
1.2.1 Ubicación	1
1.3 Descripción Geológica	2
1.3.1 Estructura	2
1.4 Estratigrafía y Litología	4
1.4.1 Formación Orteguaza	4
1.4.2 Formación Tiyuyacu	4
1.4.2.1 Conglomerado Superior Tiyuyacu	4
1.4.2.2 Conglomerado Inferior Tiyuyacu	4
1.4.3 Formación Tena	4
1.4.3.1 Basal Tena	4
1.4.4 Formación Napo	5
1.4.4.1 Caliza “M-1”, “M-2” y “A”	5
1.4.4.2 Napo “U”	5
1.4.4.2.1 Napo “U” Superior	5

1.4.4.2.2 Napo "U" Inferior	5
1.4.4.2.2.1 Base Napo "U" Inferior.....	5
1.4.4.2.3 Caliza "B"	5
1.4.4.3 Napo "T"	6
1.4.4.3.1 Napo "T" Superior	6
1.4.4.3.2 Napo "T" Inferior.....	6
1.4.4.3.2.1 Base Napo "T" Inferior	6
1.4.4.3.3 Caliza "C"	6
1.4.5 Formación Hollín.....	6
1.4.5.1 Hollín Superior.....	6
1.4.5.2 Hollín Inferior	7
CAPÍTULO II.....	8
ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES TIPOS DE PERFORACIÓN	8
2.1 Tipos de Perforación	8
2.1.1 Perforación Convencional.....	8
2.1.1.1 Pozo Vertical	8
2.1.2 Perforación No Convencional.....	8
2.1.2.1 Pozo Horizontal	8
2.1.2.1.1 Clasificación de los Pozos Horizontales	9
2.1.2.1.1.1 Lateral Sencillo	9
2.1.2.1.1.2 Lateral Apilado	9
2.1.2.1.1.3 Multilateral	10
2.1.2.2 Pozo Direccional	10
2.1.2.2.1 Clasificación de los pozos direccionales	11
2.1.2.2.1.1 Tipo B & H.....	11
2.1.2.2.1.2 Tipo S.....	12
2.1.2.2.1.3 Tipo J	12
2.2 Tiempos en las operaciones de perforación	12
2.2.1 Clasificación del tiempo EN LAS OPERACIONES de perforación	12
2.2.1.1 Tiempo Programado.....	13
2.2.1.2 Tiempo de Ejecución	13
2.2.1.2.1 Tiempo Productivo	13

2.5.2.2.1 Funciones Principales de los Drill Collars:.....	26
2.5.2.2.2 Tipos de Drill Collars	27
2.5.2.3 Estabilizadores	27
2.5.2.3.1 Tipos de Estabilizadores	27
2.5.2.4 Rimadores	28
2.5.2.4.1 Tipos de Rimadores	28
2.5.2.5 Cross Overs	28
2.6 Tubería de Revestimiento (CASING).....	29
2.6.1 Principales Funciones de la Tubería de Revestimiento	29
2.6.2 Clasificación de las Tuberías de Revestimiento	30
2.6.2.1 Tubería Conductora.....	30
2.6.2.2 Tubería de Revestimiento Superficial	30
2.6.2.3 Tubería de Revestimiento Intermedia	30
2.6.2.4 Tubería de Revestimiento de Producción	30
2.6.2.5 Tubería de Revestimiento Corta o “Liner”	31
2.6.3 Asentamiento de la Tubería de Revestimiento	31
2.6.4 Diseño de las tuberías de revestimiento	32
CAPÍTULO III.....	34
ANÁLISIS DE LAS ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN Y ESTUDIO DEL CAMPO AUCA	34
3.1 INTRODUCCIÓN	34
3.2 Pozo Auca 001	34
3.2.1 Información General	34
3.2.2 Actividades de Perforación	35
3.2.2.1 Sección Conductor 26"	35
3.2.2.2 Sección Superficial 16"	35
3.2.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"	36
3.2.2.4 Sección de Producción 8 ½"	36
3.3 Pozo Auca 002	37
3.3.1 Información General	37
3.3.2 Actividades de Perforación	38
3.3.2.1 Sección Conductor 26"	38
3.3.2.2 Sección Superficial 16"	38

3.3.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"	39
3.3.2.4 Sección de Producción 8 ½"	40
3.4 Pozo Auca 003	41
3.4.1 Información General	41
3.4.2 Actividades de Perforación	41
3.4.2.1 Sección Conductor 26"	41
3.4.2.2 Sección Superficial 16"	41
3.4.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"	42
3.4.2.4 Sección de Producción 8 ½"	43
3.5 Pozo Auca 004	44
3.5.1 Información General	44
3.5.2 Actividades de Perforación	44
3.5.2.1 Sección Conductor 26"	44
3.5.2.2 Sección Superficial 16"	45
3.5.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"	46
3.5.2.4 Sección de Producción 8 ½"	46
3.6 Pozo Auca 005	47
3.6.1 Información General	47
3.6.2 Actividades de Perforación	48
3.6.2.1 Sección Conductor 26"	48
3.6.2.2 Sección Superficial 16"	48
3.6.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"	49
3.6.2.4 Sección de Producción 8 ½"	50
3.7 Pozo Auca 006	51
3.7.1 Información General	51
3.7.2 Actividades de Perforación	51
3.7.2.1 Sección Conductor 26"	51
3.7.2.2 Sección Superficial 16"	52
3.7.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"	52
3.7.2.4 Sección de Producción 8 ½"	53
3.8 Pozo Auca 007	54
3.8.1 Información General	54
3.8.2 Actividades de Perforación	54

3.8.2.1 Sección Conductor 26"	54
3.8.2.2 Sección Superficial 16"	55
3.8.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"	55
3.8.2.4 Sección de Producción 8 ½"	56
3.9 Pozo Auca 008	57
3.9.1 Información General	57
3.9.2 Actividades de Perforación	57
3.9.2.1 Sección Conductor 26"	57
3.9.2.2 Sección Superficial 16"	58
3.9.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"	58
3.9.2.4 Sección de Producción 8 ½"	59
3.10 Pozo Auca 009	60
3.10.1 Información General	60
3.10.2 Actividades de Perforación	60
3.10.2.1 Sección Conductor 26"	60
3.10.2.2 Sección Superficial 16"	61
3.10.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"	62
3.10.2.4 Sección de Producción 8 ½"	62
3.11 Pozo Auca 010	63
3.11.1 Información General	63
3.11.2 Actividades de Perforación	63
3.11.2.1 Sección Conductor 26"	63
3.11.2.2 Sección Superficial 16"	64
3.11.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"	65
3.11.2.4 Sección de Producción 8 ½"	66
3.12 Estudio del Campo Auca	67
3.12.1 Tiempo en las operaciones de perforación.....	67
3.12.1.1 Pozo Auca 001	67
3.12.1.2 Pozo Auca 002	68
3.12.1.3 Pozo Auca 003	69
3.12.1.4 Pozo Auca 004	70
3.12.1.5 Pozo Auca 005	71
3.12.1.6 Pozo Auca 006	72

3.12.1.7 Pozo Auca 007	73
3.12.1.8 Pozo Auca 008	74
3.12.1.9 Pozo Auca 009	75
3.12.1.10 Pozo Auca 010	76
3.13 Tiempos No Productivos Ocurridos en las Operaciones de Perforación	77
3.13.1 Presentación de la Información	77
3.13.2 Estudio Estadístico Descriptivo	78
3.13.2.1 Sección Conductor	78
3.13.2.2 Sección Superficial	78
3.13.2.3 Sección Intermedia	79
3.13.2.4 Sección de Producción	80
3.14 Clasificación de los Problemas que Generan Tiempos No Productivos	80
3.15 Estadística No Paramétrica: Prueba Chi-Cuadrado χ^2	81
3.15.1 Prueba de bondad de ajuste	82
3.15.2 Prueba de Homogeneidad	82
3.15.3 Prueba de Independencia	82
3.16 Método de Chi-Cuadrado por independencia	82
3.16.1 Principios Teóricos fundamentales.....	82
3.16.1.1 Tabla de Contingencia.....	82
3.16.1.2 Tabla de Valores Esperados	82
3.16.1.3 Tabla de Chi-Cuadrado	82
3.16.1.4 Valor Estadístico de Contraste (VE)	83
3.16.1.5 Grados de Libertad (GL).....	83
3.16.1.6 El Valor de 0.05.....	83
3.16.1.7 Valor Crítico (VC)	83
3.16.1.8 Tabla Percentil de la Distribución χ^2	83
3.16.2 Desarrollo del método Chi-Cuadrado por independencia	84
CAPÍTULO IV	87
INTERPRETACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y DETERMINACIÓN DE SOLUCIONES PARA MINIMIZAR LOS TIEMPOS NO PRODUCTIVOS	87
4.1 Introducción.....	87
4.2 Principios Teóricos Fundamentales.....	87
4.2.1 Análisis de Regresión	87

4.2.2 Tipos de Análisis de Regresión.....	88
4.2.2.1 Regresión Lineal Simple.....	88
4.2.2.2 Regresión Lineal Múltiple	88
4.2.2.3 Análisis de Regresión Lineal Múltiple Paso a Paso	90
4.2.3 Validación del Modelo.....	90
4.2.3.1 Resumen del Modelo.....	90
4.2.3.1.1 Coeficiente de determinación (R^2 o R-sq)	90
4.2.3.1.2 Coeficiente de determinación corregida (R^2 adj o R-sq adj)	91
4.2.3.2 Análisis de Residuos	91
4.2.3.2.1 Análisis del Gráfico de Residuos.....	91
4.2.3.3 ANOVA o Tabla de Análisis de Varianza	92
4.2.3.3.1 Significancia Observada o Calculada (p-value).....	92
4.2.3.4 Multicolinealidad.....	92
4.2.3.4.1 Factor de Inflación de la Varianza (VIF)	93
4.3 Estadística Descriptiva	93
4.3.1 Media.....	93
4.3.2 Mediana.....	93
4.3.3 Moda.....	93
4.3.4 Medidas de Posición no central	93
4.3.4.1 Cuartiles	93
4.3.4.2 Máximos y Mínimos.....	94
4.3.5 Representación Gráfica de la Información	94
4.3.5.1 Histograma.....	94
4.3.5.2 Curva de Distribución Normal o Campana de Gauss.....	94
4.4 Elaboración del Modelo Matemático.....	95
4.4.1 Sección Conductor.....	95
4.4.1.1 Regresión Lineal Múltiple	95
4.4.1.1.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida	95
4.4.1.1.2 Validación del Modelo	96
4.4.1.1.2.1 Resumen del Modelo.....	96
4.4.1.1.2.2 Análisis Gráfico de Residuos.....	97
4.4.1.1.2.3 ANOVA.....	97
4.4.1.2 Regresión Lineal Múltiple Paso a Paso	98

4.4.1.2.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida	98
4.4.1.2.2 Validación del Modelo	98
4.4.1.2.2.1 Resumen del Modelo.....	98
4.4.1.2.2.2 Análisis Gráfico de Residuos	99
4.4.1.2.2.3 ANOVA.....	100
4.4.1.3 Estimación de la Tasa de Penetración del Modelo Matemático	100
4.4.1.3.1 Peso sobre la broca	101
4.4.1.3.2 Tasa de Flujo o Caudal	102
4.4.1.3.3 Revoluciones por minuto.....	103
4.4.2 Sección Superficial	104
4.4.2.1 Regresión Lineal Múltiple	104
4.4.2.1.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida	105
4.4.2.1.2 Validación del Modelo	106
4.4.2.1.2.1 Resumen del Modelo.....	106
4.4.2.1.2.2 Análisis Gráfico de Residuos	106
4.4.2.1.2.3 ANOVA.....	107
4.4.2.2 Regresión Lineal Múltiple Paso a Paso	107
4.4.2.2.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida	108
4.4.2.2.2 Validación del Modelo	108
4.4.2.2.2.1 Resumen del Modelo.....	108
4.4.2.2.2.2 Análisis Gráfico de Residuos	108
4.4.2.2.2.3 ANOVA.....	109
4.4.2.3 Estimación de la Tasa de Penetración del Modelo Matemático	110
4.4.2.3.1 Presión	110
4.4.2.3.2 Revoluciones por Minuto.....	111
4.4.3 Sección Intermedia	113
4.4.3.1 Regresión Lineal Múltiple	113
4.4.3.1.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida	113
4.4.3.1.2 Validación del Modelo	114
4.4.3.1.2.1 Resumen del Modelo.....	114
4.4.3.1.2.2 Análisis Gráfico de Residuos	114
4.4.3.1.2.3 ANOVA.....	115
4.4.3.2 Regresión Lineal Múltiple Paso a Paso	116

4.4.3.2.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida	116
4.4.3.2.2 Validación del Modelo	116
4.4.3.2.2.1 Resumen del Modelo.....	116
4.4.3.2.2.2 Análisis Gráfico de Residuos	117
4.4.3.2.2.3 ANOVA.....	118
4.4.3.3 Estimación de la Tasa de Penetración del Modelo Matemático	118
4.4.3.3.1 Peso sobre la Broca.....	119
4.4.3.3.1.1 Torque.....	120
4.4.4 Sección de Producción	121
4.4.4.1 Regresión Lineal Múltiple	121
4.4.4.1.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida	122
4.4.4.1.2 Validación del Modelo	123
4.4.4.1.2.1 Resumen del Modelo.....	123
4.4.4.1.2.2 Análisis Gráfico de Residuos	123
4.4.4.1.2.3 ANOVA.....	124
4.4.4.2 Regresión Lineal Múltiple Paso a Paso	124
4.4.4.2.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida	124
4.4.4.2.2 Validación del Modelo	125
4.4.4.2.2.1 Resumen del Modelo.....	125
4.4.4.2.2.2 Análisis Gráfico de Residuos	125
4.4.4.2.2.3 ANOVA.....	126
4.5 Propuesta Técnica para Minimizar los Tiempos No Productivos Por Secciones... 126	
4.5.1 Sección Conductor 26".....	126
4.5.1.1 Wash Out	126
4.5.1.2 Falla en la Unidad de Potencia en la Corrida de Casing	127
4.5.1.3 Ajuste de Malacate	127
4.5.2 Sección Superficial 16"	128
4.5.2.1 Suspende Operaciones por falta de Casing 13 3/8"	128
4.5.2.2 Problema de Motor y MWD	128
4.5.2.3 Prueba fallida de BOP (Blow Out Preventor)	128
4.5.2.4 Problemas de regleta de rig en la bajada de Casing.....	129
4.5.2.5 Problemas de Saver-Sub.....	129
4.5.2.6 Problema de equipo, TDS	129

4.5.2.7 Fuga en Top Drive (Reparación de Equipo)	129
4.5.2.8 Daño en manguera del hidromático	129
4.5.3 Sección Intermedia 12 ¼"	130
4.5.3.1 Daño en Top Drive	130
4.5.3.2 Taponamiento de la Broca (Viaje no Planificado)	130
4.5.3.3 Falla y retiro de LWD	130
4.5.3.4 Falla en la herramienta de toma de registros eléctricos	131
4.5.3.5 Problemas de Hoyo, lavado y rimado	131
4.5.3.6 Instalación de Hidromático	131
4.5.3.7 Falla del X-Over	131
4.5.3.8 Taponamiento Flow Line	132
4.5.3.9 Daño en el Casing Drive System (CDS)	132
4.5.3.10 Falla de Sistema Hidráulico del Top Drive	132
4.5.3.11 Insertos de cuña no adecuados	132
4.5.3.12 Daño en Bombas (Reparación de Equipo)	132
4.5.3.13 Prueba de Bombas	133
4.5.3.14 Reparación de Equipo (Manguerote)	133
CAPÍTULO V	134
ANÁLISIS ECONÓMICO	134
5.1 Introducción	134
5.2 Interpretación Económica de los Pozos del Campo Auca	134
5.2.1 Pozo Auca 001	134
5.2.2 Pozo Auca 002	136
5.2.3 Pozo Auca 003	137
5.2.4 Pozo Auca 004	139
5.2.5 Pozo Auca 005	140
5.2.6 Pozo Auca 006	142
5.2.7 Pozo Auca 007	143
5.2.8 Pozo Auca 008	145
5.2.9 Pozo Auca 009	146
5.2.10 Pozo Auca 010	148
5.3 Comparación Económica Real/Óptima de las Secciones del Campo Auca	150
5.3.1 Sección Conductor 26"	150

5.3.2 Sección Superficial 16"	151
5.3.3 Sección Intermedia 12 ¼"	151
5.4 Comparación Económica Total Real/Óptima de las Secciones del Campo Auca .	152
5.5 Interpretación Gráfica del Costo del Tiempo No Productivo del Campo Auca	153
CAPÍTULO VI	156
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	156
6.1 CONCLUSIONES.....	156
6.2 RECOMENDACIONES	160
BIBLIOGRAFÍA.....	162
GLOSARIO.....	167
ANEXOS.....	171

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 4.1: Modelo Matemático para la Sección Conductor del Campo Auca	100
Ecuación 4.2: Modelo Matemático para la Sección Superficial del Campo Auca.....	110
Ecuación 4.3: Modelo Matemático para la Sección Intermedia del Campo Auca.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación del Campo Auca	3
Figura 1.2: Columna Estratigráfica General del Campo Auca	7
Figura 2.1: Perforación de un Pozo Vertical	8
Figura 2.2: Perforación de un Pozo Horizontal.....	9
Figura 2.3: Perforación de un Pozo Direccional.....	10
Figura 2.4: Clasificación de los Pozos Direccionales	11
Figura 2.5: Estructura de una Broca Tricónica	20
Figura 2.6: Clasificación de las Brocas Tricónicas	21
Figura 2.7: Clasificación de las Brocas de Cortadores Fijos.....	23
Figura 2.8: Tipos de Drill Collars.....	27
Figura 2.9: Tipos de Estabilizadores.....	27
Figura 2.10: Tipos de Rimadores.....	28
Figura 2.11: Tipos de Tuberías de Revestimiento	29
Figura 2.12: Gráfico de Gradientes de Densidad para el Asentamiento de la Tubería de Revestimiento	32
Figura 3.1: Tabla Percentil de la Distribución x^2	84
Figura 3.2: Valor Crítico del Método Chi-Cuadrado.....	85
Figura 4.1: Ilustración de la Recta de Mejor Ajuste	89
Figura 4.2: Ilustración del Hiperplano de Mejor Ajuste.....	90
Figura 4.3: Gráfica Ideal de Probabilidad Normal para los Residuos	91
Figura 4.4: Interpretación Gráfica de la Significancia Observada o Calculada	92
Figura 4.5: Representación Gráfica del Histograma.....	94
Figura 4.6: Campana de Gauss	94

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Distribución del Tiempo en las Operaciones de Perforación.....	13
Gráfico 2.2: Código de Estandarización IADC para Brocas Tricónicas.....	22
Gráfico 2.3: Código de Estandarización IADC para Brocas de Cortadores Fijos.....	24
Gráfico 3.1: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 001	68
Gráfico 3.2: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 001.....	68
Gráfico 3.3: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 002	69
Gráfico 3.4: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 002.....	69
Gráfico 3.5: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 003	70
Gráfico 3.6: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 003.....	70
Gráfico 3.7: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 004	71
Gráfico 3.8: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 004.....	71
Gráfico 3.9: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 005.....	72
Gráfico 3.10: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 005.....	72
Gráfico 3.11: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 006.....	73
Gráfico 3.12: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 006.....	73
Gráfico 3.13: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 007	74
Gráfico 3.14: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 007.....	74
Gráfico 3.15: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 008	75
Gráfico 3.16: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 008.....	75
Gráfico 3.17: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 009	76
Gráfico 3.18: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 009.....	76
Gráfico 3.19: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 010	77
Gráfico 3.20: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 010.....	77
Gráfico 3.21: Problemas Presentados en la Sección Conductor.....	79
Gráfico 3.22: Problemas Presentados en la Sección Superficial	79
Gráfico 3.23: Problemas Presentados en la Sección Intermedia	80
Gráfico 4.1: Análisis de Residuos del Modelo de la Sección Conductor.....	97
Gráfico 4.2: Análisis de Residuos del Modelo Paso a Paso de la Sección Conductor.....	99
Gráfico 4.3: Curva de Distribución Normal del WOB de la Sección Conductor	101
Gráfico 4.4: Análisis Mixto del WOB de la Sección Conductor	101
Gráfico 4.5: Curva de Distribución Normal del Caudal de la Sección Conductor	102
Gráfico 4.6: Análisis Mixto del Caudal de la Sección Conductor.....	102
Gráfico 4.7: Curva de Distribución Normal de las RPM de la Sección Conductor	103
Gráfico 4.8: Análisis Mixto de las RPM de la Sección Conductor	103
Gráfico 4.9: Análisis de Residuos del Modelo de la Sección Superficial	106
Gráfico 4.10: Análisis de Residuos del Modelo Paso a Paso de la Sección Superficial...	109
Gráfico 4.11: Curva de Distribución Normal de la Presión de la Sección Superficial.....	110
Gráfico 4.12: Análisis Mixto de la Presión de la Sección Superficial	111
Gráfico 4.13: Curva de Distribución Normal de las RPM de la Sección Superficial	111
Gráfico 4.14: Análisis Mixto de las RPM de la Sección Superficial.....	112

Gráfico 4.15: Análisis de Residuos del Modelo de la Sección Intermedia	115
Gráfico 4.16: Análisis de Residuos del Modelo Paso a Paso de la Sección Intermedia ..	117
Gráfico 4.17: Curva de Distribución Normal del WOB de la Sección Intermedia.....	119
Gráfico 4.18: Análisis Mixto del WOB de la Sección Intermedia	119
Gráfico 4.19: Curva de Distribución Normal del Torque de la Sección Intermedia.....	120
Gráfico 4.20: Análisis Mixto del Torque de la Sección Intermedia	120
Gráfico 4.21: Análisis de Residuos del Modelo de la Sección de Producción.....	123
Gráfico 4.22: Análisis de Residuos del Modelo Paso a Paso de la Sección de Producción	125
Gráfico 5.1: Comparación Económica Real/Óptima en la Sección Conductor.....	150
Gráfico 5.2: Comparación Económica Real/Óptima en la Sección Superficial	151
Gráfico 5.3: Comparación Económica Real/Óptima en la Sección Intermedia	152
Gráfico 5.4: Comparación Económica Total Real/Óptima del Campo Auca.....	153
Gráfico 5.5: Costo del Tiempo No Productivo de los Pozos del Campo Auca	154
Gráfico 5.6: Costo del Tiempo No Productivo Según su Clasificación	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Coordenadas de Ubicación del Campo Auca	2
Tabla 3.1: Información General del Pozo Auca 001	34
Tabla 3.2: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 001	35
Tabla 3.3: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 001	36
Tabla 3.4: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 001.....	37
Tabla 3.5: Información General del Pozo Auca 002.....	37
Tabla 3.6: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 002	38
Tabla 3.7: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 002	39
Tabla 3.8: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 002.....	40
Tabla 3.9: Información General del Pozo Auca 003.....	41
Tabla 3.10: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 003	41
Tabla 3.11: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 003	42
Tabla 3.12: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 003.....	43
Tabla 3.13: Información General del Pozo Auca 004.....	44
Tabla 3.14: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 004	44
Tabla 3.15: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 004	45
Tabla 3.16: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 004.....	47
Tabla 3.17: Información General del Pozo Auca 005.....	47
Tabla 3.18: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 005	48
Tabla 3.19: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 005	49
Tabla 3.20: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 005.....	50
Tabla 3.21: Información General del Pozo Auca 006.....	51
Tabla 3.22: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 006	51
Tabla 3.23: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 006	52
Tabla 3.24: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 006.....	53
Tabla 3.25: Información General del Pozo Auca 002.....	54
Tabla 3.26: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 007	54
Tabla 3.27: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 007	55
Tabla 3.28: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 007.....	56
Tabla 3.29: Información General del Pozo Auca 008.....	57
Tabla 3.30: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 008	57
Tabla 3.31: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 008	58
Tabla 3.32: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 008.....	60
Tabla 3.33: Información General del Pozo Auca 009.....	60
Tabla 3.34: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 009	61
Tabla 3.35: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 009	61
Tabla 3.36: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 009.....	63
Tabla 3.37: Información General del Pozo Auca 010.....	63
Tabla 3.38: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 010	64
Tabla 3.39: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 010	65

Tabla 3.40: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 010.....	67
Tabla 3.41: Clasificación de los Problemas que Generan Tiempo No Productivo	81
Tabla 3.42: Tabla de Contingencia.....	84
Tabla 3.43: Resumen del Método Chi-Cuadrado por Independencia.....	85
Tabla 4.1: Clasificación de los Valores del Coeficiente de Determinación	91
Tabla 4.2: Parámetros de Perforación de la Sección Conductor	95
Tabla 4.3: Resumen del Modelo de la Sección Conductor	96
Tabla 4.4: Análisis de Varianza del Modelo de la Sección Conductor	97
Tabla 4.5: Resumen del Modelo Paso a Paso de la Sección Conductor.....	99
Tabla 4.6: Análisis de Varianza del Modelo Paso a Paso de la Sección Conductor.....	100
Tabla 4.7: Tasa de Penetración Óptima de la Sección Conductor	104
Tabla 4.8: Parámetros de Perforación de la Sección Superficial	104
Tabla 4.9: Resumen del Modelo de la Sección Superficial	106
Tabla 4.10: Análisis de Varianza del Modelo de la Sección Superficial	107
Tabla 4.11: Resumen del Modelo Paso a Paso de la Sección Superficial.....	108
Tabla 4.12: Análisis de Varianza del Modelo Paso a Paso de la Sección Superficial	109
Tabla 4.13: Tasa de Penetración Óptima de la Sección Superficial	112
Tabla 4.14: Parámetros de Perforación de la Sección Intermedia	113
Tabla 4.15: Resumen del Modelo de la Sección Intermedia	114
Tabla 4.16: Análisis de Varianza del Modelo de la Sección Intermedia	115
Tabla 4.17: Resumen del Modelo Paso a Paso de la Sección Intermedia	117
Tabla 4.18: Análisis de Varianza del Modelo Paso A Paso de la Sección Intermedia	118
Tabla 4.19: Tasa de Penetración Óptima de la Sección Intermedia	121
Tabla 4.20: Parámetros de Perforación de la Sección de Producción	121
Tabla 4.21: Resumen del Modelo de la Sección de Producción	123
Tabla 4.22: Análisis de Varianza del Modelo de la Sección de Producción	124
Tabla 4.23: Resumen del Modelo Paso A Paso de la Sección de Producción	125
Tabla 4.24: Análisis de Varianza del Modelo Paso a Paso de la Sección de Producción	126
Tabla 5.1: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 001.....	135
Tabla 5.2: Análisis Económico del Pozo Auca 001.....	136
Tabla 5.3: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 002.....	136
Tabla 5.4: Análisis Económico del Pozo Auca 002.....	137
Tabla 5.5: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 003.....	138
Tabla 5.6: Análisis Económico del Pozo Auca 003.....	139
Tabla 5.7: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 004.....	139
Tabla 5.8: Análisis Económico del Pozo Auca 004.....	140
Tabla 5.9: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 005.....	141
Tabla 5.10: Análisis Económico del Pozo Auca 005.....	142
Tabla 5.11: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 006.....	142
Tabla 5.12: Análisis Económico del Pozo Auca 006.....	143
Tabla 5.13: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 007.....	144
Tabla 5.14: Análisis Económico del Pozo Auca 007.....	145

Tabla 5.15: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 008.....	145
Tabla 5.16: Análisis Económico del Pozo Auca 008.....	146
Tabla 5.17: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 009.....	147
Tabla 5.18: Análisis Económico del Pozo Auca 009.....	148
Tabla 5.19: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 010.....	148
Tabla 5.20: Análisis Económico del Pozo Auca 010.....	149
Tabla 6.1: Resumen de Tiempos No Productivos por Secciones	157
Tabla 6.2: Modelo Matemático Determinado para las Secciones del Campo Auca.....	158
Tabla 6.3: Validez del Modelo Efectuado en las Secciones del Campo Auca	158
Tabla 6.4: Fluidos de Perforación Más Usados en la Perforación del Campo Auca.....	159

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Especificaciones de los Parámetros de Perforación de los Pozos del Campo Auca	171
Anexo A-1: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 001	172
Anexo A-2: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 002	173
Anexo A-3: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 003	174
Anexo A-4: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 004	175
Anexo A-5: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 005	177
Anexo A-6: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 006	179
Anexo A-7: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 007	180
Anexo A-8: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 008	181
Anexo A-9: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 009	182
Anexo A-10: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 010	183
Anexo B: Ejemplo de Cálculo del Porcentaje de Distribución del Tiempo de Operación	184
Anexo C: Tiempos No Productivos Ocurridos en la Perforación del Campo Auca	185
Anexo C-1: Tiempos No Productivos de los Pozos del Campo Auca	186
Anexo D: Ejemplo de Cálculo del Porcentaje de Distribución del Tiempo de los Problemas Presentados en cada Sección	187
Anexo E: Desarrollo del Método Chi-Cuadrado por Independencia	188
Anexo F: ROP Óptima Calculada de las Secciones del Campo Auca	190
Anexo F-1: ROP Óptima Calculada de la Sección Conductor	191
Anexo F-2: ROP Óptima Calculada de la Sección Superficial	192
Anexo F-3: ROP Óptima Calculada de la Sección Intermedia	193
Anexo G: Ejemplo de Cálculo de la Interpretación Económica	194
Anexo H: Evaluación e Interpretación Económica de los Pozos del Campo Auca	197
Anexo H-1: Interpretación Económica del Pozo Auca 001	198
Anexo H-2: Interpretación Económica del Pozo Auca 002	199
Anexo H-3: Interpretación Económica del Pozo Auca 003	200
Anexo H-4: Interpretación Económica del Pozo Auca 004	201
Anexo H-5: Interpretación Económica del Pozo Auca 005	202
Anexo H-6: Interpretación Económica del Pozo Auca 006	203
Anexo H-7: Interpretación Económica del Pozo Auca 007	204
Anexo H-8: Interpretación Económica del Pozo Auca 008	205
Anexo H-10: Interpretación Económica del Pozo Auca 010	207
Anexo I: Costo de los Problemas que Generaron Tiempos No Productivos según su Clasificación	208

RESUMEN

El presente proyecto de titulación está orientado a reducir los costos de perforación mediante la eliminación de los problemas que conllevan a tener tiempos no productivos y al planteamiento de un modelo matemático que permita obtener una tasa de penetración óptima en las operaciones de perforación.

Para la elaboración de este proyecto se utilizó la información disponible en los reportes finales de perforación de 10 pozos del Campo Auca, entregados por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero.

A continuación se presentan los puntos más sobresalientes de cada capítulo elaborado.

El primer capítulo consta de la descripción geológica, geográfica, litológica y estratigráfica del Campo Auca.

La información teórica necesaria para la elaboración y un mejor entendimiento de este proyecto de titulación se detallan en el segundo capítulo.

En el tercer capítulo se detallan las actividades de perforación realizadas en los diez pozos del Campo Auca, además consta del análisis estadístico efectuado a los problemas encontrados en dichos pozos.

La presentación del modelo matemático que involucra los parámetros de perforación se detalla en el cuarto capítulo, el cual describe el comportamiento de la tasa de penetración promedio en función de dos o más parámetros de perforación utilizando el método de regresión lineal múltiple, para un mejor entendimiento y comprensión del mismo se realizó un marco teórico referente a este método.

Este capítulo también consta del planteamiento de soluciones a los problemas encontrados en el tercer capítulo que generaron tiempos no productivos.

El análisis económico se describe en el quinto capítulo, el cual se fundamenta en el costo que se obtiene al presentarse tiempos no productivos y la evaluación económica correspondiente al modelo matemático expuesto en el cuarto capítulo.

Finalmente, el sexto capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones que se efectuaron en base al análisis e interpretación de los resultados obtenidos en los capítulos realizados anteriormente.

En conclusión, nuestro proyecto de titulación muestra los problemas que generaron tiempos no productivos durante las operaciones de perforación, mediante el estudio estadístico realizado hemos determinado en que secciones se generaron la mayor cantidad de problemas y por ende se han planteado soluciones a los mismos para evitar que eventos de esta índole aparezcan durante la perforación de un pozo.

La ecuación determinada mediante el modelo matemático efectuado permite encontrar una tasa de penetración óptima calculada por sección, la misma que intervino en la interpretación del análisis económico.

PRESENTACIÓN

Uno de los objetivos principales en la industria de perforación es reducir los costos de esta actividad. Para cumplir con su objetivo, varias iniciativas se centran en la eliminación del tiempo no productivo, ya que este genera en la mayoría de los casos, un gran incremento en el costo final de las operaciones de perforación.

Por tal motivo es necesario efectuar un estudio técnico estadístico a los problemas que conllevan tener tiempos no productivos, de esta manera podremos clasificarlos, estudiarlos e interpretarlos.

Para cumplir con el objetivo principal de nuestro proyecto de titulación, el cual es reducir el tiempo no productivo, se analizarán los problemas que se presentaron en diez pozos del Campo Auca, efectuaremos el análisis correspondiente, indicaremos las causas que lo provocaron y propondremos soluciones a los mismos.

El modelo matemático desarrollado permite obtener una tasa de penetración óptima calculada, con la cual efectuaremos un análisis económico comparativo real/óptimo.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA GEOLOGÍA Y CONDICIONES DEL CAMPO AUCA

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

El campo Auca fue descubierto por la compañía Texaco el 16 de Febrero de 1970, mediante la perforación del pozo exploratorio denominado Auca 1, el cual alcanzó una profundidad de 10578 pies con una producción de 3072 BPPD procedentes de la Arena Napo T y Hollín.

En diciembre de 1973 se inició el desarrollo del campo Auca y fue puesto en producción en abril de 1975 con 24 pozos.

Se efectuó un estudio de simulación matemática en el año de 1993 para calcular la producción del campo, en el cual se estimó un POES de 367 MMBP para "T", con un factor de recobro del 35% y 292 MMBP para "U", con un factor de recobro del 37%.

Para el año de 1997, se habían perforado 47 pozos destinados para la producción obteniéndose un pozo seco (Auca 0-23) y dos pozos productores que fueron considerados inyectores. La producción total de las arenas U, T y Hollín se estimaba en 18000 BPPD. (Gavilanes y Torres, 2009)

1.2 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA

1.2.1 UBICACIÓN

El campo Auca se encuentra localizado en la Región Amazónica, provincia de Orellana, cantón de Francisco de Orellana, aproximadamente a 260 km al oeste de la ciudad de Quito y limitado por los siguientes campos:

- Norte: Campos Culebra, Yulebra, Sacha y Yuca
- Sur: Campo Cononaco
- Este: Campos Anaconda, Pindo y Conga

- Oeste: Campo Puma.

El campo forma parte de un gran anticlinal que abarca de norte a sur los campos de Lago Agrio, Sacha, Cononaco y Tiguino, la Figura 1.1 muestra la ubicación del campo. (Calispa y Proaño, 2011)

Las coordenadas geográficas del campo y su respectiva equivalencia en coordenadas UTM se muestran en la Tabla 1.1.

1.3 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

1.3.1 ESTRUCTURA

La estructura del campo se presenta como un anticlinal de 23km de largo por 4km de ancho, alargado en dirección Norte-Sur y alineándose en el eje central del corredor Sacha-Shushufindi de la cuenca oriental donde se encuentran los campos productores más importantes. (Caicedo y Cuenca, 2009)

Tabla 1.1: Coordenadas de Ubicación del Campo Auca

COORDENADAS	LATITUD		LONGITUD	
Geográficas	entre 0°34' S y 0°48' S		entre 76°50' W y 76°54' W	
UTM	Y mín =	9911645	X mín =	288964
	Y máx =	9936625	X máx =	295000

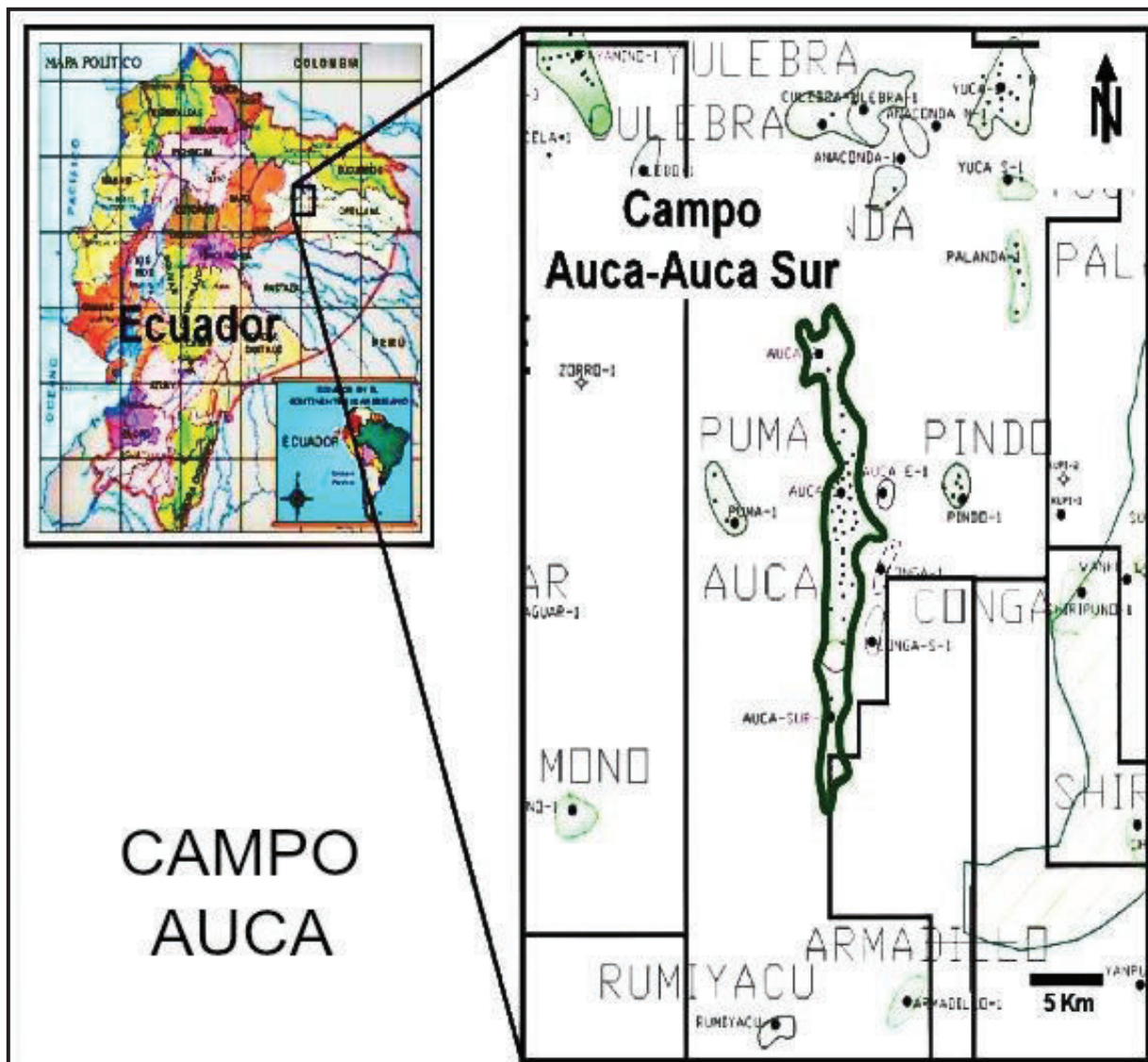
Fuente: Departamento de Yacimientos EP – PETROECUADOR (Calispa y Proaño, 2011)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

El campo presenta una falla principal con un rango de salto entre 10 y 30 pies, con un máximo de 50 pies en la parte central al nivel de la arena Napo "T". Existen fallas secundarias con saltos menores en un rango establecido de 50 a 20 pies.

A lo largo de la historia de la cuenca, los niveles de lutita presentes en la secuencia estratigráfica han actuado como roca madre y como sello parcial o completo de los reservorios.

Figura 1.1: Ubicación del Campo Auca



Fuente: Departamento de Yacimientos EP – PETROECUADOR (Calispa y Proaño, 2011)

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Las arenas “U” y “T” presentan cantidades considerables de hidrocarburo por tener buen espesor y buena continuidad de la arena, pero sus acuíferos son parcialmente activos, lo que ha causado que durante el tiempo de producción, la presión decline en algunos sectores del campo. (Caicedo y Cuenca, 2009)

1.4 ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA

1.4.1 FORMACIÓN ORTEGUAZA

Formación comprendida por un cuerpo lutítico tanto en la parte superior como inferior, en la parte intermedia se presenta principalmente limolita intercalado con niveles de arenisca y capas de arcillolita y lutita. (Gavilanes y Torres, 2009)

1.4.2 FORMACIÓN TIYUYACU

Esta formación está constituida principalmente por arcillolita café rojiza, intercalada con arenisca y lentes de limolita, se encuentra conformada por dos cuerpos de conglomerado, siendo el conglomerado superior de tipo cuarzoso, mientras que el conglomerado inferior se encuentra constituido por chert. (Caicedo y Cuenca, 2009)

1.4.2.1 Conglomerado Superior Tiyuyacu

Se caracteriza por ser un conglomerado tipo cuarzoso con intercalaciones de arenisca, limolita y finas capas de arcillolita. (Documentos ARCH, 2014)

1.4.2.2 Conglomerado Inferior Tiyuyacu

Es un conglomerado con intercalaciones de arenisca y finas capas de arcillolita y limolita en la parte superior del intervalo. (Documentos ARCH, 2014)

Se consideran como yacimientos productores a: Basal Tena, Napo "U", Napo "T" y Hollín.

1.4.3 FORMACIÓN TENA

Está formada por una secuencia continental de arcillolita con intercalaciones de limolita y caliza. (Calispa y Proaño, 2011)

1.4.3.1 Basal Tena

Comprende un cuerpo de arenisca, tiene un espesor promedio de 40 pies, constituida principalmente por una estructura delgada de arenisca con un espesor de 10 a 20 pies y descansa sobre lutitas de Napo Superior. El área total de la arena es de aproximadamente 16460,09 acres. (Caicedo y Cuenca, 2009)

1.4.4 FORMACIÓN NAPO

Esta formación está constituida de dos areniscas Napo “U” y Napo “T”, separadas por intervalos gruesos de calizas marinas y lutita. Los reservorios mencionados presentan cambios considerables en el tamaño de los poros que a veces disimulan el contacto agua-petróleo, debido a la presencia de una gran zona de transición entre el agua y el petróleo. (Gavilanes y Torres, 2009)

1.4.4.1 Caliza “M-1”, “M-2” y “A”

Están conformadas por calizas con intercalaciones de lutitas. (Documentos ARCH, 2014)

1.4.4.2 Napo “U”

Esta arenisca se caracteriza por ser continua, está constituida de areniscas con intercalaciones de caliza y lutita. Tiene un espesor promedio de 200 pies y una porosidad promedio de 16%. (Caicedo y Cuenca, 2009)

1.4.4.2.1 Napo “U” Superior

La porosidad promedio es de 14,86% y el espesor promedio es de 27 pies, está constituida de una arenisca cuarzosa intercalados con niveles de caliza y lutita, el tamaño del grano es fino de forma subredondeado. (Gavilanes y Torres, 2009)

1.4.4.2.2 Napo “U” Inferior

Es una arenisca cuarzosa, de grano fino a medio, subangular a subredondeado. Posee niveles de lutita y caolín. La porosidad promedio de esta arena es del 16,63% y 37,15 pies de espesor promedio. (Gavilanes y Torres, 2009)

1.4.4.2.2.1 Base Napo “U” Inferior

En su mayor parte está comprendido de lutitas con intercalaciones de caliza en la parte superior. (Documentos ARCH, 2014)

1.4.4.2.3 Caliza “B”

Compuesto de caliza con intercalaciones de lutita. (Documentos ARCH, 2014)

1.4.4.3 Napo “T”

La arenisca Napo “T” es rica en lutitas, limolitas, areniscas cuarzosas discontinuas, arcillas y está constituida por granos finos. Con un área aproximada de 13621,87 acres, presenta una porosidad promedio del 18% y espesor promedio de 120 pies. (Calispa y Proaño, 2011)

1.4.4.3.1 Napo “T” Superior

Las arenas son habitualmente de grano fino y de aspecto masivo, presenta intercalaciones de arenisca, lutita y limotita. El espesor promedio es de aproximadamente 45 pies con una porosidad de 18,7%. (Gavilanes y Torres, 2009)

1.4.4.3.2 Napo “T” Inferior

Es una arenisca cuarzosa de grano fino a medio, tiene una porosidad promedio de 14,39% y 67 pies de espesor promedio. (Calispa y Proaño, 2011)

1.4.4.3.2.1 Base Napo “T” Inferior

En su mayor parte está comprendido de lutitas con intercalaciones de caliza en la parte superior. (Documentos ARCH, 2014)

1.4.4.3.3 Caliza “C”

Compuesto por caliza con intercalaciones de lutita. (Documentos ARCH, 2014)

1.4.5 FORMACIÓN HOLLÍN

Esta formación está constituida por las areniscas Hollín Superior de origen marina somera y Hollín Inferior de origen volcánico, no existen fallas a lo largo de esta formación. Tiene un espesor promedio entre 400-450 pies, exhibe un fuerte empuje de agua en el fondo y posee un contacto agua-petróleo bien diferenciado. (Calispa y Proaño, 2011)






1.4.5.1 Hollín Superior

Es una formación interestratificada de arenisca cuarzosa de grano fino a medio y glauconita cuarzosa constituida por abundantes capas de lutita. Su espesor varía entre 10 a 40 pies. (Gavilanes y Torres, 2009)

1.4.5.2 Hollín Inferior

Se la conoce como Hollín Principal, es un reservorio relativamente homogéneo con arenisca cuarzosa de grano fino a medio. Contiene poco o nada de glauconita y pocas capas aisladas de lutita, su espesor neto aproximado es de 40 pies. (Calispa y Proaño, 2011)

Figura 1.2: Columna Estratigráfica General del Campo Auca

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERAL DEL CAMPO AUCA					
Edad		Descripción Litológica	Formación	Miembro	Ambiente de Deposition
Oligoceno		Lutitas pardas, poca arenisca	Orteguaza		Marino
Eoceno		Arcillas rojas, verdes, violeta, areniscas gruesas y conglomerado	Tiyuyacu	Tiyuyacu	Continental
				Conglomerado Superior	
				Conglomerado Inferior	
Paleoceno		Arcilla roja y arenisca blanca cuarzosa porosa	Tena	Tena	Continental
				Basal Tena	
Cretáceo Superior		Caliza "A" Arenisca "U" Caliza "B" Arenisca "T" Caliza "C"	Napó	Napó	Marino
				Caliza "M-1"	
				Caliza "M-2"	
				Base Caliza "M-2"	
				Caliza "A"	
				Napó "U" Superior	
				Napó "U" Inferior	
				Base Napó "U" Inferior	
				Caliza "B"	
				Napó "T" Superior	
				Napó "T" Inferior	
				Base Napó "T" Inferior	
Cretáceo Inferior		Arenisca cuarzosa blanca	Hollín	Hollín Superior	Transicional
				Hollín Inferior	Continental

Fuente: Secretaría de Hidrocarburos

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES TIPOS DE PERFORACIÓN

2.1 TIPOS DE PERFORACIÓN

2.1.1 PERFORACIÓN CONVENCIONAL

2.1.1.1 Pozo Vertical

El proceso de la perforación convencional consiste en ubicar un punto de la superficie terrestre en línea perpendicular al plano horizontal establecida por el yacimiento. (Salvador, 2010)

Figura 2.1: Perforación de un Pozo Vertical



Fuente: North American Energy

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

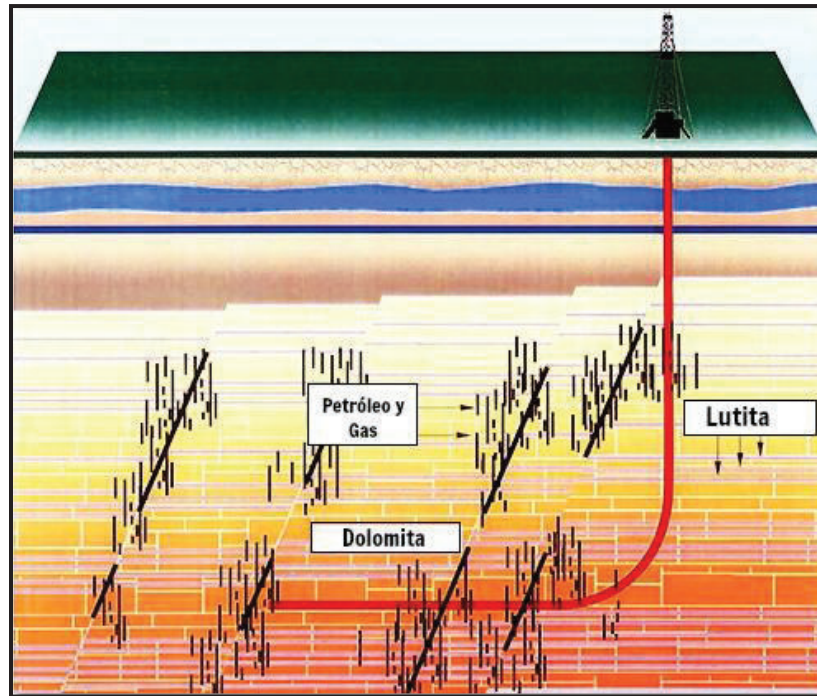
2.1.2 PERFORACIÓN NO CONVENCIONAL

2.1.2.1 Pozo Horizontal

Una perforación horizontal consiste en conducir a la broca de perforación en una dirección y orientación cerca de los 90° con respecto a la vertical para poder extenderse varios pies dentro del yacimiento. (De la Vega y Olvera, 2012)

Los pozos horizontales se usan para aumentar los ritmos de producción ya que con este tipo de perforación crece el área de drenaje y su eficiencia por gravedad. (Salvador, 2010)

Figura 2.2: Perforación de un Pozo Horizontal



Fuente: Fossil Oil Company

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

2.1.2.1.1 Clasificación de los Pozos Horizontales

Generalmente los pozos horizontales se clasifican de la siguiente manera:

2.1.2.1.1.1 Lateral Sencillo

Consiste en una extensión horizontal al final de la curva construida con una inclinación mayor a los 80°.

2.1.2.1.1.2 Lateral Apilado

Se fundamenta en dos extensiones horizontales al final de la curva construida con una inclinación mayor a los 80°.

2.1.2.1.1.3 Multilateral

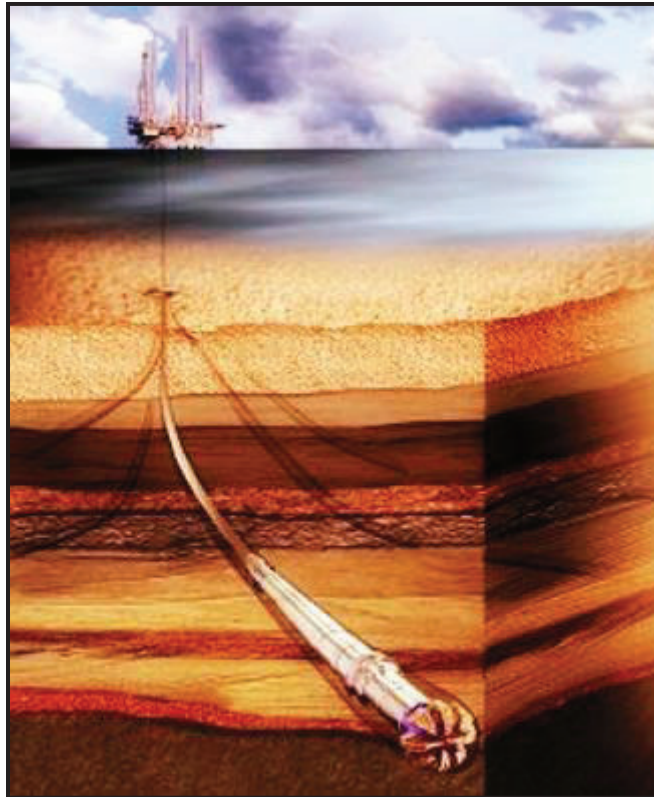
Tiene por objetivo reducir el número de pozos que se perforan con la ayuda de un hoyo principal y dos o más hoyos secundarios que parten del hoyo principal. (De la Vega y Olvera, 2012)

2.1.2.2 Pozo Direccional

La perforación direccional consiste en controlar la inclinación y dirección de un pozo hacia un objetivo predeterminado, el mismo que se encuentra a determinada distancia lateral del punto de localización del equipo de perforación. (Salvador, 2010)

Para llegar al objetivo predeterminado es indispensable el control de la inclinación (plano vertical) y dirección (plano horizontal) del pozo. (Bourgoyne, 1991)

Figura 2.3: Perforación de un Pozo Direccional



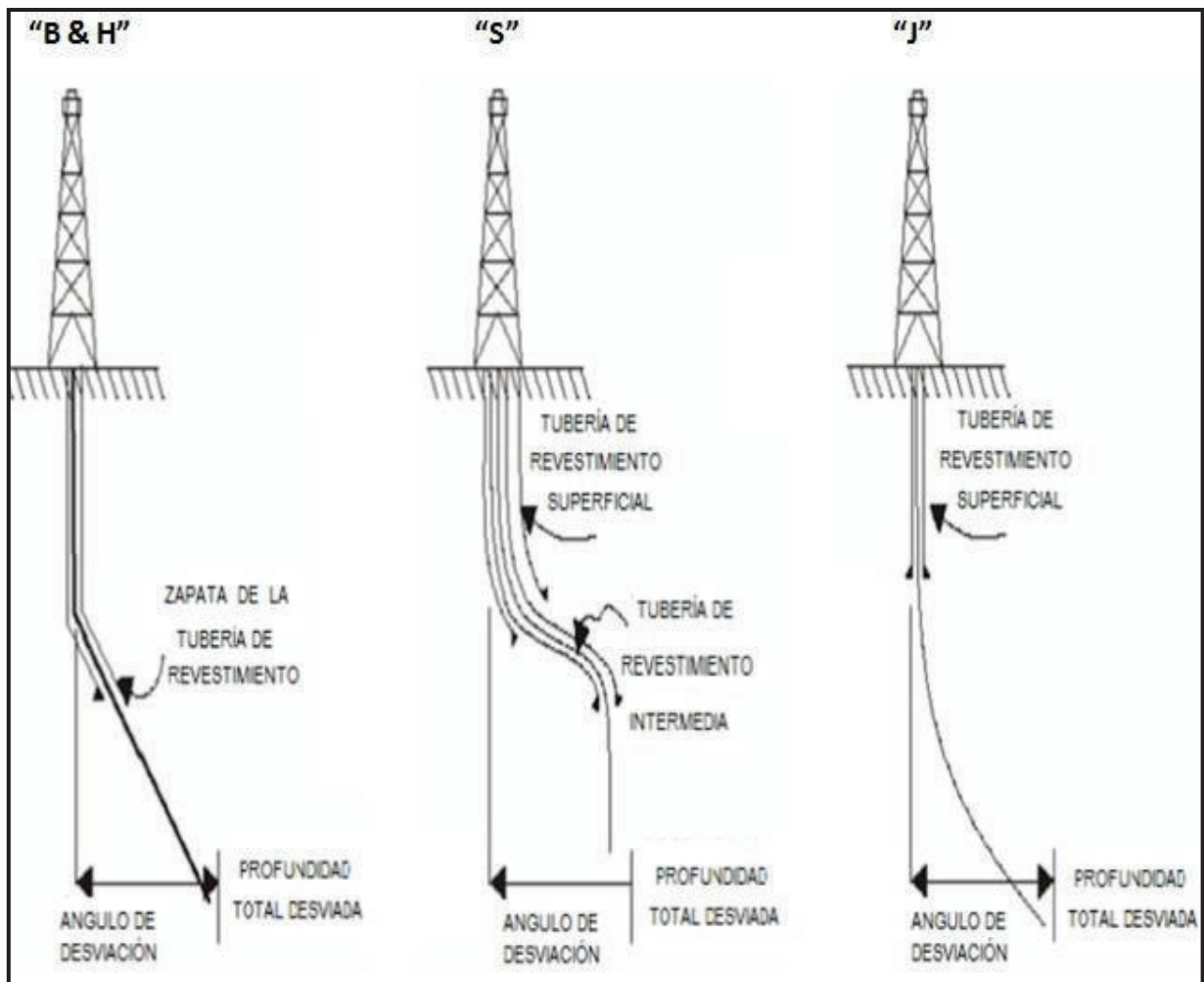
Fuente: Barrow & District Association of Engineers

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

2.1.2.2.1 Clasificación de los pozos direccionales

Generalmente los pozos direccionales se clasifican como se indica en la Figura 2.4.

Figura 2.4: Clasificación de los Pozos Direccionales



Fuente: INEGI.org

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

2.1.2.2.1.1 Tipo B & H

Este tipo de pozo se caracteriza por la poca profundidad a la cual la desviación aparece. El ángulo de desviación se mantiene constante hasta alcanzar el objetivo predeterminado. (Cárdenas, 2008)

Esta trayectoria se emplea en pozos de profundidad moderada y en los que no se emplee sartas intermedias de revestimiento. (Salvador, 2010)

2.1.2.2.1.2 Tipo S

El pozo inicia su desviación a poca profundidad y el ángulo de desviación se mantiene hasta cubrir la mayor parte del desplazamiento lateral, posteriormente se reduce el ángulo de desviación hasta llegar a la vertical y alcanzar el objetivo predeterminado. (Cárdenas, 2008)

La trayectoria formada es favorable para perforar pozos con intervalos productores múltiples, esta configuración puede traer problemas al momento de la perforación. (Salvador, 2010)

2.1.2.2.1.3 Tipo J

El pozo se caracteriza por la gran profundidad a la cual la desviación aparece. El ángulo promedio de desviación se mantiene constante hasta alcanzar el objetivo predeterminado. (Cárdenas, 2008)

Este tipo de trayectoria se emplea para perforar a través de domos salinos o de fallas o en situaciones en las que se necesite reubicar la sección inferior del pozo. (Salvador, 2010)

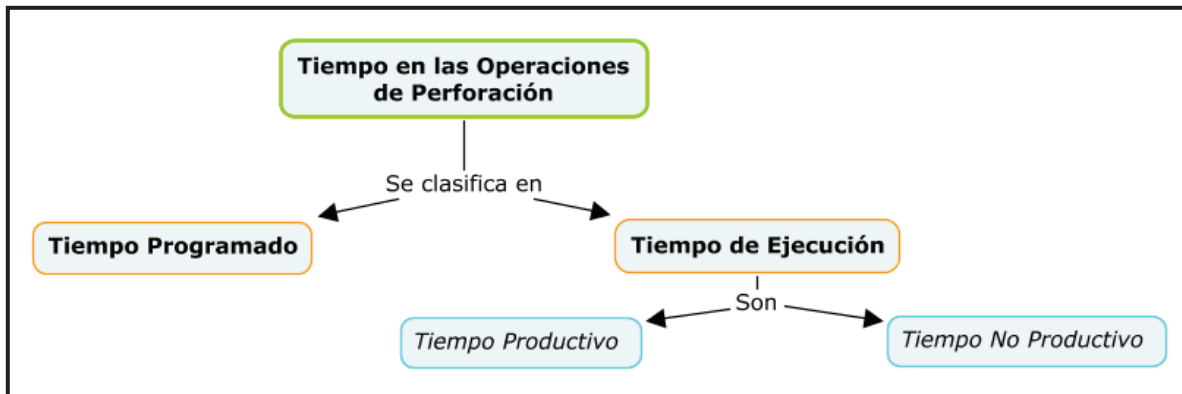
2.2 TIEMPOS EN LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN

Uno de los objetivos principales en la etapa de las operaciones de perforación de un pozo, es reducir los costos de perforación. Para cumplir este propósito se han desarrollado varias iniciativas que se orientan a hacer las operaciones de perforación más eficientes, mientras que otras se enfocan en la reducción del tiempo no productivo (NPT, por sus siglas en inglés: Non-Productive Time). (Rhodes, 2001)

2.2.1 CLASIFICACIÓN DEL TIEMPO EN LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN

El Gráfico 2.1 muestra como se distribuye el tiempo en las operaciones de perforación:

Gráfico 2.1: Distribución del Tiempo en las Operaciones de Perforación



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

2.2.1.1 Tiempo Programado

Es el tiempo previamente planificado en el programa de las operaciones de perforación. (Morán, 2014)

2.2.1.2 Tiempo de Ejecución

Se define como el tiempo que toma la culminación de las operaciones de perforación. Involucra tanto al tiempo productivo y al tiempo no productivo. (Morán, 2014)

2.2.1.2.1 Tiempo Productivo

Considerado como el tiempo que favorece al avance de las operaciones de perforación acorde a lo planificado en el programa de perforación. (Rivas, 2002)

El tiempo productivo se compone de:

- Los tiempos utilizados en formar el agujero. Incluyendo: viajes de limpieza y viajes largos, circulación, trabajo direccional, desviaciones geológicas y apertura del agujero
- El tiempo sin avance en profundidad. Es decir, el tiempo empleado para corridas y a la cementación de la tubería de revestimiento, configuración de los BOP y cabezales de pozo

- Tiempo utilizado para pruebas y terminación del pozo
- Tiempo empleado para la evaluación de la formación, incluyendo toma de muestras, registros, etc.
- Tiempo utilizado para la instalación y desinstalación del equipo

(Schlumberger, 2014)

2.2.1.2.2 Tiempo No Productivo

Se llama así al tiempo en el cual la operación de perforación se detiene o la tasa de penetración se torna demasiado baja. (Nabaei et al., 2011)

2.2.1.2.2.1 Clasificación del Tiempo no Productivo

El tiempo no productivo se clasifica según las diversas etapas que comprende una operación de perforación. Por ejemplo:

1. Fallas en Componentes del Equipo en Superficie

Se identifican problemas en:

- Línea de perforación
- Medidores
- Compresores
- Grúa
- Top Drive/Kelly
- Vibradores
- Mesa rotatoria
- Bombas de lodo
- Generadores

2. Fallas en Componentes del Equipo en Subsuelo

El paro de tiempo en esta categoría incluye:

- Fallas en MWD

- Fallas en elementos de la herramienta de fondo. Por ejemplo: estabilizadores.
- Fallas en el equipo de la sarta de perforación

Incluye:

- Roturas por erosión
- Derrumbes
- Torceduras
- Sartas desenroscadas
- Tubería taponada y colapsada
- Broca taponada
- Falla en la broca de perforación

3. Fallas en Componentes del Equipo De Toma de Registros

Se consideran fallas en:

- Herramientas de LWD
- Herramientas de toma de registros con cable
- Herramientas de registros atoradas
- En superficie, por ejemplo: fallas eléctricas

(Schlumberger, 2014)

2.3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN

2.3.1 REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM)

Se conoce también como velocidad de rotación total de la broca y es igual a la velocidad de rotación en superficie más la velocidad de rotación del motor en profundidad.

No es recomendable tener una alta velocidad de rotación en formaciones abrasivas ya que esto genera un rápido desgaste por abrasión, mientras que en formaciones duras, puede disminuir la tasa de penetración porque la estructura de corte de la broca deja de penetrar en la formación. (Calispa y Villegas, 2013)

2.3.2 PESO SOBRE LA BROCA (WOB)

Por sus siglas en inglés “Weight on Bit”, es un parámetro que representa la cantidad de peso aplicado sobre la broca. El peso sobre la broca conjuntamente con la velocidad de la rata de penetración se convierte en energía necesaria para el avance de la sarta de perforación. (Eren, 2010)

Es necesario aplicar más peso sobre la broca conforme la estructura de corte de la broca se desgasta. (Calispa y Villegas, 2013)

Se recomienda aplicar continuamente peso a la broca para mantener su estabilización y de esta manera evitar que se formen remolinos. (Albán y Álvarez, 2014)

2.3.3 TORQUE (TQ)

Es el torque de la sarta de perforación mientras ésta se encuentra rotando, este parámetro es medido por TDS (top-drive system). Este parámetro de perforación es de suma importancia en pozos inclinados y altamente desviados. (Eren, 2010)

Una disminución en el torque produce:

- Cambios en la velocidad de rotación
- Cambios en la formación
- Disminución en el peso sobre la broca
- Mejora en las propiedades del lodo de perforación

(Albán y Álvarez, 2014)

Un incremento en el torque genera:

- Cambios en el ángulo del agujero
- Cambios en la formación
- Incremento en el peso sobre la broca
- Incorrecta limpieza del pozo
- Propiedades impropias del lodo de perforación

(Grupo CEDIP, 2009)

2.3.4 TASA DE PENETRACIÓN (ROP)

La tasa de penetración determina la velocidad a la cual la broca perfora la formación e indica el estado en el que se encuentra la broca. La ROP puede disminuir si se presentan una o más de los siguientes aspectos:

- Broca desgastada
- Cambios en la formación
- Fugas hidráulicas en la sarta de perforación
- El peso sobre la broca y las revoluciones por minuto no están optimizados

(Albán y Álvarez, 2014)

Dicho parámetro es de suma importancia ya que permite determinar los costos totales y la eficiencia de una operación de perforación. Un cambio de formación o el inicio de la perforación en una zona de alta presión significan un cambio abrupto en la rata de penetración. (Hawker et al, 2002)

2.3.5 TASA DE FLUJO O CAUDAL

Afecta la limpieza de la broca y el agujero, altas tasas de flujo permiten una mejor limpieza porque transportan de manera eficiente los cortes de perforación a superficie, debido a una mayor velocidad anular. Es importante para determinar tiempos necesarios de llenado del lodo en el pozo. (Calispa y Villegas, 2013)

2.3.6 PRESIÓN DE CIRCULACIÓN

Es la presión ejercida por las bombas de lodo antes de ingresar al sistema de circulación.

Un incremento en la presión de circulación se genera por uno o más de los siguientes aspectos:

- Propiedades impropias del lodo de perforación
- Toberas de la broca taponadas o parcialmente taponadas
- Tasa de flujo (gasto) incrementado.
- Restricción anular

(Albán y Álvarez, 2014)

2.3.7 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Las propiedades reológicas de los fluidos y la densidad de los fluidos de perforación, se encuentran entre los parámetros más importantes para propósitos de optimización. Usualmente dichas propiedades aún se pueden medir manualmente con el equipo de laboratorio correcto. (Eren, 2010)

2.3.8 PROFUNDIDAD

El valor de la profundidad, en otras palabras determinar la posición de la broca, es responsabilidad del operador. Usualmente está relacionada a la posición del bloque, por los sensores situados en el bloque corona. (Eren, 2010)

2.3.9 INCLINACIÓN-AZIMUTH

Estos dos parámetros son responsabilidad del perforador direccional. Una eficiente comunicación entre las unidades de MLU¹ y MWD², benefician a la obtención de estos dos parámetros, los mismos que son importantes para considerar la estabilidad del pozo. (Eren, 2010)

2.4 FACTORES IMPORTANTES QUE INCIDEN EN LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN

2.4.1 FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Toda operación de perforación tiene por objetivo preparar al pozo para producir petróleo o gas de una manera eficaz. Los fluidos de perforación, cumplen con diversas funciones que ayudan al logro de dicho objetivo. (Instituto Americano del Petróleo, 2001)

Los fluidos de perforación, también conocidos como lodos de perforación, poseen características físico- químicas adecuadas que se usan en la perforación. Dichos fluidos serán seleccionados analizando las condiciones y posibles problemas que pudiera presentar el pozo a perforar. (Albán y Álvarez, 2014)

2.4.1.1 Funciones del fluido de perforación

Las funciones principales de los fluidos de perforación son:

- Remover los recortes de perforación del fondo del pozo

¹MLU: Unidad de registro de lodo

²MWD: Adquisición de mediciones durante la perforación

- Enfriar y lubricar la broca y la sarta de perforación
- Controlar las presiones subsuperficiales y presiones de fondo
- Mantener la estabilidad del pozo
- Mantener los recortes de perforación en suspensión cuando se detiene el sistema de circulación
- Efecto de boyanza en la sarta de perforación y tubería de revestimiento
- Proteger la sarta de perforación y la tubería de revestimiento
- Incrementa la rata de penetración
- Transmitir energía hidráulica a la broca
- Proteger a la sarta de perforación, tubería de revestimiento y el equipo de perforación de la corrosión

(Smith, 1996)

2.4.1.2 Clasificación de los fluidos de perforación

Los fluidos de perforación más usados son los siguientes:

- Lodos en base agua o base aceite
- Lodos en emulsión de aceite
- Aire-gas
- Espuma/ fluidos aireados

(Smith, 1996)

2.4.2 BROCA DE PERFORACIÓN

Una correcta selección de la broca de perforación es considerada clave para asegurar una operación de perforación exitosa. Una broca de perforación escogida correctamente desempeña un papel fundamental en la optimización de la velocidad de la rata de penetración, dando como resultado una reducción en el costo del equipo de perforación. (Centala et al., 2011)

La broca de perforación, conocida también como mecha o barrena, se encuentra en la sarta de perforación en su parte inferior y es la encargada de triturar la formación durante las operaciones de perforación rotaria. (Albán y Álvarez, 2014)

2.4.2.1 Clasificación de las brocas de perforación

Las brocas de perforación se clasifican usualmente de acuerdo a su diseño y son de dos tipos: brocas tricónicas y brocas de cortadores fijos. (Hawker et al, 2002)

2.4.2.1.1 Brocas Tricónicas

Brocas tricónicas, introducidas en la industria entre los años 1931 y 1933, son aquellas que tienen tres conos cortadores que giran sobre su propio eje. (Grupo CEDIP, 2009)

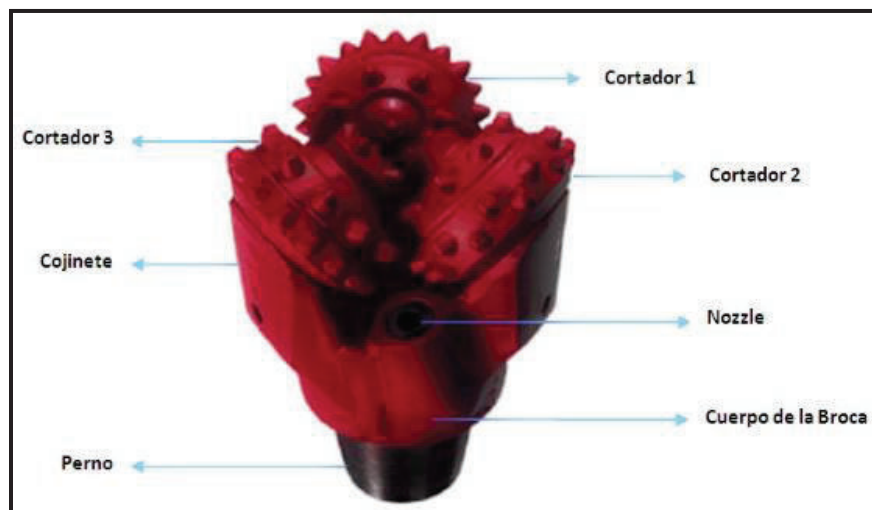
Este tipo de brocas constan de tres partes fundamentales:

1. Cojinetes
2. Estructura de corte
3. Estructura del cuerpo de la broca

(Albán y Álvarez, 2014)

Cada broca tricónica consta de tres cojinetes de la misma estructura, cada cojinete con su respectiva estructura de corte y todo esto acoplado a la estructura del cuerpo de la broca. (Schlumberger, 2001)

Figura 2.5: Estructura de una Broca Tricónica

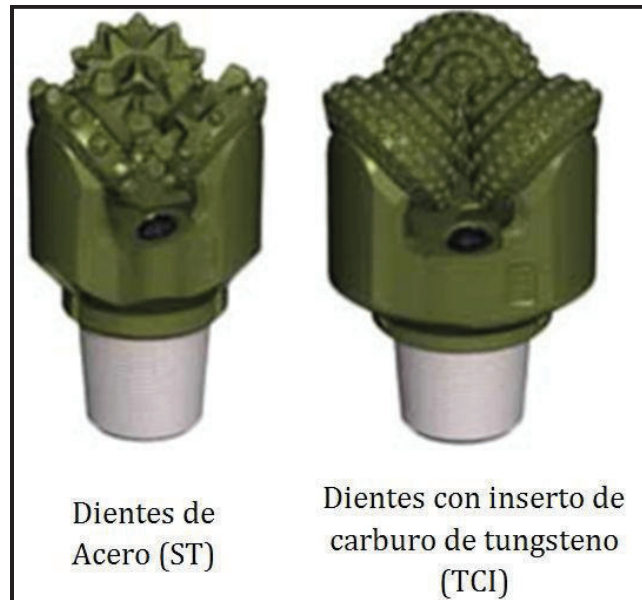


Fuente: Schlumberger

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Se clasifican según su estructura de corte, como lo indica la Figura 2.6. (Centala et al., 2011)

Figura 2.6: Clasificación de las Brocas Tricónicas



Fuente: Schlumberger

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Este tipo de brocas son las que más se usan en la actualidad para operaciones de perforación. Cada empresa prestadora de servicios posee sus propios diseños de brocas tricónicas, con características específicas del fabricante pero en base a un código de estandarización formulado por la IADC (Asociación Internacional de Contratistas de Perforación). (Grupo CEDIP, 2009)

2.4.2.1.2 Código de Estandarización IADC para Brocas Tricónicas

La IADC ha clasificado a las brocas tricónicas según su estructura de corte, el tipo de formación, características mecánicas y en función del fabricante. La IADC impuso el sistema de clasificación de 3 dígitos para identificar a las brocas tricónicas como se detalla en el Gráfico 2.2.

Gráfico 2.2: Código de Estandarización IADC para Brocas Tricónicas

	1 ^{er} Dígito		2 ^{do} Dígito		3 ^{er} Dígito																										
	Sistema de Corte		Dureza		Sistema de Rodamiento																										
	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9																		
Dientes de Acero	1	Dientes de acero para formación blanda	1	Suave	TOBERAS PARA LODO Y BALEROS ESTÁNDAR																										
			2	Media Suave																											
			3	Media Dura																											
			4	Dura																											
	2	Dientes de acero para formación media	1	Suave										TOBERAS AIRE LODO Y BALERO ESTÁNDAR																	
			2	Media Suave																											
			3	Media Dura																											
			4	Dura																											
	3	Dientes de acero para formación dura	1	Suave																			PROTECCIÓN AL CALIBRE Y BALERO ESTÁNDAR								
			2	Media Suave																											
			3	Media Dura																											
			4	Dura																											
Dientes de Insertos	4	Dientes de inserto para formación muy blanda	1	Suave	BALERO SELLADO AUTOLUBRICABLE																										
			2	Media Suave																											
			3	Media Dura																											
			4	Dura																											
	5	Dientes de inserto para formación blanda	1	Suave										BALERO SELLADO Y PROTECCIÓN AL CALIBRE																	
			2	Media Suave																											
			3	Media Dura																											
			4	Dura																											
	6	Dientes de inserto para formación media	1	Suave																			CHUMACERA SELLADA								
7	Dientes de inserto para formación dura	1	Suave	CHUMACERA SELLADA Y PROTECCIÓN AL CALIBRE																											
		2	Media Suave																												
		3	Media Dura																												
		4	Dura																												
8	Dientes de inserto para formación extra dura	1	Suave										PARA PERFORACIÓN DIRECCIONAL																		
		2	Media Suave																												
		3	Media Dura																												
		4	Dura																												

Fuente: Código IADC para Brocas Tricónicas

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Donde:

- El primer dígito nos indica el tipo de estructura de corte y el diseño de la estructura de corte respecto al tipo de formación presente.

- El segundo dígito nos indica el grado de dureza de la formación en la cual se procederá a perforar.
- El tercer dígito nos indica el tipo de rodamiento y la lubricación de la broca.

2.4.2.1.3 Brocas de Cortadores Fijos

Esta broca posee cuchillas endurecidas que hacen parte integral del cuerpo de la broca y giran sólidamente con esta y con la sarta de perforación. (Hawker et al, 2002)

Las brocas de cortadores fijos se clasifican según el material de la estructura de corte, como lo indica la Figura 2.7.

Figura 2.7: Clasificación de las Brocas de Cortadores Fijos



Fuente: Schlumberger

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

2.4.2.1.3.1 Brocas con estructura de corte de compacto de diamante policristalino (PDC)

El diseño del diamante en esta broca es en forma de pastillas. Las brocas PDC son útiles para este tipo de formación: desde muy blanda hasta muy dura y en diferentes diámetros según el diseño del pozo. (López, 2012)

2.4.2.1.3.2 Brocas con estructura de corte de diamante natural

En este tipo de broca, el tamaño del diamante varía de acuerdo a la estructura de la formación. Es decir: mientras más fuerte y abrasiva sea la formación, el tamaño del diamante será más pequeño. (López, 2012)

2.4.2.1.3.3 Brocas con estructura de corte de diamante policristalino térmicamente estable (TSP)

El diseño del diamante en este tipo de broca, es en forma de pequeños triángulos no redondos. Este tipo de brocas son útiles en formaciones que poseen rocas de extrema dureza. (López, 2012)

2.4.2.1.4 Código de Estandarización IADC para Brocas de Cortadores Fijos

La IADC impuso el sistema de clasificación de 4 caracteres (una letra y tres números) para identificar a las brocas de cortadores fijos, como se detalla en el Gráfico 2.3.

Gráfico 2.3: Código de Estandarización IADC para Brocas de Cortadores Fijos

1 ^{er} Dígito		2 ^{do} Dígito				3 ^{er} Dígito			4 ^{to} Dígito					
TIPO DE CORTADOR	MATERIAL DEL CUERPO	PERFIL DEL CUERPO			DISEÑO HIDRAÚLICO			TAMAÑO Y DENSIDAD DE CORTADORES						
		ALTURA DEL	ALTURA DEL CONO			DISTRIBUCION DE CORTADORES	TIPO DE ORIFICIO			TAMAÑO	DENSIDAD			
			Alta	Media	Baja		Toberas	Orificio fijo	Salida abierta		Alta	Media	Baja	
D	DIAMANTE NATURAL	MATRIZ	Alto	1	2	3	En Aletas	1	2	3	Grande	1	2	3
M	PDC	MATRIZ	Medio	4	5	6	En Costillas	4	5	6	Mediano	4	5	6
S	PDC	ACERO	Bajo	7	8	9	No agrupados	7	8	9	Pequeño	7	8	9
T	TSP	MATRIZ	O = de doble centro o asimétrico			R = Flujo radia X = Flujo cruzado O = Otro			O = Impregnado					

Fuente: Código IADC para Brocas de Cortadores Fijos

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Este sistema de clasificación detalla las siguientes características básicas de la broca:

- Tamaño, densidad y tipo de la estructura de corte.
- Material del cuerpo de la broca
- Perfil de la broca
- Programa Hidráulico para el fluido de perforación
- Distribución del flujo del fluido de perforación

2.4.2.2 Selección de una broca

Durante el proceso de planeación de un pozo, se determina con qué tipo de broca se va triturar a la formación. Un objetivo claro en la selección de una broca es reducir el costo del proceso de perforación de un pozo. (Centala et al., 2011)

Se considera como factores importantes para la selección de la broca de perforación los siguientes:

- Dureza de la formación
- Abrasión de la formación
- Geometría del pozo
- Sistema de rotación
- Características del fluido de perforación

(Grupo CEDIP, 2009)

2.5 ENSAMBLAJE DE FONDO (BHA)

El ensamblaje de fondo o BHA, por sus siglas en inglés: Bottom Hole Assembly, es un componente de la sarta de perforación que afecta el recorrido de la broca y por ende la trayectoria del pozo. (Bourgoyne et al., 1991)

2.5.1 FUNCIONES PRINCIPALES DEL ENSAMBLAJE DE FONDO

El ensamblaje de fondo cumple las siguientes funciones:

- Proveer el peso requerido sobre la broca para maximizar la rata de penetración.

- Proteger la tubería de perforación de las grandes cargas de torsión y flexión ejercidas sobre la sarta de perforación.
- Permitir tener una trayectoria del pozo sin inclinación y sin espirales.
- Reducir las patas de perro, asientos de llave y salientes.
- Mejorar el desempeño de la broca

(ESP OIL- Engineering Consultants, 2009)

2.5.2 COMPONENTES PRINCIPALES DEL ENSAMBLAJE DE FONDO:

2.5.2.1 Tubería Pesada

La tubería pesada, conocida también como Heavy Weight o tubería de peso pesado, es colocada sobre los drill collars con el propósito de obtener más peso y mejor estabilidad. (Hawker et al, 2002)

2.5.2.1.1 Funciones Principales de la Tubería Pesada:

- Minimizar el costo de la operación de perforación debido a la eliminación virtual de fallas presentes en la zona de transición.
- Minimizar los cambios de rigidez entre los componentes del ensamblaje de fondo.

(ESP OIL- Engineering Consultants, 2009)

2.5.2.2 Drill Collars

Los drill collars, conocidos también como lastra barrenas o portamechas, son un conjunto de tubos de grueso espesor que se los coloca entre la sarta de perforación y la broca.

2.5.2.2.1 Funciones Principales de los Drill Collars:

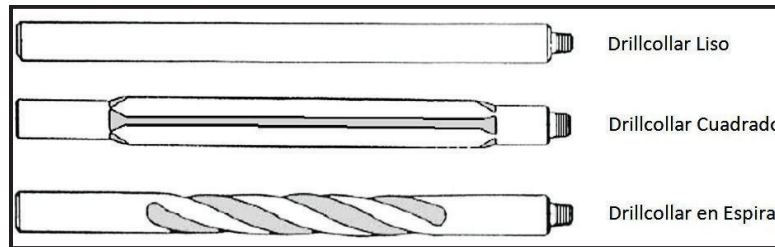
- Proporcionar el peso requerido a la broca y a la tubería de perforación para mantenerla en tensión evitando que se tuerza.
- Proporcionar rigidez para conservar la trayectoria del pozo en la dirección correcta.

(Hawker et al, 2002)

2.5.2.2.2 Tipos de Drill Collars

Básicamente son de tres tipos, tal como se muestra en la Figura 2.10.

Figura 2.8: Tipos de Drill Collars



Fuente: Datalog

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

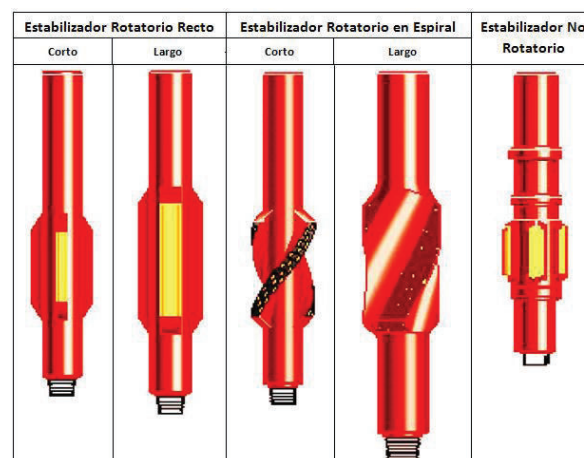
2.5.2.3 Estabilizadores

El propósito fundamental de los estabilizadores es dar solidez y seguridad al ensamblaje de fondo, protegiéndola del acercamiento contra la pared de la formación. (Albán y Álvarez, 2014)

2.5.2.3.1 Tipos de Estabilizadores

Básicamente existen cinco tipos de estabilizadores, como indica la Figura 2.11.

Figura 2.9: Tipos de Estabilizadores



Fuente: Schlumberger

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

2.5.2.4 Rimadores

Los rimadores, como su nombre lo indica, riman la pared de la formación a un diámetro inferior o igual al de la broca de perforación. Generalmente se los usa cuando se tienen problemas de conservar el pozo del diámetro de la broca. (Hawker et al, 2002)

2.5.2.4.1 Tipos de Rimadores

La figura 2.12 muestra los tipos de rimadores que existen.

Figura 2.80: Tipos de Rimadores



Fuente: Schlumberger

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

2.5.2.5 Cross Overs

Los cross overs, pequeñas secciones de tubería, permiten enroscar drill collars y tuberías de diferente diámetro y rosca. (Hawker et al, 2002)

2.6 TUBERÍA DE REVESTIMIENTO (CASING)

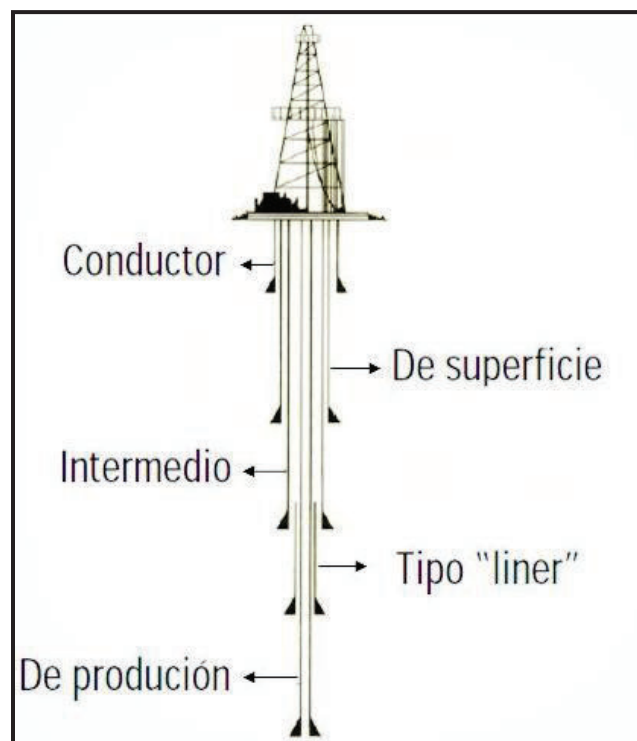
Durante el proceso de perforación de un pozo se hace necesario el uso de la tubería de revestimiento para la protección del hoyo descubierto. (Rahman y Chilingarian, 1995)

2.6.1 PRINCIPALES FUNCIONES DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

La tubería de revestimiento cumple con las siguientes funciones:

- Prevenir el colapso del pozo durante la perforación.
- Prevenir la contaminación por acuíferos presentes.
- Servir como conducto de los fluidos producidos.
- Permitir un control seguro de la presión de formación.
- Servir de soporte para la instalación de equipos en superficie y prevención de reventones. (Bourgoyne et al., 1991)

Figura 2.11: Tipos de Tuberías de Revestimiento



Fuente: PetroWiki

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

2.6.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

2.6.2.1 Tubería Conductora

Su principal propósito es contener las zonas no consolidadas que se encuentran en superficie así como también prevenir la caída de las mismas dentro del pozo. Esta tubería sirve de soporte para la instalación de tuberías de revestimiento y equipos de control en superficie.

La longitud de la tubería conductora varía entre 40 – 500 ft en plataformas onshore y mayor a 1000 ft en plataformas offshore. Generalmente se usa una tubería de 20 pulgadas de diámetro en pozos profundos. (Rahman y Chilingarian, 1995)

2.6.2.2 Tubería de Revestimiento Superficial

Tiene como funciones principales contener zonas pocos profundas no consolidadas, aislar zonas que contengan agua dulce y sirve de soporte para el asentamiento del equipo preventor de reventones.

Los diámetros de la tubería de revestimiento varían de acuerdo a la profundidad del pozo, siendo los más comunes los de 10 3/4 y 13 3/8 pulgadas de diámetro. (Rahman y Chilingarian, 1995)

2.6.2.3 Tubería de Revestimiento Intermedia

Esta tubería se asienta usualmente en la zona de transición antes de encontrar formaciones con presiones anormales. Previene derrumbes y protege al pozo contra pérdidas de circulación. Dependiendo de las condiciones geológicas del pozo se pueden llegar a usar desde dos hasta tres tuberías de revestimiento intermedias. (Lyons y Gary, 2004)

2.6.2.4 Tubería de Revestimiento de Producción

Es una tubería a través de la cual se produce el pozo. (Lyons y Gary, 2004)

Sirve para aislar la zona de producción y en el caso de una fuga contener la presión de formación.

Es crucial realizar un buen trabajo de cementación primaria para esta tubería de revestimiento. (SPE International, 2015)

Dicha tubería permite reparar o reemplazar la tubería de producción y sirve de soporte para el equipo en superficie. (Rahman y Chilingarian, 1995)

2.6.2.5 Tubería de Revestimiento Corta o “Liner”

Este tipo de tubería de revestimiento no alcanza la superficie, pero se suspende de la base de otra tubería de revestimiento.

Se las coloca a través de la zona de producción por razones económicas. (Rahman y Chilingarian, 1995)

La tubería de revestimiento corta puede ser considerada como una tubería de revestimiento intermedia o de producción. (SPE International, 2015)

2.6.3 ASENTAMIENTO DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

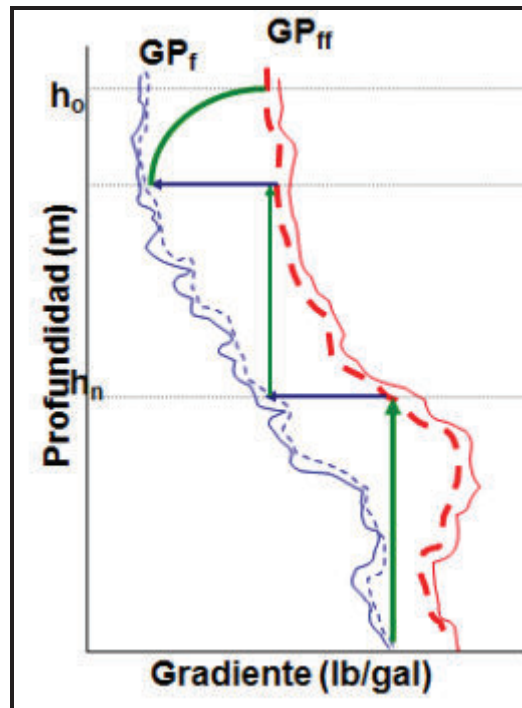
Es necesario considerar la siguiente información para la planeación del asentamiento de las tuberías de revestimiento:

- Trayectoria programada del pozo
- Estructura geológica a perforar
- Sección estructural
- Profundidad total del pozo
- Presión del poro y de fractura
- Márgenes de viajes destinados para el movimiento de tuberías
- Margen del fluido de perforación para controlar posibles brotes
- Densidad del fluido de control
- Diámetro de la tubería de revestimiento de producción o del agujero en la última etapa

Con esta información disponible, se procede a realizar un gráfico de gradientes de densidad equivalente de la presión de poro y de fractura.

A los valores de la presión de poro y fractura se deberá aplicar un margen de control que considere los efectos de viaje de la tubería (pintoneo y succión) y la posible ocurrencia de un brote. (Castro et al., 2013)

Figura 2.12: Gráfico de Gradientes de Densidad para el Asentamiento de la Tubería de Revestimiento



Fuente: IPN, Ciencias de la Tierra

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

2.6.4 DISEÑO DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

Las tuberías de revestimiento escogidas para el diseño deben garantizar la integridad del pozo durante la perforación y terminación del mismo, así como también deberán soportar tres fuerzas significantes que están presentes en las operaciones de perforación, terminación, reparación o durante la vida productiva del pozo:

- Presión externa o de colapso
- Presión Interna
- Carga axial y longitudinal (tensión y compresión)

Las tuberías de revestimiento representan alrededor del 18% del costo total del pozo, de aquí la importancia para optimizar su diseño. (Grupo CEDIP, 2009)

Un correcto diseño debe considerar lo siguiente:

- Trayectoria y profundidad final del pozo
- Geometría del pozo
- Geopresiones
- Programa del lodo de perforación
- Especificaciones de las tuberías de revestimiento

(Castro et al., 2013)

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LAS ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN Y ESTUDIO DEL CAMPO AUCA

3.1 INTRODUCCIÓN

El estudio descrito a continuación se elaboró en base a la información contenida dentro de los reportes finales de las operaciones de perforación de 10 pozos del Campo Auca.

Dicha información se estudiará posteriormente efectuando un análisis estadístico, lo que nos permitirá interpretar los parámetros de perforación y analizar los tiempos no productivos, factores de suma importancia acontecidos en la perforación de un pozo.

Por fines de confidencialidad, no se utilizará el nombre real de los pozos en el estudio. A su vez, modificaremos sus nombres, usando el nombre del campo seguido de un número entero positivo.

3.2 POZO AUCA 001

3.2.1 INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 3.1: Información General del Pozo Auca 001

Objetivo Principal	Hollín Superior
Tipo de Pozo	Vertical
Profundidad Final	10357' MD / 10357' TVD
Desplazamiento Horizontal	0,00'
Inclinación Máxima	0,3° @ 7956' MD

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.2.2 ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN

3.2.2.1 Sección Conductor 26"

Las operaciones de perforación se iniciaron armando un solo ensamblaje de fondo convencional.

Durante la perforación de esta sección se controlaron los parámetros de caudal y peso sobre la broca, evitando de esta manera pérdida de fluido por posible fractura de formación superficial.

Se definió el punto del casing a los 255 ft. El asentamiento de las tuberías de revestimiento para cada sección se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 001

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO						
	Intervalo	Diámetro	Diámetro Interno	Peso	Grado	Tipo de Conexión
	[Pies]	[Pulgadas]	[Pulgadas]	[lb/ft]		
Conductora	0-255	20	19,124	94	K-55	BTC
Superficial	0-5210	13 3/8	12,415	68	K-55	BTC
Intermedia	0-9593	9 5/8	8,681	47	N-80	BTC
Líner de Producción	9413,6-10357	7	6,276	26	C-95	BTC

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.2.2.2 Sección Superficial 16"

Se armó un solo BHA direccional, el cual descendió hasta 248 ft, perforó el zapato, 10 ft de la nueva formación y se cambió el fluido de perforación por el previsto para esta sección.

Los fluidos de perforación usados para cada sección de este pozo se presentan en la Tabla 3.3.

Se observó que los parámetros de perforación se elevaron gradualmente según se avanzaba en profundidad, circuló en hoyo abierto a 3593 ft hasta desalojar cortes de catch tank. El punto del casing se definió a 5214 ft.

Tabla 3.3: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 001

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Densidad [lpg]	
		Mín	Máx
26	Gel/Benex	8,6	8,9
16	Nitrato	8,9	10,4
12 ¼	Perflex	9,6	10,6
8 ½	Perflex Drill In	8,9	9,1

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.2.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"

En la perforación de esta sección se armó un ensamblaje de fondo direccional.

Bajó el BHA #3 hasta 5147 ft, a esta profundidad perforó tapón y collar flotador hasta 5170 ft, a 5654 ft de profundidad se detectó taponamiento de flow line por exceso de ripio, se destapó y continuó la perforación. Realizaron viaje corto de calibración hasta el zapato a 8960 ft, el punto del casing se definió a 9596 ft.

En esta sección se efectuó corrida de registros (resistividad, densidad, porosidad, GR, caliper). La Tabla 3.4 describe los datos de rendimiento para cada BHA direccional.

3.2.2.4 Sección de Producción 8 ½"

Esta sección se perforó en 3 corridas, para ello se armaron 3 ensamblajes de fondo direccionales. El BHA #4 inició la perforación de la sección con parámetros de perforación según el plan, terminó la corrida a la profundidad de 9735 ft, punto en el cual se procedió a la toma del primer núcleo en Napo U Inferior. La segunda corrida presentó una descarga lenta del peso sobre la broca y dificultad para aplicar una presión diferencial constante. Llegó hasta 10160 ft, profundidad a la cual se toma el segundo núcleo en Hollín Superior.

El BHA #8 perforó rotando con los parámetros de perforación según el plan, la profundidad final del pozo se estableció a 10357 ft. Se presentó problemas

similares a la segunda corrida. Las especificaciones de cada ensamblaje de fondo que se utilizó en este pozo se muestran en el Anexo A-1.

Tabla 3.4: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 001

Sección superficial 16"	BHA: 2	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	58	0,50	116,00
	Rotando	4901	20,67	237,11
	Intervalo de Profundidad: [255-5214] ft			
Sección Intermedia 12 1/4"	BHA: 3	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	34	2,6	13,08
	Rotando	4348	60,98	71,30
	Intervalo de Profundidad: [5214-9596] ft			
Sección de Producción 8 1/2"	BHA: 4	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	139	4,07	34,15
	Intervalo de Profundidad: [9596-9735] ft			
	BHA: 6	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	425	14,2	29,93
	Intervalo de Profundidad: [9735:10160] ft			
	BHA: 8	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	137	3,65	37,53
	Intervalo de Profundidad: [10220-10357] ft			

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.3 POZO AUCA 002

3.3.1 INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 3.5: Información General del Pozo Auca 002

Objetivo Principal	Hollín Inferior
Tipo de Pozo	Direccional Tipo "J"
Profundidad Final	12637' MD / 10385' TVD
Desplazamiento Horizontal	6517,75'
Inclinación Máxima	43,48° @ 11066' MD

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.3.2 ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN

3.3.2.1 Sección Conductor 26"

Se inició las operaciones de perforación con el primer ensamblaje de fondo convencional utilizando parámetros controlados. El BHA #1 llegó a la profundidad prevista con los parámetros más óptimos para esta sección.

A la profundidad de 246 ft bombearon 40 bls de píldora viscosa y circularon hasta retornos limpios, se definió el punto del casing a 246 ft. La profundidad de asentamiento de las tuberías de revestimiento para cada sección se muestra en la Tabla 3.6.

La perforación de esta sección mantuvo la verticalidad del hoyo y evitó fracturas de formaciones superficiales.

Tabla 3.6: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 002

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO						
	Intervalo	Diámetro	Diámetro Interno	Peso	Grado	Tipo de Conexión
	[Pies]	[Pulgadas]	[Pulgadas]	[lb/ft]		
Conductora Superficial	0-246	20	19,124	94	K-55	BTC
	0-6428	13 3/8	12,415	68	K-55	BTC
Intermedia	0-11615	9 5/8	8,681	47	N-80	BTC
Liner de Producción	11435-12637	7	6,276	26	P-110	BTC

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.3.2.2 Sección Superficial 16"

Para la perforación de esta sección se usó un ensamblaje de fondo direccional.

El BHA #2 inició la perforación con parámetros controlados para evitar fracturar la formación. Se realizaron dos estaciones de circulación durante esta etapa, la primera a 5220 ft para limpieza de hoyo, la segunda a 5889 ft para mejorar la tasa de penetración puesto que a partir de 5792 ft a 5887 ft se observó una disminución de la misma. Se definió el punto del casing a 6428 ft.

Para cada sección se utilizó los fluidos de perforación descritos en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 002

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Densidad [lpg]	
		Mín	Máx
26	Spud Mud	8,4	8,8
16	Nitrato de Calcio	8,8	10,6
12 ¼	Perflex	9,6	10,6
8 ½	Perflex Drill In	8,9	9,1

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.3.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"

En esta sección se armaron 3 ensamblajes de fondo direccionales.

El BHA #4 perforó de 6428 ft hasta 7949 ft rotando y deslizando. Manteniendo parámetros controlados perforó hasta la profundidad de 8440 ft, a dicha profundidad bombea 40 bls de píldora viscosa y circula hasta retornos limpios.

A la profundidad de 9240 ft se realizó viaje a zapato para reparar el hidromático por parte del personal de la compañía operadora, el problema del hidromático afectó la perforación tanto rotando como deslizando.

La broca del BHA #4 se emboló a la profundidad 9246 ft por lo que se procedió a bombear píldora dispersa con cáscara de nuez, se controló los parámetros de perforación hasta llegar a la profundidad de 10479 ft.

Se armó BHA #5, continuó perforando rotando y deslizando hasta 10861 ft, por presentarse problemas con la herramienta MWD solo se perforó 382 ft y se decidió sacar a superficie para revisión y el posterior cambio de la herramienta.

En la tercera corrida, el BHA #6 perforó rotando con parámetros normales de buen desempeño hasta la profundidad del punto del casing, 11615 ft.

Cada BHA direccional cumplió con los datos de rendimiento mostrados en la Tabla 3.8.

3.3.2.4 Sección de Producción 8 ½"

Para la perforación de esta última sección se armó el BHA #8 convencional, el mismo que perforó tapones, collar flotador, cemento y zapato.

Al perforar tapones se tuvo un torque alto, por lo que se circuló para limpiar posibles restos de los tapones. Continuó perforando hasta 12637 ft, profundidad final del pozo.

En el Anexo A-2 se muestra a detalle las especificaciones de los ensamblajes de fondo utilizados.

Tabla 3.8: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 002

Sección superficial 16"	BHA: 2	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	517	14,87	34,77
	Rotando	5667	38,48	147,27
	Intervalo de Profundidad: [246-6428] ft			
Sección Intermedia 12 1/4"	BHA: 4	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	248	19,95	12,43
	Rotando	3804	73,25	51,90
	Intervalo de Profundidad: [6428-10479] ft			
	BHA: 5	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	18	3,45	5,20
	Rotando	364	4,7	77,45
	Intervalo de Profundidad: [10479-10861] ft			
	BHA: 6	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	54	8,18	6,60
	Rotando	708	14,58	48,56
	Intervalo de Profundidad: [10862-11624] ft			
Sección de Producción 8"	BHA: 7	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	27	3,05	8,85
	Rotando	986	22,93	43,00
	Intervalo de Profundidad: [11624-12637] ft			

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.4 POZO AUCA 003

3.4.1 INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 3.9: Información General del Pozo Auca 003

Objetivo Principal	"U" Inferior
Tipo de Pozo	Direccional Tipo "J"
Profundidad Final	10803' MD / 10439' TVD
Desplazamiento Horizontal	2559,71'
Inclinación Máxima	19,2° @ 6294' MD

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.4.2 ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN

3.4.2.1 Sección Conductor 26"

Se inicio la perforación del pozo, armando un ensamblaje de fondo convencional, bajó hasta 45 ft y perforó hasta 135 ft, profundidad en la cual la tasa de penetración se redujo, razón por la cual se varió parámetros de perforación hasta recuperar la ROP. Continuó perforando hasta la profundidad prevista (258 ft).

Las características de las tuberías de revestimiento utilizadas para cada sección se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 003

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO						
	Intervalo	Diámetro	Diámetro Interno	Peso	Grado	Tipo de Conexión
	[Pies]	[Pulgadas]	[Pulgadas]	[lb/ft]		
Conductora	0-258	20	19,124	94	K-55	BTC
Superficial	0-5925	13 3/8	12,415	68	K-55	BTC
Intermedia	0-9960	9 5/8	8,681	47	N-80	BTC
Liner de Producción	9707-10803	7	6,276	26	C-95	BTC

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.4.2.2 Sección Superficial 16"

La perforación de esta sección se realizó con el BHA #2 direccional.

Perforó rotando y deslizando desde 250 ft hasta 3126 ft, profundidad en la cual sacó dos paradas y se observó suelto el pasador de seguro del top drive. El BHA regresó al fondo y recuperó los parámetros. Continuó perforando hasta el punto de casing definido (5925 ft), con el fluido de perforación programado. Los fluidos de perforación usados en cada sección se describen en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 003

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Densidad [lpg]	
		Mín	Máx
26	Gel/Polímero	8,4	8,8
16	Gel/Nitrato de Calcio	8,8	10,6
12 ¼	Latidrill	9,5	10,8
8 ½	Biolose	9,2	9,4

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.4.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"

Se armó un ensamblaje de fondo convencional para acondicionar el hoyo hasta 6005 ft y se realizó circulación hasta obtener retornos limpios en superficie. Inicia la perforación de esta sección con el BHA #4 direccional hasta la profundidad de 8731 ft con parámetros de perforación controlados, teniendo un alta tasa de penetración.

Continúo la perforación armando el BHA #5 direccional, el cual perforó las formaciones Tena, Basal Tena y Napo, al final de la corrida (9960 ft) se evidenció jets tapados por material presente en la zaranda, se sacó BHA #5 y se procedió a armar BHA #6 direccional.

El BHA #6 perforó la formación Napo con una rata de penetración variable entre 30 y 60 ft/hr, realizó viaje de calibración hasta 6110 ft.

Cada BHA direccional perforó rotando y deslizando, tal como se muestra en la Tabla 3.12.

3.4.2.4 Sección de Producción 8 ½"

Se armó BHA #7 direccional, bajó hasta 9900 ft, perforó collar, zapato y 10 ft de la nueva formación. Perforó la sección hasta 10803 ft.

A la profundidad de 10780 ft se bombeó píldora viscosa y se realizó circulación.

Las especificaciones de los ensamblajes de fondo utilizados para cada sección se muestran en el Anexo A-3.

Tabla 3.12: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 003

Sección superficial 16"	BHA: 2	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	440	4,40	100,00
	Rotando	5313	25,53	208,11
	Intervalo de Profundidad: [250-6005] ft			
Sección Intermedia 12 1/4"	BHA: 3	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	92	6,42	14,33
	Rotando	2634	36,1	51,90
	Intervalo de Profundidad: [6005-8731] ft			
	BHA: 4	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	46	4,97	9,26
	Rotando	804	13,57	59,25
	Intervalo de Profundidad: [8731-9581] ft			
	BHA: 5	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	38	6,27	6,06
Rotando	336	8,88	37,84	
Intervalo de Profundidad: [9581-9955] ft				
Sección de Producción 8"	BHA: 7	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	55	5,18	10,62
	Rotando	790	18,35	43,05
	Intervalo de Profundidad: [9955-10803] ft			

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.5 POZO AUCA 004

3.5.1 INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 3.13: Información General del Pozo Auca 004

Objetivo Principal	"T" Principal
Tipo de Pozo	Direccional Tipo "J"
Profundidad Final	10939' MD / 10333,9' TVD
Desplazamiento Horizontal	2657,15'
Inclinación Máxima	29,78° @ 8721' MD

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.5.2 ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN

3.5.2.1 Sección Conductor 26"

El BHA #1 convencional tocó fondo a 45 ft y perforó verticalmente hasta 260 ft.

Se bombeó 40 bls de píldora viscosa y circuló hasta retornos limpios, se sacó el ensamblaje de fondo hasta superficie y empezaron a armar el nuevo ensamblaje de fondo para la siguiente sección.

Las profundidades de cada tubería de revestimiento se detallan en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 004

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO						
	Intervalo	Diámetro	Diámetro Interno	Peso	Grado	Tipo de Conexión
	[Pies]	[Pulgadas]	[Pulgadas]	[[lb/ft]		
Conductora Superficial	0-260	20	19,124	94	K-55	BTC
	0-6074	13 3/8	12,415	68	K-55	BTC
Intermedia	0-6784	9 5/8	8,681	47	N-80	BTC
	6784-10080	9 5/8	8,535	53,5	P-110	BTC
Liner de Producción	9869-10939	7	6,276	26	P-110	TB

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.5.2.2 Sección Superficial 16"

Esta sección hizo uso de 3 ensamblajes de fondo direccionales. La perforación de esta sección se inició armando el BHA #2, el cual perforó cemento, zapato y 10 ft de la nueva formación.

Se realizó el cambio del fluido de perforación programado para esta sección, los fluidos de perforación utilizados se muestran en la Tabla 3.15. Continuó la perforación hasta 460 ft, se bombeó 80 bls de píldora viscosa y realizó circulación hasta obtener retornos limpios.

Se armó BHA #3, bajó desde superficie hasta 460 ft. Perforó rotando y deslizando hasta 3370 ft, se bombeó 80 bls de píldora viscosa y circuló hasta retornos limpios. Además se bombearon 50 bls de píldora viscosa a 1425, 1810, 2332, y 3327 ft.

Continuaron la perforación armando y bajando el BHA #4 hasta 3370 ft, perforó rotando y deslizando direccionalmente hasta 5900 ft, se bombearon 40 bls de píldora viscosa a 3370, 3688, 4256, 4824, y 5655 ft. Continuó perforando rotando y deslizando hasta 6074 ft (profundidad del casing), profundidad en la cual se bombeó 50 bls de píldora viscosa y circuló hasta retornos limpios.

Registrándose tiempo no productivo por parte de la operadora de servicios por pérdida de señal en el MWD.

Tabla 3.15: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 004

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Densidad [lpg]	
		Mín	Máx
26	Gel/Polímero	8,5	9
16	Nitrato de Calcio	8,8	10,6
12 ¼	Perflex	9,9	10,6
8 ½	Biolose	9,2	9,4

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.5.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"

Esta sección se inició armando y bajando el BHA #5 direccional hasta 6024 ft, profundidad a la cual perforó tapones y collar flotador. A 6074 ft, perforó cemento, zapato y 10 ft de la nueva formación. Bombeó 40 bls de píldora viscosa.

Perforó rotando y deslizando desde 6084 ft hasta 8730 ft, instante en el cual se decidió mandar tren de píldoras viscosas y se realizó circulación hasta obtener retornos limpios en superficie.

Continuaron la perforación armando el BHA #6 direccional, avanzó rotando y deslizando hasta 9580 ft, se evidenció un alto torque y una disminución en la rata de penetración, por lo cual se decidió sacar el BHA #6 y armar el BHA #7 direccional.

El alto torque fue generado por la rigidez de la sarta con LWD.

El último BHA de esta sección perforó rotando hasta 9708 ft, donde se registró tiempo no productivo. El top drive perdió rotación y procedieron a cambiarlo por otro, se efectuaron pruebas dinámicas al nuevo top drive obteniéndose resultados positivos.

Continuó la perforación rotatoria hasta el punto del casing (10080 ft). Los ensamblajes de fondo direccionales avanzaron rotando y deslizando varios pies de profundidad, como se describe en la Tabla 3.16.

3.5.2.4 Sección de Producción 8 ½"

El BHA #8 direccional se utilizó para perforar desde los 10087 ft hasta 10939 ft (profundidad final del pozo), bombearon tren de píldoras y circularon hasta obtener retornos limpios en superficie.

Durante este tramo se atravesó las arenas "U" y "T".

Cada ensamblaje de fondo finalizó sus operaciones con las especificaciones mostradas en el Anexo A-4.

Tabla 3.16: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 004

Sección Superficial 1,6"	BHA: 3	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	504	10,87	46,37
	Rotando	2406	13,42	179,28
	Intervalo de Profundidad: [460-3370] ft			
	BHA: 4	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	524	14,42	36,34
Rotando	2180	18,47	118,03	
Intervalo de Profundidad: [3370-6074] ft				
Sección Intermedia 12 1/4"	BHA: 5	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	79	11,33	6,97
	Rotando	2577	64,37	40,03
	Intervalo de Profundidad: [6074-8730] ft			
	BHA: 6	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	57	15,6	3,65
Rotando	793	35,72	22,20	
Intervalo de Profundidad: [8730-9580] ft				
Sección de Producción 8 1/2"	BHA: 7	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	507	24,35	20,82
Intervalo de Profundidad: [9580-10087] ft				
Sección de Producción 8 1/2"	BHA: 8	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	10	0,92	10,87
	Rotando	842	29,83	28,23
Intervalo de Profundidad: [10087-10939] ft				

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.6 POZO AUCA 005

3.6.1 INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 3.17: Información General del Pozo Auca 005

Objetivo Principal	Hollín Inferior
Tipo de Pozo	Direccional Tipo "S"
Profundidad Final	10650' MD / 10374,8' TVD
Desplazamiento Horizontal	1509,29'
Inclinación Máxima	27,91° @ 2983' MD

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.6.2 ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN

3.6.2.1 Sección Conductor 26"

Iniciaron las operaciones de perforación armando un solo ensamblaje de fondo convencional, el BHA #1 perforó verticalmente hasta 262 ft, se bombeó 40 bls de píldora viscosa y se realizó circulación hasta obtener retornos limpios e iniciaron operaciones para bajada de la tubería de revestimiento. Las tuberías de revestimiento usadas en este pozo se detallan en la Tabla 3.18.

Se registró 30 minutos de tiempo no productivo debido a una falla en el arranque de la unidad de potencia en el equipo de corrida del casing.

Tabla 3.18: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 005

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO						
	Intervalo	Diámetro	Diámetro Interno	Peso	Grado	Tipo de Conexión
	[Pies]	[Pulgadas]	[Pulgadas]	[lb/ft]		
Conductora	0-260	20	19,124	94	K-55	BTC
	0-1130	13 3/8	12,615	54,5	K-55	BTC
Superficial	1130-6150	13 3/8	12,415	68	K-55	BTC
	0-6555	9 5/8	8,681	47	N-80	BTC
Intermedia	6555-9819	9 5/8	8,535	53,5	P-110	BTC
	Liner de Producción	9592-10650	7	6,276	P-110	TB

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.6.2.2 Sección Superficial 16"

Esta sección se perforó rotando y deslizando con 4 ensamblajes de fondo, 1 convencional y 3 direccionales. Se armó y bajó BHA #2 hasta 262 ft, perforando verticalmente hasta 509 ft. Bombeó 40 bls de píldora viscosa y circuló hasta obtener retornos limpios, procedieron a sacar la sarta a superficie y a quebrar el BHA #2.

El BHA #3 direccional descendió hasta 242 ft, donde se registró 1 hora de tiempo no productivo por reparación de fuga de aceite en el top drive, avanzó en la perforación hasta 4004 ft. Bombeó 80 bls de píldora viscosa y circuló hasta

retornos limpios, se procedió a sacar la sarta y quebrar el BHA #3, se evidenció 1 hora de NPT por daño en el hidromático.

Continuaron la perforación con el BHA #4, descendió hasta 4004 ft y se bombeó 30 bls de píldora viscosa. Perforó desde 4004 ft hasta 5467 ft, profundidad a la cual se registró 18 hrs de tiempo no productivo a cargo de la prestadora de servicios por falla en el MWD por lo que fue necesario llevar a superficie y realizar el reemplazo de la herramienta. Descendió nuevamente hasta 5467 ft y perforó hasta 6153 ft. Bombearon 70 bls de píldora viscosa-pesada y circularon hasta retornos limpios. Los fluidos de perforación utilizados en cada sección se muestran en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 005

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Densidad [lpg]	
		Mín	Máx
26	Gel/Polímero	8,5	8,89
16	Nitrato de Calcio	8,6	10,6
12 ¼	Perflex	9,8	10,6
8 ½	Perflex Drill In	9,2	9,5

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.6.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"

Procedieron a la perforación de esta sección armando el BHA #6 direccional, el cual perforó rotando desde 6173 ft hasta 8285 ft con parámetros de perforación controlados, profundidad donde se registró 1 hora de NPT por daño en las bombas número 1 y 2.

Los datos de rendimiento de los BHA direccionales se muestran en la Tabla 3.20.

Perforó rotando y deslizando desde 7244 ft hasta 9234 ft. Se desplazó 80 bls de píldora viscosa-pesada espaciada en baches y se realizó circulación hasta obtener retornos limpios en superficie.

Se perforó rotando desde 9234 ft hasta 9820 ft (TD de la sección de 12 ¼) con el BHA #7 direccional y manteniendo parámetros de perforación normales. Se bombeó 40 bls de píldora viscosa-pesada y circuló hasta retornos limpios.

3.6.2.4 Sección de Producción 8 ½"

Bajó BHA #8 direccional hasta la profundidad de 9762 ft, rotó cemento y zapato hasta 9820 ft y perforó 10 ft de la nueva formación. Perforó rotando hasta 10650 ft (profundidad final del pozo). El Anexo-A5 detalla los parámetros de perforación de los ensamblajes de fondo usados.

Se armó para esta sección un BHA de calibración con broca PDC HCD506X.

Tabla 3.20: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 005

Sección Superficial 16"	BHA: 2	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	32	5,90	5,42
	Rotando	215	6,3	34,13
	Intervalo de Profundidad: [262-509] ft			
	BHA: 3	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	808	11,71	69,00
	Rotando	2687	14	191,93
	Intervalo de Profundidad: [509-4004] ft			
	BHA: 4	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	332	7,23	45,92
	Rotando	1131	6,92	163,44
	Intervalo de Profundidad: [4004-5467] ft			
BHA: 5	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]	
Deslizando	144	3,68	39,13	
Rotando	552	4,7	117,45	
Intervalo de Profundidad: [5467-6163] ft				
Sección Intermedia 12 1/4"	BHA: 6	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	3071	58,55	52,45
	Intervalo de Profundidad: [6163-9234] ft			
	BHA: 7	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
Rotando	586	22,56	25,98	
Intervalo de Profundidad: [9234-9820] ft				
Sección de Producción 8 1/2"	BHA: 8	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	830	25,35	32,74
Intervalo de Profundidad: [9820-10650] ft				

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.7 POZO AUCA 006

3.7.1 INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 3.21: Información General del Pozo Auca 006

Objetivo Principal	"U" Inferior
Tipo de Pozo	Direccional Tipo "J"
Profundidad Final	11224' MD / 10358,1' TVD
Desplazamiento Horizontal	4054,77'
Inclinación Máxima	28,08° @ 7060,18' MD

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.7.2 ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN

3.7.2.1 Sección Conductor 26"

Las operaciones de perforación se iniciaron armando el BHA #1 convencional, bajó a 45 ft y perforó hasta 267 ft, incrementando paulatinamente los parámetros de perforación para evitar fractura superficial de la formación. Se envió 30 bls de píldora viscosa y circuló hasta obtener retornos limpios en superficie.

Se definió el punto del casing a los 267 ft. Las profundidades de asentamiento de las tuberías de revestimiento se detallan en la Tabla 3.22.

Tabla 3.22: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 006

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO						
	Intervalo	Diámetro	Diámetro Interno	Peso	Grado	Tipo de Conexión
	[Pies]	[Pulgadas]	[Pulgadas]	[lb/ft]		
Conductora	0-267	20	19,124	94	K-55	BTC
Superficial	0-6325	13 3/8	12,415	68	K-55	BTC
Intermedia	0-10470	9 5/8	8,681	47	N-80	BTC
Líner de Producción	10283-11224	7	6,276	26	C-95	BTC

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.7.2.2 Sección Superficial 16"

Procedieron a armar BHA #2 direccional. Perforó hasta 300 ft y bombearon 30 bls de píldora viscosa, continuó la perforación rotando y deslizando hasta la profundidad del asentamiento del casing (6325 ft).

Se armó BHA #3 convencional de limpieza con broca tricónica, estableciéndose dos estaciones para su propósito, la primera a 4033 ft y la segunda a 5726 ft, profundidades en las cuales se bombeó 40 bls de píldora viscosa-pesada y circuló hasta obtener retornos limpios en zarandas.

Hubo pérdida de lodo en el sistema con un total de 45 bls por lo que se bombeó 50 bls de píldora anti- pérdida y se estabiliza el nivel de fluido. El fluido de perforación usado en esta sección se muestra en la Tabla 3.23.

Por falta del casing de 13 3/8 se suspendieron las operaciones de perforación por 25 horas.

Tabla 3.23: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 006

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Densidad [lpg]	
		Mín	Máx
26	Gel/Polímero	8,5	9
16	Nitrato de Calcio	8,8	10,6
12 ¼	Perflex	9,9	10,6
8 ½	Biolose	9,2	9,5

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.7.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"

Bajó BHA #4 direccional hasta 6224 ft, molió cemento y perforó zapato hasta 6325 ft. Perforó rotando con parámetros controlados hasta 9066 ft, se bombeó píldora y circuló hasta obtener retornos limpios.

El BHA #5 direccional perforó la sección rotando y deslizando hasta el punto de casing (10470 ft), efectuando trabajos direccionales en las formaciones Tena y Napo, debido a que el pozo tiende a perder la trayectoria establecida.

Se armó BHA #6 convencional de limpieza con broca tricónica 12 ¼".

Los ensamblajes de fondo direccionales perforaron rotando y deslizando tal como se muestra en la Tabla 3.24.

3.7.2.4 Sección de Producción 8 ½"

La perforación de esta sección culminó con el BHA #7, además se armó un BHA de acondicionamiento con broca tricónica de 8 ½. Este BHA perforó la sección rotando y deslizando hasta la profundidad final del pozo (11224 ft). En esta sección se efectuaron dos corridas para la toma de registros.

El Anexo A-6 detalla las especificaciones de los ensamblajes de fondo utilizados.

Tabla 3.24: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 006

Sección Superficial 16"	BHA: 2	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]	
	Deslizando	544	6,69	81,32	
	Rotando	5573	22,1	252,17	
Intervalo de Profundidad: [267-6384] ft					
Sección Intermedia 12 1/4"	BHA: 4	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]	
	Deslizando	0	0	0,00	
	Rotando	2682	40,9	65,57	
	Intervalo de Profundidad: [6384-9066] ft				
	BHA: 5	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]	
	Deslizando	54	9,5	5,20	
Rotando	1350	18,8	71,81		
Intervalo de Profundidad: [9066-10470] ft					
Sección de Producción 8"	BHA: 7	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]	
	Deslizando	50	6,3	7,94	
	Rotando	704	15,1	46,62	
Intervalo de Profundidad: [10470-11224] ft					

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.8 POZO AUCA 007

3.8.1 INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 3.25: Información General del Pozo Auca 002

Objetivo Principal	Hollín Superior
Tipo de Pozo	Direccional Tipo "J"
Profundidad Final	10800' MD / 10402,0' TVD
Desplazamiento Horizontal	2639,11'
Inclinación Máxima	20,13° @ 6492' MD

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.8.2 ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN

3.8.2.1 Sección Conductor 26"

Se inició la perforación con parámetros controlados para evitar fracturas de formación, a medida que avanzó la perforación se optimizaron los parámetros para mejorar la tasa de penetración y mantener la verticalidad del hoyo.

Con el BHA #1 convencional se llegó al punto de casing (246 ft).

La profundidad de asentamiento de las tuberías de revestimiento para cada sección se muestra en la Tabla 3.26.

Tabla 3.26: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 007

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO						
	Intervalo	Diámetro	Diámetro Interno	Peso	Grado	Tipo de Conexión
	[Pies]	[Pulgadas]	[Pulgadas]	[lb/ft]		
Conductora Superficial	0-246	20	19,124	94	K-55	BTC
	0-5862	13 3/8	12,415	68	K-55	BTC
Intermedia	0-9984	9 5/8	8,681	47	N-80	BTC
Líner de Producción	9835-10800	7	6,276	26	P-110	BTC

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.8.2.2 Sección Superficial 16"

El BHA direccional #2 inició la perforación bajando hasta 246 ft, perforó cemento y el zapato desde 246 ft hasta 268 ft, profundidad en la cual se bombeó 40 bls de píldora viscosa y se cambió el fluido de perforación usado en la sección anterior por el programado para esta sección, tal como se detalla en la Tabla 3.27.

Perforó rotando y deslizando hasta 4817 ft, después de cumplirse 55 horas de perforación se procedió a sacar el BHA #2 hasta la superficie. Existieron problemas de saver-sub, se bombearon 40 bls de píldora viscosa y circularon hasta obtener retornos limpios para proceder a cambiarlo.

Se armó BHA #3, descendió hasta 4817 ft donde bombeó 40 bls de píldora viscosa, continuó perforando la sección rotando hasta el punto de casing (5862 ft), bombearon 40 bls de píldora viscosa y circularon hasta obtener retornos limpios.

Tabla 3.27: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 007

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Densidad [lpg]	
		Mín	Máx
26	Spud Mud	8,5	9
16	Nitrato de Calcio	8,9	10,6
12 ¼	Perflex	9,5	10,6
8 ½	Perflex Drill In	8,9	9,1

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.8.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"

Se armó y bajo BHA #4 direccional hasta 5812 ft, perforó tapones, collar flotador y cemento hasta 5830 ft, punto en el cual se realizó prueba de integridad de casing con 500 Psi y se observó una caída paulatina de presión en 1 Psi por lo que se realizó varios ensayos con resultados similares con cada una de las bombas, obteniéndose un tiempo no productivo de 60 minutos.

Se reinicia las operaciones de perforación, perforando cemento, zapato y 10 ft de la nueva formación hasta 5872 ft. El BHA #4 perforó rotando y deslizando hasta 9986 ft, se bombeó tren de píldoras y realizaron circulación hasta obtener retornos limpios. Realizaron prueba de equipos y se detectó daño en la válvula reguladora de presión del sistema hidráulico en el casing drive system.

El desempeño de los ensamblajes de fondo se muestra en la Tabla 3.28.

3.8.2.4 Sección de Producción 8 ½"

Finalizaron las operaciones de perforación con el BHA #5 direccional, perforando cemento, tapón y collar flotador desde 9925 ft hasta 9955 ft, perforó zapato y 10 ft de la nueva formación y cambió al nuevo fluido de perforación. Continuó perforando, rotando y deslizando hasta la profundidad final del pozo (10800 ft) con los parámetros de perforación descritos en el Anexo A-7.

Tabla 3.28: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 007

Sección Superficial 16"	BHA: 2	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	505	6,70	75,37
	Rotando	4066	31,07	130,88
	Intervalo de Profundidad: [246-4817] ft			
	BHA: 3	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	31	1,25	24,80
Rotando	1014	13,63	74,38	
Intervalo de Profundidad: [4817-5862] ft				
Sección Intermedia 12 3/8"	BHA: 4	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	218	22,59	9,65
	Rotando	3906	84,60	46,17
Intervalo de Profundidad: [5862-9986] ft				
Sección de Producción 8"	BHA: 5	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	814	16,48	49,38
Intervalo de Profundidad: [9986-10800] ft				

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.9 POZO AUCA 008

3.9.1 INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 3.29: Información General del Pozo Auca 008

Objetivo Principal	Hollín Superior
Tipo de Pozo	Direccional Tipo "J"
Profundidad Final	10830' MD / 10307,0' TVD
Desplazamiento Horizontal	2814,58'
Inclinación Máxima	22,47° @ 6222,10' MD

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.9.2 ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN

3.9.2.1 Sección Conductor 26"

Iniciaron la perforación del pozo armando el BHA #1 convencional, el cual perforó desde 46 ft hasta 296 ft con parámetros de perforación normales.

Al momento de iniciar la perforación se incrementó progresivamente las revoluciones por minuto y el galonaje para mantener la verticalidad de hoyo. El asentamiento de las tuberías de revestimiento para cada sección se muestra en la Tabla 3.30.

Tabla 3.30: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 008

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO						
	Intervalo	Diámetro	Diámetro Interno	Peso	Grado	Tipo de Conexión
	[Pies]	[Pulgadas]	[Pulgadas]	[lb/ft]		
Conductora	0-296	20	19,124	94	K-55	BTC
Superficial	0-5899	13 3/8	12,415	68	K-55	BTC
Intermedia	0-10045	9 5/8	8,681	47	N-80	BTC
Liner de Producción	9833,6-10830	7	6,276	26	C-95	BTC

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.9.2.2 Sección Superficial 16"

Armaron el BHA direccional #2 y descendió hasta 204 ft donde perforó cemento y zapato hasta 296 ft, se utilizó el fluido de perforación previsto para esta sección. Continuó la perforación rotando y deslizando hasta 4509 ft, profundidad en la cual se realizó circulación intermedia. Perforó hasta 5352 ft, notando que la rata de penetración consiguió valores altos. Adicionalmente, se bombeó 40 bls de píldora viscosa y circuló hasta obtener retornos limpios.

Los fluidos de perforación correspondientes a cada sección se muestran en la Tabla 3.31.

Continuaron la perforación de esta sección armando el BHA #3 direccional, el cual bajó desde 205 ft hasta 5352 ft, continuó perforando hasta 5899 ft (punto del casing).

Se realizó un viaje de calibración de 5899 ft a 5352 ft bombeándose y circulando 40 bls de píldora viscosa.

Tabla 3.31: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 008

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Densidad [lpg]	
		Mín	Máx
26	Gel/Polímero	8,5	9
16	Nitrato de Calcio	8,8	10,6
12 ¼	Perflex	9,9	10,6
8 ½	Biolose	9,2	9,5

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.9.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"

La perforación de esta sección se la realizó con dos ensamblajes de fondo direccionales.

Descendió el BHA #4, rotó cemento y collar flotador, continuó bajando hasta perforar zapato y 10 ft de la formación hasta 5909 ft.

Continuó la perforación rotando y deslizando hasta 8612 ft con parámetros controlados, presentándose una tasa de penetración baja al ingresar en la formación Tiyuyacu.

A la profundidad de 6989 ft se efectuó un back reaming debido a problemas en el hoyo.

El siguiente BHA direccional para esta sección bajó desde 195 ft hasta 8612 ft y continuó la perforación rotando y deslizando hasta 10045 ft (punto del casing), se bombeó 50 bls de píldora viscosa-pesada, y circularon hasta obtener retornos limpios en superficie.

En esta sección se usó dos ensamblajes de fondo para acondicionamiento del hoyo (BHA #6 y BHA #7).

El desempeño de los ensamblajes de fondo direccionales se muestra en la Tabla 3.32, donde se indica los pies perforados rotados o deslizados por cada BHA, el tiempo efectuado y la tasa de penetración obtenida.

3.9.2.4 Sección de Producción 8 ½"

Se finalizó las operaciones de perforación del pozo Auca 008 con el BHA #8 direccional, bajó hasta 10003 ft moliendo tapones y el collar flotador, perforó zapato y 10 ft de la nueva formación.

Perforó la sección rotando y deslizando hasta 10830 ft, se bombeó píldora viscosa y circuló hasta retornos limpios en las zarandas. El asentamiento de la tubería de revestimiento fue a dicha profundidad.

Se efectuaron dos corridas de registros en esta sección, la primera en el intervalo de 10838 ft – 8838 ft, la segunda en: 10838 ft – 10190 ft, ambas corridas de registros con resultados positivos.

Los parámetros de perforación de cada uno de los ensamblajes de fondo utilizados para perforar el Pozo Auca 008 se detallan en el Anexo A-8.

Tabla 3.32: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 008

Sección Intermedia 12 1/4"	BHA: 4	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	2723	40,16	67,80
	Intervalo de Profundidad: [5889-8612] ft			
	BHA: 5	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	68	10,41	6,53
	Rotando	1365	22,2	61,49
Intervalo de Profundidad: [8612-10045] ft				
Sección de Producción 8"	BHA: 8	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	32	3,2	10,00
	Rotando	753	11,2	67,23
	Intervalo de Profundidad: [10045-10830] ft			

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.10 POZO AUCA 009

3.10.1 INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 3.33: Información General del Pozo Auca 009

Objetivo Principal	Hollín Superior
Tipo de Pozo	Direccional Tipo "S"
Profundidad Final	10637' MD / 10405,7' TVD
Desplazamiento Horizontal	1664,69'
Inclinación Máxima	17,54° @ 4153,91' MD

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.10.2 ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN

3.10.2.1 Sección Conductor 26"

Comenzaron las operaciones de perforación armando el BHA #1 convencional, descendió y tocó fondo a 47 ft e inició la perforación con parámetros controlados e incrementando paulatinamente el galonaje para optimizar la limpieza del hoyo y el peso sobre la broca y las revoluciones por minuto para optimizar el avance de la

broca, finaliza esta sección a la profundidad de 280 ft. La profundidad de asentamiento de las tuberías de revestimiento se observan en la Tabla 3.34.

Tabla 3.34: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 009

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO						
	Intervalo	Diámetro	Diámetro Interno	Peso	Grado	Tipo de Conexión
	[Pies]	[Pulgadas]	[Pulgadas]	[lb/ft]		
Conductora	0-280	20	19,124	94	K-55	BTC
Superficial	0-5985	13 3/8	12,415	68	K-55	BTC
Intermedia	0-9845	9 5/8	8,681	47	N-80	BTC
Liner de Producción	9683,7-10637	7	6,276	26	C-95	BTC

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.10.2.2 Sección Superficial 16"

La perforación de esta sección la realizó el BHA #2 direccional en una sola corrida, el cual bajó hasta 278 ft, topó cemento y perforó casing de 20 pulgadas y formación hasta 4038 ft. Se bombeó 40 bls de píldora viscosa y realizó circulación hasta obtener retornos limpios en las zarandas, continuaron la perforación rotando y deslizando hasta 5985 ft, profundidad a la que se estableció el punto de casing de 13 3/8".

En superficie, se limpió la broca y se decidió bajar con el mismo BHA direccional a realizar viaje de calibración. La Tabla 3.35 muestra los fluidos de perforación usados para cada sección.

Tabla 3.35: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 009

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Densidad [lpg]	
		Mín	Máx
26	Spud Mud	8,5	9
16	Nitrato de Calcio	8,9	10,6
12 ¼	Perflex	9,5	10,6
8 ½	Perflex Drill In	8,9	9,1

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.10.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"

Se armó el BHA #4 direccional, descendió hasta 5938 ft y perforó tapones, collar flotador y 10 ft de la nueva formación hasta 5995 ft donde se bombeó 40 bls de píldora espaciadora y se efectuó el cambio de fluido de perforación por el programado para esta sección.

Perforó rotando hasta 8355 ft, bombearon 40 bls de píldora dispersa seguido de 40 bls de píldora viscosa y circularon hasta obtener retornos limpios en superficie.

Continuaron la perforación armando el BHA #5 direccional, bajó libre hasta 8355 ft. Perforó rotando hasta 9846 ft con parámetros normales, profundidad a la cual se establece el punto del casing y se bombeó 40 bls de píldora viscosa-pesada, circulando hasta obtener retornos limpios en las zarandas.

Realizaron un viaje de limpieza armando el BHA #6 con broca tricónica al observar que la herramienta de toma de registros no avanzaba en el hoyo abierto.

A la profundidad de 9846 ft se detectó pérdida de señal en la toma de registros, sacaron a superficie y revisaron el sistema eléctrico de la herramienta.

La Tabla 3.36 nos muestra los pies perforados rotados o deslizados por los ensamblajes de fondo direccionales utilizados.

3.10.2.4 Sección de Producción 8 ½"

Terminaron la perforación del pozo Auca 008 con el BHA #7 direccional, el cual descendió, rompió cemento, collar flotador y zapato y perforó 10 ft de la nueva formación.

Continuó la perforación rotando hasta la profundidad final del pozo 10637 ft, bombearon píldora viscosa y circularon hasta obtener retornos limpios en superficie.

Cada ensamblaje de fondo finalizó sus operaciones con los parámetros de perforación mostrados en el Anexo A-9.

Tabla 3.36: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 009

Sección Superficial 16"	BHA: 2	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	308	3,20	96,25
	Rotando	5397	19,4	278,20
	Intervalo de Profundidad: [280-5985] ft			
Sección Intermedia 12 1/4"	BHA: 4	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	2370	37,7	62,86
	Intervalo de Profundidad: [5985-8355] ft			
	BHA: 5	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
Rotando	1491	26,8	55,63	
Intervalo de Profundidad: [8355-9846] ft				
Sección de Producción 8"	BHA: 7	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	791	12,8	61,80
Intervalo de Profundidad: [9846-10637] ft				

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.11 POZO AUCA 010

3.11.1 INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 3.37: Información General del Pozo Auca 010

Objetivo Principal:	Hollín Superior
Tipo de Pozo:	Direccional Tipo "S"
Profundidad Final:	11150' MD / 10335,1' TVD
Desplazamiento Horizontal:	3999,62'
Inclinación Máxima:	25,74° @ 6407' MD

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.11.2 ACTIVIDADES DE PERFORACIÓN

3.11.2.1 Sección Conductor 26"

Se inició las operaciones de perforación con el primer ensamblaje de fondo convencional utilizando parámetros controlados.

El BHA #1 perforó esta sección desde 46 ft hasta 261 ft. Se bombeó 40 bls de píldora viscosa y se realizó circulación hasta obtener retornos limpios en zarandas.

Realizaron viaje de calibre a superficie con el BHA # 1, limpiaron la broca y descendieron hasta 261 ft, bombearon 40 bls de píldora viscosa y circularon hasta obtener retornos limpios en las zarandas.

El asentamiento de las tuberías de revestimiento por sección se muestra en la Tabla 3.38.

Tabla 3.38: Asentamiento de Tuberías de Revestimiento en el Pozo Auca 010

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO						
	Intervalo	Diámetro	Diámetro Interno	Peso	Grado	Tipo de Conexión
	[Pies]	[Pulgadas]	[Pulgadas]	[lb/ft]		
Conductora Superficial	0-261	20	19,124	94	K-55	BTC
	0-6232	13 3/8	12,415	68	K-55	BTC
Intermedia	0-10352	9 5/8	8,681	47	N-80	BTC
Liner de Producción	10162-11150	7	6,276	26	C-95	BTC

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.11.2.2 Sección Superficial 16"

Esta sección se inició armando y bajando el BHA #2 direccional desde superficie hasta 260 ft, donde perforó zapato y 10 ft de la nueva formación hasta 271 ft, efectuando el cambio del fluido de perforación usado en la sección anterior por el fluido de perforación programado para esta sección.

Los fluidos de perforación por sección se muestran en la Tabla 3.39.

Continuó la perforación rotando y deslizando hasta 6232 ft (punto del casing). Bombeó píldora y circuló hasta obtener retornos limpios en zarandas.

A la profundidad de 2541 ft se registró problemas con el top drive, por lo que dieron torque al saver sub de top drive.

Armaron un BHA #3 convencional con broca PDC de 16", bajó limpiando el hoyo 6234 ft, bombeó tren de píldoras y se realizó prueba de calibre.

Tabla 3.39: Fluidos de Perforación Utilizados en el Pozo Auca 010

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Densidad [lpg]	
		Mín	Máx
26	Gel/Benex	8,4	8,7
16	Nitrato de Calcio	8,8	10,6
12 ¼	Perflex	9,5	10,6
8 ½	Perflex Drill In	8,9	9,1

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.11.2.3 Sección Intermedia 12 ¼"

Bajó el BHA #4 direccional hasta encontrar el tapón a 6178 ft. Se perforó los tapones, el collar flotador, zapato y 10 ft de la nueva formación hasta 6242 ft y se efectuó el cambio de fluido de perforación.

Continuó perforando desde 6242 ft hasta 8337 ft con parámetros de perforación normales y controlados, se bombearon 40 bls de píldora dispersa, seguida de 50 bls de píldora viscosa-pesada y circularon hasta obtener retornos limpios en superficie.

Avanzaron en la perforación con parámetros normales hasta 9458 ft, a esta profundidad se decidió sacar por pobre avance de la broca debido a una disminución considerable en la tasa de penetración.

Se bombeó 40 bls de píldora dispersa y 50 bls de píldora viscosa-pesada, circularon hasta obtener retornos limpios en las zarandas.

Por falla de conexión en X-Over suspendieron el armado del BHA #5 direccional y esperaron por la nueva herramienta proveniente de la base de la compañía operadora.

Procedieron a armar el BHA #5 direccional, bajó desde 500 hasta 9458 ft, bombeó píldora dispersa y circuló. Perforó rotando y deslizando de 9458 ft a 9947 ft.

Tuvieron que suspender las operaciones de perforación debido a una fuga proveniente del manguerote. Continuó perforando rotando y deslizando hasta 10353 ft. Bombearon píldora viscosa y circularon hasta retornos limpios en zarandas.

Se armó el BHA #6 convencional con broca triconica de 12 1/4". Bajó la tubería hasta el fondo de esta sección, bombeó píldora y circuló.

Se colocó en el fondo píldora lubricante estabilizadora y procedieron a llevar a superficie el BHA #6.

El desempeño que tuvieron los ensamblajes de fondo direccionales se detallan en la Tabla 3.40.

3.11.2.4 Sección de Producción 8 ½"

La perforación de esta sección culminó con el BHA #7 direccional, descendió hasta 10285 ft y perforó cemento, tapón, collar florado, zapata y 10 ft de formación.

Cambiaron al fluido de perforación programado para esta sección e iniciaron la perforación rotando desde 10363 ft hasta 10480 ft, bombearon píldora y circularon.

Efectuaron viaje de calibración hasta el zapato de 9 5/8" y se reparó el sistema hidráulica de TD.

Bajó tubería hasta la profundidad final del pozo (11150 ft), bombearon píldora y circularon hasta obtener retornos limpios en las zarandas. Efectuaron corrida de registros a las profundidades programadas

Armaron el BHA #8 de limpieza convencional con broca triconica. Descendió hasta el fondo, bombeó píldora viscosa y circuló, colocaron en el fondo 45 bls de píldora con lubricante y sacó la tubería hasta la superficie.

Los parámetros de perforación de cada ensamblaje de fondo se encuentran en el Anexo A-10.

Tabla 3.40: Datos de Rendimiento de los BHA del Pozo Auca 010

Sección superficial 16"	BHA: 2	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	543	6,10	89,02
	Rotando	5430	16,6	327,11
	Intervalo de Profundidad: [261-6234] ft			
Sección Intermedia 12 1/4"	BHA: 4	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	3224	64,7	49,83
	Intervalo de Profundidad: [6234-9458] ft			
	BHA: 5	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	26	2,6	10,00
	Rotando	869	14,2	61,20
	Intervalo de Profundidad: [9458-10353] ft			
Sección de Producción 8"	BHA: 7	Pies Perforados	Horas	ROP [ft/h]
	Deslizando	0	0	0,00
	Rotando	797	30,53	26,11
	Intervalo de Profundidad: [10353-11150] ft			

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.12 ESTUDIO DEL CAMPO AUCA

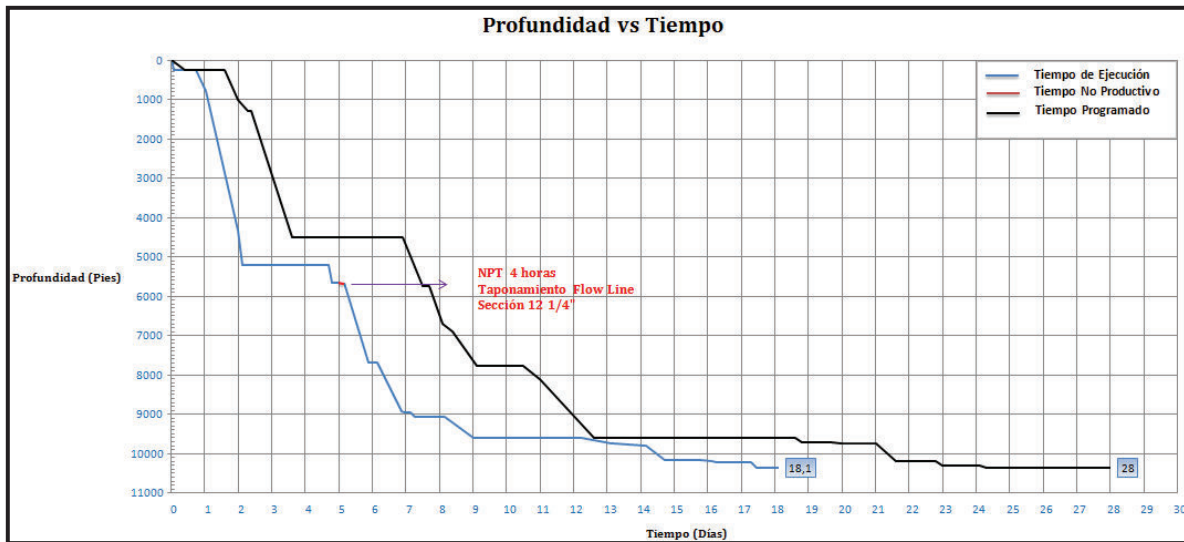
Los gráficos del tiempo de ejecución de cada uno de los pozos se realizaron conforma a sus reportes diarios mientras que el procedimiento para obtener el porcentaje de distribución del tiempo de operación se detalla con un ejemplo de cálculo en el Anexo B.

3.12.1 TIEMPO EN LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN

3.12.1.1 Pozo Auca 001

El tiempo programado para las operaciones de perforación del Pozo Auca 001 fue de 28 días. Como se observa en el Gráfico 3.1, el tiempo de ejecución fue de 18,1 días con un tiempo no productivo de 4 horas. El porcentaje del tiempo se muestra en el Gráfico 3.2.

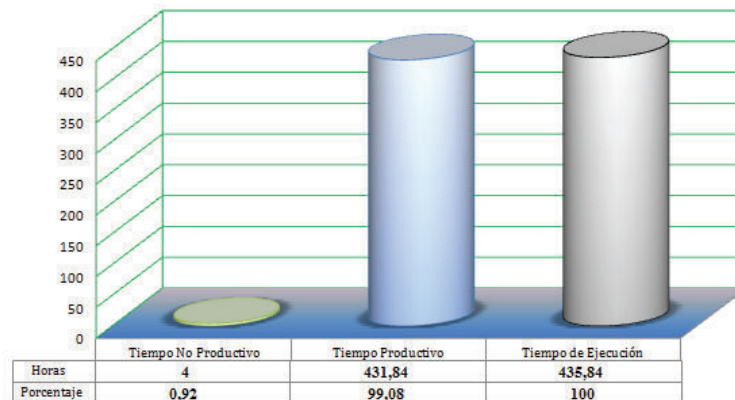
Gráfico 3.1: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 001



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 3.2: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 001



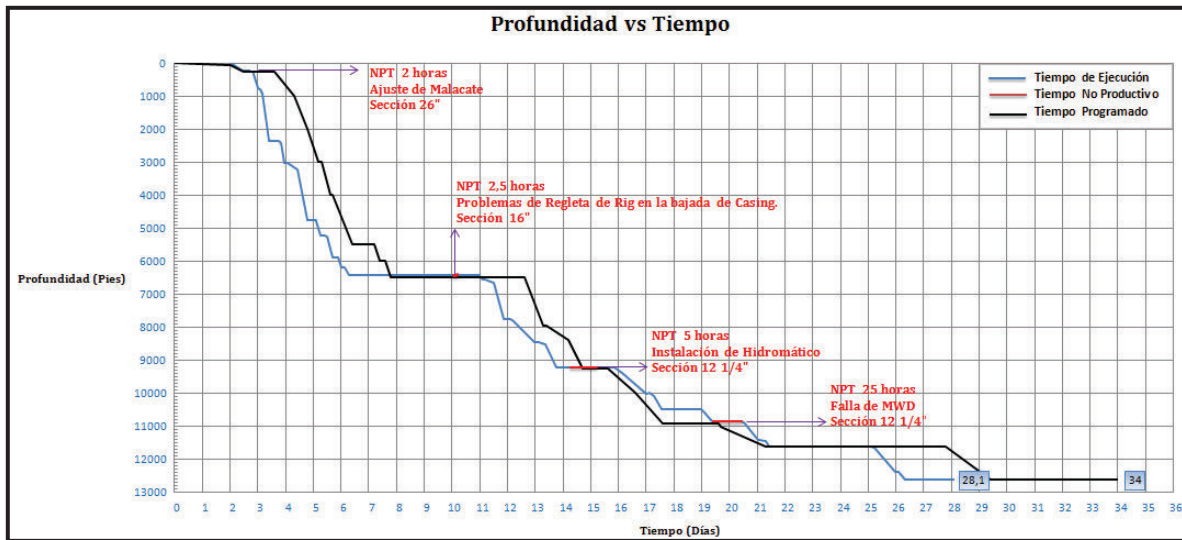
Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.12.1.2 Pozo Auca 002

El tiempo programado del Pozo Auca 002 para las operaciones de perforación fue de 34 días. Se observa en el Gráfico 3.3 que el tiempo de ejecución fue de 28,1 días, presentándose un tiempo no productivo de 34,5 horas. El Gráfico 3.4 muestra el porcentaje del tiempo productivo y no productivo.

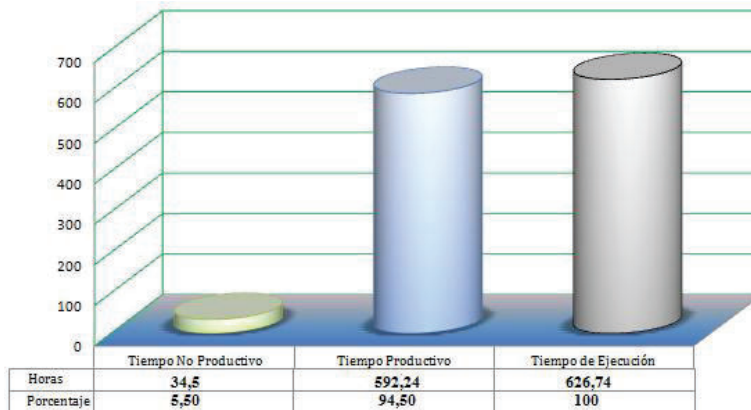
Gráfico 3.3: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 002



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 3.4: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 002

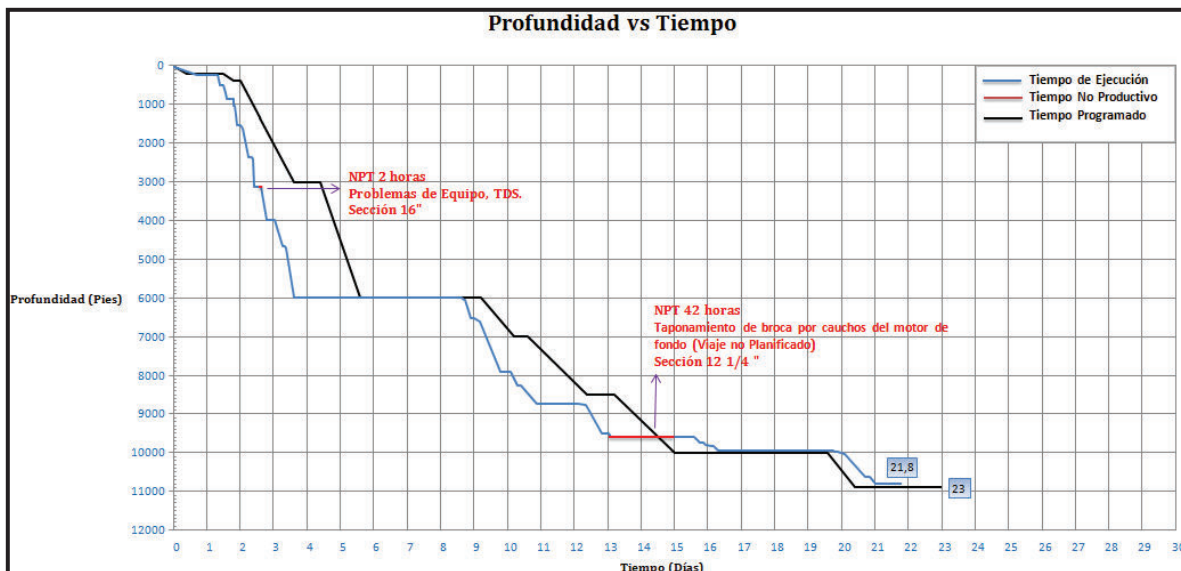


Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

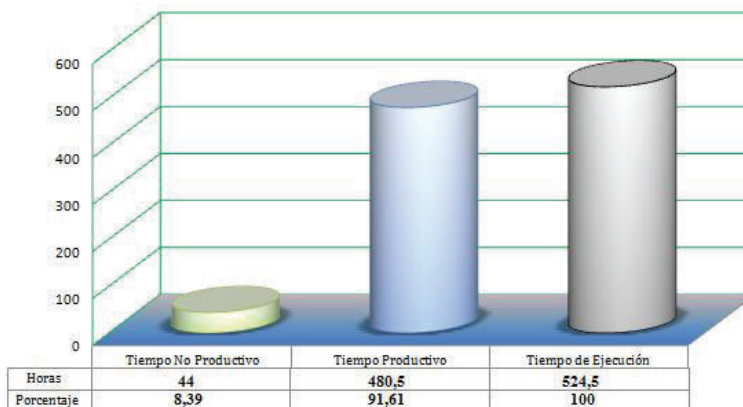
3.12.1.3 Pozo Auca 003

En el pozo Auca 003 el tiempo programado para las operaciones de perforación fue de 25,5 días. El Gráfico 3.5 nos permite observar que el tiempo de ejecución de este pozo fue de 21,8 días con un total de 44 horas de tiempo no productivo. Se obtuvo un 8,39% de tiempo no productivo, como se observa en el Gráfico 3.6.

Gráfico 3.5: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 003

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 3.6: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 003

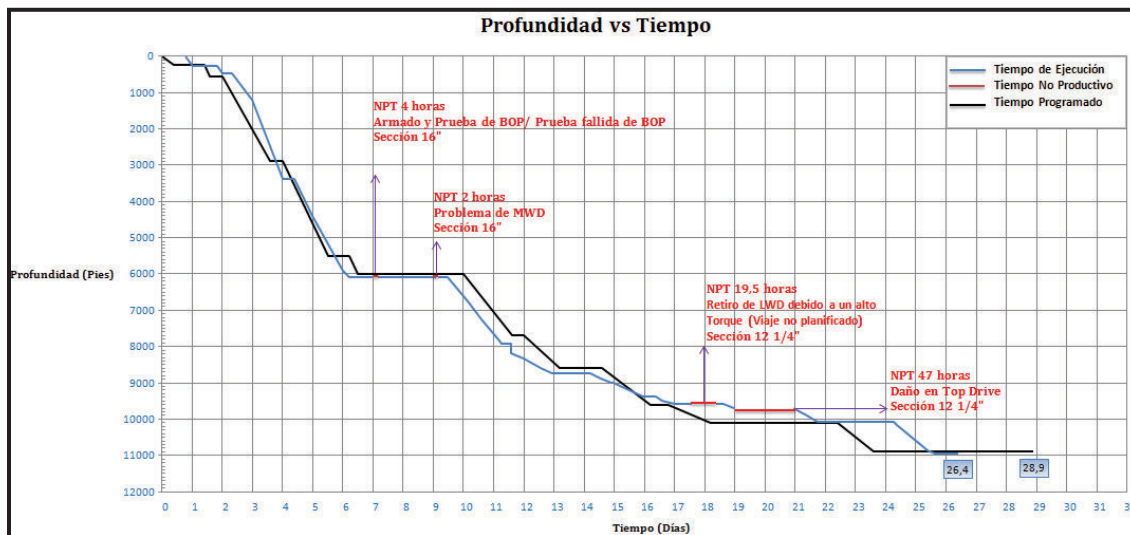
Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.12.1.4 Pozo Auca 004

El tiempo programado para las operaciones de perforación en el Pozo Auca 004 fue de 28,9 días. Como se observa en el Gráfico 3.7, el tiempo de ejecución fue de 26,4 días con 72,5 horas de tiempo no productivo. El Gráfico 3.8 nos detalla el porcentaje de los tiempos de operación.

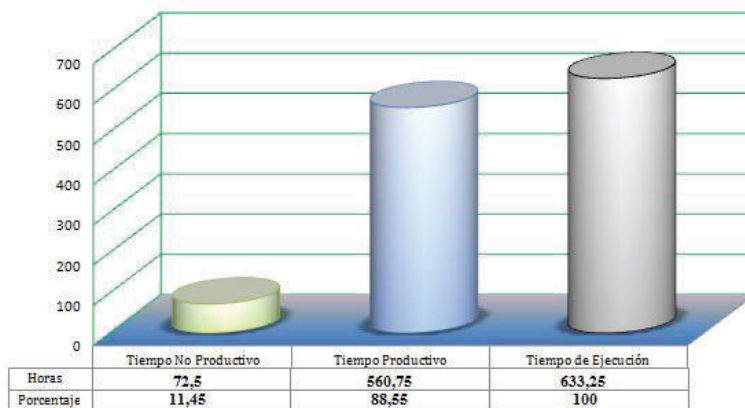
Gráfico 3.7: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 004



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 3.8: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 004

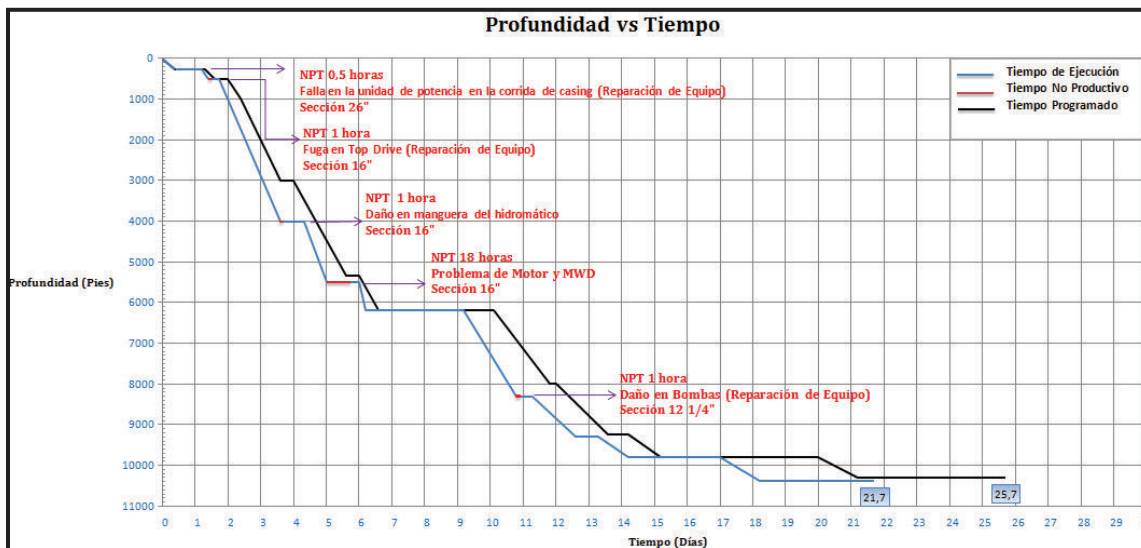


Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

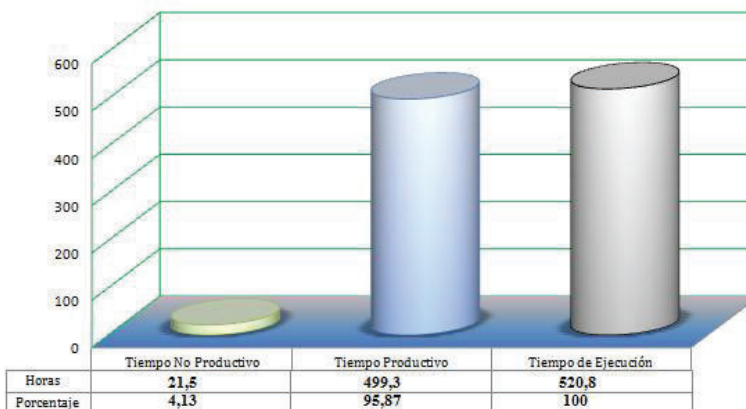
3.12.1.5 Pozo Auca 005

El tiempo programado del Pozo Auca 005 para las operaciones de perforación fue de 25,7 días. En el Gráfico 3.9 se observa que el tiempo de ejecución para este pozo fue de 21,7 días con 21,5 horas de tiempo no productivo. Mediante el Gráfico 3.10 se observa el porcentaje del tiempo no productivo en perforación del pozo.

Gráfico 3.9: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 005

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

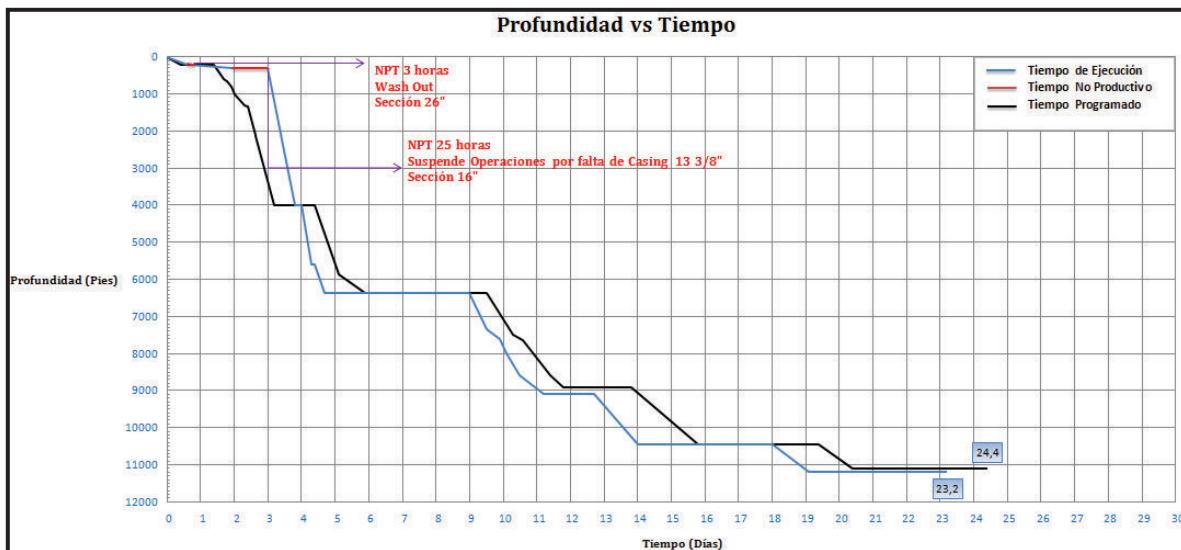
Gráfico 3.10: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 005

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

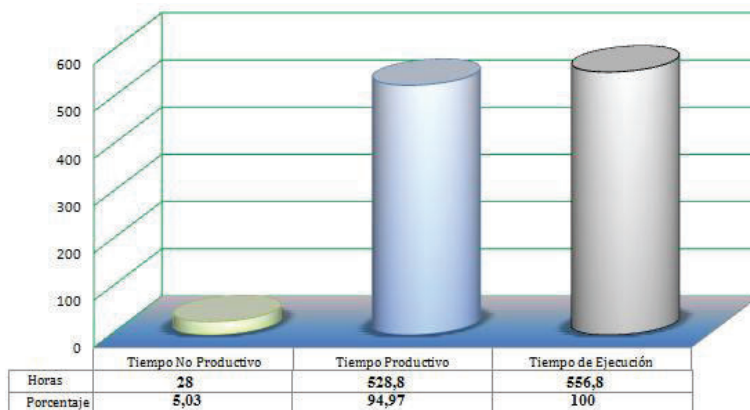
3.12.1.6 Pozo Auca 006

En el pozo Auca 006 el tiempo programado para las operaciones de perforación fue de 24,4 días. Como se observa en el Gráfico 3.11, se obtuvo 23,2 días de tiempo de ejecución y 28 horas de tiempo no productivo. Los porcentajes del tiempo de operación se muestran en el Gráfico 3.12.

Gráfico 3.11: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 006

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 3.12: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 006

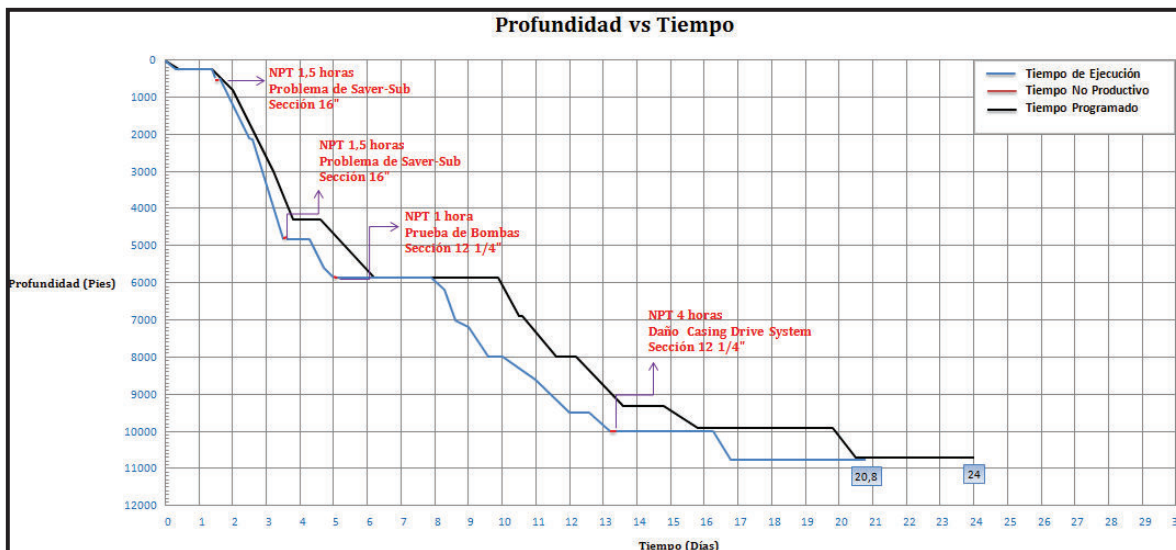
Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.12.1.7 Pozo Auca 007

El tiempo programado para las operaciones de perforación fue de 24 días. Se observa en el Gráfico 3.13 que el tiempo de ejecución fue de 20,8 días con un total de tiempo no productivo de 8 horas. El Gráfico 3.14 muestra el porcentaje del tiempo productivo y no productivo.

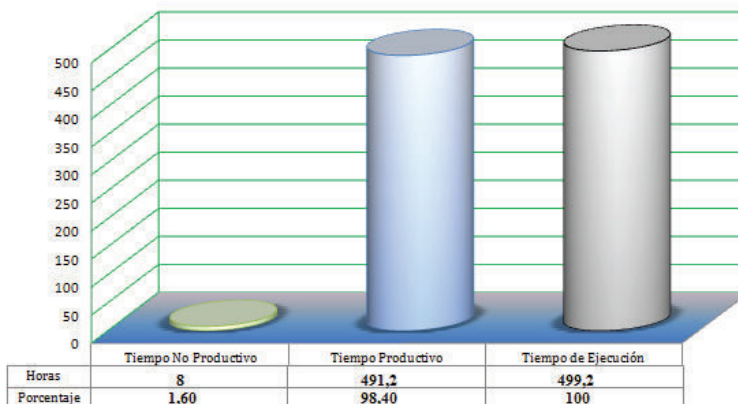
Gráfico 3.13: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 007



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 3.14: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 007

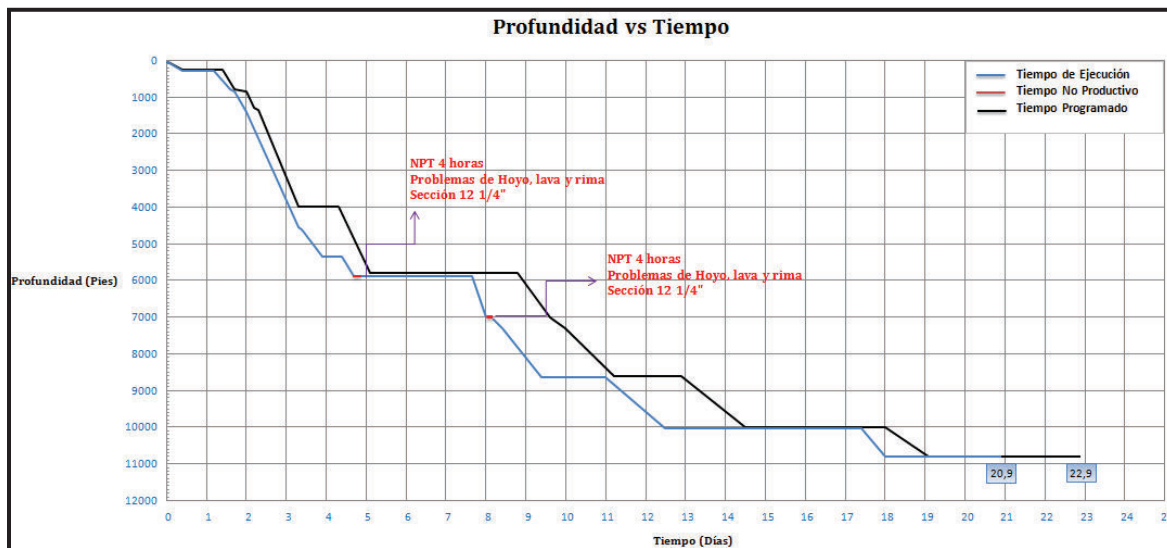


Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

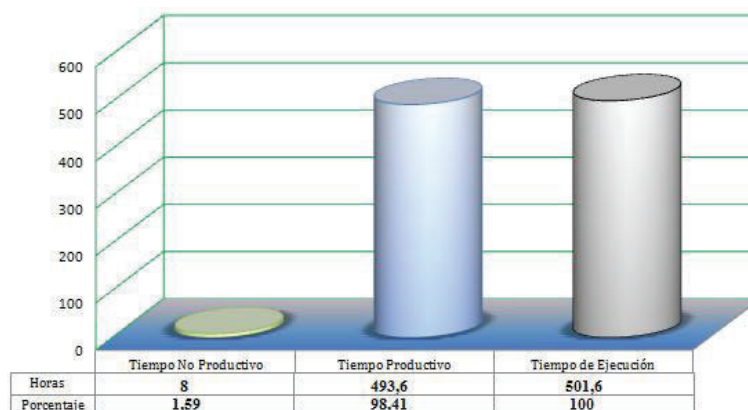
3.12.1.8 Pozo Auca 008

En este pozo el tiempo programado para la perforación fue de 22,9 días. El Gráfico 3.15 nos permite observar que el tiempo de ejecución fue de 20,9 días con un total de 8 horas de tiempo no productivo. El Gráfico 3.16 nos detalla el porcentaje de los tiempos de operación.

Gráfico 3.15: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 008

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

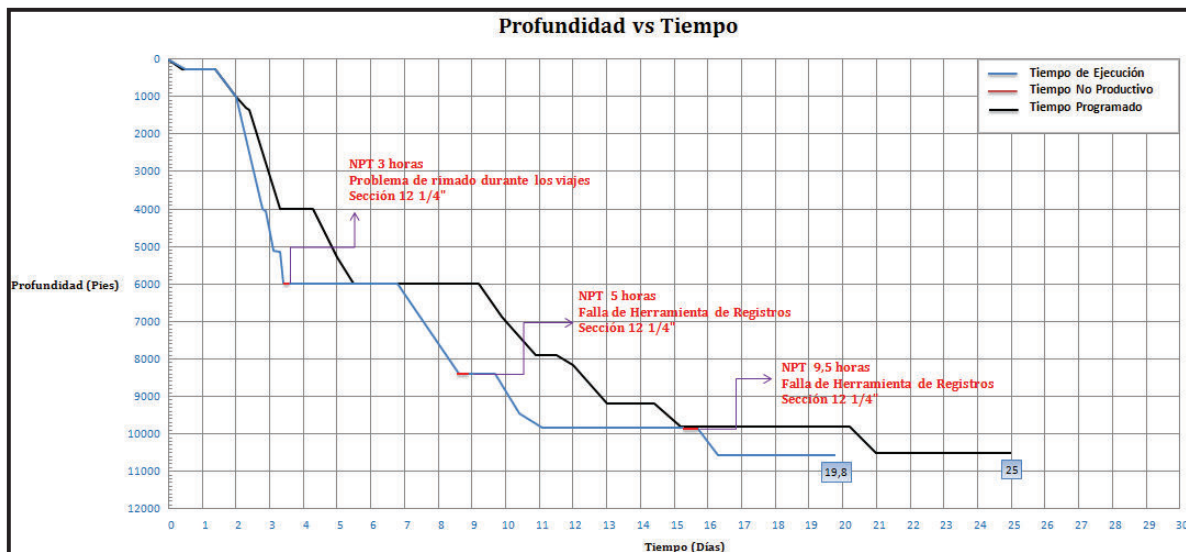
Gráfico 3.16: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 008

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

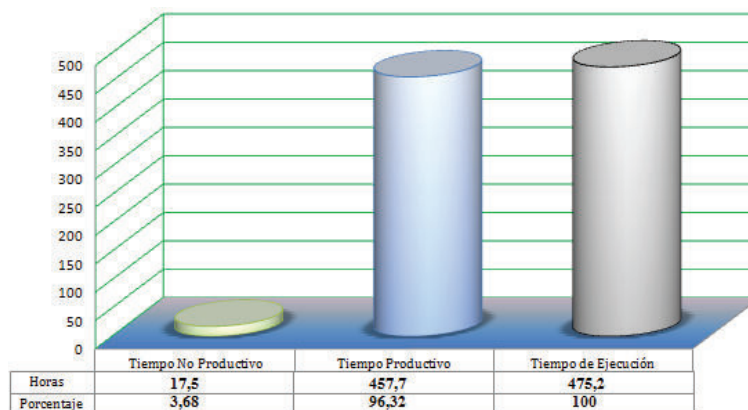
3.12.1.9 Pozo Auca 009

El tiempo programado del Pozo Auca 009 para las operaciones de perforación fue de 25 días. Como se observa en el Gráfico 3.17, el tiempo de ejecución fue de 19,8 días, presentándose un tiempo no productivo de 17,5 horas. Se obtuvo un 3,68% de tiempo no productivo, como se observa en el Gráfico 3.18.

Gráfico 3.17: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 009

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 3.18: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 009

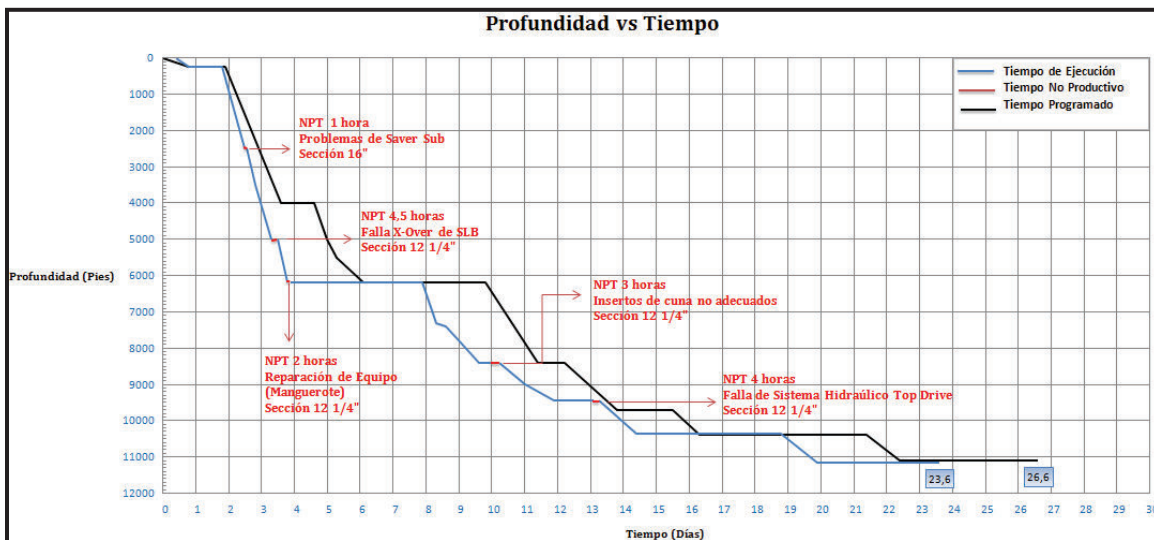
Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.12.1.10 Pozo Auca 010

En el pozo Auca 010 el tiempo programado para las operaciones de perforación fue de 26,6 días. El Gráfico 3.19 permite definir 23,6 días de tiempo de ejecución y 14,5 horas de tiempo no productivo. Mediante el Gráfico 3.20 observamos los porcentajes de los tiempos de operación.

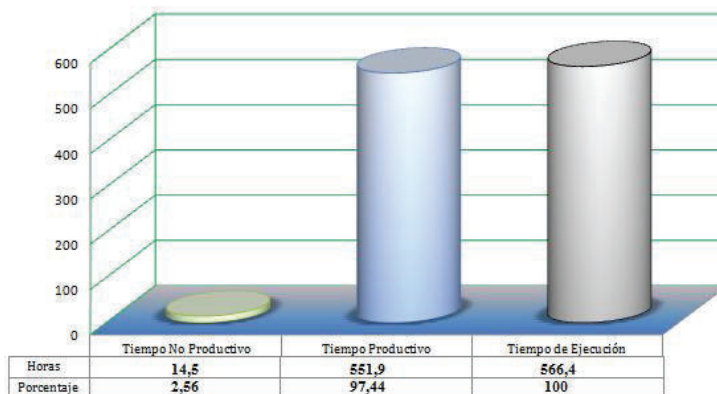
Gráfico 3.19: Tiempo de Ejecución del Pozo Auca 010



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 3.20: Distribución del Tiempo de Operación del Pozo Auca 010



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.13 TIEMPOS NO PRODUCTIVOS OCURRIDOS EN LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN

3.13.1 PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

En base a los gráficos realizados del tiempo de ejecución en la perforación de los pozos podemos visualizar de manera amplia y concreta los problemas que

interrumpieron el avance de las operaciones de perforación y por ende generaron tiempos no productivos.

Para el correspondiente estudio estadístico descriptivo, los problemas anteriormente mencionados se muestran en forma sintetizada en el Anexo C-1. Este estudio nos permitirá determinar los problemas de mayor relevancia que se presentaron en las secciones perforadas.

Con el estudio pertinente realizado en el Capítulo 2 se ha efectuado la clasificación de los problemas que conllevan a tener tiempos no productivos, con la finalidad de aplicar el Método de Chi-Cuadrado por Independencia.

3.13.2 ESTUDIO ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

El procedimiento para obtener el porcentaje de distribución del tiempo correspondiente a los problemas ocurridos en cada sección se detalla con un ejemplo de cálculo en el Anexo D tomando como base el Anexo C-1.

3.13.2.1 Sección Conductor

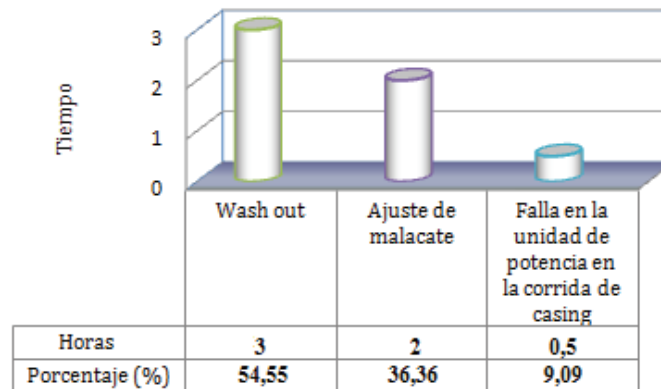
El principal problema de la sección conductor fue presentarse un wash out en la tubería en el Pozo Auca 006, el cual tuvo un tiempo no productivo de 3 horas. A comparación de los otros problemas presentados en esta sección como se observa en el Gráfico 3.21, el wash out corresponde un 54,55%.

El menor problema presentado se debe a una falla en la unidad de potencia en la corrida de casing con un 9,09%. Un tiempo no productivo total de 5,5 horas para la sección conductor.

3.13.2.2 Sección Superficial

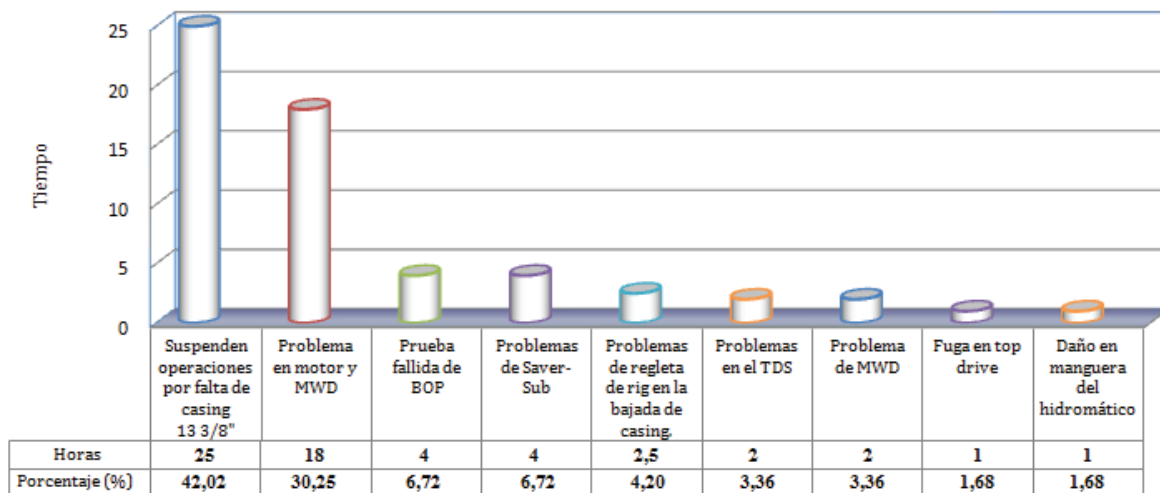
El total de tiempo no productivo en esta sección fue de 59,5 evidenciándose en 9 problemas.

Con 42,02% el principal problema fue la suspensión de las operaciones de perforación por la falta del casing de 13 3/8" atribuyéndose 25 horas de tiempo no productivo. Tiempos menores de NPT se debieron a problemas en el top drive y en el hidromático, con un porcentaje de 1,68%, tal como lo indica el Gráfico 3.22.

Gráfico 3.21: Problemas Presentados en la Sección Conductor

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 3.22: Problemas Presentados en la Sección Superficial

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.13.2.3 Sección Intermedia

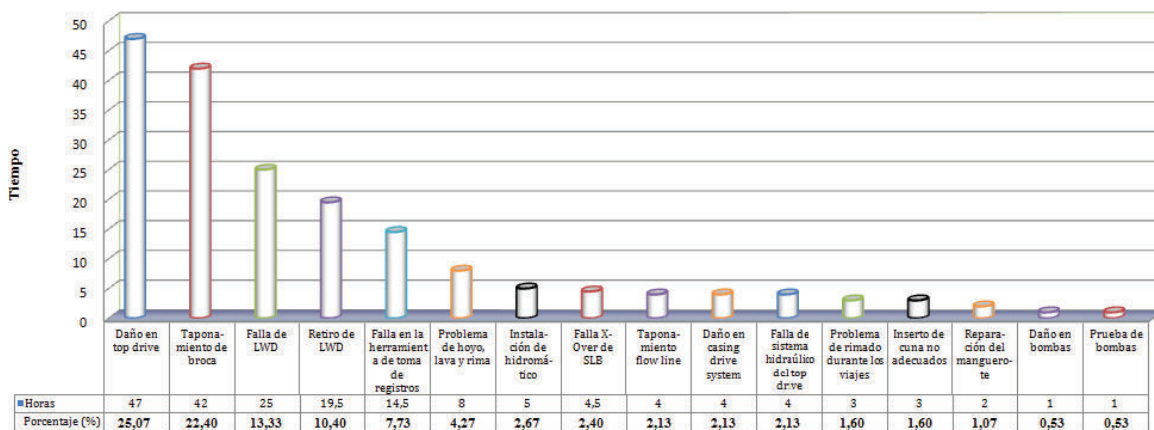
Es la sección en la que se presentó mayor cantidad de problemas durante las operaciones de perforación, con un NPT de 187,5 horas. Los tiempos no productivos más altos se evidenciaron en problemas del top drive y un

taponamiento de la barrena con un porcentaje de 25,07% y 22,40% respectivamente.

Otro problema se registró en el top drive, pero esta vez en su sistema hidráulico, con un NPT de 4 horas. El mismo tiempo no productivo se evidenció en los problemas de la línea de flujo y en el casing drive system.

Como se indica en el Gráfico 3.23, los menores NPT se dieron por problemas en las bombas.

Gráfico 3.23: Problemas Presentados en la Sección Intermedia



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.13.2.4 Sección de Producción

Como se observa en el Anexo C-1, no se presentaron problemas en esta sección.

3.14 CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS QUE GENERAN

TIEMPOS NO PRODUCTIVOS

Los problemas que se presentaron en las operaciones de perforación han sido clasificados en base a lo descrito en el segundo capítulo.

Dicha clasificación nos permitirá elaborar la tabla de contingencia para aplicar el Método de Chi-Cuadrado por Independencia.

Como se observa en la Tabla 3.41, la mayor pérdida de tiempo se generó en fallas en los componentes del equipo en superficie con 109 horas de NPT, seguido en fallas en componentes del equipo en subsuelo y la menor pérdida se dio en fallas en el equipo de toma de registros con NPT totales de 84,5 y 59 horas respectivamente.

Tabla 3.41: Clasificación de los Problemas que Generan Tiempo No Productivo

Fallas en Componentes del Equipo en Superficie	NPT (Horas)
Daño en top drive	47
Suspenden operaciones por falta de casing 13 3/8"	25
Instalación de hidromático	5
Taponamiento flow line	4
Falla del Sistema Hidráulico del Top Drive	4
Prueba fallida de BOP	4
Daño en el casing drive system	4
Inserto de cuña no adecuado	3
Problema de regleta de rig en la bajada de casing	2,5
Reparación del manguerote	2
Problema de equipo TDS	2
Ajuste de malacate	2
Fuga en top drive	1
Daño en bombas	1
Daño en manguera del hidromático	1
Prueba de bombas	1
Falla en la unidad de potencia en la corrida de casing	0,5
NPT TOTAL	109

Fallas en Componentes del Equipo en Subsuelo	NPT (Horas)
Taponamiento de broca	42
Problema de motor y MWD	18
Problema de hoyo, lava y rima	8
Falla del X-Over	4,5
Problemas de Saver-Sub	4
Problema de rimado durante los viajes	3
Wash Out	3
Problema en MWD	2
NPT TOTAL	84,5

Fallas en Componentes del Equipo de Toma de Registros	NPT (Horas)
Falla de LWD	25
Retiro de LWD	19,5
Falla en la herramienta de toma de registros	14,5
NPT TOTAL	59

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.15 ESTADÍSTICA NO PARAMÉTRICA: PRUEBA CHI-CUADRADO

$$X^2$$

La ventaja de esta prueba es que puede ser aplicable a variables cuantitativas y cualitativas. Este modelo tiene gran amplitud para abarcar grandes cálculos

estadísticos, pero con diferentes consideraciones como se muestra a continuación.

3.15.1 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE

Esta prueba utiliza una variable, consiste en determinar si los datos de cierta muestra corresponden a cierta distribución poblacional.

3.15.2 PRUEBA DE HOMOGENEIDAD

Es una prueba que utiliza dos variables, consiste en determinar si varias muestras cualitativas proceden de la misma población.

3.15.3 PRUEBA DE INDEPENDENCIA

La prueba de independencia consiste en comprobar si dos características cualitativas están relacionadas entre sí, por tal motivo utilizaremos este método.

3.16 MÉTODO DE CHI-CUADRADO POR INDEPENDENCIA

3.16.1 PRINCIPIOS TEÓRICOS FUNDAMENTALES

Este método muestra si dos variables cualitativas son independientes entre sí, es decir busca establecer si existe relación o no entre ellas.

3.16.1.1 Tabla de Contingencia

Es la tabla que se genera a través de los datos propuestos para ser analizados en una distribución de variables a través de este método.

3.16.1.2 Tabla de Valores Esperados

Se calcula a partir de la tabla de contingencia con la siguiente fórmula:

$$\text{Valores Esperados} = \frac{(\text{Total de la fila} * \text{Total de la columna})}{\sum \text{Total de la fila } \dot{\text{o}} \text{ columna}}$$

3.16.1.3 Tabla de Chi-Cuadrado

Se calcula a partir de la tabla de contingencia y la tabla de los valores esperados con la siguiente fórmula:

$$X^2 = \sum \frac{(\text{valor observado} - \text{valor esperado})^2}{(\text{valor esperado})}$$

3.16.1.4 Valor Estadístico de Contraste (VE)

Es el valor calculado que obtenemos de la sumatoria de los valores generados en la tabla de Chi-Cuadrado, a través de la siguiente ecuación.

$$VE = \chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}}$$

3.16.1.5 Grados de Libertad (GL)

Es un valor que nos permite determinar el valor crítico. Se encuentra con la siguiente fórmula:

$$GL = (k - 1)(r - 1)$$

Donde:

- k: Número de filas
- r: Número de columnas

3.16.1.6 El Valor de 0.05

Por convención estadística se utiliza el valor de 0.05 de probabilidad como el valor límite o crítico. Si el valor de Chi-cuadrado calculado para un experimento es mayor que el correspondiente al de la probabilidad del 5% se rechaza la hipótesis.

3.16.1.7 Valor Crítico (VC)

Es un punto en la distribución de la prueba que se compara con el valor estadístico de contraste para determinar si se puede o no rechazar la hipótesis nula. La comparación que se realiza es:

- Si: $VE > VC$: Rechaza la Hipótesis Nula
- Si: $VE < VC$: Acepta la Hipótesis Nula

3.16.1.8 Tabla Percentil de la Distribución χ^2

Es una tabla estándar de valores estadísticos tabulados de la distribución Chi-Cuadrado, la misma se indica en la Figura 3.1.

Figura 3.1: Tabla Percentil de la Distribución χ^2

Grados de Libertad	$\alpha=.995$	$\alpha=.99$	$\alpha=.975$	$\alpha=.95$	$\alpha=.90$	$\alpha=.10$	$\alpha=.05$	$\alpha=.025$	$\alpha=.01$	$\alpha=.005$
1	0.0000	0.0002	0.0010	0.0039	0.0158	2,7055	3,8415	5,0239	6,6349	7,8794
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.1026	0.2107	4,6052	5,9915	7,3778	9,2103	10,597
3	0.0717	0.1148	0.2158	0.3518	0.5844	6,2514	7,8147	9,3484	11,345	12,838
4	0.2070	0.2971	0.4844	0.7107	1,0636	7,7794	9,4877	11,143	13,277	14,86
5	0.4117	0.5543	0.8312	1,1455	1,6103	9,2364	11,070	12,833	15,086	16,750
6	0.6757	0.8721	1,2373	1,6354	2,2041	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0.9893	1,2390	1,6899	2,1673	2,8331	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,3444	1,6465	2,1797	2,7326	3,4895	13,362	15,507	17,535	20,09	21,955
9	1,7349	2,0879	2,7004	3,3251	4,1682	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589

Fuente: USM Petrolero Y Estadístico

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

3.16.2 DESARROLLO DEL MÉTODO CHI-CUADRADO POR INDEPENDENCIA

El desarrollo del método se muestra en el Anexo E mediante un ejemplo de cálculo. En nuestro análisis consideramos las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula H_0 : No existe relación entre la clasificación de los problemas analizados en cada sección.
- Hipótesis alternativa H_1 : Si existe relación entre la clasificación de los problemas analizados en cada sección.

La tabla de contingencia se muestra a continuación tomando como base la Tabla 3.41.

Tabla 3.42: Tabla de Contingencia

TABLA DE CONTINGENCIA PARA APLICAR EL MÉTODO DE CHI-CUADRADO POR INDEPENDENCIA				
Sección	Fallas en Componentes del Equipo en Superficie	Fallas en Componentes del Equipo de Subsuelo	Fallas en Componentes del Equipo de Toma de Registros	TOTAL DE LA FILA
Conductor	2	1	0	3
Superficial	6	3	0	9
Intermedia	9	4	3	16
TOTAL DE LA COLUMNA	17	8	3	28

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Efectuando los cálculos necesarios obtenemos el resumen del método, el cual se indica en la Tabla 3.43.

Tabla 3.43: Resumen del Método Chi-Cuadrado por Independencia

VALORES ESPERADOS			
Sección	Fallas en Componentes del Equipo en Superficie	Fallas en Componentes del Equipo de Subsuelo	Fallas en Componentes del Equipo de Toma de Registros
Conductor	1,8214	0,8571	0,3214
Superficial	5,4643	2,5714	0,9643
Intermedia	9,7143	4,5714	1,7143

CHI-CUADRADO			
Sección	Fallas en Componentes del Equipo en Superficie	Fallas en Componentes del Equipo de Subsuelo	Fallas en Componentes del Equipo de Toma de Registros
Conductor	0,0175	0,0238	0,3214
Superficial	0,0525	0,0714	0,9643
Intermedia	0,0525	0,0714	0,9643

Grados de Libertad (GL)	4
Valor estadístico de contraste (VE)	2,5392
Valor Crítico (VC)	9,487

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

El valor crítico se determinó como se muestra en la Figura 3.2.

Figura 3.2: Valor Crítico del Método Chi-Cuadrado

TABLA PERCENTIL DE LA DISTRIBUCIÓN χ^2										
Grados de Libertad	$\alpha=.995$	$\alpha=.99$	$\alpha=.975$	$\alpha=.95$	$\alpha=.90$	$\alpha=.10$	$\alpha=.05$	$\alpha=.025$	$\alpha=.01$	$\alpha=.005$
1	0.0000	0.0002	0.0010	0.0039	0.0158	2,7055	3,8415	5,0239	6,6349	7,8794
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.1026	0.2107	4,6052	5,9915	7,3778	9,2103	10,597
3	0.0717	0.1148	0.2158	0.3518	0.5844	6,2514	7,8147	9,3484	11,345	12,838
4	0.2070	0.2971	0.4844	0.7107	1,0636	7,7794	9,4877	11,143	13,277	14,86
5	0.4117	0.5543	0.8312	1,1455	1,6103	9,2364	11,070	12,833	15,086	16,750
6	0.6757	0.8721	1,2373	1,6354	2,2041	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0.9893	1,2390	1,6899	2,1673	2,8331	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,3444	1,6465	2,1797	2,7326	3,4895	13,362	15,507	17,535	20,09	21,955
9	1,7349	2,0879	2,7004	3,3251	4,1682	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589

Fuente: USM Petrolero Y Estadístico

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Por lo tanto, como el valor estadístico de contraste es menor que el valor crítico se concluye que debemos aceptar la hipótesis nula y decir que no existe relación entre la clasificación de los problemas analizados en cada sección, es decir cada clasificación de los problemas planteados tienen la misma probabilidad de ocurrir en las secciones en estudio.

CAPÍTULO IV

INTERPRETACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y DETERMINACIÓN DE SOLUCIONES PARA MINIMIZAR LOS TIEMPOS NO PRODUCTIVOS

4.1 INTRODUCCIÓN

Los datos necesarios para elaborar nuestro análisis e interpretación de los parámetros de perforación, se han sistematizado en forma de tablas en base a las especificaciones de los ensamblajes de fondo y con las tablas de los fluidos de perforación utilizados en cada pozo.

El análisis descrito a continuación va a demostrar mediante un modelo matemático el comportamiento de la tasa de penetración promedio en función de dos o más parámetros de perforación, tomando en cuenta que la ROP no depende únicamente de dichos parámetros, sino también del tipo de formación y factores externos que pudieran afectar la tasa de penetración.

Para llevar a cabo nuestra interpretación haremos uso del método de regresión lineal múltiple empleando el Software Minitab y determinaremos una ecuación y un valor representativo de la tasa de penetración para cada sección.

Continuando con el presente capítulo, propondremos soluciones para erradicar y disminuir los problemas que conllevan a tener tiempos no productivos.

4.2 PRINCIPIOS TEÓRICOS FUNDAMENTALES

La teoría expuesta a continuación posee como referencia bibliográfica al libro, Análisis y Diseño de Experimentos, de los autores: Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara.

4.2.1 ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Un análisis de regresión tiene como objetivo principal modelar en forma matemática el comportamiento de una variable de respuesta en función de una o más variables independientes.

4.2.2 TIPOS DE ANÁLISIS DE REGRESIÓN

4.2.2.1 Regresión Lineal Simple

Permite explicar el comportamiento de una variable Y (variable dependiente o variable de respuesta) en base a valores que toma la variable X (variable independiente o variable regresora). La manera de estudiar el comportamiento de Y con respecto a X es mediante un modelo de regresión que consiste en ajustar un modelo matemático de la forma:

$$Y = f(X)$$

a las n parejas de puntos.

La siguiente ecuación es conocida como el modelo de regresión lineal simple, suponiendo que las variables están relacionadas linealmente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Donde:

- β_0 y β_1 : parámetros del modelo y son constantes desconocidas
- ε : error aleatorio

El primer parámetro del modelo (β_0) es el punto en el cual la línea recta cruza o intercepta al eje y β_1 es la pendiente de la línea, es decir, es la cantidad en que se incrementa o disminuye la variable Y por cada unidad que se incrementa X.

4.2.2.2 Regresión Lineal Múltiple

En muchas situaciones prácticas existen algunas variables independientes que se cree que influyen o están relacionadas con una variable de respuesta Y, por lo tanto será necesario tomar en cuenta si se quiere predecir o entender mejor el comportamiento de Y.

Sea $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ variables independientes o regresoras, y sea Y una variable de respuesta, entonces el modelo de regresión lineal múltiple con k variables independientes es el polinomio de primer orden:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

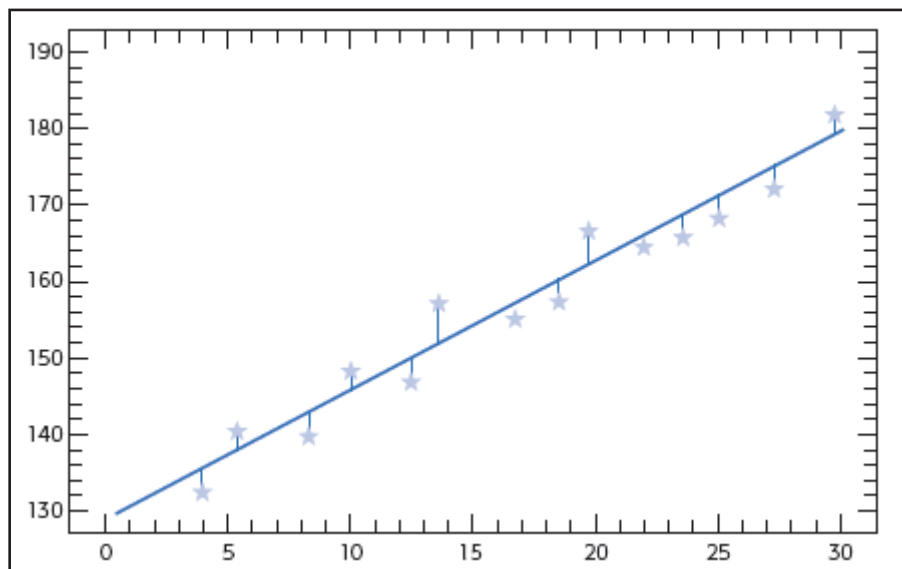
Donde:

- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_n$: parámetros del modelo y son constantes desconocidas
- ε : error aleatorio

El término lineal del modelo de regresión se emplea debido a que el modelo es función lineal de los parámetros desconocidos $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$, la interpretación de estos parámetros es similar a lo explicado para el caso de regresión lineal simple: β_0 es la ordenada al origen y β_n mide el cambio esperado en Y por cambio unitario en X_j cuando el resto de las variables regresoras se mantienen fijas.

El valor de los parámetros del modelo se estima por el método de mínimos cuadrados, es decir, se busca ajustar la recta (cuando se tiene una variable regresora) o un hiperplano (cuando se tiene dos o más variables regresoras) de manera que la suma de las distancias en forma vertical de los puntos a la recta o hiperplano se minimice, como se observa en las siguientes figuras:

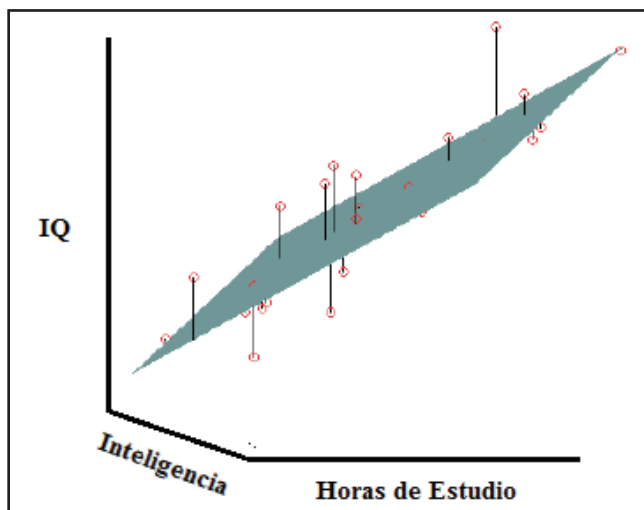
Figura 4.1: Ilustración de la Recta de Mejor Ajuste



Fuente: Análisis y Diseño de Experimentos

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Figura 4.2: Ilustración del Hiperplano de Mejor Ajuste



Fuente: Laboratorio de Estadística, IEG.

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.2.2.3 Análisis de Regresión Lineal Múltiple Paso a Paso

Si las variables independientes están relacionadas entre sí y aportan de manera significativa a estimar el comportamiento de la variable dependiente, una o algunas de las variables independientes tendrán un p-value mejor que otra variable.

La Regresión Paso a Paso crea un modelo eligiendo primero la variable X que mejor explica a Y, añadiendo después una a una otras variables X que junto a las escogidas previamente aporten de manera significativa el comportamiento de Y.

Para entrar una variable debe tener una significancia observada menor a 0,05 y para salir, superior a 0,1.

4.2.3 VALIDACIÓN DEL MODELO

4.2.3.1 Resumen del Modelo

4.2.3.1.1 Coeficiente de determinación (R^2 o $R-sq$)

Es el coeficiente que proporciona una medida de la fuerza de relación entre la variable Y con la o las variables X.

4.2.3.1.2 Coeficiente de determinación corregida (R^2 adj o R -sq adj)

Es el coeficiente de determinación R^2 corregido por el efecto de la muestra y de las variables independientes.

Tabla 4.1: Clasificación de los Valores del Coeficiente de Determinación

Menor de 30%	30% - 40%	40% - 50%	50% - 85%	Mayor de 85%
Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy Bueno

Fuente: Laboratorio de Estadística, IEG.

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis.

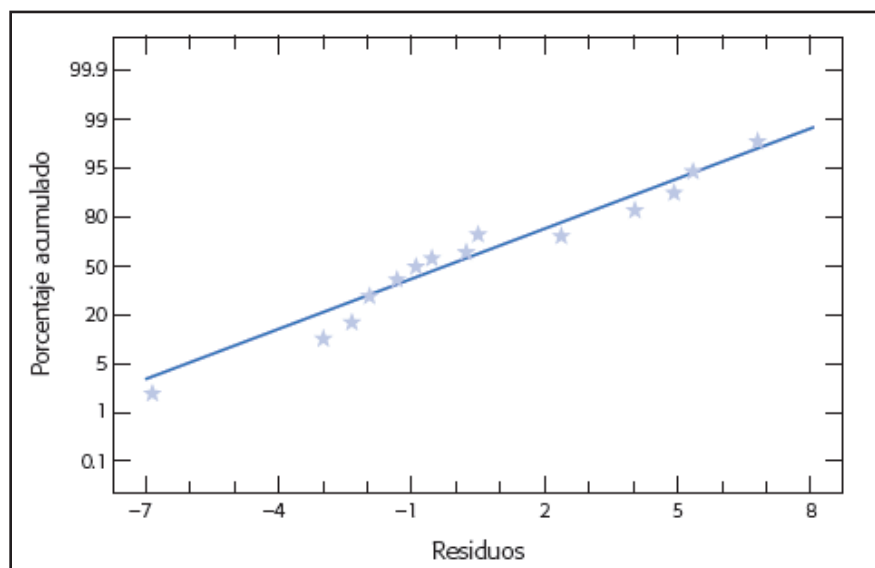
4.2.3.2 Análisis de Residuos

Los residuos es la diferencia entre lo observado y lo estimado mediante el modelo efectuado. Es de gran utilidad para analizar la calidad del ajuste del modelo.

4.2.3.2.1 Análisis del Gráfico de Residuos

Consiste en graficar los residuos en forma de probabilidad normal, si el modelo es adecuado, los puntos en esta gráfica tienden a ajustarse a la línea recta, como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 4.3: Gráfica Ideal de Probabilidad Normal para los Residuos



Fuente: Análisis y Diseño de Experimentos

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.2.3.3 ANOVA o Tabla de Análisis de Varianza

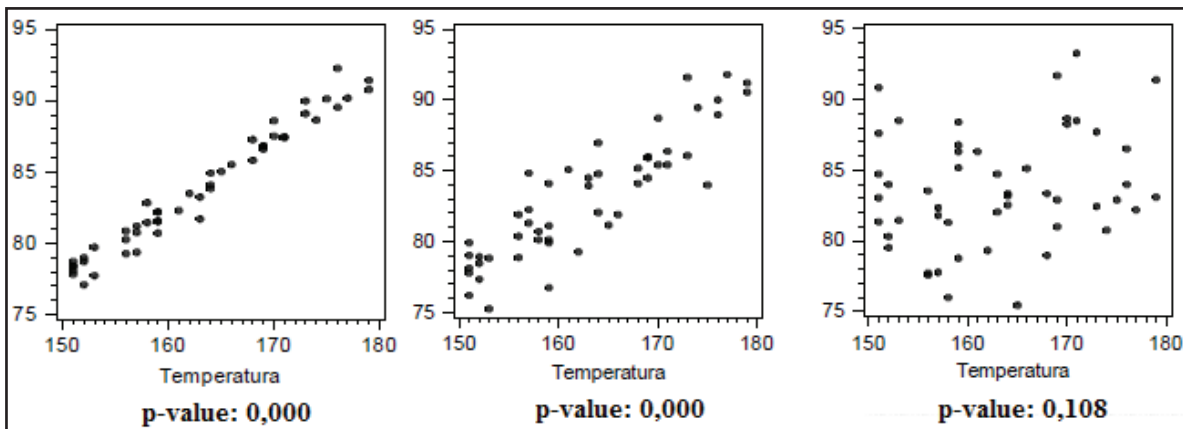
Se conoce como la técnica central en el análisis de datos experimentales, la idea general de esta técnica es mostrar como contribuye cada fuente de variación en un experimento.

4.2.3.3.1 Significancia Observada o Calculada (*p-value*)

En general, si el *p-value* es menor de 0,05 se acepta que el modelo de regresión es significativo; caso contrario no podemos hablar de regresión, pues el modelo sería nulo.

Sirve también para determinar si la variable regresora influye o no en la variable de respuesta.

Figura 4.4: Interpretación Gráfica de la Significancia Observada o Calculada



Fuente: Laboratorio de Estadística, IEG.

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.2.3.4 Multicolinealidad

Se dice que existe multicolinealidad entre las variables regresoras cuando existe algún tipo de dependencia lineal entre ellas, es decir, si existe una fuerte correlación entre las mismas.

El principal inconveniente de la multicolinealidad consiste en que resulta prácticamente imposible establecer la significación calculada.

4.2.3.4.1 Factor de Inflación de la Varianza (VIF)

Es un indicador de la posible existencia de problemas de multicolinealidad, cuanto mayor sea este valor, mayor multicolinealidad existirá.

4.3 ESTADISTICA DESCRIPTIVA

4.3.1 MEDIA

Describe un conjunto entero de observaciones con un valor individual que representa el centro de los datos. El promedio aritmético o media es la suma de todas las observaciones dividida entre el número de observaciones.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i * f_i = \sum_{i=1}^n \frac{x_i * n_i}{N}$$

4.3.2 MEDIANA

Es el centro del rango de los datos. Si el conjunto de datos es número impar, la mediana es el valor que se encuentra en el medio del conjunto ordenado de los datos. Si tenemos un conjunto de datos que tiene número par, la mediana es el promedio de los dos números que se encuentran en el medio.

4.3.3 MODA

Se conoce como el valor que ocurre con más frecuencia en un conjunto de observaciones. Este valor se puede utilizar con la media y la mediana para obtener una caracterización general de la distribución de sus datos.

4.3.4 MEDIDAS DE POSICIÓN NO CENTRAL

4.3.4.1 Cuartiles

Son aquellos valores que dividen a la muestra de datos en cuatro partes iguales

- Primer cuartil (Q1): 25% de los datos es menor o igual a este valor.
- Segundo cuartil (Q2): 50% de los datos es menor o igual a este valor.
- Tercer cuartil (Q3): 75% de los datos es menor o igual a este valor.
- Rango intercuartil: Distancia entre el primer cuartil y el tercer cuartil (Q3-Q1), de esta manera abarca el 50% central de los datos.

4.3.4.2 Máximos y Mínimos

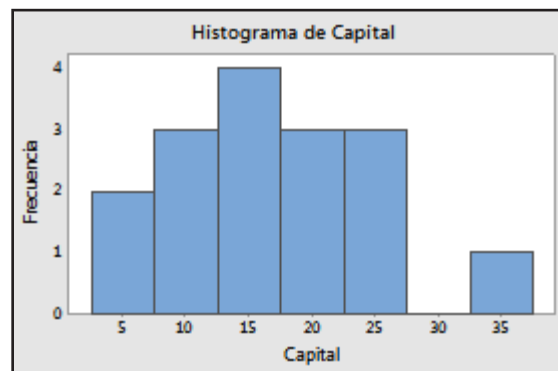
Del conjunto de datos, el máximo se refiere al valor mayor y el mínimo se refiere al valor menor. (Software Minitab 17, 2014)

4.3.5 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA INFORMACIÓN

4.3.5.1 Histograma

Sirve para examinar la forma y dispersión de los datos, los histogramas dividen los valores en muchos intervalos denominados secciones. Las barras representan el número de observaciones que se ubican dentro de cada sección (su frecuencia).

Figura 4.5: Representación Gráfica del Histograma

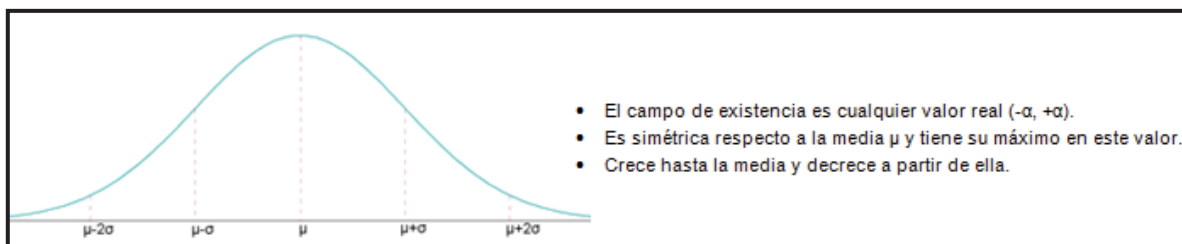


Fuente: Software Minitab

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.3.5.2 Curva de Distribución Normal o Campana de Gauss

Figura 4.6: Campana de Gauss



Fuente: Itutor

Modificado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4 ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

4.4.1 SECCIÓN CONDUCTOR

4.4.1.1 Regresión Lineal Múltiple

La Tabla 4.2 muestra de manera sintetizada los parámetros de perforación obtenidos en las operaciones de perforación, dicha información permitirá efectuar el análisis correspondiente.

Tabla 4.2: Parámetros de Perforación de la Sección Conductor

Sección Conductor 26"													
Pozo	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total		Densidad [lpg]	
	Promedio	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Auca 001	26,38	2	16	2	4	10	270	150	270	30	80	8,6	8,9
Auca 002	33,33	2	15	1	5	160	160	150	300	30	100	8,4	8,8
Auca 003	14,64	2	20	0	5	10	170	100	300	20	10	8,4	8,8
Auca 004	39,67	10	15	2	4	165	165	250	250	80	80	8,5	9
Auca 005	37,01	2	7	2	4	100	100	300	300	70	70	8,5	8,9
Auca 006	18,42	8	18	3	6	50	280	70	260	60	90	8,5	9
Auca 007	36,47	2	12	2	4	170	170	350	350	90	90	8,5	9
Auca 008	35,71	5	14	3	4	220	220	270	270	40	85	8,6	8,9
Auca 009	22,19	4	16	2	4	143	687	150	300	40	80	8,5	8,8
Auca 010	26,75	3	18	5	7	50	120	150	250	30	90	8,4	8,7

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Aplicando el modelo de regresión lineal múltiple considerando a WOB, Torque, Presión, Caudal, RPM y Densidad como variables regresoras y estableciendo a la Tasa de Penetración como nuestra variable de respuesta, obtenemos el siguiente modelo:

$$ROP = -30 - 0,689 WOB - 0,53 Torque - 0,0124 Presión + 0,0518 Caudal + 0,1368 RPM + 5,6 Densidad$$

4.4.1.1.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida

- β_0 : En el caso de que los valores de los parámetros de perforación sean nulos, tuviéramos una tasa de penetración igual a -30, lo que significaría un valor erróneo, puesto que en la realidad no se llegaría a obtener una ROP alta negativa.

- X_1 : La tasa de penetración se verá disminuida en 0,689 por cada unidad de cambio en la variable regresora WOB, sea cual sea el valor de las demás variables.
- X_2 : Por cada unidad de cambio en la variable Torque, la tasa de penetración disminuirá en 0,53 independientemente del valor de los demás parámetros de perforación.
- X_3 : La tasa de penetración disminuirá en 0,0124 por cada unidad de cambio en la Presión, independientemente del valor de los demás parámetros de perforación.
- X_4 : Por cada unidad de cambio en la variable Caudal, la tasa de penetración aumente en 0,0518. Sin tomar en cuenta el valor de las demás variables.
- X_5 : Sea cual sea el valor de las demás variables, por cada unidad de cambio en las RPM la tasa de penetración aumenta en 0,1368.
- X_6 : Independientemente del resto de variables, la tasa de penetración aumentará su valor en 5,6 por unidad de cambio en la variable Densidad.

4.4.1.1.2 Validación del Modelo

4.4.1.1.2.1 Resumen del Modelo

El coeficiente de determinación del modelo nos representa un porcentaje de 59,31 y un coeficiente de determinación ajustado de 40,53 % como se observa en la Tabla 4.3.

Por este motivo, se consideraría un buen modelo.

Tabla 4.3: Resumen del Modelo de la Sección Conductor

Resumen del Modelo	R^2 (%)=	59,31
	R^2 adj (%)=	40,53

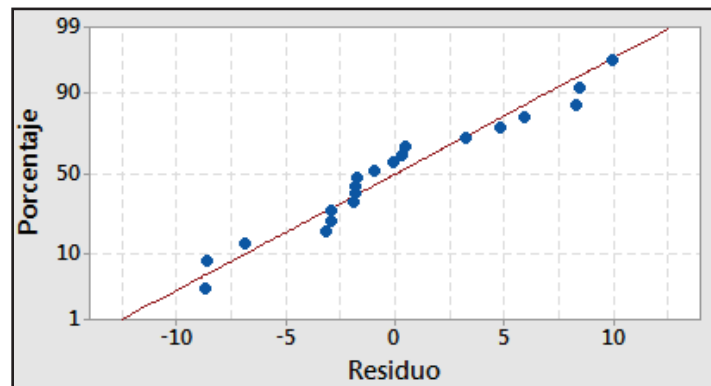
Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.1.1.2.2 Análisis Gráfico de Residuos

Como se observa en el Gráfico 4.1, se nota que ciertos puntos no cumplen una cierta distribución normal a lo largo de toda la recta, especialmente en los extremos de la misma.

Gráfico 4.1: Análisis de Residuos del Modelo de la Sección Conductor



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.1.1.2.3 ANOVA

Tabla 4.4: Análisis de Varianza del Modelo de la Sección Conductor

Análisis de Varianza			
Término	Coficiente	p-value	VIF
Constante	-30	0,77	
WOB	-0,689	0,179	4,52
Torque	-0,53	0,718	2,74
Presión	-0,0124	0,364	1,59
Caudal	0,0518	0,068	2,03
RPM	0,1368	0,073	1,74
Densidad	5,6	0,654	3,21
Regresión Efectuada		0,039	

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Como se observa en la Tabla 4.4, la significancia observada de la regresión efectuada es de 0,039 por lo que se pudiera considerar un buen modelo, sin

embargo hay que notar que el p-value de todos los términos supera al 0,05, siendo el p-value del Caudal y las RPM los que más se aproximan.

Se puede observar también que el VIF es relativamente alto y claramente se presentarían problemas de multicolinealidad. Como se dijo anteriormente, es incorrecto asumir una tasa de penetración negativa, y el ANOVA para este modelo lo afirma ya que el valor de su p-value es el más alejado de 0,05, por lo que se concluye que la ecuación determinada no satisface el modelo matemático efectuado a pesar de los análisis realizados previamente.

4.4.1.2 Regresión Lineal Múltiple Paso a Paso

Una vez efectuado la regresión lineal múltiple, se procede a realizar el procedimiento paso a paso, el cual cumple el siguiente modelo:

$$\boxed{ROP: 15,95 - 0,773 WOB + 0,0494 Caudal + 0,1368 RPM}$$

4.4.1.2.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida

- β_0 : Si los valores de los parámetros de perforación fueran nulos, se tendría una tasa de penetración igual a 15,95.
- X_1 : Por cada unidad de cambio en la variable WOB la tasa de penetración disminuirá en 0,773, independientemente del valor de los demás parámetros de perforación.
- X_2 : La tasa de penetración se verá incrementada en 0,0494 por cada unidad de cambio en la variable regresora Caudal, sea cual sea el valor de las demás variables.
- X_3 : Independientemente del valor de WOB Y Caudal, la tasa de penetración aumentará en 0,1368 por cada unidad de cambio de las RPM.

4.4.1.2.2 Validación del Modelo

4.4.1.2.2.1 Resumen del Modelo

La Tabla 4.5 nos permite observar que el coeficiente de determinación se redujo en 2,79% mientras que el coeficiente de determinación ajustado subió un 6,65% a comparación del anterior modelo.

En base a la clasificación de los coeficientes de determinación se concluye que se obtiene un buen modelo.

Tabla 4.5: Resumen del Modelo Paso a Paso de la Sección Conductor

Resumen del Modelo	R^2 (%)=	56,52
	R^2 adj (%)=	47,18

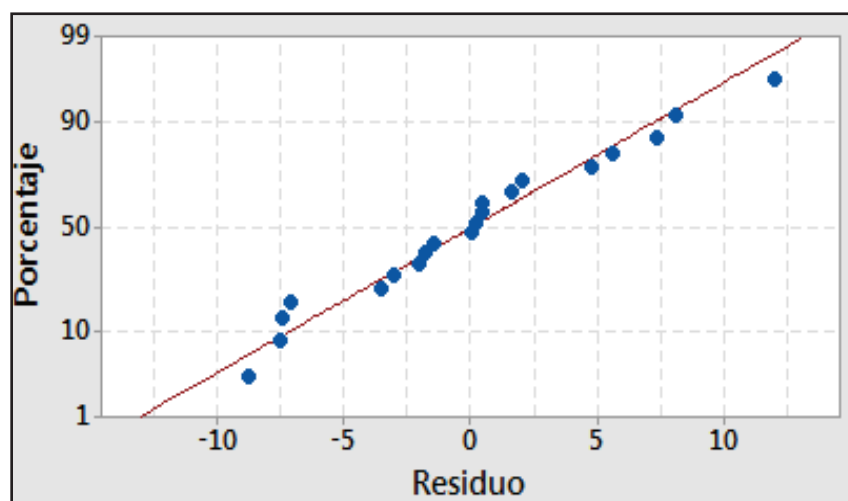
Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.1.2.2.2 Análisis Gráfico de Residuos

El Gráfico 4.2 nos permite observar claramente que los residuos se ajustan a lo largo de toda la recta, razón por la cual se podría afirmar que el modelo efectuado es satisfactorio, a pesar que en -7,5 se distingue que hay dos puntos que no siguen una tendencia lineal en la recta.

Gráfico 4.2: Análisis de Residuos del Modelo Paso a Paso de la Sección Conductor



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.1.2.2.3 ANOVA

Tabla 4.6: Análisis de Varianza del Modelo Paso a Paso de la Sección Conductor

Análisis de Varianza			
Término	Coefficiente	p-value	VIF
Constante	15,95	0,002	
WOB	-0,773	0,007	1,34
Caudal	0,0494	0,040	1,64
RPM	0,1368	0,050	1,67
Regresión Efectuada		0,004	

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La Tabla 4.6 nos permite observar que los parámetros presentes y el término constante de este modelo muestran una significancia observada menor e igual a 0,05, se concluye también que no se tiene problemas de multicolinealidad entre las variables por el VIF bajo que presentan.

Se debe notar además que el modelo de regresión lineal múltiple realizado anteriormente acogió a los parámetros de Caudal y RPM como variables regresoras influyentes en la Tasa de Penetración.

Debido a que el p-value de la regresión efectuada es de 0,004 y por los análisis descritos anteriormente concluimos que este modelo de regresión es estadísticamente significativo, cuya ecuación representativa es:

Ecuación 4.1: Modelo Matemático para la Sección Conductor del Campo Auca

$$ROP: 15,95 - 0,773 WOB + 0,0494 Caudal + 0,1368 RPM$$

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

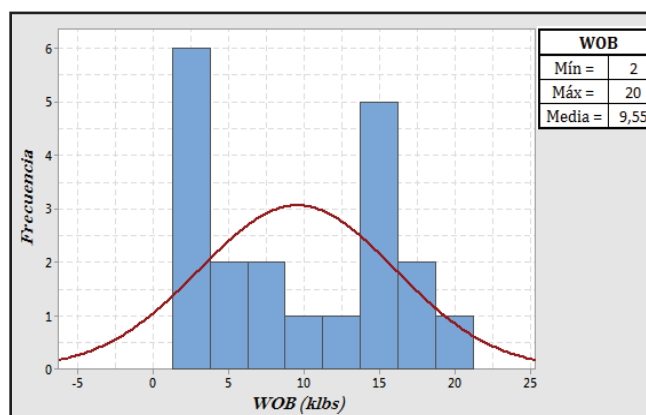
4.4.1.3 Estimación de la Tasa de Penetración del Modelo Matemático

Mediante estadística descriptiva estimaremos valores mínimos y máximos de los parámetros de perforación.

4.4.1.3.1 Peso sobre la broca

La curva de distribución normal del WOB nos permite determinar un valor mínimo de 2 klbs y un valor máximo de 20 klbs, mientras que el gráfico del análisis mixto determina un mínimo de 3,7 klbs y 15,9 klbs como valor máximo.

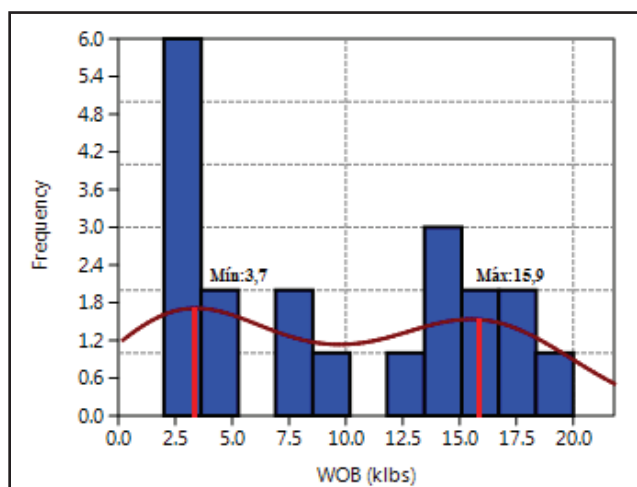
Gráfico 4.3: Curva de Distribución Normal del WOB de la Sección Conductor



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 4.4: Análisis Mixto del WOB de la Sección Conductor



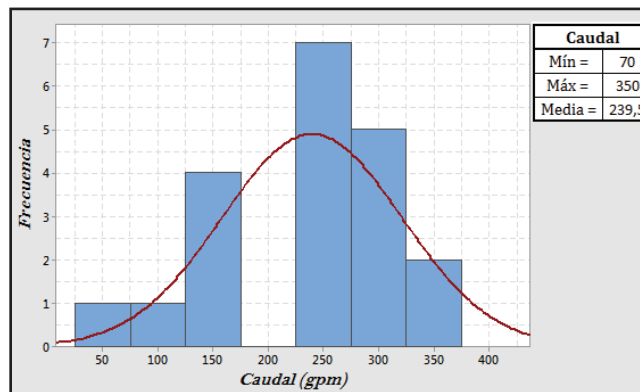
Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.1.3.2 Tasa de Flujo o Caudal

La curva de distribución normal del Caudal determina un valor mínimo de 70 gpm y un valor máximo de 350 gpm, mientras que el gráfico del análisis mixto encuentra un mínimo de 128 gpm y un valor máximo de 287 gpm.

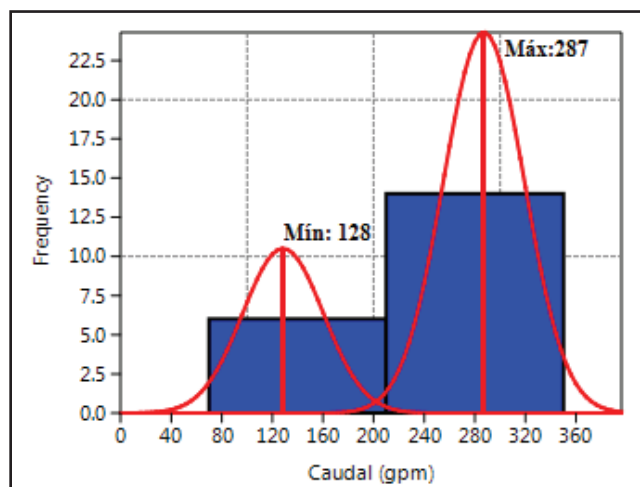
Gráfico 4.5: Curva de Distribución Normal del Caudal de la Sección Conductor



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 4.6: Análisis Mixto del Caudal de la Sección Conductor



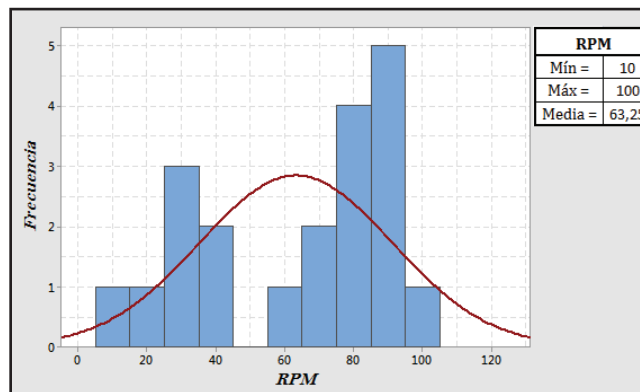
Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.1.3.3 Revoluciones por minuto

El gráfico correspondiente a la curva de distribución normal de las RPM nos permite determinar un valor mínimo de 10 rpm y un valor máximo de 100 rpm, mientras que el gráfico del análisis mixto determina un mínimo de 29 rpm y un máximo de 82 rpm.

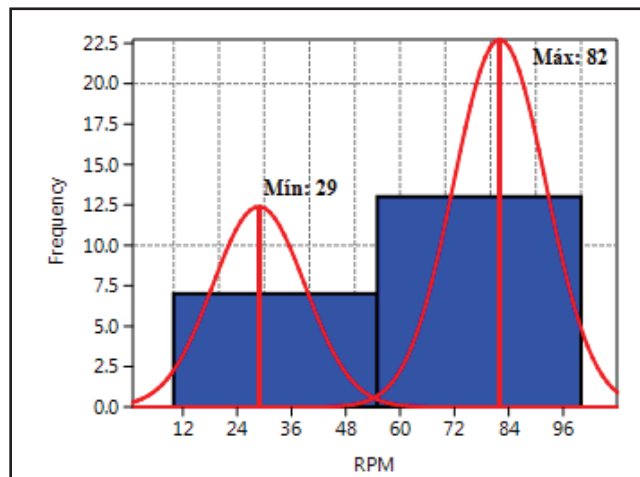
Gráfico 4.7: Curva de Distribución Normal de las RPM de la Sección Conductor



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 4.8: Análisis Mixto de las RPM de la Sección Conductor



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La Tabla 4.7 puntualiza los valores mínimos y máximos de las variables que influyen en la ROP, así como también los valores permisibles de las mismas. Por la interpretación a la ecuación obtenida en la regresión lineal múltiple paso a paso, tendremos una ROP óptima calculada de 25,8 ft/hr. En el Anexo F se muestra el cálculo para obtener la Rop óptima calculada de cada sección.

Tabla 4.7: Tasa de Penetración Óptima de la Sección Conductor

Variable	Curva de distribución normal		Análisis Mixto		Mínimo Permissible	Máximo Permissible
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
WOB	2	20	3,7	15,9	2,85	17,95
Caudal	70	350	128	287	99	318,5
RPM	10	100	29	82	19,5	91
Rop Mín = 9,63 ft/hr						
Rop Máx = 41,93 ft/hr						
ROP = 25,8 ft/hr						

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.2 SECCIÓN SUPERFICIAL

4.4.2.1 Regresión Lineal Múltiple

La Tabla 4.8 muestra de manera sintetizada los parámetros de perforación obtenidos en la perforación de esta sección.

Tabla 4.8: Parámetros de Perforación de la Sección Superficial

Sección Superficial 16"													
Pozo	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total		Densidad [lpg]	
	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Auca 001	101,69	2	22	1,5	13	2650	3750	980	1050	94	216	8,9	10,4
Auca 002	79,26	2	35	2	30	400	3100	400	1050	84	196	8,8	10,6
Auca 003	103,69	2	16	9	16	3350	3680	1000	1050	94	196	8,8	10,6
Auca 004	62,69	7,7	13,7	2,7	7,7	1928	1928	768,3	768,3	165	165	8,8	10,6
Auca 005	71,05	5,3	26	6,3	14	3433	3433	970	970	210	210	8,6	10,6
Auca 006	93,56	10	30	15	21	3050	3650	950	1050	84	246	8,8	10,6
Auca 007	70,16	6	27,5	3	11	2503	2503	1000	1000	290	290	8,9	10,6
Auca 008	91,96	10	14	9	13	3575	3575	1025	1025	155	155	8,8	10,6
Auca 009	93,24	4	32	5	15	2650	3313	850	1050	84	196	8,8	10,6
Auca 010	89,75	10	36	15	18	2950	3700	950	1050	156	196	8,8	10,6

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Al aplicar el modelo de regresión lineal múltiple considerando a la Tasa de Penetración como nuestra variable de respuesta y estableciendo a WOB, Torque, Presión, Caudal, RPM y Densidad como variables regresoras, obtenemos el siguiente modelo:

$$ROP = 35,1 - 0,192 WOB + 0,057 Torque + 0,00525 Presión + 0,0355 Caudal - 0,1465 RPM + 3,02 Densidad$$

4.4.2.1.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida

- β_0 : Si los valores de los parámetros de perforación fueran cero, tuviéramos una tasa de penetración igual a 35,1 ft/hr, que se consideraría un valor erróneo, puesto que analizando la Tabla 4.2 no hay ningún valor cercano a 35,1 ft/hr. Por esta interpretación pudieramos llegar a concluir que el modelo planteado no es totalmente satisfactorio.
- X_1 : Sea cual sea el valor de las demás variables, por cada unidad de cambio en el WOB la tasa de penetración disminuye en 0,192.
- X_2 : Por cada unidad de cambio en la variable Torque, la tasa de penetración aumenta en 0,057 independientemente del valor de los demás parámetros de perforación.
- X_3 : Independientemente del resto de variables, la tasa de penetración aumentará su valor en 0,00525 por unidad de cambio en la variable Presión.
- X_4 : Por cada unidad de cambio en la variable Caudal, la tasa de penetración aumenta en 0,0355. Sin tomar en cuenta el valor de las demás variables.
- X_5 : La tasa de penetración se verá disminuida en 0,1465 por cada unidad de cambio en la variable regresora RPM, sea cual sea el valor de las demás variables.
- X_6 : La tasa de penetración aumentara en 3,02 por cada unidad de cambio en la Densidad, independientemente del valor de los demás parámetros de perforación.

4.4.2.1.2 Validación del Modelo

4.4.2.1.2.1 Resumen del Modelo

La Tabla 4.9 detalla que el coeficiente de determinación del modelo efectuado representa un porcentaje de 59,06 y un coeficiente de determinación ajustado de 40,16 %, razón por la cual se consideraría un buen modelo.

Tabla 4.9: Resumen del Modelo de la Sección Superficial

Resumen del Modelo	R^2 (%)=	59,06
	R^2 adj (%)=	40,16

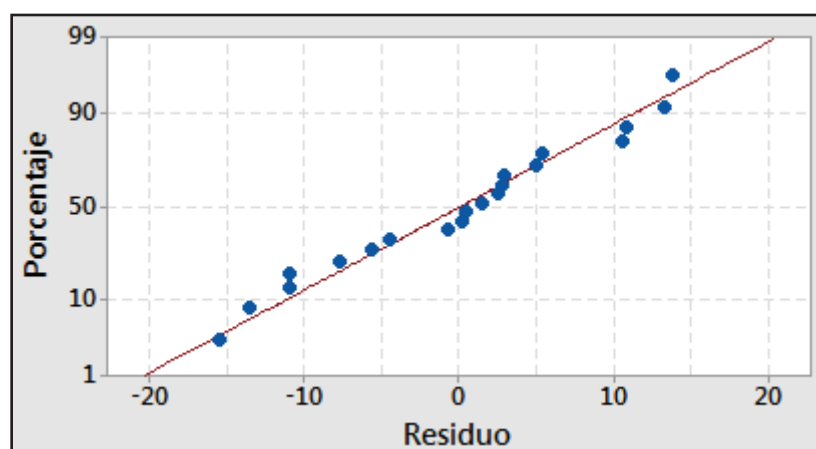
Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.2.1.2.2 Análisis Gráfico de Residuos

El Gráfico 4.9 nos permite observar que varios puntos no cumplen una cierta distribución normal a lo largo de toda la recta, claramente se nota una cierta distribución normal a partir del valor cero.

Gráfico 4.9: Análisis de Residuos del Modelo de la Sección Superficial



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.2.1.2.3 ANOVA

Tabla 4.10: Análisis de Varianza del Modelo de la Sección Superficial

Análisis de Varianza			
Término	Coefficiente	p-value	VIF
Constante	35,1	0,77	
WOB	-0,192	0,735	7,15
Torque	0,057	0,934	3,90
Presión	0,00525	0,526	7,49
Caudal	0,0355	0,443	8,26
RPM	-0,1465	0,023	2,20
Densidad	3,02	0,558	3,59
Regresión Efectuada		0,04	

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La Tabla 4.10 indica que la significancia observada de la regresión efectuada es de 0,04 por lo que se consideraría un buen modelo, sin embargo se debe notar que el p-value de los términos excepto el de las RPM supera al 0,05.

Esto nos indica que la variable que más se acoge a este modelo son las revoluciones por minuto.

El VIF de las variables regresoras es alto y notoriamente se presentarían problemas de multicolinealidad, por los análisis realizados concluimos que el modelo efectuado no es satisfactorio.

4.4.2.2 Regresión Lineal Múltiple Paso a Paso

Cuando hemos realizado la regresión lineal múltiple procedemos a efectuar el procedimiento paso a paso, el cual nos indica el siguiente modelo:

$$ROP = 74,47 + 0,01118 \text{ Presión} - 0,1253 \text{ RPM}$$

4.4.2.2.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida

- β_0 : Si los valores de las variables regresoras fueran cero, se tendría una tasa de penetración igual a 74,47 ft/hr.
Si observamos la Tabla 4.2 vemos que este valor se asemeja a las tasas de penetración de la sección superficial.
- X_1 : Por cada unidad de cambio en la variable Presión la tasa de penetración aumentará en 0,01118, independientemente del valor que tome las RPM.
- X_2 : La tasa de penetración se verá reducida en 0,1253 por cada unidad de cambio en la variable RPM, sea cual sea el valor de la Presión.

4.4.2.2.2 Validación del Modelo

4.4.2.2.2.1 Resumen del Modelo

La Tabla 4.11 nos muestra que el coeficiente de determinación es de 56,23% y el coeficiente de determinación ajustado es de 51,08%, disminuyendo un 2,83% y aumentado en 10,92% respectivamente en comparación al anterior modelo.

De acuerdo a la clasificación de los coeficientes de determinación se concluye que se obtiene un buen modelo.

Tabla 4.11: Resumen del Modelo Paso a Paso de la Sección Superficial

Resumen del Modelo	R² (%)=	56,23
	R² adj (%)=	51,08

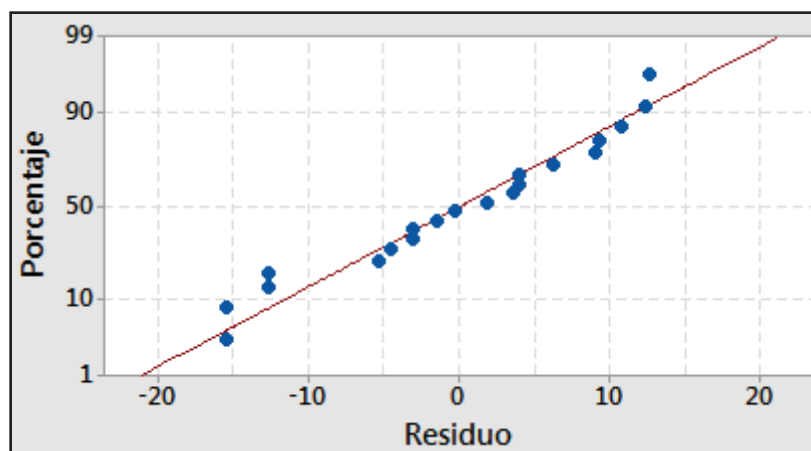
Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.2.2.2.2 Análisis Gráfico de Residuos

El Gráfico 4.10 nos indica claramente que los residuos se ajustan a lo largo de toda la recta especialmente a partir de -5, razón por la cual se podría afirmar que el modelo efectuado es satisfactorio. Se observa también que en el intervalo de -20 a -10 hay tres puntos que no siguen una tendencia lineal.

Gráfico 4.10: Análisis de Residuos del Modelo Paso a Paso de la Sección Superficial



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.2.2.3 ANOVA

Tabla 4.12: Análisis de Varianza del Modelo Paso a Paso de la Sección Superficial

Análisis de Varianza			
Término	Coefficiente	p-value	VIF
Constante	74,47	0,000	
Presión	0,01118	0,001	1,10
RPM	-0,1253	0,003	1,10
Regresión Efectuada		0,001	

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

El modelo de regresión efectuado es estadísticamente significativo con un p-value de 0,001, además la Tabla 4.12 nos indica que los parámetros presentes y el término constante de este modelo muestran una significancia observada mucho menor a 0,05 y no existe problemas de multicolinealidad entre la Presión y las RPM por el VIF tan bajo que presentan. Se debe notar además que el modelo de

regresión lineal múltiple realizado anteriormente acogió a las RPM como una variable regresora influyente en la Tasa de Penetración. La ecuación representativa para esta sección se muestra a continuación:

Ecuación 4.2: Modelo Matemático para la Sección Superficial del Campo Auca

$$ROP = 74,47 + 0,01118 \text{ Presión} - 0,1253 \text{ RPM}$$

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

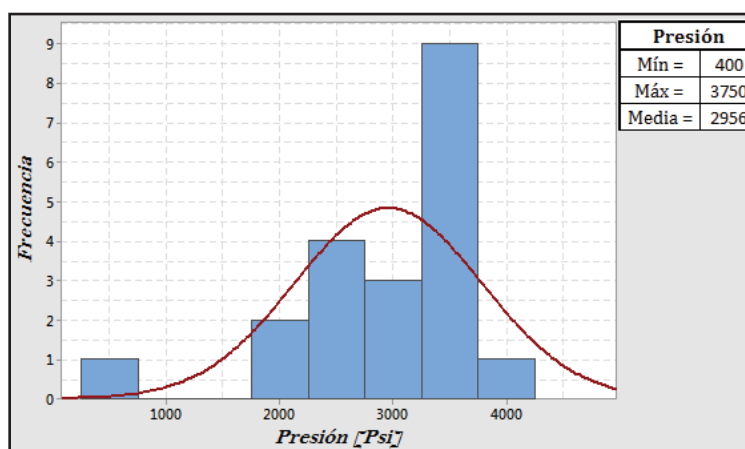
4.4.2.3 Estimación de la Tasa de Penetración del Modelo Matemático

Mediante estadística descriptiva estimaremos valores mínimos y máximos de los parámetros de perforación influyentes en la tasa de penetración.

4.4.2.3.1 Presión

La curva de distribución normal de la Presión determina un valor mínimo de 400 Psi y un valor máximo de 3750 Psi, mientras que el gráfico del análisis mixto muestra un mínimo de 2520 Psi y un valor máximo de 3580 Psi.

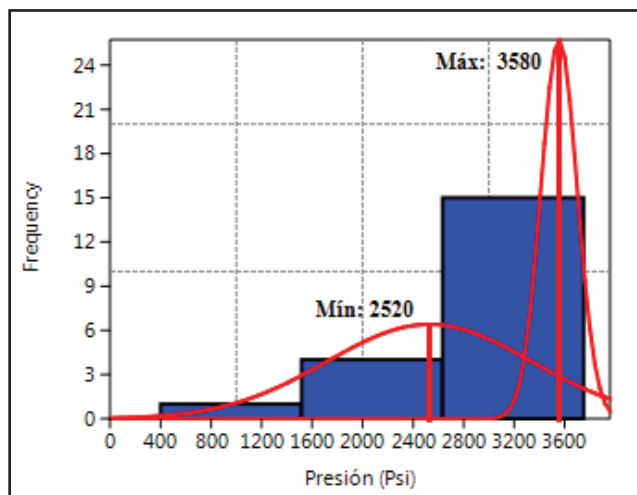
Gráfico 4.11: Curva de Distribución Normal de la Presión de la Sección Superficial



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 4.12: Análisis Mixto de la Presión de la Sección Superficial



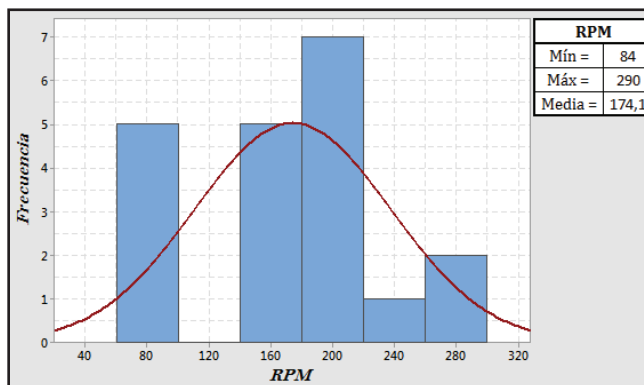
Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.2.3.2 Revoluciones por Minuto

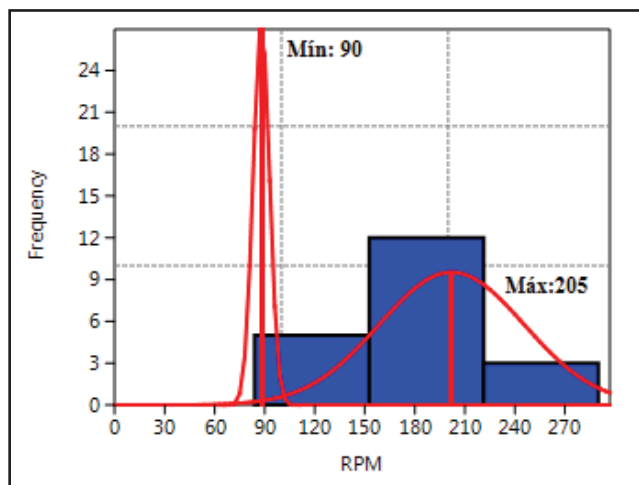
El gráfico correspondiente a la curva de distribución normal de las RPM nos permite determinar un valor mínimo de 84 rpm y un valor máximo de 290 rpm, mientras que el gráfico del análisis mixto determina un mínimo de 90 rpm y un máximo de 205 rpm.

Gráfico 4.13: Curva de Distribución Normal de las RPM de la Sección Superficial



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 4.14: Análisis Mixto de las RPM de la Sección Superficial

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La Tabla 4.13 puntualiza los valores mínimos y máximos de las variables de Presión y RPM, así como también se observa los valores permisibles de las mismas.

Por la interpretación realizada a la ecuación obtenida en la regresión lineal múltiple paso a paso tendremos una tasa de penetración mínima y máxima, por tal razón una ROP óptima calculada de 82,2 ft/hr.

Tabla 4.13: Tasa de Penetración Óptima de la Sección Superficial

Variable	Curva de distribución normal		Análisis Mixto		Mínimo Permissible	Máximo Permissible
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
Presión	400	3750	2520	3580	1460	3665
RPM	84	290	90	205	87	247,5
Rop Min = 59,78 ft/hr						
Rop Máx = 104,54 ft/hr						
ROP = 82,2 ft/hr						

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.3 SECCIÓN INTERMEDIA

4.4.3.1 Regresión Lineal Múltiple

En la Tabla 4.14 se observa en forma sintetizada los parámetros de perforación que se obtuvieron en la perforación de esta sección, la información permitirá efectuar el análisis correspondiente.

Tabla 4.14: Parámetros de Perforación de la Sección Intermedia

Sección Intermedia 12 1/4"													
Pozo	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total		Densidad [lpg]	
	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Auca 001	56,54	5	45	3	10	1547	3550	800	880	132	240	9,6	10,6
Auca 002	34,10	3,7	30,7	11	27	2040	3250	710	880	153,7	194,3	9,6	10,6
Auca 003	35,77	6	26,7	13	23,7	2600	3183	783,3	850	198,7	880	9,5	10,8
Auca 004	21,31	6,7	22,7	17,7	27	3480	3480	794,5	794,5	230,3	230,3	9,9	10,6
Auca 005	33,15	6	24	10,5	21,5	3800	3800	4345	795	245	245	9,8	10,6
Auca 006	43,83	11,5	24	15	19,5	2625	3400	830	890	132,5	165,5	9,9	10,6
Auca 007	36,00	10	35	8	18	3000	3000	870	870	215	215	9,5	10,6
Auca 008	46,34	10	27	12	20	3425	3425	865	865	165	165	9,6	11
Auca 009	47,19	12	29	12	15	2750	3125	825	890	145	173,5	9,5	10,8
Auca 010	34,11	14,5	26	15	18	2550	3350	825	875	111	161,5	9,5	10,6

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Efectuando el modelo de regresión lineal múltiple estableciendo a la Tasa de Penetración como variable de respuesta y considerando a WOB, Torque, Presión, Caudal, RPM y Densidad como variables regresoras, obtenemos el siguiente modelo:

$$ROP = -7,3 + 0,297 WOB - 1,424 Torque - 0,00296 Presión - 0,00128 Caudal - 0,0021 RPM + 7,28 Densidad$$

4.4.3.1.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida

- β_0 : Si los valores de los parámetros de perforación fueran nulos, tuviéramos una tasa de penetración igual a -7,3, lo que indicaría un valor erróneo, puesto que en la realidad no se obtendría una ROP negativa.
- X_1 : La tasa de penetración aumentará en 0,297 por cada unidad de cambio en la variable regresora WOB, sea cual sea el valor de las demás variables.

- X_2 : Por cada unidad de cambio en la variable Torque, la tasa de penetración disminuirá en 1,424 independientemente del valor de los demás parámetros de perforación.
- X_3 : Sin tomar en cuenta el valor del resto de variables, la tasa de penetración disminuirá su valor en 0,00296 por unidad de cambio en la variable Presión.
- X_4 : Por cada unidad de cambio en la variable Caudal, la tasa de penetración disminuye en 0,00128. Sin tomar en cuenta el valor de las demás variables.
- X_5 : La tasa de penetración disminuirá en 0,0021 por cada unidad de cambio en la variable RPM, sea cual sea el valor de las demás variables.
- X_6 : La tasa de penetración aumentara en 7,28 por cada unidad de cambio en la Densidad, independientemente del valor de los demás parámetros de perforación.

4.4.3.1.2 Validación del Modelo

4.4.3.1.2.1 Resumen del Modelo

La Tabla 4.15 nos permite observar que el coeficiente de determinación del modelo efectuado presenta un valor de 65,03 % y un coeficiente de determinación ajustado de 48,90 %, razón por la cual se consideraría un buen modelo.

Tabla 4.15: Resumen del Modelo de la Sección Intermedia

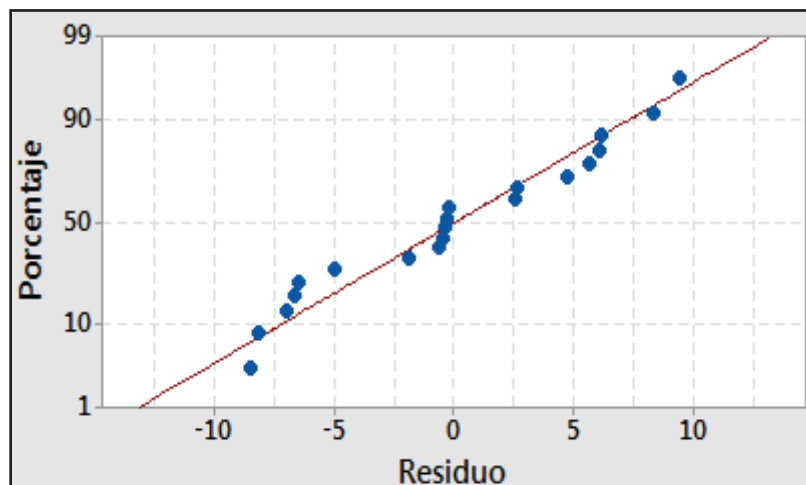
Resumen del Modelo	R^2 (%)=	65,03
	R^2 adj (%)=	48,90

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.3.1.2.2 Análisis Gráfico de Residuos

En el Gráfico 4.15 se observa que varios puntos no cumplen una distribución normal a lo largo de toda la recta, existe cierta normalidad en el intervalo -2,5 a 2,5, pero no suficiente para considerarlo como buen modelo.

Gráfico 4.15: Análisis de Residuos del Modelo de la Sección Intermedia

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.3.1.2.3 ANOVA

Tabla 4.16: Análisis de Varianza del Modelo de la Sección Intermedia

Análisis de Varianza			
Término	Coefficiente	p-value	VIF
Constante	-7,3	0,907	
WOB	0,297	0,301	4,25
Torque	-1,424	0,004	2,62
Presión	-0,00296	0,485	2,30
Caudal	-0,00128	0,630	1,68
RPM	-0,0021	0,845	1,19
Densidad	7,28	0,299	5,66
Regresión Efectuada		0,017	

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

En la Tabla 4.16 se observa que la significancia observada de la regresión efectuada es de 0,017, un valor demasiado bajo, por lo que se consideraría un

buen modelo, sin embargo hay que notar que el p-value de los términos excepto el del Torque superan al 0,05, indicándonos que dicha variable se acoge a este modelo.

El VIF de las variables regresoras es alto, a excepción del Caudal y las RPM que serían las únicas variables que no presentarían multicolinealidad, por los análisis realizados concluimos que el modelo efectuado no es estadísticamente satisfactorio.

4.4.3.2 Regresión Lineal Múltiple Paso a Paso

Una vez que se ha realizado la regresión lineal múltiple, procedemos a efectuar el procedimiento paso a paso, el cual nos indica el siguiente modelo:

$$ROP: 50,04 + 0,497 WOB - 1,296 Torque$$

4.4.3.2.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida

- β_0 : Si el Torque y el WOB fueran de valor nulo tuviéramos una tasa de penetración igual a 50,04 ft/hr. En la Tabla 4.2 notamos que este valor se asemeja a las tasas de penetración de la sección intermedia, por lo que pudiéramos establecer que tenemos un modelo satisfactorio.
- X_1 : Independientemente del valor que tome el Torque, por cada unidad de cambio en la variable WOB la tasa de penetración aumentará en 0,497.
- X_2 : La tasa de penetración se verá reducida en 1,296 por cada unidad de cambio en la variable Torque, sea cual sea el valor del peso sobre la broca.

4.4.3.2.2 Validación del Modelo

4.4.3.2.2.1 Resumen del Modelo

La Tabla 4.17 indica que el coeficiente de determinación es de 58,23% y el coeficiente de determinación ajustado es de 53,31%, disminuyendo un 6,8% y aumentado en 4,41% respectivamente en comparación al anterior modelo.

En base a la clasificación de los coeficientes de determinación se concluye que se obtiene un buen modelo.

Tabla 4.17: Resumen del Modelo Paso a Paso de la Sección Intermedia

Resumen del Modelo	R^2 (%) =	58,23
	R^2 adj (%) =	53,31

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

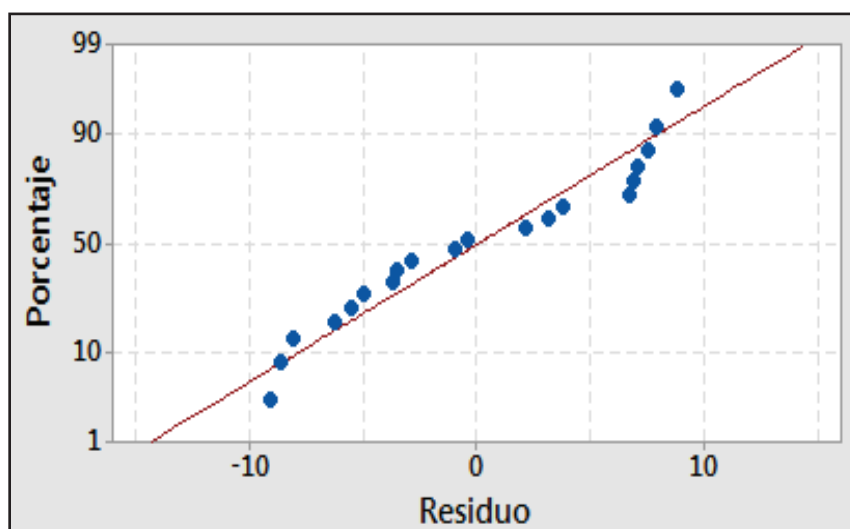
Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.3.2.2 Análisis Gráfico de Residuos

En el Gráfico 4.16 se observa que los residuos se ajustan a lo largo de toda la recta, aproximadamente a partir de -8, razón por la cual se podría afirmar que el modelo efectuado es satisfactorio.

Se distingue también que a partir de 6,5 a 7,5 existen dos puntos que no cumplen una tendencia lineal a lo largo de toda la recta.

Gráfico 4.16: Análisis de Residuos del Modelo Paso a Paso de la Sección Intermedia



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.3.2.2.3 ANOVA

Tabla 4.18: Análisis de Varianza del Modelo Paso A Paso de la Sección Intermedia

Análisis de Varianza			
Término	Coefficiente	p-value	VIF
Constante	50,04	0,000	
WOB	0,497	0,003	1,32
Torque	-1,296	0,000	1,32
Regresión Efectuada		0,001	

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

El modelo de regresión efectuado es estadísticamente significativo con un p-value de 0,001, además la Tabla 4.18 nos permite observar que los parámetros de perforación presentes y el término constante del modelo realizado tienen una significancia observada mucho menor a 0,05, incluso dos de ellos tienden a cero, y se concluye debido al VIF bajo que presentan que no existe problemas de multicolinealidad.

La ecuación representativa para esta sección se muestra a continuación:

Ecuación 4.3: Modelo Matemático para la Sección Intermedia del Campo Auca

$$ROP: 50,04 + 0,497 WOB - 1,296 Torque$$

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

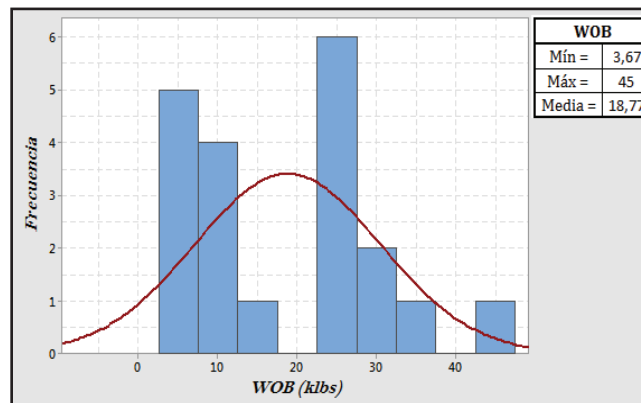
4.4.3.3 Estimación de la Tasa de Penetración del Modelo Matemático

Efectuando estadística descriptiva calcularemos valores mínimos y máximos de los parámetros de perforación influyentes en la tasa de penetración.

4.4.3.3.1 Peso sobre la Broca

La curva de distribución normal del WOB presenta un valor mínimo de 3,67 klbs y un valor máximo de 45 klbs, mientras que el gráfico del análisis mixto muestra un mínimo de 8 klbs y un valor máximo de 28 klbs.

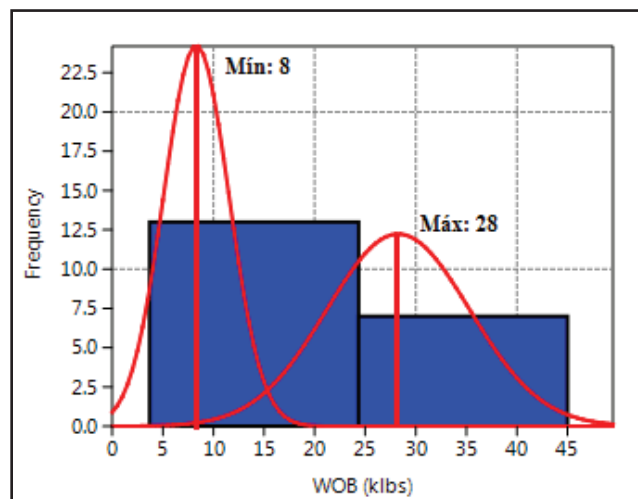
Gráfico 4.17: Curva de Distribución Normal del WOB de la Sección Intermedia



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 4.18: Análisis Mixto del WOB de la Sección Intermedia



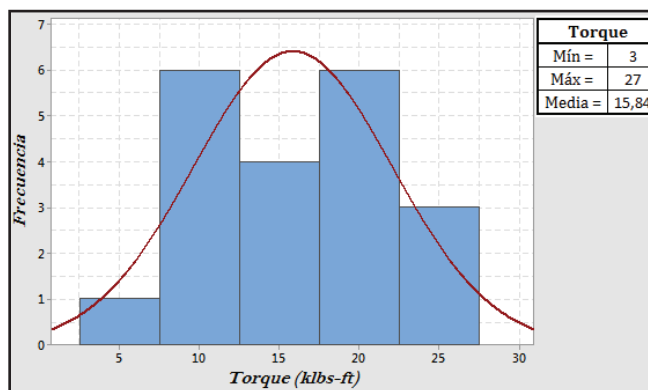
Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.3.3.1.1 Torque

El gráfico correspondiente a la curva de distribución normal del Torque permite determinar un valor mínimo de 3 klbs-ft y un valor máximo de 27 klbs-ft, mientras que el gráfico del análisis mixto determina un mínimo de 11 klbs-ft y un máximo de 18,2 klbs-ft.

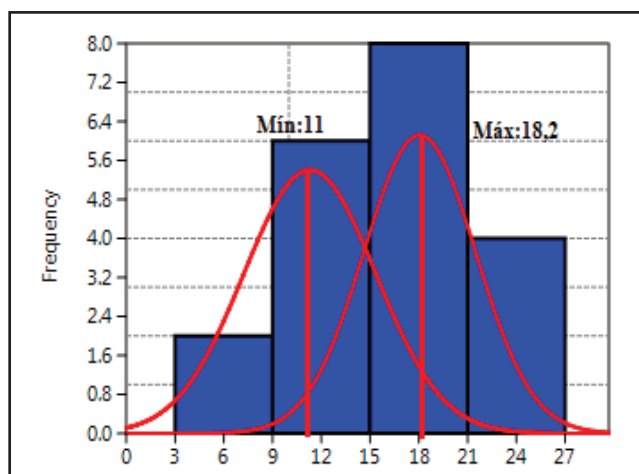
Gráfico 4.19: Curva de Distribución Normal del Torque de la Sección Intermedia



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 4.20: Análisis Mixto del Torque de la Sección Intermedia



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

En la Tabla 4.19 se observa los valores mínimos y máximos de las variables WOB y Torque, así como también se observa los valores permisibles de las mismas. Por la interpretación realizada a la ecuación obtenida en la regresión lineal múltiple paso a paso, tenemos una ROP óptima calculada de 41,4 ft/hr.

Tabla 4.19: Tasa de Penetración Óptima de la Sección Intermedia

Variable	Curva de distribución normal		Análisis Mixto		Mínimo Permissible	Máximo Permissible
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
WOB	3,67	45	8	28	5,8	36,5
Torque	3	27	11	18,2	7	22,6
Rop Mín = 23,65 ft/hr						
Rop Máx = 59,11 ft/hr						
ROP = 41,4 ft/hr						

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.4 SECCIÓN DE PRODUCCIÓN

4.4.4.1 Regresión Lineal Múltiple

La Tabla 4.20 muestra de manera sintetizada los parámetros de perforación obtenidos durante la perforación de los 10 pozos, dicha información permitirá realizar el análisis correspondiente.

Tabla 4.20: Parámetros de Perforación de la Sección de Producción

Sección de Producción 8 1/2"													
Pozo	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs.ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total		Densidad [lpg]	
	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Auca 001	29,57	7	14	2,7	6,7	1333	1417	400	400	169	196	8,9	9,1
Auca 002	32,68	10	20	10	27	1200	1900	400	550	151	210	8,9	9,1
Auca 003	30,68	4	15	9	15	1450	1700	400	460	142	203	9,2	9,4
Auca 004	23,85	10	20	13	17	2600	2600	430	430	216	216	9,2	9,4
Auca 005	26,63	4	20	15	21	2800	2800	450	450	209	209	9,2	9,5
Auca 006	30,16	10	20	15	18	2000	2000	400	430	180	210	9,2	9,5
Auca 007	41,18	5	20	15	18	2050	2050	400	400	176	176	8,9	9,1
Auca 008	41,32	10	16	13	13	170	170	430	430	210	210	8,9	9,1
Auca 009	62,78	10	20	10	13	1550	1550	430	410	200	204	8,9	9,1
Auca 010	24,91	12	20	15	18	1300	1800	400	420	159	189	8,9	9,1

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Efectuando el modelo de regresión lineal múltiple considerando como variables independientes a WOB, Torque, Presión, Caudal, RPM y Densidad y estableciendo a la tasa de penetración óptima como variable dependiente, obtenemos el siguiente modelo:

$$ROP = 289 + 0,426 WOB - 0,157 Torque - 0,00184 Presión - 0,043 Caudal + 0,178 RPM - 29,6 Densidad$$

4.4.4.1.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida

- β_0 : Si los valores de los parámetros de perforación fueran nulos, obtenemos una tasa de penetración igual a 289 ft/hr.
Dicho valor sería considerado erróneo ya que en la realidad es imposible tener una gran tasa de penetración.
- X_1 : La tasa de penetración se verá incrementada en 0,426 por cada unidad de cambio en la variable regresora WOB, sea cual sea el valor de las demás variables.
- X_2 : Por cada unidad de cambio en la variable Torque, la tasa de penetración disminuirá en 0,157 independientemente del valor de los demás parámetros de perforación.
- X_3 : La tasa de penetración disminuirá en 0,00184 por cada unidad de cambio en la Presión, sin importar el valor de las otras variables.
- X_4 : Por cada unidad de cambio en la variable Caudal, la tasa de penetración disminuirá en 0,043. Sin tomar en cuenta el valor de las demás variables.
- X_5 : Sea cual sea el valor de las demás variables, por cada unidad de cambio en las RPM la tasa de penetración aumentará en 0,178.
- X_6 : Independientemente del resto de variables, la tasa de penetración disminuirá su valor en 29,6 por unidad de cambio en la variable Densidad.

Una vez efectuado el modelo de regresión lineal múltiple a la sección de producción procedemos a efectuar la validez del modelo para determinar si es o no estadísticamente significativo

4.4.4.1.2 Validación del Modelo

4.4.4.1.2.1 Resumen del Modelo

El coeficiente de determinación del modelo nos representa un porcentaje de 31 y un coeficiente de determinación ajustado de 0 % como se observa en la Tabla 4.21. Razón por la cual se consideraría un mal modelo efectuado.

Tabla 4.21: Resumen del Modelo de la Sección de Producción

Resumen del Modelo	R^2 (%)=	31
	R^2 adj (%)=	0

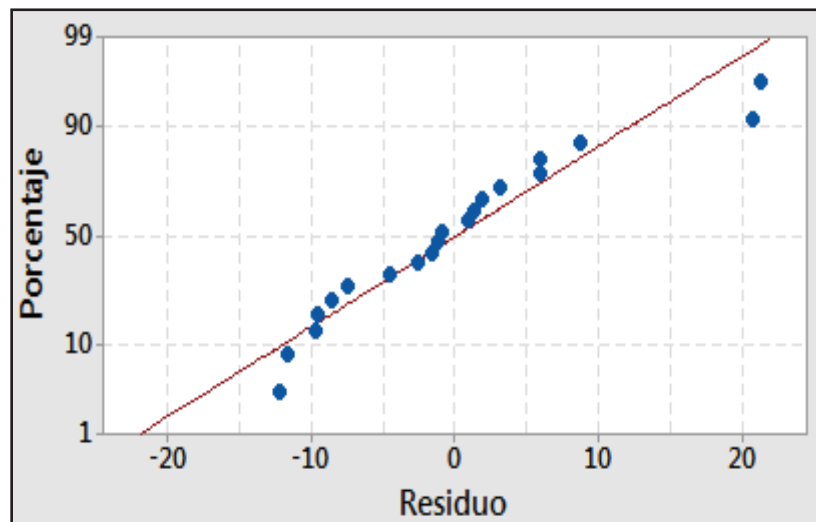
Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.4.1.2.2 Análisis Gráfico de Residuos

Como se observa en el Gráfico 4.21, se nota que ciertos puntos se alejan de la recta, especialmente en los extremos de la misma.

Gráfico 4.21: Análisis de Residuos del Modelo de la Sección de Producción



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.4.1.2.3 ANOVA

Tabla 4.22: Análisis de Varianza del Modelo de la Sección de Producción

Análisis de Varianza			
Término	Coefficiente	p-value	VIF
Constante	289	0,098	
WOB	0,426	0,527	4,52
Torque	-0,157	0,865	2,74
Presión	-0,00184	0,713	1,59
Caudal	-0,043	0,721	2,03
RPM	0,178	0,282	1,74
Densidad	-29,6	0,137	3,21
Regresión Efectuada		0,480	

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Como se observa en la Tabla 4.22 la significancia observada de la regresión efectuada es de 0,480 por lo que se considera un pésimo modelo. Se debe notar que el p-value de todos los términos es mayor al 0,05, además el VIF de cada variable es relativamente alto y claramente se presentarían problemas de multicolinealidad, por estas consideraciones se concluye que la ecuación determinada no es satisfactorio.

4.4.4.2 Regresión Lineal Múltiple Paso a Paso

Cuando hemos realizado la regresión lineal múltiple, se procede a realizar el procedimiento paso a paso, el cual cumple con el siguiente modelo:

$$ROP = 237 - 22,2 \text{ Densidad}$$

4.4.4.2.1 Interpretación de la Ecuación Obtenida

- β_0 : Si los valores de los parámetros de perforación fueran nulos, se tendría una tasa de penetración igual a 237 ft/hr. Se considera un valor alejado de la realidad.
- X_1 : Por cada unidad de cambio en la variable Densidad la tasa de penetración disminuirá en 22,2.

4.4.4.2.2 Validación del Modelo

4.4.4.2.2.1 Resumen del Modelo

La Tabla 4.23 indica que el coeficiente de determinación se redujo en 15,62% dando como resultado un 15,38% para este modelo, mientras que el coeficiente de determinación ajustado subió un 10,68% en comparación con el anterior modelo. En base a la clasificación de los coeficientes de determinación se concluye que el modelo es muy malo.

Tabla 4.23: Resumen del Modelo Paso A Paso de la Sección de Producción

Resumen del Modelo	R² (%)=	15,38
	R² adj (%)=	10,68

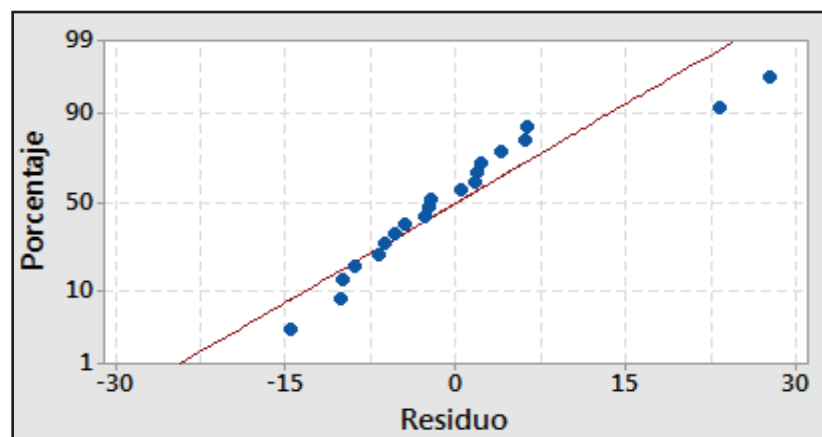
Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.4.2.2.2 Análisis Gráfico de Residuos

El Gráfico 4.22 muestra claramente que los residuos no se ajustan a lo largo de toda la recta, razón por la cual se podría afirmar que el modelo efectuado no es satisfactorio.

Gráfico 4.22: Análisis de Residuos del Modelo Paso a Paso de la Sección de Producción



Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

4.4.4.2.2.3 ANOVA

Tabla 4.24: Análisis de Varianza del Modelo Paso a Paso de la Sección de Producción

Análisis de Varianza			
Término	Coefficiente	p-value	VIF
Constante	237	0,049	
RPM	-22,2	0,087	1
Regresión Efectuada		0,087	

Fuente: Documentos ARCH (Software Minitab)

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La significancia observada de las RPM es de 0,087 y concluimos que no influye en la tasa de penetración. Debido a que existe solamente una variable, no se puede hablar de problemas de multicolinealidad.

A pesar de que el término constante presenta un p-value cercano a 0,05 no significa que sea aceptable debido a que la significancia observada de la regresión efectuada es de 0,087.

Por los análisis descritos previamente concluimos que el modelo matemático efectuado no es estadísticamente significativo.

4.5 PROPUESTA TÉCNICA PARA MINIMIZAR LOS TIEMPOS NO PRODUCTIVOS POR SECCIONES

La propuesta técnica que detallamos a continuación para minimizar o eliminar el tiempo no productivo se basa en los problemas que se dieron en las secciones perforadas de los pozos del campo Auca, en los cuales se describe su causa y su solución. En el Anexo C-1 se observa la duración de cada problema presentado.

4.5.1 SECCIÓN CONDUCTOR 26”

4.5.1.1 Wash Out

Fue el principal problema de esta sección con un NPT de 3 horas. Este problema se generó debido al estado interno de la tubería, la misma que pudo ser afectada

por la erosión en el cuerpo o en la rosca (puede ser generada por los sólidos del fluido de perforación), por fatiga o por una falla mecánica.

Este tipo de problema se evidencia por la pérdida de presión de bombeo debido a que el fluido de perforación recircula por el anular y la presión total requerida no llega al fondo de la sarta de perforación, esto causa que el caudal o galonaje en fondo, disminuya y puede conllevar a problemas de perforación como pobre limpieza del pozo, aumento de torque, disminución de la rata de penetración, entre otras.

Para evitar este tipo de inconvenientes es necesario realizar inspecciones periódicas al drill pipe y que certifiquen que la sarta está apta para su uso, con esto reducimos el riesgo de tener algún inconveniente con el drill pipe durante la perforación.

4.5.1.2 Falla en la Unidad de Potencia en la Corrida de Casing

Al ser un problema del equipo en superficie las operaciones de perforación se detienen.

Se evidenció problemas en la unidad de potencia del Top Drive. Para prevenir este tipo de problema se debe inspeccionar los equipos durante el DTM³ del taladro, así como también solicitar los certificados de calidad de la herramienta y realizar pruebas en superficie antes de empezar una operación.

4.5.1.3 Ajuste de Malacate

El problema del malacate fue que existieron inconvenientes para desenrollar el cable de perforación, por lo que fue necesario que el responsable del taladro, hiciera un chequeo del mismo, ocupando dos horas para su arreglo.

El malacate es considerado una parte esencial del equipo de perforación, ya que sin éste el sistema de elevación del taladro no funcionaría.

Por tal motivo, se debe efectuar pruebas de funcionamiento en superficie y tener un back up de todos sus componentes principales.

³DTM: Movilización del taladro de perforación (Desmontado, traslado, montado)

4.5.2 SECCIÓN SUPERFICIAL 16”

4.5.2.1 Suspende Operaciones por falta de Casing 13 3/8”

Fue el principal problema de esta sección con un NPT de 25 horas. Hemos considerado a este problema como una falla de los componentes del equipo en superficie debido a la falta del casing para continuar con las operaciones de perforación. Sin embargo, fue considerado como un problema de logística por parte de la compañía operadora de servicios.

Para que eventos de esta índole no se repitan debe existir coordinación entre la compañía operadora y la empresa proveedora de casing.

4.5.2.2 Problema de Motor y MWD

Durante las operaciones de perforación se evidenció un deterioro en la señal del MWD y se procedió a intentar recuperar la señal sin obtener éxito. Por tal motivo, sacaron la sarta a superficie y cambiaron el MWD.

El motivo de falla del MWD lo atribuyen al taller de la compañía prestadora de servicios, para evitar estos problemas se recomienda solicitar los certificados de calidad de la herramienta y realizar pruebas de funcionamiento en superficie para no tener viajes innecesarios que hacen que los NPT aumenten.

4.5.2.3 Prueba fallida de BOP (Blow Out Preventor)

Al final del procedimiento que se realiza al Blow Out Preventor, el tapón de prueba quedó atascado en el cabezal, por tal motivo el personal del taladro procedió a corregir el problema en un tiempo de 4 horas.

Este tiempo no productivo se atribuyó a la compañía que provee los cabezales del pozo. Razón por la cual, se recomienda a dicha compañía evaluar e inspeccionar que sus elementos posean las dimensiones adecuadas para evitar este tipo de problemas.

Es necesario efectuar pruebas al BOP ya que es un equipo de suma importancia para la seguridad de la cuadrilla del pozo, el equipo de perforación y el pozo en sí.

4.5.2.4 Problemas de regleta de rig en la bajada de Casing

Este problema fue ocasionado por una falla del equipo del top drive, razón por la cual no continuaron perforando.

Esta falla mecánica se dio ya que no se revisó previamente el funcionamiento de los componentes de este equipo.

Por tal motivo, se recomienda evaluar el correcto funcionamiento del top drive antes de iniciar con las operaciones.

4.5.2.5 Problemas de Saver-Sub

Es una herramienta (acople) que conecta al drill pipe (tubería de perforación) para transmitir el torque generado en el top drive. Al existir problemas del saver-sub, las operaciones de perforación se detuvieron, procedieron a levantar la sarta y realizaron el cambio de la herramienta.

Por esta razón es indispensable tener un back up de las herramientas más importantes y pedir certificados de calidad de las mismas.

4.5.2.6 Problema de equipo, TDS

El problema fue por una falla eléctrica del conector del sistema del top drive (TDS), debido a que el top drive pasa la mayor parte del tiempo perforando es necesario realizar un mantenimiento preventivo y correctivo durante el DTM del taladro, ya que de esta manera podremos evitar pérdidas de tiempo por fallas en el top drive.

4.5.2.7 Fuga en Top Drive (Reparación de Equipo)

Se registró una fuga de aceite en el top drive, el técnico encargado reparó el liqueo en el pipe handler, este tiempo no productivo pudo haberse evitado si continuamente se hubiera realizado mantenimiento preventivo al equipo.

4.5.2.8 Daño en manguera del hidromático

La unidad de frenado del top drive presentó problemas en las operaciones de perforación, por tal motivo se tomó una hora en revisar el problema y remplazar la manguera de aire del hidromático.

Se recomienda que, previamente al montado del taladro, se inspeccione los componentes principales del top drive y se tenga un back up de dichos componentes. De esta manera, prevendremos posibles pérdidas de tiempo por falla en sus componentes.

4.5.3 SECCIÓN INTERMEDIA 12 ¼”

4.5.3.1 Daño en Top Drive

Al perforar, se observó que el top drive perdió rotación, procedieron a sacar la sarta hasta el zapato y se efectuó el cambio del top drive para poder reanudar las operaciones de perforación

Por tal motivo, es necesario realizar pruebas de funcionamiento y mantenimiento periódicamente a todos los sistemas del taladro, de esta manera se evitarían tiempos no productivos.

4.5.3.2 Taponamiento de la Broca (Viaje no Planificado)

Se evidenció un taponamiento de la broca por presencia de cauchos del motor de fondo, procedieron a sacar el ensamblaje de fondo hasta superficie y realizaron el mantenimiento adecuado.

Para evitar problemas de esta índole, es necesario efectuar un mantenimiento continuo y permanente de los equipos y comprobar el estado funcional de los mismos.

4.5.3.3 Falla y retiro de LWD

Antes de efectuar la toma de registros durante la perforación, la compañía prestadora de servicios debe realizar un chequeo previo del sistema del equipo de LWD y verificar su correcto uso.

El retiro del LWD se debió principalmente al alto torque que se produjo, lo cual impedía el avance de la perforación del pozo.

Para evitar que se generen futuros problemas de este tipo se debe buscar en lo posible mejorar la configuración de la sarta con el LWD para disminuir el torque que produce.

4.5.3.4 Falla en la herramienta de toma de registros eléctricos

El sistema de la herramienta de registros presentó problemas en la transmisión de datos, razón por la cual sacaron la herramienta y procedieron a cambiarla para continuar la toma de registros.

El personal que corresponde a las herramientas de registros, debe mantener un chequeo continuo del equipo de la herramienta de registros y tener un back up de sus componentes principales. Se recomienda también comprobar su funcionalidad momentos antes de iniciar la corrida de registros, de esta manera se evitarían tener tiempos no productivos.

4.5.3.5 Problemas de Hoyo, lavado y rimado

En este apartado, surgieron problemas debido a la presencia de formaciones blandas, las cuales se hincharon. Para solucionar este problema se recomienda utilizar inhibidores para evitar que las arcillas se hinchen.

4.5.3.6 Instalación de Hidromático

La unidad de frenado del top drive presentó problemas en las operaciones de perforación, por esta razón se tomó cierto tiempo en revisar el problema y al constatar que el hidromático estaba dañado procedieron al cambio del mismo.

El hidromático es una herramienta de suma importancia, ya que es el freno del malacate y previene que el bloque viajero golpee a la mesa rotaria.

Por tal motivo, se recomienda hacer un mantenimiento previo al equipo y constatar que sus componentes funcionen correctamente.

4.5.3.7 Falla del X-Over

Su nombre técnico es Cross Over. Las operaciones de perforación se detuvieron debido a que el cross over estuvo mal enroscado, posteriormente procedieron a enroscarlo de manera correcta.

Este es un problema de mal manejo de las herramientas que constituyen el conjunto de fondo, para prevenir pérdidas de tiempo debido a problemas de esta

índole, se recomienda que el personal encargado del armado del ensamblaje de fondo este eficazmente capacitado.

4.5.3.8 Taponamiento Flow Line

El taponamiento se debió a la cantidad acumulada de recortes de perforación provenientes del fondo del pozo conjuntamente con gran cantidad de gumbo adherida a las paredes de la tubería.

Por lo que se recomienda enviar inhibidores para que no exista taponamiento y evitar que las operaciones de perforación se detengan.

4.5.3.9 Daño en el Casing Drive System (CDS)

El problema fue que detectaron un daño en la válvula reguladora de presión del sistema hidráulico en el casing drive system, en este sentido, se reparó la misma y continuaron con las operaciones de perforación.

Este problema se pudo haber evitado haciendo un chequeo previo a la funcionalidad del casing drive system.

4.5.3.10 Falla de Sistema Hidráulico del Top Drive

La falla del sistema hidráulico se debió a una rotura de la manguera hidráulica, razón por la cual procedieron a reemplazar la herramienta.

Por esta razón, es necesario realizar pruebas de funcionamiento al sistema del top drive. Así también, chequear el estado de sus componentes y pedir certificados de inspección, de esta manera se evitarían tiempos no productivos.

4.5.3.11 Insertos de cuña no adecuados

Se presento problemas en la cuña, en su diseño de inserción.

Se recomienda evaluar el funcionamiento de las herramientas de manipulación en el taladro para prevenir las pérdidas de tiempo por un mal funcionamiento.

4.5.3.12 Daño en Bombas (Reparación de Equipo)

Durante las operaciones de perforación evidenciaron un mal funcionamiento en una de las bombas, precedieron a realizar el chequeo respectivo y se detectó

fallas en el pistón y empaque, por tal motivo realizaron el cambio respectivo de esos componentes.

Para evitar inconvenientes de este tipo se debe realizar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo a los componentes de estos equipos.

4.5.3.13 Prueba de Bombas

Antes de bajar el ensamblaje de fondo se realizó una prueba de bombas, en la cual se evidenció un mal funcionamiento en una de ellas, por lo que inspeccionaron el funcionamiento y realizaron mantenimiento preventivo al equipo, lo que generó tiempo no productivo.

Se recomienda inspeccionar los equipos de la locación durante el DTM del taladro.

4.5.3.14 Reparación de Equipo (Manguerote)

Se detectaron problemas en el manguerote del top drive, razón por la cual, se reparó el mismo. Para evitar tener tiempos no productivos de este tipo es recomendable hacer un seguimiento continuo del top drive, inspeccionando sus componentes principales y comprobando su funcionalidad.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 INTRODUCCIÓN

La evaluación económica del presente capítulo considera dos factores fundamentales, los cuales fueron el motivo de estudio de este proyecto:

- La pérdida de dinero que se produce al tener tiempos no productivos en las operaciones de perforación, la cual será estudiada por cada pozo y por la clasificación previamente establecida en el tercer capítulo.
- El posible beneficio que se obtendría al aplicar la tasa de penetración óptima calculada en el capítulo anterior en las respectivas secciones, considerando el costo total sin la pérdida de dinero que se tiene debido al tiempo no productivo.

Los cálculos necesarios paso a paso para efectuar la interpretación económica de los pozos del campo Auca se muestra a detalle en el Anexo G mediante un ejemplo de cálculo.

El análisis económico por pozo en el presente capítulo se presentará en forma sintetizada, en el Anexo H se muestra las tablas de evaluación económica completas por pozo estudiado.

Para la interpretación económica de los tiempos no productivos se efectuó la clasificación de los mismos en base a lo establecido en el capítulo 3, cuya información detallada se encuentra en el Anexo I.

5.2 INTERPRETACIÓN ECONÓMICA DE LOS POZOS DEL CAMPO AUCA

5.2.1 POZO AUCA 001

Como indica la Tabla 5.1 el costo por hora del pozo fue de 7.530,39 USD/hrs, al tener 4 horas de tiempo no productivo, se obtuvo una pérdida de 30.121,56 USD.

Tabla 5.1: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 001

AUCA 001	
Costo Total (USD)	\$ 3.271.201,67
Tiempo de Ejecución (hrs)	434,40
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 7.530,39
Tiempo No Productivo (hrs)	4,00
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 30.121,56
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.241.080,11

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La sección conductor tiene un costo real por pie perforado de 6,38 USD/ft, dando como resultado un costo óptimo por pie perforado de 17,58 USD/ft, al aplicar la tasa de penetración óptima calculada de 25,8 ft/hr, generando de esta manera una pérdida de 11,20 USD/ft, por esta razón no se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

En la sección superficial se tiene un costo real por pie perforado de 149,84 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 82,2 ft/hr, se tiene un costo óptimo por pie perforado de 129,65 USD/ft, dando como resultado un ahorro de 20,19 USD/ft, concluyendo de esta manera que si es factible aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

El costo real por pie perforado de la sección intermedia es de 132,40 USD/ft, efectuando los cálculos necesarios con la tasa de penetración óptima calculada de 41,4 ft/hr, se obtuvo un costo óptimo por pie perforado de 227,46 USD/ft, resultando una pérdida de 95,06 USD/ft, razón por la cual no es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

A pesar de que se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada en la sección superficial, se obtiene una pérdida total por pie perforado de 86,07 USD/ft. Eliminando el tiempo no productivo de este pozo se obtendría un ahorro de 30.121,56 USD en el costo final del pozo.

Tabla 5.2: Análisis Económico del Pozo Auca 001

Profundidad Perforada (ft)			10357
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 312,94
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	211	4959	4382
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 6,38	\$ 149,84	\$ 132,40
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 288,61		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 374,69		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 17,58	\$ 129,65	\$ 227,46
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 11,20	\$ 20,19	-\$ 95,06
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 86,07		

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.2.2 POZO AUCA 002

En la Tabla 5.3 se observa que el costo por hora del pozo fue de 6.010,70 USD/hrs, al tener 34,5 horas de tiempo no productivo se obtuvo una pérdida de 207.369,20 USD.

Tabla 5.3: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 002

AUCA 002	
Costo Total (USD)	\$ 4.053.617,00
Tiempo de Ejecución (hrs)	674,40
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 6.010,70
Tiempo No Productivo (hrs)	34,50
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 207.369,20
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.846.247,80

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

En la sección conductor se tiene un costo real por pie perforado de 4,82 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 25,8 ft/hr, se tiene un costo óptimo por pie perforado de 9,18 USD/ft, dando como resultado una pérdida de 4,36 USD/ft, concluyendo de esta manera que no es factible aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

La sección superficial tiene un costo real por pie perforado de 148,89 USD/ft, dando como resultado un costo óptimo por pie perforado de 59,84 USD/ft cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 82,2 ft/hr, generando de esta manera un ahorro de 59,84 USD/ft, por esta razón se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

El costo real por pie perforado de la sección intermedia es de 125,15 USD/ft, efectuando los cálculos necesarios con la tasa de penetración óptima calculada de 41,4 ft/hr, se obtuvo un costo óptimo por pie perforado de 148,61 USD/ft, resultando una pérdida de 23,47 USD/ft, razón por la cual no es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

Al aplicar las tasas de penetración óptimas calculadas se tiene un ahorro total de 32,01 USD/ft, a pesar de que en la sección conductor e intermedias se generan pérdidas por pie perforado. Si no se hubiese producido tiempo no productivo, el costo final del pozo se hubiera reducido a 3.846.247,80 USD.

Tabla 5.4: Análisis Económico del Pozo Auca 002

Profundidad Perforada (ft)			12637
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 304,36
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	200	6182	5196
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 4,82	\$ 148,89	\$ 125,15
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 278,86		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 246,85		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 9,18	\$ 89,05	\$ 148,61
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 4,36	\$ 59,84	-\$ 23,47
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	\$ 32,01		

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.2.3 POZO AUCA 003

La Tabla 5.5 indica que el costo por hora del pozo fue de 6.629,51 USD/hrs, se obtuvo una pérdida de 291.698,51 USD al tener 44 horas de tiempo no productivo.

Tabla 5.5: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 003

AUCA 003	
Costo Total (USD)	\$ 3.468.560,48
Tiempo de Ejecución (hrs)	523,20
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 6.629,51
Tiempo No Productivo (hrs)	44,00
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 291.698,51
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.176.861,97

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La sección conductor tiene un costo real por pie perforado de 5,58 USD/ft, dando como resultado un costo óptimo por pie perforado de 12,95 USD/ft al aplicar la tasa de penetración óptima calculada de 25,8 ft/hr, generando de esta manera una pérdida de 7,37 USD/ft, por tal motivo no se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

El costo real por pie perforado de la sección superficial es de 156,66 USD/ft, efectuando los cálculos necesarios con la tasa de penetración óptima calculada de 82,2 ft/hr, se obtuvo un costo óptimo por pie perforado de 114,12 USD/ft, resultando un ahorro de 42,54 USD/ft, razón por la cual es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

En la sección intermedia se tiene un costo real por pie perforado de 107,52 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 41,4 ft/hr, se tiene un costo óptimo por pie perforado de 155,52 USD/ft, dando como resultado una pérdida de 47,99 USD/ft, concluyendo de esta manera que no es factible aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

Es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada para la sección superficial ya que genera un ahorro de 42,54 USD/ft, considerando la pérdida que se obtiene en las dos secciones restantes, se tienen una pérdida total de 12,83 USD/ft. Si no hubiera existido 44 horas de tiempo no productivo, se obtendría un ahorro de 291.698, 51 USD.

Tabla 5.6: Análisis Económico del Pozo Auca 003

Profundidad Perforada (ft)			10803
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 294,07
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	205	5755	3950
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 5,58	\$ 156,66	\$ 107,52
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 269,76		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 282,59		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 12,95	\$ 114,12	\$ 155,52
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 7,37	\$ 42,54	-\$ 47,99
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 12,83		

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.2.4 POZO AUCA 004

Como indica la Tabla 5.7 el costo por hora del pozo fue de 7.276,32 USD/hrs, al tener 72,5 horas de tiempo no productivo se obtuvo una pérdida de 527.533,16 USD.

Tabla 5.7: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 004

AUCA 004	
Costo Total (USD)	\$ 4.610.276,04
Tiempo de Ejecución (hrs)	633,60
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 7.276,32
Tiempo No Productivo (hrs)	72,50
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 527.533,16
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 4.082.742,88

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La sección conductor tiene un costo real por pie perforado de 7,34 USD/ft, dando como resultado un costo óptimo por pie perforado de 10,83 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada para esta sección, generando de esta manera una pérdida de 3,50 USD/ft, por esta razón no es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

La sección superficial tiene un costo real por pie perforado de 198,37 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 82,2 ft/hr, se tiene un costo óptimo por pie perforado de 91,93 USD/ft, generando de esta manera un ahorro de 106,44 USD/ft, por esta razón se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

El costo real por pie perforado de la sección intermedia es de 136,92 USD/ft, efectuando los cálculos necesarios con la tasa de penetración óptima calculada de 41,4 ft/hr, se obtuvo un costo óptimo por pie perforado de 125,99 USD/ft, resultando un ahorro de 10,93 USD/ft, razón por la cual es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

Al aplicar las tasas de penetración óptimas calculadas se tiene un ahorro total de 113,88 USD/ft. Si no se hubiese producido tiempo no productivo, el costo final del pozo se hubiera reducido a 4.082.742,88 USD.

Tabla 5.8: Análisis Económico del Pozo Auca 004

Profundidad Perforada (ft)			10939
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 373,23
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	215	5814	4013
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 7,34	\$ 198,37	\$ 136,92
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 342,62		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 228,75		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 10,83	\$ 91,93	\$ 125,99
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 3,50	\$ 106,44	\$ 10,93
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	\$ 113,88		

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.2.5 POZO AUCA 005

Como indica la Tabla 5.9 el costo por hora del pozo fue de 7.906,30 USD/hrs, al tener 21,5 horas de tiempo no productivo, se obtuvo una pérdida de 169.985,41 USD.

Tabla 5.9: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 005

AUCA 005	
Costo Total (USD)	\$ 4.117.600,00
Tiempo de Ejecución (hrs)	520,80
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 7.906,30
Tiempo No Productivo (hrs)	21,50
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 169.985,41
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.947.614,59

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La sección conductor tiene un costo real por pie perforado de 9,12 USD/ft, dando como resultado un costo óptimo por pie perforado de 19,02 USD/ft cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 25,8 ft/hr, generando de esta manera una pérdida de 9,90 USD/ft, por esta razón no se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

En la sección superficial se tiene un costo real por pie perforado de 205,38 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 82,2 ft/hr, se tiene un costo óptimo por pie perforado de 134,44 USD/ft, dando como resultado un ahorro de 70,95 USD/ft, concluyendo de esta manera que si es factible aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

En la sección intermedia el costo real por pie perforado es de 127,28 USD/ft, efectuando los cálculos necesarios con la tasa de penetración óptima calculada de 41,4 ft/hr, se obtuvo un costo óptimo por pie perforado de 165,42 USD/ft, resultando una pérdida de 38,14 USD/ft, razón por la cual no es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

A pesar de que no se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada en la sección conductora e intermedia, se obtiene un ahorro total por pie perforado de 22,91 USD/ft. Eliminando el tiempo no productivo de este pozo se obtendría un ahorro de 169.985,41 USD en el costo final del pozo.

Tabla 5.10: Análisis Económico del Pozo Auca 005

Profundidad Perforada (ft)			10650
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 370,67
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	262	5901	3657
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 9,12	\$ 205,38	\$ 127,28
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 341,78		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 318,87		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 19,02	\$ 134,44	\$ 165,42
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 9,90	\$ 70,95	-\$ 38,14
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	\$ 22,91		

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.2.6 POZO AUCA 006

Como indica la Tabla 5.11 el costo por hora del pozo fue de 6.717,18 USD/hrs, al tener 28 horas de tiempo no productivo se obtuvo una pérdida de 188.081,11 USD.

Tabla 5.11: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 006

AUCA 006	
Costo Total (USD)	\$ 3.740.127,28
Tiempo de Ejecución (hrs)	556,80
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 6.717,18
Tiempo No Productivo (hrs)	28,00
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 188.081,11
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.552.046,17

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La sección conductor tiene un costo real por pie perforado de 6,23 USD/ft, dando como resultado un costo óptimo por pie perforado de 14,93 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada para esta sección, generando de esta manera una pérdida de 8,69 USD/ft, por esta razón no es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

La sección superficial tiene un costo real por pie perforado de 172,47 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 82,2 ft/hr, se tiene un costo óptimo por pie perforado de 129,66 USD/ft, generando de esta manera un ahorro de 42,81 USD/ft, por esta razón se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

El costo real por pie perforado de la sección intermedia es de 115,21 USD/ft, efectuando los cálculos necesarios con la tasa de penetración óptima calculada de 41,4 ft/hr, se obtuvo un costo óptimo por pie perforado de 171,97 USD/ft, resultando una pérdida de 56,76 USD/ft, razón por la cual no es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

Al aplicar las tasas de penetración óptimas calculadas se tiene una pérdida total de 22,65 USD/ft por pie perforado, tomando en cuenta que se obtuvieron pérdidas en la sección conductor e intermedia. Si no se hubiese producido tiempo no productivo, el ahorro al costo final de este pozo hubiera sido de 188.081,11 USD.

Tabla 5.12: Análisis Económico del Pozo Auca 006

Profundidad Perforada (ft)			11224
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 316,47
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	221	6117	4086
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 6,23	\$ 172,47	\$ 115,21
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 293,91		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 316,56		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 14,93	\$ 129,66	\$ 171,97
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 8,69	\$ 42,81	-\$ 56,76
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 22,65		

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.2.7 POZO AUCA 007

En la Tabla 5.13 se observa que el costo por hora del pozo fue de 6.656,64 USD/hrs, se obtuvo una pérdida de 53.253,13 USD al tener 8 horas de tiempo no productivo.

Tabla 5.13: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 007

AUCA 007	
Costo Total (USD)	\$ 3.322.995,27
Tiempo de Ejecución (hrs)	499,20
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 6.656,64
Tiempo No Productivo (hrs)	8,00
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 53.253,13
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.269.742,14

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La sección conductor tiene un costo real por pie perforado de 5,61 USD/ft, dando como resultado un costo óptimo por pie perforado de 11,17 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 25,8 ft/hr, generando de esta manera una pérdida de 5,57 USD/ft, por tal motivo no se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

El costo real por pie perforado de la sección superficial es de 157,43 USD/ft, efectuando los cálculos necesarios con la tasa de penetración óptima calculada de 82,2 ft/hr, se obtuvo un costo óptimo por pie perforado de 98,47 USD/ft, resultando un ahorro de 58.96 USD/ft, razón por la cual es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

En la sección intermedia se tiene un costo real por pie perforado de 115,61 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 41,4 ft/hr, se tiene un costo óptimo por pie perforado de 143,58 USD/ft, dando como resultado una pérdida de 27,97 USD/ft, concluyendo de esta manera que no es factible aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

Considerando la pérdida que se obtiene en la sección conductora e intermedia, se tiene un ahorro total de 93,71 USD/ft.

Si no hubiera existido 8 horas de tiempo no productivo, se obtendría un ahorro de 53.253,13 USD.

Tabla 5.14: Análisis Económico del Pozo Auca 007

Profundidad Perforada (ft)			10800
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 302,75
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	200	5616	4124
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 5,61	\$ 157,43	\$ 115,61
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 278,65		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 253,22		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 11,17	\$ 98,47	\$ 143,58
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 5,57	\$ 58,96	-\$ 27,97
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	\$ 25,42		

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.2.8 POZO AUCA 008

En la Tabla 5.15 se observa que el costo por hora del pozo fue de 7.571,85 USD/hrs, al tener 8 horas de tiempo no productivo se obtuvo una pérdida de 60.574,78 USD.

Tabla 5.15: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 008

AUCA 008	
Costo Total (USD)	\$ 3.798.038,80
Tiempo de Ejecución (hrs)	501,60
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 7.571,85
Tiempo No Productivo (hrs)	8,00
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 60.574,78
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.737.464,02

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

En la sección conductor se tiene un costo real por pie perforado de 7,97 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 25,8 ft/hr se tiene un costo óptimo por pie perforado de 20,68 USD/ft, dando como resultado una pérdida de 12,71 USD/ft, concluyendo de esta manera que no es factible aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

La sección superficial tiene un costo real por pie perforado de 178,54 USD/ft, dando como resultado un costo óptimo por pie perforado de 145,47 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 82,2 ft/hr, generando de esta manera un ahorro de 33,07 USD/ft, por esta razón se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

El costo real por pie perforado de la sección intermedia es de 132,11 USD/ft, efectuando los cálculos necesarios con la tasa de penetración óptima calculada de 41,4 ft/hr, se obtuvo un costo óptimo por pie perforado de 213,72 USD/ft, resultando una pérdida de 81,61 USD/ft, razón por la cual no es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

Al aplicar las tasas de penetración óptimas calculadas se tiene una pérdida total de 61,24 USD/ft, por pie perforado, a pesar de que en la sección superficial no se obtuvieron pérdidas. Si no se hubiese producido tiempo no productivo, el costo final del pozo se hubiera reducido a 3.737.464,02 USD.

Tabla 5.16: Análisis Económico del Pozo Auca 008

Profundidad Perforada (ft)			10830
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 345,10
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	250	5603	4146
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 7,97	\$ 178,54	\$ 132,11
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 318,62		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 379,87		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 20,68	\$ 145,47	\$ 213,72
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 12,71	\$ 33,07	-\$ 81,61
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 61,24		

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.2.9 POZO AUCA 009

Como indica la Tabla 5.17 el costo por hora del pozo fue de 8.812,34 USD/hrs, al tener 17,5 horas de tiempo no productivo se obtuvo una pérdida de 154.216,03 USD.

Tabla 5.17: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 009

AUCA 009	
Costo Total (USD)	\$ 4.187.626,09
Tiempo de Ejecución (hrs)	475,20
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 8.812,34
Tiempo No Productivo (hrs)	17,50
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 154.216,03
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 4.033.410,06

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La sección conductor tiene un costo real por pie perforado de 8,31 USD/ft, dando como resultado un costo óptimo por pie perforado de 20,64 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada para esta sección, generando de esta manera una pérdida de 12,33 USD/ft, por esta razón no es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

La sección superficial tiene un costo real por pie perforado de 203,37 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 82,2 ft/hr, se tiene un costo óptimo por pie perforado de 158,60 USD/ft, generando de esta manera un ahorro de 44,77 USD/ft, por esta razón se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

En la sección intermedia el costo real por pie perforado es de 137,64 USD/ft, efectuando los cálculos necesarios con la tasa de penetración óptima calculada de 41,4 ft/hr, se obtuvo un costo óptimo por pie perforado de 213,12 USD/ft, resultando una pérdida de 75,48 USD/ft, razón por la cual no es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

Al aplicar las tasas de penetración óptimas calculadas se tiene una pérdida total de 43,04 USD/ft por pie perforado, tomando en cuenta que no se obtuvieron pérdidas en la sección superficial. Si no se hubiese producido tiempo no productivo, el ahorro al costo final de este pozo hubiera sido de 154.216,03 USD.

Tabla 5.18: Análisis Económico del Pozo Auca 009

Profundidad Perforada (ft)			10637
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 379,19
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	233	5705	3861
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 8,31	\$ 203,37	\$ 137,64
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 349,31		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 392,36		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 20,64	\$ 158,60	\$ 213,12
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 12,33	\$ 44,77	-\$ 75,48
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 43,04		

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.2.10 POZO AUCA 010

Como indica la Tabla 5.19 el costo por hora del pozo fue de 7.431,48 USD/hrs, al tener 14,50 horas de tiempo no productivo, se obtuvo una pérdida de 107.756,52 USD.

Tabla 5.19: Análisis Económico del Tiempo No Productivo del Pozo Auca 010

AUCA 010	
Costo Total (USD)	\$ 4.209.192,67
Tiempo de Ejecución (hrs)	566,40
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 7.431,48
Tiempo No Productivo (hrs)	14,50
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 107.756,52
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 4.101.436,15

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La sección conductor tiene un costo real por pie perforado de 7,06 USD/ft, dando como resultado un costo óptimo por pie perforado de 14,39 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada para esta sección, generando de esta manera una pérdida de 7,33 USD/ft, por esta razón no se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

En la sección superficial se tiene un costo real por pie perforado de 197,05 USD/ft, cuando se aplica la tasa de penetración óptima calculada de 82,2 ft/hr, se tiene un costo óptimo por pie perforado de 126,07 USD/ft, dando como resultado un ahorro de 70,98 USD/ft.

De esta manera se concluye que si factible aplicar la tasa de penetración óptima calculada para la sección superficial.

El costo real por pie perforado de la sección intermedia es de 135,89 USD/ft, efectuando los cálculos necesarios con la tasa de penetración óptima calculada de 41,4 ft/hr, se obtuvo un costo óptimo por pie perforado de 172,61 USD/ft, resultando una pérdida de 36,73 USD/ft, razón por la cual no es recomendable aplicar la tasa de penetración óptima calculada.

A pesar de que no se recomienda aplicar la tasa de penetración óptima calculada en la sección conductor e intermedia, se obtiene un ahorro total por pie perforado de 26,92 USD/ft.

Eliminando el tiempo no productivo de este pozo se obtendría un ahorro de 107.756,52 USD en el costo final del pozo.

Tabla 5.20: Análisis Económico del Pozo Auca 010

Profundidad Perforada (ft)			11150
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 367,84
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	214	5973	4119
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 7,06	\$ 197,05	\$ 135,89
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 340,00		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 313,07		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 14,39	\$ 126,07	\$ 172,61
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 7,33	\$ 70,98	-\$ 36,73
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	\$ 26,92		

Fuente: Documentos ARCH

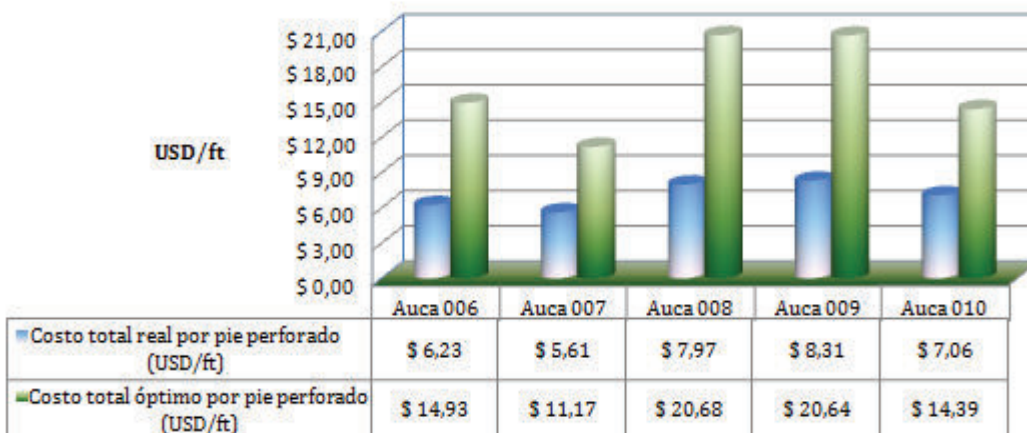
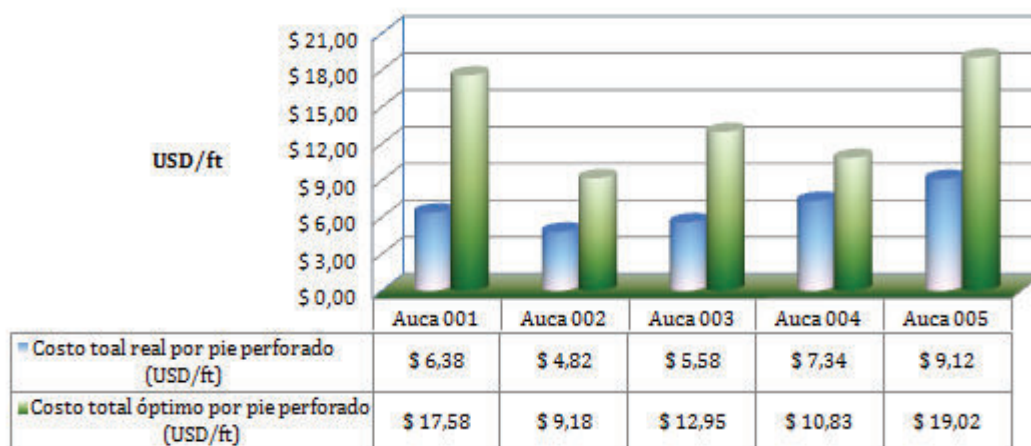
Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.3 COMPARACIÓN ECONÓMICA REAL/ÓPTIMA DE LAS SECCIONES DEL CAMPO AUCA

5.3.1 SECCIÓN CONDUCTOR 26”

El Gráfico 5.1 nos permite observar que la tasa de penetración óptima recomendada para esta sección no permite obtener un ahorro considerable. En los Pozos Auca 002, 004 y 007 presentan una pérdida pequeña mientras que en los Pozos Auca 001, 005, 008 y 009 la pérdida es significativa.

Gráfico 5.1: Comparación Económica Real/Óptima en la Sección Conductor



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.3.2 SECCIÓN SUPERFICIAL 16”

En el Gráfico 5.2 se observa que la tasa de penetración óptima recomendada para esta sección permite obtener un ahorro en todos los pozos. Presentándose un ahorro significativo en los Pozos Auca 004, 005 y 010.

Gráfico 5.2: Comparación Económica Real/Óptima en la Sección Superficial



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.3.3 SECCIÓN INTERMEDIA 12 ¼”

Como se observa en el Gráfico 5.3, la tasa de penetración óptima recomendada para esta sección permite obtener un ahorro únicamente en el Pozo Auca 004, mientras que en el resto de los pozos presentan una pérdida. Presentándose

pérdidas pequeñas en el Pozo Auca 002 y 007, mientras que una pérdida significativa se da en el Pozo Auca 001.

Gráfico 5.3: Comparación Económica Real/Óptima en la Sección Intermedia

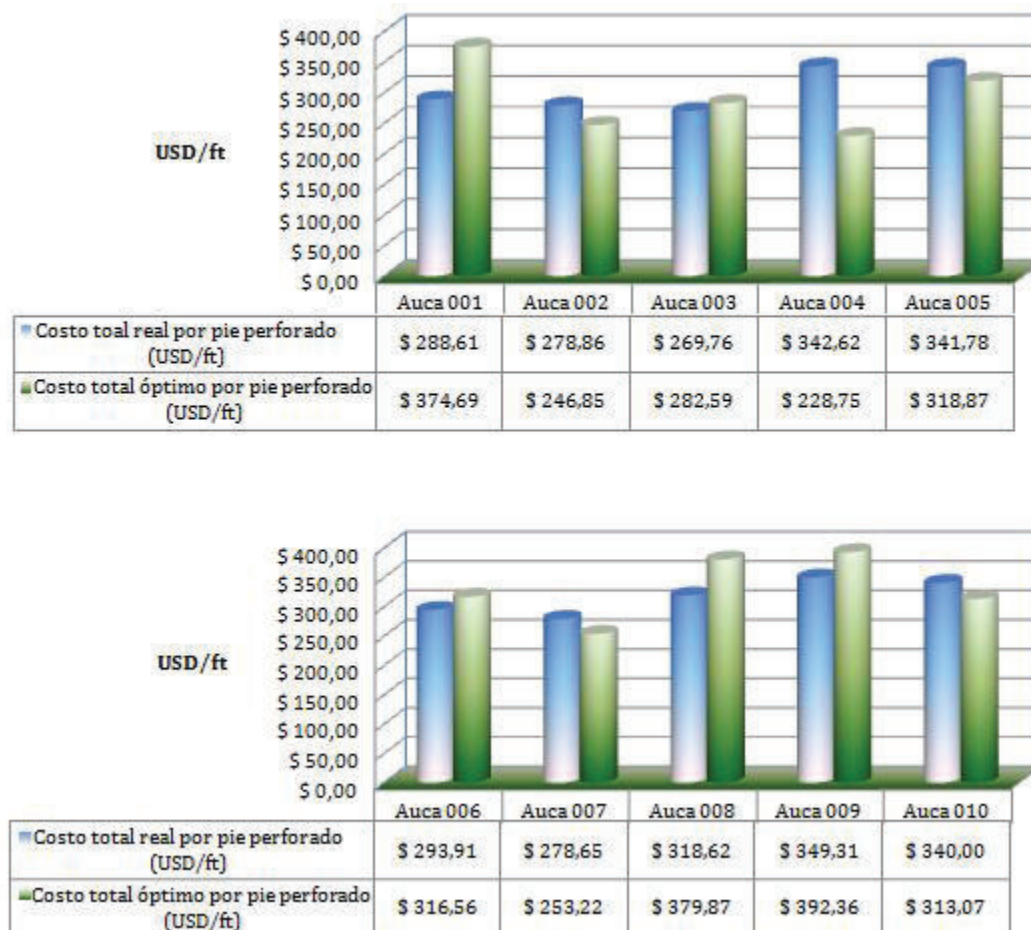


Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.4 COMPARACIÓN ECONÓMICA TOTAL REAL/ÓPTIMA DE LAS SECCIONES DEL CAMPO AUCA

El Gráfico 5.4, nos permite visualizar que en los Pozos Auca 002, 004, 005, 007 y 010 se presenta un ahorro a pesar de que en algunas secciones de los pozos en estudio se evidenciaron pérdidas no significativas y significativas. En los demás pozos se evidencian pérdidas.

Gráfico 5.4: Comparación Económica Total Real/Óptima del Campo Auca

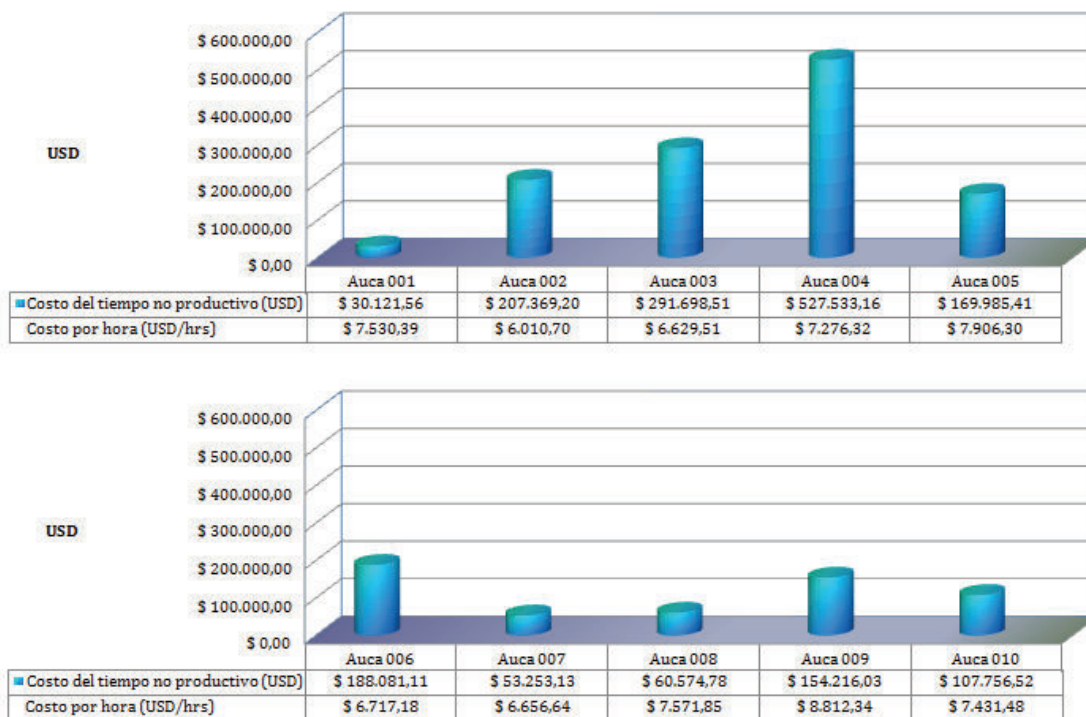
Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

5.5 INTERPRETACIÓN GRÁFICA DEL COSTO DEL TIEMPO NO PRODUCTIVO DEL CAMPO AUCA

Como se observa en el Gráfico 5.5, la mayor pérdida por tiempo no productivo en el costo final del pozo se generó en el Pozo Auca 004 a pesar que es el sexto pozo con mayor costo por hora en las operaciones de perforación. El pozo que presentó menor pérdida fue el Pozo Auca 001 debido a sus 4 horas de tiempo no productivo y teniendo en cuenta que es el cuarto pozo con mayor costo por hora en las operaciones de perforación.

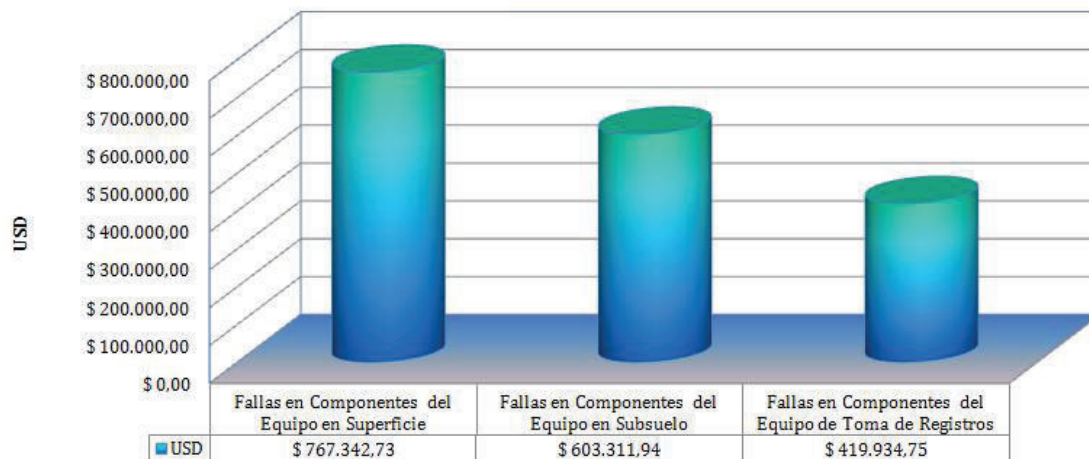
Gráfico 5.5: Costo del Tiempo No Productivo de los Pozos del Campo Auca



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

Gráfico 5.6: Costo del Tiempo No Productivo Según su Clasificación



Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

La Gráfica 5.6, nos indica que la mayor pérdida en el costo final de los 10 pozos del Campo Auca se debió a las fallas en los componentes del equipo en superficie con un precio de 767.342,73 USD, seguido de 603.311,94 USD que corresponden a fallas en componentes del equipo en el subsuelo y finalmente con 419.934,75 USD en fallas de los componentes del equipo en toma de registros.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Los tiempos no productivos son generados por fallas en los componentes de los equipos en superficie, en el subsuelo y en la toma de registros. En algunos casos, el personal es responsable de ocasionar NPT debido a que no están totalmente capacitados para manejar herramientas y equipos durante las operaciones de perforación.
- En ocasiones, los tiempos no productivos pueden generarse por falta de logística de la empresa proveedora de herramientas y equipos.
- La mayoría de los problemas que ocasionan tiempos no productivos se debe a que no se aplica un mantenimiento preventivo a los equipos, no se comprueba previamente su funcionamiento y no se chequea el estado en el cual se encuentran sus componentes principales.
- Los recortes de perforación pueden llegar a taponar líneas de flujo y evitar el paso del lodo de perforación.
- El embolamiento, empaquetamiento y desgaste de la broca son problemas que afectan las operaciones de perforación y por ende llevaría a obtener tiempos no productivos no deseados.
- De acuerdo a la clasificación de los problemas que generan tiempos no productivos, se evidenció claramente que la mayoría de los problemas se dio por fallas en los componentes del equipo en superficie con un total de 109 horas de NPT. Esto debido a la falta de mantenimiento de los equipos y por no comprobar previamente su funcionamiento.

- De los 10 pozos analizados del Campo Auca, se determinó que en la sección intermedia ocurrió el mayor tiempo no productivo con 187,5 horas, siendo el problema más relevante el daño en el top drive. La sección superficial presentó 59,5 horas de NPT, siendo su principal problema la suspensión de las operaciones de perforación. El wash out fue el problema más relevante de la sección conductor, en dicha sección se evidenciaron 5,5 horas de NPT. La Tabla 6.1 nos permite observar que el NPT total de los 10 pozos analizados fue de 252,5 horas.

Tabla 6.1: Resumen de Tiempos No Productivos por Secciones

SECCIONES	SECCIÓN CONDUCTOR 26"	SECCIÓN SUPERFICIAL 16"	SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"
NPT	5,5	59,5	187,5
NPT TOTAL	252,5		

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

- El método de Chi-Cuadrado descrito en el Capítulo IV nos indicó que existe la misma probabilidad de obtener problemas en los componentes del equipo en superficie, subsuelo y en toma de registros de las secciones en estudio.
- El modelo matemático efectuado nos permite determinar mediante una ecuación si dos o más variables, que se cree son independientes, influyen en una sola variable, para cumplir con este propósito se usa el modelo de regresión lineal múltiple. Este método es eficaz siempre y cuando se tomen en consideración los criterios de validación del modelo.
- Se debe considerar que la tasa de penetración no depende únicamente del peso sobre la broca, torque, caudal, presión, revoluciones por minuto y densidad, sino también del tipo de formación y factores externos que pudieran afectarla.

- El modelo matemático realizado en el cuarto capítulo nos permite concluir que la tasa de penetración está intrínsecamente relacionada con el WOB, Torque, Presión, Caudal y RPM, dejando de lado a la densidad del fluido de perforación, a pesar de que en las ecuaciones determinadas por secciones que se muestran en la Tabla 6.2 no considera a todos esos parámetros de perforación.

Tabla 6.2: Modelo Matemático Determinado para las Secciones del Campo Auca

MODELO MATEMÁTICO DETERMINADO	
Sección Conductor	$ROP: 15,95 - 0,773 WOB + 0,0494 Caudal + 0,1368 RPM$
Sección Superficial	$ROP = 74,47 + 0,01118 Presión - 0,1253 RPM$
Sección Intermedia	$ROP: 50,04 + 0,497 WOB - 1,296 Torque$

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

- La Tabla 6.3 nos permite concluir que el modelo matemático efectuado es más óptimo en las secciones superficial e intermedia, ambos con una significancia observada de 0,001.

Tabla 6.3: Validez del Modelo Efectuado en las Secciones del Campo Auca

VALIDEZ DEL MODELO EFECTUADO		
Sección Conductor	Regresión Efectuada	0,004
Sección Superficial	Regresión Efectuada	0,001
Sección Intermedia	Regresión Efectuada	0,001

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

- La ROP óptima calculada para la sección conductor no es válida en ningún pozo, mientras que las tasas de penetración óptima calculadas en la sección superficial e intermedia son las más eficientes con 100% y 10% de

validez, esto puede deberse a la significancia observada del modelo de regresión efectuado en cada una de las secciones.

- A pesar de que al aplicar las tasas de penetración óptimas calculadas en las respectivas secciones generaron pérdidas y ahorro en la relación (real/óptimo) por pie perforado, la relación total (real/óptimo) por pie perforado de las tres secciones generaron un ahorro para la empresa en un 50%.
- La evaluación económica del tiempo no productivo nos permitió determinar que el costo por fallas en los componentes del equipo en superficie fue el más alto con \$767.342,73.
- Los fluidos de perforación más usados en cada sección durante estas operaciones se muestran en la Tabla 6.4, con su respectivo porcentaje.

Tabla 6.4: Fluidos de Perforación Más Usados en la Perforación del Campo Auca

Sección [Pulgadas]	Fluido de Perforación	Porcentaje (%)	
26	Gel-Benex / Gel Polímero	40	40
16	Nitrato de Calcio	90	
12 ¼	Perflex	90	
8 ½	Perflex Drill In	70	

Fuente: Documentos ARCH

Elaborado por: Fauta Vinicio, Pacheco Luis

6.2 RECOMENDACIONES

- Para disminuir los tiempos no productivos es necesario realizar un mantenimiento continuo, efectuar pruebas de funcionalidad y comprobar el estado de todos los componentes de los equipos que se usan en las operaciones de perforación.
- Es recomendable tener una back up de las herramientas y componentes principales de los equipos, así como también se requiere efectuar un monitoreo de los mismos durante el DTM del taladro. De esta manera, si algún componente o equipo presenta fallas se procede a reemplazarlo y evitaríamos que se detengan las operaciones de perforación.
- Trabajar con caudales óptimos durante la perforación que permitan acarrear los cortes de perforación en el anular y de esta manera prevenir inconvenientes durante los viajes de calibración y asegurar la limpieza del hoyo.
- Se debe bombear píldoras de limpieza para evitar el embolamiento de la broca, empaquetamientos u otros problemas derivados de la limpieza inadecuada del hoyo.
- Cuando existen problemas de desgaste en la broca se requiere realizar el cambio de la misma, ya que la tasa de penetración tiende a disminuir.
- Perforar con parámetros controlados en formaciones abrasivas con el fin de evitar el desgaste acelerado de la broca obviando así viajes a superficie innecesarios.
- Es indispensable pedir certificados de inspección de todos los equipos que se encuentran en la locación. Así como también efectuar un monitoreo continuo de las herramientas y equipos durante el DTM del taladro, de esta

manera podemos disminuir posibles pérdidas de tiempo debido a fallas en los componentes de los equipos.

- Se recomienda la implementación de una cátedra que involucre el diseño de modelos matemáticos que permitan simular las condiciones de perforación a través de la variación de parámetros como peso sobre la broca, RPM, caudal entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

Calispa, D. Proaño M. (2011). *Optimización del Campo Auca mediante Análisis Nodal*. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingenieros en Petróleos. Disponible en:

- <http://bibdigital.epn.edu.ec/>

Caicedo, A. Cuenca, W. (2009). *Optimización de las Facilidades de Producción del Campo Auca para las actuales condiciones de operación del campo*. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingenieros en Petróleos. Disponible en:

- <http://bibdigital.epn.edu.ec/>

Gavilanes, J. Torres, L. (2009). *Actualización de Reservas y Estimación de la Producción de los Campos Auca y Auca Sur*. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingenieros en Petróleos. Disponible en:

- <http://bibdigital.epn.edu.ec/>

SPE International. *Casing and Tubing*. PetroWiki. 2015. Fecha de última modificación: 25 de Junio del 2015, [Fecha de consulta: 16 de Septiembre del 2015]. Disponible en:

- http://petrowiki.org/Casing_and_tubing?rel=2

Lyons, William C., Plisga, Gary J., *Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering*. Second Edition. USA: Elsevier, 2004. 508 páginas.

Rahman, S.S. y Chilingarian, G.V., *Casing Design Theory and Practice*. Netherlands- Amsterdam: 1995. 271 páginas.

Bourgoyne, Adam T., Millheim, Keith K., Chenevert, Martín E., Young, F.S., *Applied Drilling Engineering*. Second Edition. Richardson, Texas: 1991. 508 páginas.

Hawker, D., Vogt, K., Robinson A., *Datalog, Procedimientos y Operaciones en el pozo*. Cánada: 2002. 275 páginas.

Smith, M., *Directional Drilling Training Manual – Section 9: Drilling Fluids and Hydraulics*. USA-Houston Texas: 1996. 24 Páginas.

Jiménez, J., Rivera, C. (2009). “*Mejoramiento de la Hidráulica de Pozos Verticales y Direccionales Durante su Construcción*” Caso: Pozos Ubicados en los Campos Zapatos y Mata R del Área Mayor de Oficina (AMO) Perteneciente al Distrito Social Anaco. Trabajo de Grado. Recuperado de:

- <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/1554/1/04-TEISIS.IP009.J40.pdf>

Principios Teóricos de la Prueba Chi-Cuadrado: Monge, Juan., Juan, Ángel., “*Estadística no Paramétrica: Prueba CHI-CUADRADO X²*”. Disponible en:

- http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Chi_cuadrado.pdf

Fabara, J. (2013). *Optimización de la Hidráulica para Brocas de Perforación en los Campos Auca y Drago de EP PETROECUADOR*. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Petróleos. Recuperado de:

- <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6760?mode=full>

Centala, P., Challa, V., Durairajan, B., Meehan, R., Páez, L., Partin, U., Segal, S., Wu, S., Garrett, I., Teggart, B., Tetley, N. (2011). *El diseño de las barrenas: desde arriba hasta abajo*. Recuperado de:

- http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish11/sum11/01_bit_design.pdf

Albán, C., Álvarez, F. (2014). *Determinación de los Parámetros Óptimos de Perforación en el Campo Sacha*. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Petróleos. Recuperado de:

- <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7151>

Grupo CEDIP. *Barrenas e Hidráulica de Perforación*. Recuperado de:

- <http://www.cedip.edu.mx/tomos/tomo04.pdf>

Grupo CEDIP. *Diseño de la Perforación de Pozos*. Recuperado de:

- <http://www.oilproduction.net/cms3/files/Diseno%20de%20perforacion.pdf>

ESP OIL – Engineering Consultants. (2009). *Programa de Adiestramiento: Conjunto de fondo BHA*. Recuperado de:

- <http://www.espoil.net/capacitaciones.php?parent=15&idrubro=1>

Chris Rhodes. (2001). *La planificación inteligente reduce el tiempo no productivo*. Recuperado de:

- http://www.slb.com/~/media/Files/resources/oilfield_review/spanish01/aut01/editorial.pdf

Nabaei, M., Azari, A., Moazzeni, A. (2011). *Reducing Consumed Energy while Drilling an Oil Well through a Deep Rig Time Analysis*. Recuperado de:

- http://www.researchgate.net/publication/228851464_Reducing_Consumed_Energy_while_Drilling_an_Oil_Well_through_a_Deep_Rig_Time_Analysis

Rivas, J. (2002). *Evaluación Estadística de las Actividades No Productivas y sus Tiempos Asociados en las áreas San Tomé, Punta de Mata, Ancón y Maturí*. Trabajo Especial de Grado. Recuperado de:

- <http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/221/1/Tesis%20Final.pdf>

Morán, E. (2014). *Análisis Técnico de las Lecciones Aprendidas y Factores que Provocan los Tiempos No Productivos de las Operaciones de Perforación en el Campo Oso de la Amazonía Ecuatoriana a partir del año 2013 a la presente fecha*. Trabajo Previo a la Obtención del Título de Ingeniera de Petróleos. Recuperado de:

- <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/5266>

Eren, T. (2010). Real-Time-Optimization of Drilling Parameters during Drilling Operation. Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences. Recuperado de:

- <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-129126-MS>

Cárdenas, G. (2008). *Evaluación Petrolera y Métodos de explotación en el complejo Ku-Maloob-Zaap*. Tesis de Licenciatura. Recuperado de:

- <http://www.ingenieria.unam.mx/bibliotecas/menuLateral/repositorio.php>

Salvador, U. (2010). *Evaluación Petrolera y Métodos de Explotación en la Cuenca de Burgos*. Trabajo Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Petrolero. Recuperado de:

- <http://www.ingenieria.unam.mx/bibliotecas/menuLateral/repositorio.php>

De la Vega, J., Olivera, N. (2012). *Evaluación de la Productividad de un Pozo Multilateral*. Tesis Profesional para obtener el título de Ingeniera Petrolera. Recuperado de:

- <http://www.ingenieria.unam.mx/bibliotecas/menuLateral/repositorio.php>

Schlumberger. (2014). *Programa de Entrenamiento Acelerado para Supervisores. Introducción a la Perforación, Metodología de IPM*. Disponible en:

- <http://es.slideshare.net/MagnusMG/12-introduccion-a-la-perforacion-metodologia-ipm>

Calispa, C. Villegas, F. (2013). Análisis técnico para la optimización de los parámetros y variables de perforación en la cuenca oriente. Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero de Petróleos. Recuperado de:

- <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1247/1/T-UCE-0012-242.pdf>

Castro, Y. Illan, C. Lugo, K. Meza, L. Mondragón, T. (2013). *Guía de diseño para el asentamiento y diseño de las tuberías de revestimiento*. Recuperado de:

- <https://tecnologiadelaperforacionipn.files.wordpress.com/2013/05/guc3ada-de-disec3b1o-para-el-asentamiento-y-disec3b1o-de-tuberc3adas-de-revestimiento.pdf>

Gutierrez, Humberto, De La Vara, Román, *Análisis y Diseño de Experimentos*. Segunda Edición. México. 564 páginas.

Software Minitab 17. (2014). Estadística descriptiva, Análisis y diseño de experimentos. (Última versión)

GLOSARIO

- **Acuíferos.-** Es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas.
- **Ángulo de Desviación.-** Llamada también inclinación, es el ángulo entre el eje del pozo y la vertical hacia abajo..
- **Bloque Viajero.-** Es un componente que se utiliza para la elevación de equipos de perforación o workover.
- **BOP.-** Conjunto preventor de reventones.
- **Cabezal del Pozo.-** Es el sistema de bridas dobles, válvulas y adaptadores diversos que proporcionan el control de la presión de un pozo de producción.
- **Cash Tank.-** Son tanques de almacenamiento de crudo que pueden ser horizontales y verticales.
- **Casing Drive System.-** Es una herramienta potente que funcionan como carcasa, se adapta al casing para reducir los riesgos asociados a corridas del casing.
- **Cementación.-** Proceso por el cual se corrige o se aísla una zona productora de petróleo, gas o agua mediante la inyección de cemento en los punzados.

- **Collar Flotador.-** El Collar de flotación puede controlar de forma precisa la altura del cemento dentro de la mezcla para así poder proveer de una mejor calidad de cementación.
- **Corrosión.-** Se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
- **Domos Salinos.-** Se forman como consecuencia de la flotabilidad relativa de la sal cuando se encuentra sepultada por debajo de otros tipos de sedimentos.
- **Flow Line.-** Línea de flujo, es la tubería que lleva el fluido de perforación desde el pozo hacia las zarandas.
- **Formación.-** Conjunto de rocas sedimentarias que pueden o no almacenar fluido o gas.
- **Hidromático.-** Es una herramienta que va incorporado en el malacate y funciona como freno.
- **Jets (Broca).-** Toberas o boquillas a través de las cuales sale el fluido a una velocidad definida por el tamaño de las mismas.
- **LWD.-** Logging While Drilling, toma de registros durante la perforación.
- **Malacate.-** La máquina del equipo de perforación, consistente en un tambor de acero de gran diámetro, los frenos, una fuente de potencia y diversos dispositivos auxiliares. La función principal del malacate es de desenrollar y enrollar el cable de perforación, un cable de gran diámetro, de manera controlada.

- **Manguerote.-** Es la manguera de inyección de lodo.
- **Mesa Rotaria.-** Equipo de superficie que transfiere la potencia de los motores a la sarta de perforación con el objetivo de lograr un movimiento de rotación.
- **MLU.-** Por sus siglas en inglés: unidad de registro de lodo.
- **MWD.-** La adquisición de mediciones durante la perforación. Las mediciones se adquieren en el fondo del pozo, se almacenan un cierto tiempo en una memoria de estado sólido y posteriormente se transmiten a la superficie. Los métodos de transmisión de datos varían entre una compañía y otra, pero generalmente consisten en la codificación digital de los datos y su transmisión a la superficie como pulsos de presión en el sistema de lodo.
- **Profundidad Media (MD).-** Distancia medida a lo largo de la trayectoria del pozo.
- **Profundidad Total (TD).-** Máxima profundidad alcanzada en un pozo.
- **Profundidad Vertical Verdadera (TVD).-** Distancia vertical medida generalmente desde la plataforma de perforación hasta un punto en el pozo.
- **Recortes de Perforación.-** Fragmentos de roca que son llevados a la superficie por medio del fluido de perforación.
- **Saver-sub.-** Sustituto de protección para tuberías de perforación. Está diseñada con una estructura de aleación de acero.

- **TDS (Top Drive System).**- Es un dispositivo que mide el nivel de torque impuesto en la perforación.
- **Top Drive.**- Dispositivo mecánico ubicado en una plataforma de perforación que transmite el torque necesario a la sarta de perforación para facilitar el proceso de perforación del hoyo.
- **Zarandas.**- Es el dispositivo principal y quizás más importante, del equipo de perforación para remover los sólidos perforados del lodo.

Anexo A: Especificaciones de los Parámetros de Perforación de los Pozos del
Campo Auca

Anexo A-1: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 001

SECCIÓN CONDUCTOR 26"												
BROCA TRICONICA 26"			BHA # 1									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
T11	115	D182020	Desde: 44 ft				Hasta: 255 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
211	8	26,38	2	16	2	4	10	270	150	270	30	80

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA PDC 16"			BHA # 2									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
TFR519S-A1	S423	E147791	Desde: 255 ft				Hasta: 5214 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
4959	48,8	101,69	2	22	1,5	13	2650	3750	980	1050	94	216

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 3									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado - Napo					
E1134-A1	M423	A171756	Desde: 5214 ft				Hasta: 9596 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
4382	77,5	56,54	5	45	3	10	1547	3550	800	880	132	240

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"												
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 4									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo					
DSR619M-B10	M323	E175480	Desde: 9596 ft				Hasta: 9735 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
139	4,2	33,10	5	18	3	5	1400	1500	400	400	156	196
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 6									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo, Hollín					
DSR619M-B10	M323	E175480	Desde: 9795 ft				Hasta: 10160 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
365	14,5	25,17	8	12	2	11	1250	1400	400	400	156	196
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 8									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Hollín					
DSR619M-B10	M323	E175480	Desde: 10220 ft				Hasta: 10357 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
137	4,5	30,44	8	12	3	4	1350	1350	400	400	196	196

Anexo A-2: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 002

SECCIÓN CONDUCTOR 26"												
BROCA TRICONICA 26"			BHA # 1									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
T11	115	D439137	Desde: 46 ft				Hasta: 246 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
200	6	33,33	2	15	1	5	160	160	150	300	30	100

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA PDC 16"			BHA # 2									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
TFH519S	S323	E197076	Desde: 246 ft				Hasta: 6428 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
6182	78	79,26	2	35	2	30	400	3100	400	1050	84	196

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 4									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado - Tena					
E1134-A1	M423	A198488	Desde: 6428 ft				Hasta: 10479 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
4051	116,5	34,77	2	40	6	30	1200	3200	600	880	136	201
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 5									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Tena					
RSR519M-B30	M323	A149022	Desde: 10479 ft				Hasta: 10861 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
382	10,5	36,38	5	22	15	24	2900	3250	880	880	181	181
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 6									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Tena, Napo					
RSR519M-B30	M323	A149022	Desde: 10861 ft				Hasta: 11624 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
763	24,5	31,14	4	30	12	27	2020	3300	650	880	144	201

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"												
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 7									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo, Hollín					
DSR619M-B10	M323	E149503	Desde: 11624 ft				Hasta: 12637 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1013	31	32,68	10	20	10	27	1200	1900	400	550	151	210

Anexo A-3: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 003

SECCIÓN CONDUCTOR 26"												
BROCA TRICONICA 26"			BHA # 1									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
T11	115	D196430	Desde: 45 ft				Hasta: 250 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
205	14	14,64	2	20	0	5	10	170	100	300	20	10

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA TRICONICA 16"			BHA # 2									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado, Orteguzza					
TFH519S	S323	E197077	Desde: 250 ft				Hasta: 6005 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
5755	55,5	103,69	2	16	9	16	3350	3680	1000	1050	94	196

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 3									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Orteguzza, Tiyuyacu, Tena					
E1134-A1	M422	A178385	Desde: 6005 ft				Hasta: 8731 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
2726	55	49,56	6	28	9	28	2000	3000	700	850	196	215

BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 4									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Tena, Napo					
SKF519M	M423	E202472	Desde: 8731 ft				Hasta: 9581 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
850	23	36,96	10	30	15	23	3000	3450	800	850	200	2215

BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 5									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo					
R-SKF519M	M423	E202472	Desde: 9581 ft				Hasta: 9955 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
374	18	20,78	2	22	15	20	2800	3100	850	850	200	210

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"												
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 7									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo, Hollín					
DSR619M-B10	M323	E166880	Desde: 9955 ft				Hasta: 10800 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
845	28	30,18	4	15	9	15	1450	1700	400	460	142	203

Anexo A-4: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 004

SECCIÓN CONDUCTOR 26"												
BROCA TRICONICA 26"			BHA # 1									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
GTX-CG1	115	5199777	Desde: 45 ft				Hasta: 260 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
215	5,42	39,67	10	15	2	4	165	165	250	250	80	80

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA TRICONICA 16"			BHA # 2									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
GTX-CG1	115	5221576	Desde: 260 ft				Hasta: 460 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
200	3,92	51,02	5	10	1	3	435	435	450	450	80	80
BROCA PDC 16"			BHA # 3									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
HCD605	M323	7020177	Desde: 460 ft				Hasta: 3370 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
2910	38,95	74,71	5	10	2	5	2325	2325	889	889	200	200
BROCA PDC 16"			BHA # 4									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
HCD605	M323	7020177	Desde: 3370 ft				Hasta: 6074 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
2704	43,37	62,35	13	21	5	15	3025	3025	966	966	214	214

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 5									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Orteguaza, Tiyuyacu, Tena					
HCD605X	M323	7029638	Desde: 6074 ft				Hasta: 8730 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
2656	87,95	30,20	5	28	5	25	3140	3140	763,5	763,5	180	180
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 6									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Tena, Napo					
QD605FX	M323	7031584	Desde: 8730 ft				Hasta: 9580 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
850	57,12	14,88	10	25	26	30	3600	3600	800	800	251	251
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 7									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo					
QD605FX	M323	7031584	Desde: 9580 ft				Hasta: 10087 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
507	26,88	18,86	5	15	22	26	3700	3700	820	820	260	260

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"												
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 8									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo					
HCM506Z	M223	7500123	Desde: 10087 ft				Hasta: 10939 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
852	35,72	23,85	10	20	13	17	2600	2600	430	430	216	216

Anexo A-5: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 005

SECCIÓN CONDUCTOR 26"												
BROCA TRICONICA 26"			BHA # 1									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
GTX-CG1	115	5206663	Desde: 0 ft				Hasta: 262 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
262	7,08	37,01	2	7	2	4	100	100	300	300	70	70

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA TRICONICA 16"			BHA # 2									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
GTX-CG1	115	5222493	Desde: 262 ft				Hasta: 509 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
247	3,33	74,17	5	10	2	4	500	500	500	500	75	75

BROCA PDC 16"			BHA # 3									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
HCD605	M323	7025956	Desde: 509 ft				Hasta: 4004 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
3495	42,75	81,75	5	24	5	11	3200	3200	980	980	217	217

BROCA PDC 16"			BHA # 4									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
HCD605	M323	7025956	Desde: 4004 ft				Hasta: 5467 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1463	20,67	70,78	5	24	6	11	3400	3400	980	980	207	207

BROCA PDC 16"			BHA # 5									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado, Orteguzza					
HCD605	M323	7025956	Desde: 5467 ft				Hasta: 6163 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
696	11,48	60,63	6	30	8	20	3700	3700	950	950	207	207

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 6									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Orteguaza, Tiyuyacu, Tena, Napo					
HCD605X	M323	7026603	Desde: 6163 ft				Hasta: 9234 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
3071	73,03	42,05	4	28	6	21	3800	3800	880	880	264	264
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 7									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo					
QD605FX	M323	7033359	Desde: 9234 ft				Hasta: 9820 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
586	24,17	24,24	8	20	15	22	3800	3800	7810	710	226	226

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"												
BROCA TRICONICA 8 1/2"			BHA # 8									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo, Hollín					
HCD506X	M223	7029874	Desde: 9820 ft				Hasta: 10650 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
830	31,17	26,63	4	20	15	21	2800	2800	450	450	209	209

Anexo A-6: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 006

SECCIÓN CONDUCTOR 26"												
BROCA TRICONICA 26"			BHA # 1									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
XR+CPS	115	PZ0514	Desde: 46 ft				Hasta: 267 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
221	12	18,42	8	18	3	6	50	280	70	260	60	90

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA PDC 16"			BHA # 2									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
SDi519MHBPX	S123	JH6692	Desde: 267 ft				Hasta: 6384 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
6117	65,38	93,56	10	30	15	21	3050	3650	950	1050	84	246

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 4									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Orteguaza, Tiyuyacu					
MSI519LMHSBPXX	M223	JH2148	Desde: 6384 ft				Hasta: 9066 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
2682	56	47,89	8	30	15	21	2000	3100	880	900	80	130

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 5									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Tiyuyacu, Tena, Napo					
MSI519LMHSBPXX	M223	JH1079	Desde: 9066 ft				Hasta: 10470 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1404	35,3	39,77	15	18	15	18	3250	3700	780	880	185	201

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"												
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 7									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo, Hollín					
MSI616UPX	M223	JH0256	Desde: 10470 ft				Hasta: 11224 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
754	25	30,16	10	20	15	18	2000	2000	400	430	180	210

Anexo A-7: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 007

SECCIÓN CONDUCTOR 26"												
BROCA TRICONICA 26"			BHA # 1									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
GTX-CG1	115	5231286	Desde: 46 ft				Hasta: 246 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
200	5,48	36,47	2	12	2	4	170	170	350	350	90	90

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA PDC 16"			BHA # 2									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
HCD605	M323	7024692	Desde: 246 ft				Hasta: 4817 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
4571	55	83,11	2	20	2	9	2530	2530	1000	1000	290	290

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA PDC 16"			BHA # 3									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
HCD605	M323	7024692	Desde: 4817 ft				Hasta: 5862 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1045	18,27	57,21	10	35	4	13	2475	2475	1000	1000	290	290

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 4									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado - Napo					
TD605X_G3F	M323	7153466	Desde: 5862 ft				Hasta: 9986 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
4124	114,57	36,00	10	35	8	18	3000	3000	870	870	215	215

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"												
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 5									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo, Hollín					
T505X_G3	M223	7150856	Desde: 9986 ft				Hasta: 10800 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
814	19,768	41,18	5	20	15	18	2050	2050	400	400	176	176

Anexo A-8: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 008

SECCIÓN CONDUCTOR 26"												
BROCA TRICONICA 26"			BHA # 1									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
XR+CPS	115	PZ4207	Desde: 46 ft				Hasta: 296 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
250	7	35,71	5	14	3	4	220	220	270	270	40	85

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA PDC 16"			BHA # 2									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
SDI519MHPX	S123	JG8247	Desde: 296 ft				Hasta: 5352 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
5056	47,8	105,77	10	14	9	13	3500	3500	1050	1050	155	155

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA PDC 16"			BHA # 3									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
SDI519MHPX	S123	JF5986	Desde: 5352 ft				Hasta: 5899 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
547	7	78,14	10	14	9	13	3650	3650	1000	1000	155	155

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 4									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado - Tiyuyacu					
MSI519LMHSBPXX	M223	JH3157	Desde: 5899 ft				Hasta: 8612 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
2713	48,5	55,94	10	28	9	22	3300	3300	900	900	120	120

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 5									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Tiyuyacu, Tena, Napo					
MSI519LMHSBPXX	M223	JH1297	Desde: 8612 ft				Hasta: 10045 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1433	39	36,74	10	26	15	18	3550	3550	830	830	210	210

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"												
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 8									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo, Hollín					
MSI616upx	M323	JF5762	Desde: 10045 ft				Hasta: 10830 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
785	19	41,32	10	16	13	13	170	170	430	430	210	210

Anexo A-9: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 009

SECCIÓN CONDUCTOR 26"												
BROCA TRICONICA 26"			BHA # 1									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
XR-CPS	115	PZ0514	Desde: 47 ft				Hasta: 280 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
233	10,5	22,19	4	16	2	4	143	687	150	300	40	80

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA PDC 16"			BHA # 2									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
SDi519MHPX	S123	JH4368	Desde: 280 ft				Hasta: 5985 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
5705	61,19	93,24	4	32	5	15	2650	3313	850	1050	84	196

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 4									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Orteguaza, Tiyuyacu					
MSI519LMHSPXX	M223	JH3159	Desde: 5985 ft				Hasta: 8355 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
2370	48,17	49,20	6	28	12	15	2400	3150	900	900	80	129

SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 5									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Tituyacu, Tena, Napo					
MSI519LMHSPXX	M223	JH9283	Desde: 8355 ft				Hasta: 9846 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1491	33	45,18	18	30	12	15	3100	3100	750	880	210	218

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"												
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 7									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo, Hollín					
MSI616MUBPX	M223	JH4123	Desde: 9846 ft				Hasta: 10637 ft					
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
791	12,6	62,78	10	20	10	13	1550	1550	430	410	200	204

Anexo A-10: Parámetros de Perforación del Pozo Auca 010

SECCIÓN CONDUCTOR 26"												
BROCA TRICONICA 26"			BHA # 1									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado					
XR+CPS	115	PZ0511	Desde: 47 ft Hasta: 261 ft									
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
214	8	26,75	3	18	5	7	50	120	150	250	30	90

SECCIÓN SUPERFICIAL 16"												
BROCA PDC 16"			BHA # 2									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Terciario Indiferenciado, Orteguaza					
SDI519MHPX	S123	JH0296	Desde: 261 ft Hasta: 6234 ft									
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
5973	66,6	89,75	10	36	15	18	2950	3700	950	1050	156	196

SECCIÓN INTERMEDIA 16"												
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 4									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Orteguaza, Tiyuyacu, Tena					
MSI519HSBPXX	M223	JG6910	Desde: 6234 ft Hasta: 9458 ft									
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
3224	95,37	33,81	15	28	15	18	2000	3200	900	900	100	150
BROCA PDC 12 1/4"			BHA # 5									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Tena, Napo					
MSI519LMHSBPXX	M223	JH0264	Desde: 9458 ft Hasta: 10353 ft									
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
895	26	34,42	14	24	15	18	3100	3500	750	850	122	173

SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"												
BROCA PDC 8 1/2"			BHA # 7									
Tipo	IADC	Serie	Litología:				Napo, Hollín					
MSI616MUBPX	M223	JH3531	Desde: 10353 ft Hasta: 11150 ft									
Intervalo Perforado	Horas	ROP [ft/hr]	WOB [klbs]		Torque [klbs. ft]		Presión [Psi]		Caudal [gpm]		RPM Total	
[Pies]	Promedio	Promedio	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
797	32	24,91	12	20	15	18	1300	1800	400	420	159	189

Anexo B: Ejemplo de Cálculo del Porcentaje de Distribución del Tiempo de Operación

Pozo Auca 001

- **Tiempo de Ejecución:**

$$\textit{Tiempo de Ejecución: } 18,1 \text{ días} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 435,84 \text{ horas}$$

- **Tiempo No Productivo:** 4 horas

- **Tiempo Productivo:**

$$\textit{Tiempo Productivo: } \textit{Tiempo de Ejecución} - \textit{Tiempo No Productivo}$$

$$\textit{Tiempo Productivo: } (435,84 - 4) = 431,84 \text{ horas}$$

Porcentaje de Distribución del Tiempo de Operación

- **Tiempo Productivo**

$$\textit{Tiempo Productivo: } \frac{431,84 \text{ horas} \times 100\%}{435,84 \text{ horas}} = 99,08\%$$

- **Tiempo No Productivo**

$$\textit{Tiempo No Productivo: } \frac{4 \text{ horas} \times 100\%}{435,84 \text{ horas}} = 0,92\%$$

Anexo C: Tiempos No Productivos Ocurridos en la Perforación del Campo Auca

Anexo C-1: Tiempos No Productivos de los Pozos del Campo Auca

TIEMPOS NO PRODUCTIVOS OCURRIDOS EN LA PERFORACIÓN DEL CAMPO AUCA									
Pozo	SECCIÓN CONDUCTOR 26"	Tiempo (hrs)	SECCIÓN SUPERFICIAL 16"	Tiempo (hrs)	SECCIÓN INTERMEDIA 12 1/4"	Tiempo (hrs)	SECCIÓN DE PRODUCCIÓN 8 1/2"	Tiempo (hrs)	Tiempo Total (hrs)
Auca 001					Taponamiento Flow Line	4			4
Auca 002	Ajuste de Malacate	2	Problemas de Regleta de Rig en la bajada de Casing.	2,5	Instalación de Hidromático	5			34,5
Auca 003			Problemas de Equipo (TDS)	2	Falla de LWD	25			44
Auca 004			Prueba fallida de BOP	4	Taponamiento de broca (Viaje no Planificado)	42			72,5
Auca 005	Falla en la unidad de potencia en la corrida de casing (Reparación de Equipo.)	0,5	Problema de MWD	2	Retiro de LWD (Viaje no planificado)	19,5			21,5
Auca 006	Wash Out	3	Fuga en Top Drive (Reparación de Equipo)	1	Daño en Top Drive	47			28
Auca 007			Daño en manguera del hidromático	1	Daño en bombas (Reparación de Equipo)	1			8
Auca 008			Problema de Motor y MWD	18					8
Auca 009			Suspende Operaciones por falla de Casing 13388	25	Prueba de Bombas	1			17,5
Auca 010			Problemas de Saver-Sub	3	Daño Casing Drive System	4			14,5
					Problemas de Hoyo, Java y rima	8			
					Problema de rimado durante los viajes	3			
					Falla en la herramienta de toma de registros eléctricos	14,5			
					Falla X-Over	4,5			
			Problemas de Saver Sub	1	Reparación de Equipo (Manguerote)	2			14,5
					Insertos de cuna no adecuados	3			
					Falla de Sistema Hidráulico Top Drive	4			
NPT FINAL	5,5		59,5		187,5		0		252,5

Anexo D: Ejemplo de Cálculo del Porcentaje de Distribución del Tiempo de los Problemas Presentados en cada Sección

Sección Conductor

Problema	Tiempo (horas)
Wash Out	3
Ajuste de Malacate	2
Falla en la Unidad de Potencia en la Corrida del Casing	0,5
NPT FINAL:	5,5

Porcentaje del tiempo de los problemas presentados:

- **Wash Out:**

$$Wash\ Out: \frac{3\ \text{horas} \times 100\%}{5,5\ \text{horas}} = 54,55\%$$

- **Ajuste de Malacate:**

$$Ajuste\ de\ Malacate: \frac{2\ \text{horas} \times 100\%}{5,5\ \text{horas}} = 36,36\%$$

- **Falla en la Unidad de Potencia en la Corrida del Casing:**

$$Falla\ en\ la\ Unidad\ de\ Potencia\ en\ la\ Corrida\ del\ Casing: \frac{0,5\ \text{horas} \times 100\%}{5,5\ \text{horas}} = 9,09\%$$

Anexo E: Desarrollo del Método Chi-Cuadrado por Independencia

- **Tabla de Contingencia:** Datos obtenidos en los reportes diarios de perforación basados en la Tabla 3.41.

TABLA DE CONTINGENCIA PARA APLICAR EL MÉTODO DE CHI-CUADRADO POR INDEPENDENCIA				
Sección	Fallas en Componentes del Equipo en Superficie	Fallas en Componentes del Equipo de Subsuelo	Fallas en Componentes del Equipo de Toma de Registros	TOTAL DE LA FILA
Conductor	2	1	0	3
Superficial	6	3	0	9
Intermedia	9	4	3	16
TOTAL DE LA COLUMNA	17	8	3	28

- **Tabla de Valores Esperados:** Se calcula a partir de la tabla de contingencia con la siguiente fórmula y obteniendo así un valor diferente para cada sección como podemos ver en el ejemplo a continuación:

$$\text{Valores Esperados} = \frac{(\text{Total de la fila} * \text{Total de la columna})}{\sum \text{Total de la fila} \text{ } \text{columna}}$$

$$v_{esp} = \frac{(3 * 17)}{(28)} = 1,8214$$

VALORES ESPERADOS			
Sección	Fallas en Componentes del Equipo en Superficie	Fallas en Componentes del Equipo de Subsuelo	Fallas en Componentes del Equipo de Toma de Registros
Conductor	1,8214	0,8571	0,3214
Superficial	5,4643	2,5714	0,9643
Intermedia	9,7143	4,5714	1,7143

- **Tabla de Chi-Cuadrado:** Se calcula a partir de la tabla de contingencia y la tabla de los valores esperados con la siguiente fórmula, obteniendo un valor para cada sección como se puede apreciar en la siguiente tabla.

$$X^2 = \sum \frac{(\text{valor observado} - \text{valor esperado})^2}{(\text{valor esperado})}$$

$$X^2 = \frac{(2 - 1,8214)^2}{1,8214} = 0,0175$$

CHI-CUADRADO			
Sección	Fallas en Componentes del Equipo en Superficie	Fallas en Componentes del Equipo de Subsuelo	Fallas en Componentes del Equipo de Toma de Registros
Conductor	0,0175	0,0238	0,3214
Superficial	0,0525	0,0714	0,9643
Intermedia	0,0525	0,0714	0,9643

- **Valor Estadístico de Contraste (VE):** Es el valor calculado que obtenemos de la sumatoria de los valores generados en la tabla de Chi-Cuadrado, a través de la siguiente ecuación.

$$VE = x^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}}$$

$$VE = (0,0175 + 0,0525 + 0,525 + 0,0238 + 0,0714 + 0,0714 + 0,3214 + 0,9643 + 0,9643) = 2,5392$$

- **Grados de Libertad (GL):** Se calcula con la siguiente fórmula:

$$GL = (k - 1)(r - 1)$$

Donde:

k: número de filas

r: número de columnas

$$GL = (3-1)*(3-1) = 4$$

- **Valor Crítico (VC):** El valor crítico se determinó como se muestra a continuación:

TABLA PERCENTIL DE LA DISTRIBUCIÓN χ^2										
Grados de Libertad	$\alpha=.995$	$\alpha=.99$	$\alpha=.975$	$\alpha=.95$	$\alpha=.90$	$\alpha=.10$	$\alpha=.05$	$\alpha=.025$	$\alpha=.01$	$\alpha=.005$
1	0.0000	0.0002	0.0010	0.0039	0.0158	2,7055	3,8415	5,0239	6,6349	7,8794
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.1026	0.2107	4,6052	5,9915	7,3778	9,2103	10,597
3	0.0717	0.1148	0.2158	0.3518	0.5844	6,2514	7,8147	9,3484	11,345	12,838
4	0.2070	0.2971	0.4844	0.7107	1,0636	7,7794	9,4877	11,143	13,277	14,86
5	0.4117	0.5543	0.8312	1,1455	1,6103	9,2364	11,070	12,833	15,086	16,750
6	0.6757	0.8721	1,2373	1,6354	2,2041	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0.9893	1,2390	1,6899	2,1673	2,8331	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,3444	1,6465	2,1797	2,7326	3,4895	13,362	15,507	17,535	20,09	21,955
9	1,7349	2,0879	2,7004	3,3251	4,1682	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589

Anexo F: ROP Óptima Calculada de las Secciones del Campo Auca

Anexo F-1: ROP Óptima Calculada de la Sección Conductor

El modelo matemático efectuado tiene como fuente de datos dos niveles, por tal motivo tendremos una tasa de penetración mínima y máxima, las cuales se determinan por la interpretación a su respectiva ecuación. Para encontrar la tasa de penetración óptima que se acoge a nuestros datos realizaremos un promedio de la tasa de penetración mínima y máxima.

- **Modelo Matemático de la Sección Conductor:**

$$ROP: 15,95 - 0,773 WOB + 0,0494 Caudal + 0,1368 RPM$$

- **Valores obtenidos de la estadística descriptiva:**

Variable	Curva de distribución normal		Análisis Mixto		Mínimo Permisible	Máximo Permisible
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
WOB	2	20	3,7	15,9	2,85	17,95
Caudal	70	350	128	287	99	318,5
RPM	10	100	29	82	19,5	91

De acuerdo a la interpretación de la ecuación del modelo matemático obtenido en la regresión lineal múltiple tendremos una tasa de penetración mínima y máxima.

- **Tasa de Penetración Mínima:**

$$ROP \text{ mín} = 15,95 - (0,773 * 17,95) + (0,0494 * 99) + (0,1368 * 19,5)$$

$$ROP \text{ mín} = 9,63 \text{ ft/hr}$$

- **Tasa de Penetración Máxima:**

$$ROP \text{ máx} = 15,95 - (0,773 * 2,85) + (0,0494 * 318,5) + (0,1368 * 91)$$

$$ROP \text{ máx} = 41,92 \text{ ft/hr}$$

- **Tasa de Penetración Óptima Calculada:**

$$ROP = \frac{ROP \text{ mín} + ROP \text{ máxima}}{2}$$

$$ROP = \frac{9,63 + 41,92}{2}$$

$$ROP = 25,8 \text{ ft/hr}$$

Anexo F-2: ROP Óptima Calculada de la Sección Superficial

- **Modelo Matemático de la Sección Superficial:**

$$ROP = 74,47 + 0,01118 \text{ Presión} - 0,1253 \text{ RPM}$$

- **Valores obtenidos de la estadística descriptiva:**

Variable	Curva de distribución normal		Análisis Mixto		Mínimo Permisible	Máximo Permisible
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
Presión	400	3750	2520	3580	1460	3665
RPM	84	290	90	205	87	247,5

De acuerdo a la interpretación de la ecuación del modelo matemático obtenido en la regresión lineal múltiple tendremos una tasa de penetración mínima y máxima.

- **Tasa de Penetración Mínima:**

$$ROP \text{ mín} = 74,47 + (0,01118 * 1460) - (0,1253 * 247,5)$$

$$ROP \text{ mín} = 59,78 \text{ ft/hr}$$

- **Tasa de Penetración Máxima:**

$$ROP \text{ máx} = 74,47 + (0,01118 * 3665) - (0,1253 * 87)$$

$$ROP \text{ máx} = 104,54 \text{ ft/hr}$$

- **Tasa de Penetración Óptima Calculada:**

$$ROP = \frac{ROP \text{ mín} + ROP \text{ máxima}}{2}$$

$$ROP = \frac{59,78 + 104,54}{2}$$

$$ROP = 82,2 \text{ ft/hr}$$

Anexo F-3: ROP Óptima Calculada de la Sección Intermedia

- **Modelo Matemático de la Sección Intermedia:**

$$ROP: 50,04 + 0,497 WOB - 1,296 Torque$$

- **Valores obtenidos de la estadística descriptiva:**

Variable	Curva de distribución normal		Análisis Mixto		Mínimo Permisible	Máximo Permisible
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
WOB	3,67	45	8	28	5,8	36,5
Torque	3	27	11	18,2	7	22,6

De acuerdo a la interpretación de la ecuación del modelo matemático obtenido en la regresión lineal múltiple tendremos una tasa de penetración mínima y máxima.

- **Tasa de Penetración Mínima:**

$$ROP \text{ m\u00edn} = 50,04 + (0,497 * 5,8) - (1,296 * 22,6)$$

$$ROP \text{ m\u00edn} = 23,65 \text{ ft/hr}$$

- **Tasa de Penetración M\u00e1xima:**

$$ROP \text{ m\u00e1x} = 50,04 + (0,497 * 36,5) - (1,296 * 7)$$

$$ROP \text{ m\u00e1x} = 59,11 \text{ ft/hr}$$

- **Tasa de Penetraci\u00f3n \u00d3ptima Calculada:**

$$ROP = \frac{ROP \text{ m\u00edn} + ROP \text{ m\u00e1xima}}{2}$$

$$ROP = \frac{23,65 + 59,11}{2}$$

$$ROP = 41,4 \text{ ft/hr}$$

Anexo G: Ejemplo de Cálculo de la Interpretación Económica

Pozo Auca 001

- **Costo Total del Pozo:** 3.271.201,67 USD (Dato proveniente de los reportes de perforación)
- **Tiempo de Ejecución:** 434,40 horas (Dato proveniente del gráfico del tiempo de ejecución)

- **Costo por hora:**

$$\text{Costo por hora} = \frac{\text{Costo total}}{\text{Tiempo de Ejecución}} = \frac{3.272.201,67}{434,40} = 7.530,39 \frac{\text{USD}}{\text{hr}}$$

- **Tiempo No Productivo:** 4 horas (Dato proveniente del Anexo C-1)
- **Costo del Tiempo No Productivo:**

$$\text{Costo del NPT} = \text{Costo por hora} * \text{NPT} = 7.530,39 * 4 = 30.212,56 \text{ USD}$$

- **Costo Total sin Tiempo No Productivo:**

$$\text{Costo total sin NPT} = \text{Costo total del pozo} - \text{Costo del NPT}$$

$$\text{Costo total sin NPT} = 3.271.201,67 - 30.212,56 = 3.241.080,11 \text{ USD}$$

- **Problema:** Taponamiento de Flow Line con 4 horas de duración (Dato proveniente del Anexo C-1)

- **Costo del Problema:** 30.212,56 USD

Al tener únicamente un problema, el costo del NPT corresponde al problema presentado. En caso de que existiera más de un problema, su costo se lo obtiene por regla de tres simple directa.

- **Profundidad Perforada:** 10357 ft (Dato proveniente de los reportes de perforación)

- **Costo por Pie Perforado:**

$$\text{Costo por pie perforado} = \frac{\text{Costo total sin NPT}}{\text{Profundidad Perforada}} = \frac{3.241.080,11}{10357} = 312,94 \text{ USD/ft}$$

Sección Conductor

- **Intervalo Perforado:** 211 ft (Dato proveniente de los reportes de perforación)
- **Costo Real por Pie Perforado:**

$$\text{Costo real por pie perforado} = \frac{\text{Intervalo perforado} * \text{Costo por pie perforado}}{\text{Profundidad perforada}}$$

$$\text{Costo real por pie perforado} = \frac{211 * 312,94}{10357} = 6,38 \text{ USD/ft}$$

- **Costo Total Real por Pie Perforado:**

$$\text{Costo total real por pie perforado} = \sum \text{Costo real por pie perforado de las secciones}$$

$$\text{Costo total real por pie perforado} = 288,61 \text{ USD/ft}$$

- **Tiempo Real por Sección:** 8 horas (Dato proveniente de los reportes de perforación)

- **Tiempo Total Real:**

$$\text{Tiempo total real} = \sum \text{Tiempo real de cada sección}$$

$$\text{Tiempo total real} = 134,3 \text{ horas}$$

- **Tiempo Óptimo por Sección:**

$$\text{Tiempo óptimo por sección} = \frac{\text{Intervalo Perforado}}{\text{ROP óptima calculada}}$$

$$\text{Tiempo óptimo por sección} = \frac{211}{25,8} = 8,18 \text{ horas}$$

- **Tiempo Total Óptimo por Sección:**

$$\text{Tiempo total óptimo por sección} = \sum \text{Tiempo óptimo de cada sección}$$

$$\text{Tiempo total óptimo por sección} = 174,35 \text{ horas}$$

- **Costo Total Óptimo por Pie Perforado:**

$$\text{Costo total óptimo por pie perforado} = \frac{\text{Tiempo total óptimo por sección} * \text{Costo total real por pie perforado}}{\text{Tiempo total real}}$$

$$\text{Costo total óptimo por pie perforado} = \frac{174,35 * 288,61}{134,3} = 374,69 \text{ USD/ft}$$

- **Costo Óptimo por pie Perforado:**

$$\text{Costo óptimo por pie perforado} = \frac{\text{Tiempo óptimo por sección} * \text{Costo total óptimo por pie perforado}}{\text{Tiempo total óptimo por sección}}$$

$$\text{Costo óptimo por pie perforado} = \frac{8,18 * 374,69}{174,35} = 17,58 \text{ USD/ft}$$

- **Relación Real/Óptimo por Pie Perforado:**

$$\text{Relación } \frac{\text{real}}{\text{óptimo}} \text{ por pie perforado} = \text{Costo real por pie perforado} - \text{costo óptimo por pie perforado}$$

$$\text{Relación } \frac{\text{real}}{\text{óptimo}} \text{ por pie perforado} = 6,38 - 17,58 = -11,20 \text{ USD/ft}$$

- **Relación Total Real/Óptimo por Pie Perforado:**

$$\text{Relación total } \frac{\text{real}}{\text{óptimo}} \text{ por pie perforado} = \text{Costo total real por pie perforado} - \text{costo total óptimo por pie perforado}$$

$$\text{Relación total } \frac{\text{real}}{\text{óptimo}} \text{ por pie perforado} = 288,61 - 374,69 = -86,7 \text{ USD/ft}$$

Anexo H: Evaluación e Interpretación Económica de los Pozos del Campo Auca

Anexo H-1: Interpretación Económica del Pozo Auca 001

AUCA 001	
Costo Total (USD)	\$ 3.271.201,67
Tiempo de Ejecución (hrs)	434,40
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 7.530,39
Tiempo No Productivo (hrs)	4,00
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 30.121,56
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.241.080,11

PROBLEMA (S)	
Taponamiento Flow Line (USD)	\$ 30.121,56

Profundidad Perforada (ft)	10357		
Costo por pie perforado (USD/ft)	\$ 312,94		
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	211	4959	4382
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 6,38	\$ 149,84	\$ 132,40
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 288,61		
Tiempo real por sección (hrs)	8	48,8	77,5
Tiempo total real (hrs)	134,3		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Tiempo óptimo por sección (hrs)	8,18	60,33	105,85
Tiempo total óptimo por sección (hrs)	174,35		
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 374,69		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 17,58	\$ 129,65	\$ 227,46
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 11,20	\$ 20,19	-\$ 95,06
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 86,07		

Anexo H-2: Interpretación Económica del Pozo Auca 002

AUCA 002	
Costo Total (USD)	\$ 4.053.617,00
Tiempo de Ejecución (hrs)	674,40
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 6.010,70
Tiempo No Productivo (hrs)	34,50
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 207.369,20
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.846.247,80

PROBLEMA (S)	
Ajuste del Malacate (USD)	\$ 12.021,40
Problema de regleta de rig en la bajada del casing (USD)	\$ 15.026,75
Instalación de Hidromático (USD)	\$ 30.053,51
Falla de LWD (USD)	\$ 150.267,53

Profundidad Perforada (ft)	12637		
Costo por pie perforado (USD/ft)	\$ 304,36		
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	200	6182	5196
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 4,82	\$ 148,89	\$ 125,15
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 278,86		
Tiempo real por sección (hrs)	6	78	151,5
Tiempo total real (hrs)	235,5		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Tiempo óptimo por sección (hrs)	7,75	75,21	125,51
Tiempo total óptimo por sección (hrs)	208,47		
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 246,85		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 9,18	\$ 89,05	\$ 148,61
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 4,36	\$ 59,84	-\$ 23,47
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	\$ 32,01		

Anexo H-3: Interpretación Económica del Pozo Auca 003

AUCA 003	
Costo Total (USD)	\$ 3.468.560,48
Tiempo de Ejecución (hrs)	523,20
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 6.629,51
Tiempo No Productivo (hrs)	44,00
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 291.698,51
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.176.861,97

PROBLEMA (S)	
Problemas de Equipo TDS	\$ 13.259,02
Taponamiento de Broca	\$ 278.439,49

Profundidad Perforada (ft)			10803
Costo por pie perforado (USD/ft)			\$ 294,07
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	205	5755	3950
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 5,58	\$ 156,66	\$ 107,52
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 269,76		
Tiempo real por sección (hrs)	14	55,5	96
Tiempo total real (hrs)	165,5		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Tiempo óptimo por sección (hrs)	7,95	70,01	95,41
Tiempo total óptimo por sección (hrs)	173,37		
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 282,59		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 12,95	\$ 114,12	\$ 155,52
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 7,37	\$ 42,54	-\$ 47,99
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 12,83		

Anexo H-4: Interpretación Económica del Pozo Auca 004

AUCA 004	
Costo Total (USD)	\$ 4.610.276,04
Tiempo de Ejecución (hrs)	633,60
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 7.276,32
Tiempo No Productivo (hrs)	72,50
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 527.533,16
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 4.082.742,88

PROBLEMA (S)	
Prueba fallida de BOP (USD)	\$ 29.105,28
Problema en MWD (USD)	\$ 14.552,64
Retiro de LWD (USD)	\$ 141.888,23
Daño en Top Drive (USD)	\$ 341.987,02

Profundidad Perforada (ft)		10939	
Costo por pie perforado (USD/ft)		\$ 373,23	
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	215	5814	4013
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 7,34	\$ 198,37	\$ 136,92
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 342,62		
Tiempo real por sección (hrs)	5,42	86,24	171,95
Tiempo total real (hrs)	263,61		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Tiempo óptimo por sección (hrs)	8,33	70,73	96,93
Tiempo total óptimo por sección (hrs)	176,00		
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 228,75		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 10,83	\$ 91,93	\$ 125,99
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 3,50	\$ 106,44	\$ 10,93
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	\$ 113,88		

Anexo H-5: Interpretación Económica del Pozo Auca 005

AUCA 005	
Costo Total (USD)	\$ 4.117.600,00
Tiempo de Ejecución (hrs)	520,80
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 7.906,30
Tiempo No Productivo (hrs)	21,50
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 169.985,41
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.947.614,59

PROBLEMA (S)	
Falla en la unidad de potencia en la corrida de casing (USD)	\$ 3.953,15
Fuga top drive (USD)	\$ 7.906,30
Daño en manguera del hidromático (USD)	\$ 7.906,30
Problema motor y MWD (USD)	\$ 142.313,36
Daño en bombas (USD)	\$ 7.906,30

Profundidad Perforada (ft)	10650		
Costo por pie perforado (USD/ft)	\$ 370,67		
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	262	5901	3657
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 9,12	\$ 205,38	\$ 127,28
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 341,78		
Tiempo real por sección (hrs)	7,08	78,23	97,2
Tiempo total real (hrs)	182,51		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Tiempo óptimo por sección (hrs)	10,16	71,79	88,33
Tiempo total óptimo por sección (hrs)	170,28		
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 318,87		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 19,02	\$ 134,44	\$ 165,42
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 9,90	\$ 70,95	-\$ 38,14
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	\$ 22,91		

Anexo H-6: Interpretación Económica del Pozo Auca 006

AUCA 006	
Costo Total (USD)	\$ 3.740.127,28
Tiempo de Ejecución (hrs)	556,80
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 6.717,18
Tiempo No Productivo (hrs)	28,00
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 188.081,11
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.552.046,17

PROBLEMA (S)	
Wash Out (USD)	\$ 20.151,55
Suspenden operaciones por falta de casing 13 3/8" (USD)	\$ 167.929,57

Profundidad Perforada (ft)	11224		
Costo por pie perforado (USD/ft)	\$ 316,47		
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	221	6117	4086
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 6,23	\$ 172,47	\$ 115,21
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 293,91		
Tiempo real por sección (hrs)	12	65,38	91,3
Tiempo total real (hrs)	168,68		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Tiempo óptimo por sección (hrs)	8,57	74,42	98,70
Tiempo total óptimo por sección (hrs)	181,68		
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 316,56		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 14,93	\$ 129,66	\$ 171,97
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 8,69	\$ 42,81	-\$ 56,76
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 22,65		

Anexo H-7: Interpretación Económica del Pozo Auca 007

AUCA 007	
Costo Total (USD)	\$ 3.322.995,27
Tiempo de Ejecución (hrs)	499,20
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 6.656,64
Tiempo No Productivo (hrs)	8,00
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 53.253,13
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.269.742,14

PROBLEMA (S)	
Problemas de Saver sub (USD)	\$ 19.969,92
Prueba de bombas (USD)	\$ 6.656,64
Daño en el casing drive system (USD)	\$ 26.626,56

Profundidad Perforada (ft)	10800		
Costo por pie perforado (USD/ft)	\$ 302,75		
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	200	5616	4124
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 5,61	\$ 157,43	\$ 115,61
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 278,65		
Tiempo real por sección (hrs)	5,484	73,27	114,57
Tiempo total real (hrs)	193,324		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Tiempo óptimo por sección (hrs)	7,75	68,32	99,61
Tiempo total óptimo por sección (hrs)	175,69		
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 253,22		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 11,17	\$ 98,47	\$ 143,58
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 5,57	\$ 58,96	-\$ 27,97
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	\$ 25,42		

Anexo H-8: Interpretación Económica del Pozo Auca 008

AUCA 008	
Costo Total (USD)	\$ 3.798.038,80
Tiempo de Ejecución (hrs)	501,60
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 7.571,85
Tiempo No Productivo (hrs)	8,00
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 60.574,78
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 3.737.464,02

PROBLEMA (S)	
Problema de hoyo lava y rima (USD)	\$ 60.574,78

Profundidad Perforada (ft)	10830		
Costo por pie perforado (USD/ft)	\$ 345,10		
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	250	5603	4146
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 7,97	\$ 178,54	\$ 132,11
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 318,62		
Tiempo real por sección (hrs)	7	54,8	87,5
Tiempo total real (hrs)	149,3		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Tiempo óptimo por sección (hrs)	9,69	68,16	100,14
Tiempo total óptimo por sección (hrs)	178,00		
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 379,87		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 20,68	\$ 145,47	\$ 213,72
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 12,71	\$ 33,07	-\$ 81,61
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 61,24		

Anexo H-9: Interpretación Económica del Pozo Auca 009

AUCA 009	
Costo Total (USD)	\$ 4.187.626,09
Tiempo de Ejecución (hrs)	475,20
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 8.812,34
Tiempo No Productivo (hrs)	17,50
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 154.216,03
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 4.033.410,06

PROBLEMA (S)	
Problema de rimado durante los viajes (USD)	\$ 26.437,03
Falla en la herramienta de toma de registros (USD)	\$ 127.778,99

Profundidad Perforada (ft)	10637		
Costo por pie perforado (USD/ft)	\$ 379,19		
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	233	5705	3861
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 8,31	\$ 203,37	\$ 137,64
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 349,31		
Tiempo real por sección (hrs)	10,5	61,19	81,17
Tiempo total real (hrs)	152,86		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Tiempo óptimo por sección (hrs)	9,03	69,40	93,26
Tiempo total óptimo por sección (hrs)	171,70		
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 392,36		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 20,64	\$ 158,60	\$ 213,12
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 12,33	\$ 44,77	-\$ 75,48
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 43,04		

Anexo H-10: Interpretación Económica del Pozo Auca 010

AUCA 010	
Costo Total (USD)	\$ 4.209.192,67
Tiempo de Ejecución (hrs)	566,40
Costo por Hora (USD/hrs)	\$ 7.431,48
Tiempo No Productivo (hrs)	14,50
Costo del Tiempo No Productivo (USD)	\$ 107.756,52
Costo Total sin Tiempo No Productivo (USD)	\$ 4.101.436,15

PROBLEMA (S)	
Problema de Saber-Sub (USD)	\$ 7.431,48
Falla del X-over (USD)	\$ 33.441,68
Reparación de equipo (manguerote) (USD)	\$ 14.862,97
Inserto de cuna no adecuado (USD)	\$ 22.294,45
Falla del sistema hidráulico del top drive (USD)	\$ 29.725,94

Profundidad Perforada (ft)	11150		
Costo por pie perforado (USD/ft)	\$ 367,84		
Sección	Conductor	Superficial	Intermedia
Intervalo Perforado (ft)	214	5973	4119
Costo real por pie perforado (USD/ft)	\$ 7,06	\$ 197,05	\$ 135,89
Costo total real por pie perforado (USD/ft)	\$ 340,00		
Tiempo real por sección (hrs)	8	66,6	121,37
Tiempo total real (hrs)	195,97		
Tasa de penetración óptima calculada (ft/hr)	25,8	82,2	41,4
Tiempo óptimo por sección (hrs)	8,29	72,66	99,49
Tiempo total óptimo por sección (hrs)	180,45		
Costo total óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 313,07		
Costo óptimo por pie perforado (USD/ft)	\$ 14,39	\$ 126,07	\$ 172,61
Relación (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	-\$ 7,33	\$ 70,98	-\$ 36,73
Relación total (real-óptimo) por pie perforado (USD/ft)	\$ 26,92		

Anexo I: Costo de los Problemas que Generaron Tiempos No Productivos según su Clasificación

Fallas en Componentes del Equipo en Superficie	Costo (USD)
Daño en top drive	\$ 341.987,02
Suspenden operaciones por falta de casing 13 3/8"	\$ 167.929,57
Taponamiento flow line	\$ 30.121,56
Instalación de hidromático	\$ 30.053,51
Falla del Sistema Hidráulico del Top Drive	\$ 29.725,94
Prueba fallida de BOP	\$ 29.105,28
Daño en el casing drive system	\$ 26.626,56
Inserto de cuña no adecuado	\$ 22.294,45
Problema de regleta de rig en la bajada de casing	\$ 15.026,75
Reparación del manguerote	\$ 14.862,97
Problema de equipo TDS	\$ 13.259,02
Ajuste de malacate	\$ 12.021,40
Fuga en top drive	\$ 7.906,30
Daño en bombas	\$ 7.906,30
Daño en manguera del hidromático	\$ 7.906,30
Prueba de bombas	\$ 6.656,64
Falla en la unidad de potencia en la corrida de casing	\$ 3.953,15
Total (USD)	\$ 767.342,73

Fallas en Componentes del Equipo en Subsuelo	Costo (USD)
Taponamiento de broca	\$ 278.439,49
Problema de motor y MWD	\$ 142.313,36
Problema de hoyo, lava y rima	\$ 60.574,78
Falla del X-Over	\$ 33.441,68
Problemas de Saver-Sub	\$ 27.401,41
Problema de rimado durante los viajes	\$ 26.437,03
Wash Out	\$ 20.151,55
Problema en MWD	\$ 14.552,64
Total (USD)	\$ 603.311,94

Fallas en Componentes del Equipo de Toma de Registros	Costo (USD)
Falla de LWD	\$ 150.267,53
Retiro de LWD	\$ 141.888,23
Falla en la herramienta de toma de registros	\$ 127.778,99
Total (USD)	\$ 419.934,75