

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TUBERÍAS DE
REVESTIMIENTO PARA POZOS A PERFORAR EN LOS CAMPOS
SHUSHUFINDI Y OSO**

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

ALFONSINA BASSANTE MUÑOZ
alfonsinabm@hotmail.com

DIRECTOR: ING. RAÚL ARMANDO VALENCIA TAPIA. Msc.
raul.valenciat@gmail.com

Quito, abril 2013

DECLARACIÓN

Yo Alfonsina Bassante Muñoz, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis 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.

ALFONSINA BASSANTEMUÑOZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Alfonsina Bassante Muñoz, bajo mi supervisión.

Ing. Raúl Valencia. Msc.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Diosito y Virgencita que me han iluminado en este arduo camino, por darme la sabiduría en momentos difíciles y llenarme de bendiciones para lograr esta gran meta de vida que me la he propuesto.

Al eje principal de mi vida, a mi mamacita querida, a mi ejemplo de mujer, porque ella ha sido mi fuente de energía, fuerza y sustento para alcanzar todo lo que me propongo en la vida. Gracias mamita sin ti no fuera lo que soy y no estuviera donde estoy, todo te lo debo a ti.

Agradezco nuevamente a Dios y a mi mamita por haberme dado los mejores hermanos del mundo, muchas gracias mi Lorenita bella y Miguelito (jusito) por siempre acompañarme en cada batalla, porque sus corazones son casas de puertas abiertas y por ser los más ciertos en mis horas inciertas, por jugárselas siempre por mí, dándome así motivación para nunca desmayar y sobre todo por amarme tanto como los amo yo.

A mis cunados Nico y Ani por siempre decirme que soy el gran ejemplo de sus hijas.

A las princesas que han llenado mi vida de luz y esperanza, mis sobrinas Nicky, Emy y Martinita, gracias mi pequeñas por ser el suspiro que tengo cuando siento que me falta el aire.

A mi novio Franco, porque siempre me dice que soy su nena campeona, por llenarme de maripositas, estabilidad e ilusión que junto a la confianza y respeto que nos tenemos me has permitido conocer el maravilloso sentimiento del amor. Gracias por caminar a mi lado de la mano.

A mis mejores amigas Ali, Gabby, Morita y Vale por siempre escucharme cuando más las necesito y apoyarme en las malas y en las peores. Son las hermanas que yo elegí en mi vida.

A mis tíos, tías, primos y primas, por tenerme consideración, respeto y mucho amor.

A mis amigos incondicionales que encontré en esta linda universidad, gracias por hacer de esta lucha un camino lleno de alegrías, ilusiones, sueños y anhelos; aquellos recuerdos quedaran siempre guardados en mi corazón y espero muy pronto trabajar con ustedes, será todo un placer!

Infinitas gracias a los Ingenieros Luis Bolívar, Diego Patino y Raúl Valencia por haberme guiado en este proyecto que ahora se ha convertido en una satisfacción para mí y mi familia.

A la Escuela Politécnica Nacional en conjunto de mis profesores, por haberme impartido sus conocimientos y guiado en este el camino que muy acertadamente escogí, el de ser Ingeniera en Petróleos.

DEDICATORIA

Este proyecto engloba dedicación, empeño, fortaleza, ímpetu y ciertos sacrificios, es decir representó un camino duro de recorrer y por este motivo quiero dedicar este logro a la persona que lo hizo posible, a la persona que se sienta a sonar conmigo con los ojos abiertos, a la persona que Diosito me envió para que me transmita sus sabios consejos con la sabiduría que le ha dado los años, al ser que más amo en mi vida y justamente es quien me la dio. Este logro es por ti y para ti mi mamacita querida, gracias porque con tu amor abnegado me ayudaste a cumplir este mi sueño; me enseñaste que: "No hay cosa más linda, que hacer lo que a uno le gusta", y déjame decirte que ¡esto! es lo que me gusta ser. Mamita gracias por tus besos y abrazos que tienen el poder y la magia indescriptible de calmar todos mis dolores, y sobre todo millón gracias por darme la familia a la que orgullosamente pertenezco.

A mi hermana Silvana, mi amada Lorenita, tus palabras han sido fundamentales en mi vida, por ser mi confidente, mi más aliada y fiel cómplice, por todo lo que representas en mi vida, esto también es por ti, porque es imposible quebrantarse a tu lado, ya que tienes ese poder de impulsarme a perseguir mis sueños y nunca dejarlos escapar; espero algún día ser un reflejo de la gran mujer que eres, te admiro y respeto mucho. Gracias por siempre creer que lo lograría.

A mi hermano Miguel, mi amado jusito, porque has sido quien me ha cuidado y protegido toda la vida, por darme el placer de tenerte como mi hermano, amigo y padre, simplemente la vida no me alcanzaría para agradecerte todo lo que has hecho por mí, pero si tratara de que me alcance para retribuirte con creces el sacrificio que has hecho por mí. Eres el único ángel que conozco y quisiera que mis hijos sean como tú; el mejor de los hijos, hermano, esposo y ¡padre!

Esto va para mi mami Marthy, hermana Silvana y hermano Miguel, este logro no es solo mío, ¡es nuestro! LOS AMO.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA.....	v
CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
PRESENTACIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1.FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO.....	1
1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.....	2
1.3.1 DIÁMETRO EXTERIOR Y ESPESOR DE LA PARED.....	3
1.3.2 PESO POR UNIDAD DE LONGITUD.....	3
1.3.3 GRADO DEL ACERO.....	3
1.3.4 TIPO DE CONEXIÓN.....	6
1.3.5 LONGITUD DEL TRAMO O JUNTA.....	9
1.4 TIPOS DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.....	10
1.4.1 TUBERÍA CONDUCTORA.....	11
1.4.2 TUBERÍA SUPERFICIAL DE REVESTIMIENTO.....	11
1.4.3 TUBERÍA INTERMEDIA DE REVESTIMIENTO.....	12
1.4.4 TUBERÍA DE REVESTIMIENTO DE PRODUCCIÓN.....	12
1.4.5 LINER O TUBERÍA CORTA DE REVESTIMIENTO.....	13
1.5 CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO.....	14
1.5.1 ASENTAMIENTO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO.....	15
1.5.2 SELECCIÓN DE LOS DIÁMETROS DEL AGUJERO Y DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.....	18
1.6 DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO.....	20
1.6.1 CARGAS.....	21
1.6.2 CASOS DE CARGAS A LOS QUE ESTAN EXPUESTAS LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO.....	32

1.6.3	FACTORES DE DISEÑO Y DE SEGURIDAD	38
1.6.4	SELECCIÓN DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO.....	40
CAPITULO II.....		44
2.ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DISEÑOS DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO		44
2.1.	INTRODUCCIÓN.....	44
2.2.	EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DISEÑOS DE TUBERIAS MEDIANTE EL PROGRAMA TDAS.....	45
2.2.1.	CONFIGURACIÓN DEL POZO	45
2.2.2.	CASOS DE CARGA	49
2.2.3.	ANÁLISIS GENERADO POR EL PROGRAMA TDAS	50
2.3.	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DISEÑOS DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO PARA EL CAMPO SHUSHUFINDI.....	51
2.3.1.	GENERALIDADES DEL CAMPO SHUSHUFINDI	51
2.3.2.	CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO DEL CAMPO SHUSHUFINDI	51
2.3.3.	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO MEDIANTE TDAS PARA SHUSHUFINDI	53
2.3.4.	TUBERÍA DE REVESTIMIENTO PROBLEMÁTICA.....	54
2.4.	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DISEÑOS DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO PARA EL CAMPO OSO	57
2.4.1.	GENERALIDADES DEL CAMPO OSO.....	57
2.4.2.	CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO PARA EL CAMPO OSO.....	57
2.4.3.	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO MEDIANTE TDAS PARA OSO.	59
2.4.4.	TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO PROBLEMÁTICAS.....	61
CAPITULO III.....		73
3.METODOLOGÍA Y ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO		73
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	73
3.2.	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE TUBERÍA	73
3.2.1.	DISEÑO DE TUBERÍA (METODO ANALÍTICO)	75
3.3.	ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE TUBERÍA	89
3.3.1.	ALTERNATIVA PARA EL CAMPO SHUSHUFINDI (OPTIMIZACIÓN)	89
3.3.2.	PRIMERA ALTERNATIVA PARA EL CAMPO OSO	96
3.3.3.	SEGUNDA ALTERNATIVA PARA EL CAMPO OSO	98
3.3.4.	TERCERA ALTERNATIVA PARA EL CAMPO OSO.....	100
CAPÍTULO IV		103

4.ANÁLISIS TECNICO - ECONÓMICO	103
4.1 INTRODUCCIÓN.....	103
4.2 COSTOS DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	103
4.3 ALTERNATIVA DE DISEÑO PARA EL CAMPO SHUSHUFINDI (OPTIMIZACIÓN).....	105
4.4 ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA EL CAMPO OSO.....	107
CAPÍTULO V	114
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
5.1 CONCLUSIONES.....	114
5.1.1 CAMPO SHUSHUFINDI	114
5.1.2 CAMPO OSO	115
5.2 RECOMENDACIONES.....	117
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXOS.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1 CÓDIGO DE COLORES	5
FIGURA 1-2 CONEXIÓN 8-REDONDA (STC-LTC)	7
FIGURA 1-3 APRIETE MÁXIMO DE LAS ROCAS STC-LTC	7
FIGURA 1-4 CONEXIÓN BTC	8
FIGURA 1-5 ROSCA BTC	8
FIGURA 1-6 APRIETE ÓPTIMO.....	9
FIGURA 1-7 TIPOS DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO.....	10
FIGURA 1-8 TUBERÍA CONDUCTORA.....	11
FIGURA 1-9 TUBERÍA SUPERFICIAL	11
FIGURA 1-10 TUBERÍA INTERMEDIA	12
FIGURA 1-11 TUBERÍA DE PRODUCCIÓN	13
FIGURA 1-12 TUBERÍA CORTA O LINER.....	14
FIGURA 1-13 GRAFICA EJEMPLO DE ASENTAMIENTO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	16
FIGURA 1-14 EJEMPLO DE LA VENTANA OPERATIVA PARA LA CUENCA ECUATORIANA ORIENTE	18
FIGURA 1-15 DIÁMETRO DEL AGUJERO VERSUS SELECCIÓN DEL DIAMETRO DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO	19
FIGURA 1-16 COLAPSO	21
FIGURA 1-17 ESTALLIDO.....	22
FIGURA 1-18 TENSIÓN.....	23
FIGURA 1-19 EFECTO TÉRMICO.....	26
FIGURA 1-20 BALLONING.....	27
Figura 1-21 PANDEO	28
FIGURA 1-22 CARGA TRIAXIAL	30
FIGURA 1-23 PRUEBA DE PRESIÓN DEL FRAGUADO DEL CEMENTO CON EL TOC HASTA SUPERFICIE	34
FIGURA 1-24 PRUEBA DE PRESIÓN DEL FRAGUADO DEL CEMENTO SIN TOC A SUPERFICIE.....	34
FIGURA 1-25 EVACUACIÓN TOTAL	35
FIGURA 1-26 1/3 EVACUACIÓN	35
FIGURA 1-27 INFLUJO DE GAS.....	36
FIGURA 1-28 PRUEBA DE PRESIÓN	37
FIGURA 1-29 FUGA EN EL TUBING SIN TOC A SUPERFICIE.....	37
FIGURA 1-30 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN	39
FIGURA 2-1 TRAYECTORIA DEL POZO	46
FIGURA 2-2 TUBULARES.....	46
FIGURA 2-3 PRESIÓN DE PORO	47
FIGURA 2-4 PRESIÓN DE FRACTURA	47
FIGURA 2-5 TEMPERATURA ESTÁTICA.....	48
FIGURA 2-6 ZONAS DEL RESERVORIO	48

FIGURA 2-7 CASOS DE CARGA.....	49
FIGURA 2-8 RESUMEN DE ENTRADA.....	50
FIGURA 2-9 TUBERIAS DE REVESTIMIENTO	54
FIGURA 2-10 RESULTADOS PRESENTADOS POR TDAS.....	54
FIGURA 2-11 COLAPSO VS ESTALLIDO (EVACUACIÓN TOTAL).....	55
FIGURA 2-12 TABLA DE RESULTADOS	55
FIGURA 2-13 EVACUACIÓN TOTAL.....	56
FIGURA 2-14 TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	60
FIGURA 2-15 RESULTADOS PRESENTADOS POR TDAS.....	60
FIGURA 2-16 COLAPSO VS ESTALLIDO (1/3 EVACUACIÓN).....	61
FIGURA 2-17 RESULTADOS	62
FIGURA 2-18 1/3 EVACUACIÓN	62
FIGURA 2-19 COLAPSO VS ESTALLIDO (FUGA DEL TUBING CERCA DE LA SUPERFICIE)	64
FIGURA 2-20 RESULTADOS	65
FIGURA 2-21 FUGA DEL TUBING	65
FIGURA 2-22 COLAPSO VS ESTALLIDO (EVACUACIÓN TOTAL).....	67
FIGURA 2-23 RESULTADOS	67
FIGURA 2-24 EVACUACIÓN TOTAL.....	68
FIGURA 2-25 COLAPSO VS ESTALLIDO (EVACUACIÓN TOTAL).....	70
FIGURA 2-26 RESULTADOS	70
FIGURA 2-27 EVACUACIÓN TOTAL.....	71
FIGURA 3-1 CASO BASE.....	77
FIGURA 3-2 CASO DE FUGA EN EL TUBING.....	79
FIGURA 3-3 CASO BASE.....	84
FIGURA 3-4 EFECTO TÉRMICO	85
FIGURA 3-5 ABOMBAMIENTO	85
FIGURA 3-6 ESFUERZOS DE CEDENCIAS	88
FIGURA 3-7 PRIMER ESTADO MECÁNICO DEL CAMPO SHUSHUFINDI	90
FIGURA 3-8 CURVAS DE ESTALLIDO DE LA TUBERÍA DE 7"	91
FIGURA 3-9 CURVAS DE COLAPSO DE LA TUBERÍA DE 7".....	92
FIGURA 3-10 CURVAS DE TENSIÓN DE LA TUBERÍA DE 7"	93
FIGURA 3-11 CURVAS DE COMPRESIÓN DE LA TUBERÍA DE 7"	94
FIGURA 3-12 CURVAS DE VME DE LA TUBERÍA DE 7"	95
FIGURA 3-13 RESULTADOS DE LOS FACTORES DE DISEÑO DE LA ALTERNATIVA DE DISEÑO DEL CAMPO SHUSHUFINDI.....	96
FIGURA 3-14 PRIMER ESTADO MECÁNICO DEL CAMPO OSO	97
FIGURA 3-15 RESULTADOS DE LOS FACTORES DE DISEÑO DE LA PRIMERA ALTERNATIVA DEL CAMPO OSO.....	98
FIGURA 3-16 SEGUNDO ESTADO MECÁNICO DEL CAMPO OSO.....	99
FIGURA 3-17 RESULTADOS DE LOS FACTORES DE DISEÑO DE LA SEGUNDA ALTERNATIVA DEL CAMPO OSO.....	100
FIGURA 3-18 TERCER ESTADO MECÁNICO DEL CAMPO OSO	101

FIGURA 3-19 RESULTADOS DE LOS FACTORES DE DISEÑO DE LA TERCERA ALTERNATIVA DEL CAMPO OSO.....	102
FIGURA 4-1 DEMANDA DEL ACERO.....	104
FIGURA 4-2 COSTO REFERENCIAL - N80.....	104
FIGURA 4-3 COSTO REFERENCIAL- N80 Y P110.....	105
FIGURA 4-4 INVERSIÓN TOTAL DEL CAMPO SHUSHUFINDI.....	107
FIGURA 4-5 INVERSIÓN TOTAL DEL CAMPO OSO.....	112
FIGURA 4-6 INVERSIÓN VS AHORRO DEL CAMPO OSO POR SECCIÓN.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1-1 GRADOS DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO.....	4
TABLA 1-2 ESFUERZOS DE CEDENCIA	5
TABLA 1-3 TIPO DE CONEXIÓN A UTILIZAR SEGÚN LA PRESIÓN.....	6
TABLA 1-4 LONGITUD DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO.....	9
TABLA 1-5 DIAMETROS DE AGUJEROS Y TUBERIAS DE REVESTIMIENTO.....	19
TABLA 1-6 MODELOS CONVENCIONAL-CONSIDERANDO LA VIDA PRODUCTIVA...	20
TABLA 1-7 CASOS DE CARGAS A LOS QUE ESTAN EXPUESTAS LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO.....	33
TABLA 1-8 MÍNIMOS FACTORES DE DISEÑO.....	40
TABLA 2-1 CASOS DE CARGAS A LOS QUE ESTAN EXPUESTAS LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	49
TABLA 2-2 CONFIGURACIONES DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	52
TABLA 2-3 CEMENTO	52
TABLA 2-4 FLUIDO DE PERFORACIÓN.....	52
TABLA 2-5 PRESIONES DE PORO	53
TABLA 2-6 PRESIONES DE FRACTURA	53
TABLA 2-7 PRESIONES MÁXIMAS PARA PRUEBAS DE PRESIÓN.....	53
TABLA 2-8 CONFIGURACIONES DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	58
TABLA 2-9 CEMENTO	58
TABLA 2-10 FLUIDO DE PERFORACIÓN	58
TABLA 2-11 PRESIONES DE PORO	59
TABLA 2-12 PRESIONES DE FRACTURA	59
TABLA 2-13 PRESIONES MÁXIMAS PARA PRUEBAS DE PRESIÓN	59
TABLA 3-1 TRAYECTORIA DEL POZO	76
TABLA 3-2 PRESIÓN DE PORO.....	76
TABLA 3-3 TEMPERATURAS	77
TABLA 3-4 RESULTADOS DE PRESIONES - CASO BASE.....	78
TABLA 3-5 RESULTADOS PRESIONES - CASO DE FUGA EN EL TUBING	80
TABLA 3-6 RESISTENCIAS DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	81
TABLA 3-7 RESISTENCIAS DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	82
TABLA 3-8 RESISTENCIAS DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	86
TABLA 3-9 CONFIGURACIÓN PARA EL CAMPO SHUSHUFINDI	89
TABLA 3-10 PRIMERA CONFIGURACIÓN PARA EL CAMPO OSO.....	96
TABLA 3-11 SEGUNDA CONFIGURACIÓN PARA EL CAMPO OSO.....	99
TABLA 3-12 TERCERA CONFIGURACIÓN PARA EL CAMPO OSO	101
TABLA 4-1 COSTO ACTUAL- CAMPO SHUSHUFINDI.....	106
TABLA 4-2 COSTO DE LA OPTIMIZACION-CAMPO SHUSHUFINDI	106
TABLA 4-3 COSTO SHUSHUFINDI EN \$.....	106
TABLA 4-4 COSTOS SHUSHUFINDI EN % (INVERSIÓN).....	107
TABLA 4-5 COSTO ACTUAL-CAMPO OSO	109
TABLA 4-6 COSTO PRIMERA ALTERNATIVA-CAMPO OSO	109

TABLA 4-7 COSTO SEGUNDA ALTERNATIVA-CAMPO OSO.....	110
TABLA 4-8 COSTO TERCERA ALTERNATIVA-CAMPO OSO.....	111
TABLA 4-9 COSTO OSO EN \$.....	111
TABLA 4-10 COSTOS OSO EN % (INVERSIÓN).....	112

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 RESISTENCIAS DE LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO	123
ANEXO 2 EJEMPLO DE LA VENTANA OPERATIVA PARA LA CUENCA ECUATORIANA ORIENTE	148

RESUMEN

El presente proyecto, consiste en realizar el diseño de tuberías de revestimiento considerando la vida productiva de un pozo a perforar, en donde se realizan análisis que presentan una alta complejidad en los cálculos matemáticos, por lo que se los realizan a través del programa Tubular Design and Analysis System (TDAS). El proyecto consta de cinco capítulos presentados a continuación:

El capítulo 1, detalla los fundamentos teóricos de las tuberías de revestimiento.

El capítulo 2, consiste en el análisis y evaluación de los diseños de tuberías de revestimiento para el campo Shushufindi y Oso, a partir de los esquemas de pozos empleados; este análisis consistirá en encontrar los posibles problemas o casos de fallas que pudieran presentarse durante la vida productiva del pozo, para posteriormente realizar una optimización de la tubería de revestimiento de 7" para el campo Shushufindi y nuevas alternativas de diseño para el campo Oso. Parte de este capítulo presenta el funcionamiento del programa (TDAS) y los análisis de los diseños de tuberías de revestimientos con el soporte de la herramienta de trabajo TDAS.

El capítulo 3, está estructurado en dos partes, la primera parte se describe la metodología para realizar el diseño de tubería de revestimiento y la segunda parte se determina las alternativas de diseños de tuberías de revestimiento para los campos Shushufindi y Oso.

El capítulo 4, determina la inversión de la optimización de la tubería de revestimiento para el Campo Shushufindi y se seleccionará la mejor alternativa de diseño de las tuberías de revestimiento para el Campo Oso a través de los costos que representen su inversión.

Finalmente en el capítulo 5, se presentan las conclusiones y recomendaciones en base al proyecto realizado que deben ser consideradas.

PRESENTACIÓN

La perforación de pozos de petróleo persigue dos objetivos principales: Perforar un hoyo hasta la formación petrolífera, e instalar una tubería desde el yacimiento hasta la superficie. Esta tubería, llamada de revestimiento se refiere en alcanzar la profundidad total de manera segura, con la cantidad de sartas de revestimiento económicamente efectivas permitiendo la perforación y completación de un pozo, para esto es necesario “delinear” el agujero perforado con tubería de acero. El alcance de este trabajo consistirá en realizar el diseño de revestimientos considerando la vida productiva del mismo, en donde se compone de análisis que presentan una alta complejidad en los cálculos y con el objeto de facilitar estos análisis, se realizarán a través del programa Tubular Design and Analysis System (TDAS).

Este proyecto esta propuesto con el fin de evaluar y optimizar tuberías de revestimiento para pozos a perforar en los campos Shushufindi y Oso ya que:

- El campo Shushufindi operado atreves de la alianza entre Petroecuador y el Consorcio Shushufindi realizaron el diseño de tubería en enero del 2012 a partir de las consideraciones iniciales e información disponible al momento de recibir el campo.
- El diseño actual de revestidores para el campo Oso se realizó basado en la selección de tubería empleado para el campo Eden Yuturi, que fue usado como base para la compra de revestimientos para todos los pozos de los campos pertenecientes a Petroamazonas.

Como resultado se obtiene el presente proyecto con información útil para Schlumberger prestadora de servicios petroleros, entidad principal interesada en el mismo, Escuela Politécnica Nacional y usuarios en general interesados en diseños de tuberías de revestimiento.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

1.1 INTRODUCCIÓN

La perforación de pozos de petróleo persigue dos objetivos principales: Perforar un hoyo hasta la formación petrolífera, e instalar una tubería desde el yacimiento hasta la superficie. Esta tubería, llamada de revestimiento se refiere en alcanzar la profundidad total de manera segura, con la cantidad de sartas de revestimiento económicamente efectivas permitiendo la perforación y completación de un pozo, para esto es necesario “delinear” el agujero perforado con tubería de acero. Una vez que está en su lugar, es cementada, soportando la tubería de revestimiento y sellando el espacio anular.

1.2 TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

La tubería de revestimiento constituye uno de los aspectos más importantes dentro de la operación de perforación tanto desde el punto de vista operativo como económico. Operativamente, la preparación y corrida de la tubería de revestimiento siempre serán pasos que requieren gran atención para realizarlos con éxito; a este punto se debe asumir que el diseño correspondiente ya ha sido realizado tomando en consideración las condiciones existentes y que existieran durante la vida del pozo.

Las tuberías de revestimiento se las utiliza para:

- Reforzar el agujero.
- Aislar formaciones inestables, fluyendo, bajo balance/ sobre balance.
- Prevenir la contaminación de reservorios de agua fresca.
- Actuar como conducto para operaciones asociadas (perforación, trabajos con línea de acero, completación y más sartas de revestimiento y tubería) con dimensiones conocidas (ID's, etc.).
- Sostiene el cabezal de pozo, conjunto de preventores anulares / arietes y sartas de tubería de revestimiento adicionales.

1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

El instituto americano del petróleo (API), identifica, asesora y desarrolla normas para los productos fabricados para la industria del petróleo (API-5A, API-5AC, API 5C3, API 5CT)

La tubería API puede ser sin costura o aceros con soldadura eléctrica, pero la mayoría de los revestimientos utilizados en pozos de petróleo son manufacturados por el proceso sin costura. El revestimiento API se hace trabajando en caliente para producir una forma deseada, dimensiones y propiedades.

La tubería de revestimiento viene usualmente especificada por las siguientes propiedades:

- Diámetro exterior y grosor de la pared.
- Peso por unidad de longitud.
- Grado del acero.
- Tipo de conexión.
- Longitud de la junta.

1.3.1 DIÁMETRO EXTERIOR Y ESPESOR DE LA PARED

El diámetro exterior se refiere al cuerpo de la tubería y no a los acoples. El diámetro de los acoples es importante, ya que determina el tamaño mínimo del agujero en el que puede ser corrida la tubería de revestimiento.

El espesor de la pared determina el diámetro interno de la tubería y por lo tanto el tamaño máximo de la broca que puede ser corrida a través de la tubería.

1.3.2 PESO POR UNIDAD DE LONGITUD

Los pesos del revestimiento se expresan en libras por cada pie (lb/ft), cada grado de acero y diámetro de las tuberías se fabrican para diferentes pesos, por ejemplo la tubería N-80 de 7" de diámetro existen de 23, 26,29, 32, 35 y 38 lb/ft, el peso por pie afecta al diámetro interior de la tubería (espesor).

1.3.3 GRADO DEL ACERO

Las propiedades mecánicas y físicas de la tubería de revestimiento dependen de la composición química del acero y el tratamiento de calor que recibe durante su fabricación.

API ha adoptado una designación de grado a la tubería de revestimiento definiendo la característica del esfuerzo de cedencia de la tubería en miles de psi.

La carta de designación API da una indicación sobre el tipo de acero y el tratamiento que recibió durante su fabricación.

El código del grado consiste en una letra seguida de un número, la letra designada por API fue seleccionada arbitrariamente para proporcionar una asignación única para cada grado de acero que fue adoptada como estándar, el número de la asignación representa el mínimo esfuerzo a la cedencia del acero en miles de psi.

API define cuatro grupos de grados de acero para tubería de revestimiento. Ver Tabla 1-1.

TABLA 1-1 GRADOS DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO

Grupo	Grados
1	H40
	J55
	K55
	N80
	R95
2	M65
	L80
	C90
	T95
	C110
3	P110
4	Q125

FUENTE: API 5CT

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

Por ejemplo una tubería de revestimiento en grado de acero N80, tiene un esfuerzo mínimo de cedencia de 80000 psi y su esfuerzo máximo de 110000 psi.

La tabla 1-2 indica todos los tipos de grados de acero que existen actualmente en el mercado, con sus respectivos puntos de cedencia tanto máximos como mínimos. Dichos grados son: H40, J55, K55, N80, R95, M65, L80, C90, T95, C110, P110 y Q125.

La tabla 1-2 está sujeta a la norma API 5CT.

TABLA 1-2 ESFUERZOS DE CEDENCIA

Grado	Punto de cedencia mínima (psi)	Punto de cedencia máximo (psi)
H40	40000	80000
J55	55000	80000
K55	55000	80000
N80	80000	110000
R95	95000	110000
M65	65000	85000
L80	80000	95000
C90	90000	105000
T95	95000	110000
C110	110000	120000
P110	110000	140000
Q125	125000	150000

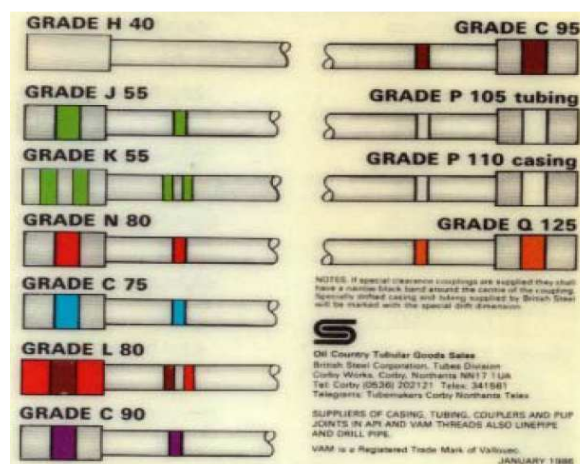
FUENTE: API 5CT

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

1.3.3.1 Identificación del grado de acero por su código de colores

Mediante los códigos de colores, se evita la posibilidad de que existan errores o confusión de tuberías, desde el momento de despacharlas hasta cuando se corran las mismas en el pozo. Ver Figura 1-1.

FIGURA 1-1 CÓDIGO DE COLORES



FUENTE: British Steel Corporation Tubes Division

1.3.4 TIPO DE CONEXIÓN

Hoy en día existen múltiples tipos de conexiones disponibles en el mercado. La selección de una conexión adecuada debe ser basada en la intención de aplicación, desempeño requerido y el costo. En el mercado petrolero existen conexiones según la norma API y Premium (son aquellas patentadas por empresas de servicios especializadas, las que superan las especificaciones requerida en las normas API).

Las roscas seleccionadas en la mayoría de los campos petroleros en la cuenca oriental ecuatoriana, son conexiones API, debido a las bajas presiones que tienen la mayoría de estos. Algunas empresas de servicios o compañías operadoras tienen sus criterios para la selección de las mismas. En la tabla 1-3 se presenta un ejemplo de criterio de selección para las conexiones API vs Premium:

TABLA 1-3 TIPO DE CONEXIÓN A UTILIZAR SEGÚN LA PRESIÓN

Líquidos	Roscas API	<7500 psi>	Roscas Premium
Gas	Roscas API	<5000 psi>	Roscas Premium

FUENTE: Casing Design Manual – Schlumberger

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

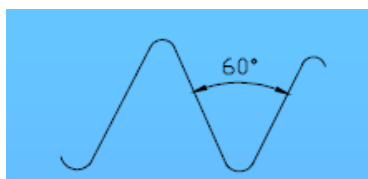
1.3.4.1 Conexiones API

American Petroleum Institute (API) ha adoptado algunas conexiones las cuales para nuestro estudio las más importantes y son:

1.3.4.1.1 API Rosca Redonda 8HRR, (STC ó LTC)

Son las primeras roscas que se utilizaron para conectar tramos de tubos en los inicios de la perforación, se fabricaban con hilos en forma de “V” de 60°. Ver Figura 1-2.

FIGURA 1-2 CONEXIÓN 8-REDONDA (STC-LTC)



FUENTE: VAM- API Connection

Este tipo de roscas para tuberías de revestimiento han sido las más populares en toda la historia de la perforación de pozos petroleros.

En la actualidad se sigue utilizando en gran escala para pozos de gran complejidad, así como para producir todo tipo de fluidos, incluyendo gas.

Se conoce como 8HRR (Ocho Hilos Rosca Redonda) debido a que en los diámetros más usuales, se fabrica con 8 hilos por pulgada. En tuberías de revestimiento de 4 ½" a 20", solo se fabrican en tubo liso. Se conocen como LTC (Long Thread Coupled – Roscas Redondas de acople largo), y como STC (Short Thread Coupled- Roscas Redondas con acople corto).

Para lograr su apriete Óptimo durante el enrosque se debe aplicar el torque pre-establecido para cada diámetro, grado y peso. Al llegar a este valor, la cara del acople deberá coincidir con el punto donde termina la rosca- punto conocido como “desvanecimiento de la rosca” o “vanish point”. Ver Figura 1-3.

FIGURA 1-3 APRIETE MÁXIMO DE LAS ROCAS STC-LTC

Punto de
desvanecimientoSin hilos fuera
del cople

FUENTE: TenarisTamsa

1.3.4.1.2 API BTC

Las roscas BTC (Buttress) es una de las primeras conexiones acopladas que apareció en el mercado petrolero durante los años treinta.

Esta rosca se utiliza en tubos de revestimiento cuyo rango va desde 4 ½" hasta 20" de diámetro y se fabrican hilos de 3°. Ver Figura 1-4.

FIGURA 1-4 CONEXIÓN BTC



FUENTE: VAM-API Connection

Esta rosca BTC tiene un triángulo que es de suma importancia ya que sirve de referencia para realizar el apriete geométrico. El triángulo de referencia puede quedar en el cuerpo del tubo o en los hilos de la rosca.

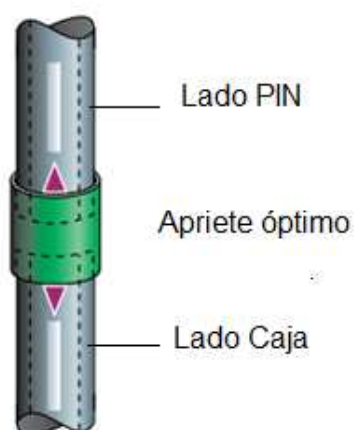
FIGURA 1-5 ROSCA BTC



FUENTE: TenarisTamsa

La franja blanca de 1" x 24" y el triángulo de 3/8" son dos elementos básicos que ayudarán a apretar de manera correcta la rosca Buttress. Ver Figura 1-5.

FIGURA 1-6 APRIETE ÓPTIMO



FUENTE: TenarisTamsa

La figura 1-6 indica de mejor manera como se debe realizar el apriete óptimo, guiándose por la franja blanca de 1" x 24" y el triángulo de 3/8".

1.3.5 LONGITUD DEL TRAMO O JUNTA

Los tramos o juntas de revestimiento no son fabricados en longitudes exactas. API ha especificado tres rangos entre los cuales debe encontrarse la longitud de la tubería. Ver tabla 1-4.

TABLA 1-4 LONGITUD DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

Rango	Longitud (pies)	Longitud Promedio (pies)
1	15 – 25	22
2	25 – 34	31
3	>34	42

FUENTE: Casing Design Manual – Schlumberger

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

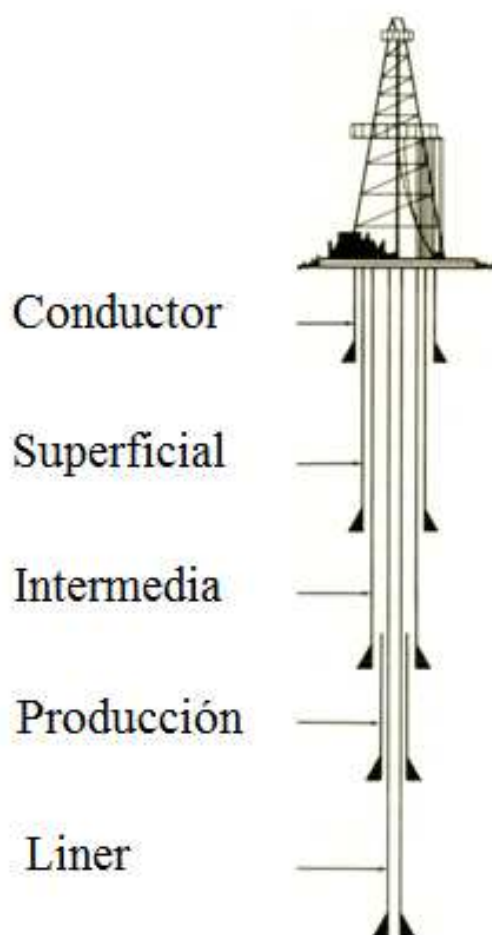
El rango 3 es el comúnmente utilizado en las tuberías de revestimiento, debido a que se reduce el número de conexiones.

1.4 TIPOS DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

Existen principalmente 6 tipos de tubería de revestimiento instaladas en pozos de tierra. Ver Figura 1-7.

- Sarta de Conducción.
- Tubería Superficial de Revestimiento.
- Tubería Intermedia de Revestimiento.
- Tubería de Revestimiento de Producción o Explotación.
- Liner.

FIGURA 1-7 TIPOS DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

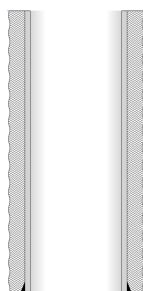


FUENTE: Casing Design Principles-Schlumberger

1.4.1 TUBERÍA CONDUCTORA

La sarta es utilizada para aislar formaciones no consolidadas, proteger arenas de aguas frescas de ser contaminadas y reviste cualquier depósito poco profundo de gas. La sarta es usualmente cementada a la superficie en tierra. Ver Figura 1-8.

FIGURA 1-8 TUBERÍA CONDUCTORA

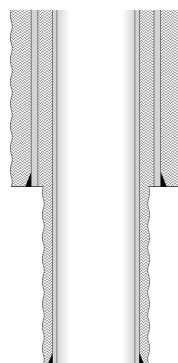


FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

1.4.2 TUBERÍA SUPERFICIAL DE REVESTIMIENTO

Provee protección contra arremetidas para la perforación mas profunda, soporte estructural para el cabezal del pozo y sargas de revestimiento subsecuentes y es muchas veces utilizada para aislar formaciones problemáticas. La sarta se encuentra, ya sea cementada a la superficie o hasta el interior de la tubería conductora. Su objetivo es permitir la instalación del primer preventor donde se instalan las conexiones superficiales de control y establecer un medio de circulación para el fluido de perforación. Ver Figura 1-9

FIGURA 1-9 TUBERÍA SUPERFICIAL

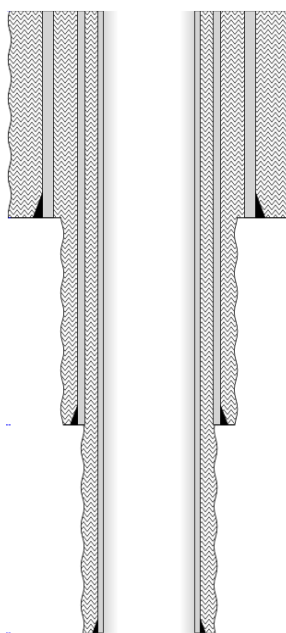


FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

1.4.3 TUBERÍA INTERMEDIA DE REVESTIMIENTO

Una vez más esta sarta provee contra arremetidas para la perforación más profunda y aísla formaciones problemáticas que pudieran dañar la seguridad del pozo y/o impedir las operaciones de perforación. Una sarta de tubería intermedia de revestimiento es comúnmente colocada cuando es probable que un pozo encuentre un influjo y/o pérdida de circulación en el agujero descubierto proveyendo de esta manera protección contra arremetidas al mejorar la fuerza del pozo. La altura del cemento es determinada por el requisito del diseño para sellar cualquier zona de hidrocarburo y de flujos de sal. El tope del cemento no necesita estar dentro de la sarta superficial de revestimiento, esto depende de las políticas de las compañías operadoras. Ver Figura 1-10

FIGURA 1-10 TUBERÍA INTERMEDIA



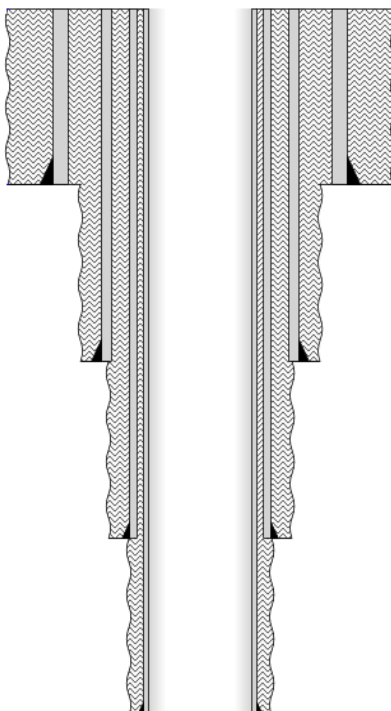
FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

1.4.4 TUBERÍA DE REVESTIMIENTO DE PRODUCCIÓN

Este es el nombre que se aplica a la tubería de revestimiento que contiene la tubería de producción y podría estar potencialmente expuesta a fluidos del reservorio. La misma podría ser extendida hasta la superficie como una sarta

integral o ser una combinación de un liner de producción (7') y la tubería de revestimiento de producción anteriormente colocada (9 5/8"). El propósito de la tubería de revestimiento de producción es la de aislar las zonas productoras, permitir el control de reservorio, actuar como un conducto seguro de transmisión de fluidos/ gas/ condensado, a la superficie y previene influjos de fluidos no deseados. Ver Figura 1-11.

FIGURA 1-11 TUBERÍA DE PRODUCCIÓN

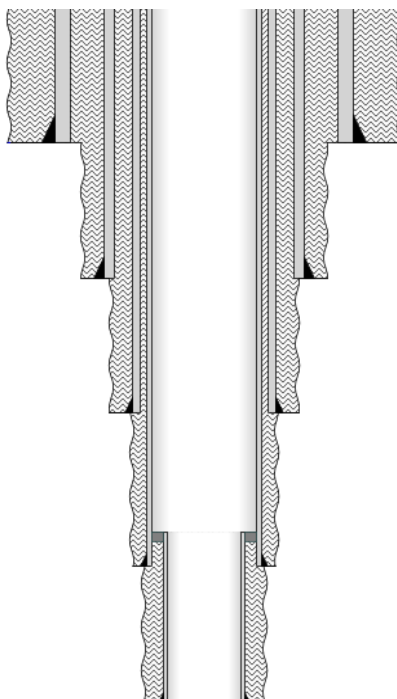


FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

1.4.5 LINER O TUBERÍA CORTA DE REVESTIMIENTO

Un liner será suspendido, colgado a corta distancia por encima de la zapata del revestidor anterior y será cementada a lo largo de toda su longitud para asegurar un buen sellado al aislar el espacio anular. Muchas veces un empacador de liner puede ser instalado como una segunda barrera, por precaución. Los liners permiten una perforación más profunda, separar zonas productoras, de formaciones de reservorio y puede también ser instalado para propósitos de la realización de pruebas. Ver Figura 1-12.

FIGURA 1-12 TUBERÍA CORTA O LINER



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

Los Liners de producción son colocados:

- Para completar el pozo a menor costo.
- Permitir un conducto de producción más grande para proveer un rango de elección para la tubería.

1.5 CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO

Profundizar en las consideraciones previas al diseño de tuberías de revestimiento no están dentro del alcance del proyecto de titulación pero cabe indicar como se las obtiene ya que son necesarias para la Evaluación y Optimización del diseño de tuberías de revestimiento. Estas consideraciones son: el asentamiento de la tubería de revestimiento que depende de la caracterización de la columna geológica a perforar y de la selección de los diámetros del agujero y de la tubería de revestimiento que dependen de la completación del pozo a perforar.

El departamento de perforación y completación de pozos son los responsables de definir el asentamiento y los diámetros de las tuberías de revestimiento.

1.5.1 ASENTAMIENTO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

Existen varios métodos para realizar el asentamiento de las tuberías de revestimientos, los cuales son:

- Método gráfico de la presión de poro versus presión de fractura
- Análisis de pozos vecinos
- Estudio Geomecánico

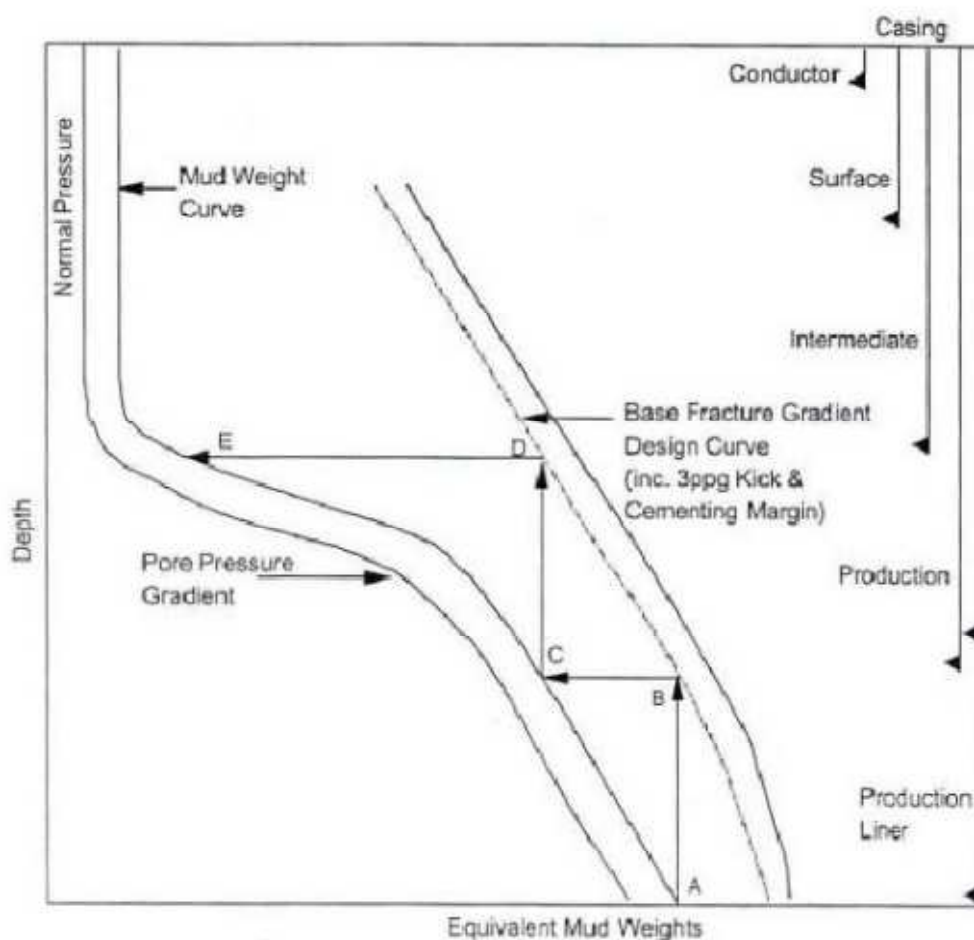
1.5.1.1 Método gráfico de la presión de poro versus presión de fractura

Este método gráfico se lo realiza de la siguiente manera:

- a) Se estima la presión de poro y fractura a partir datos de registros eléctricos o geofísicos, se grafica las curvas del gradiente presión de poro y fractura, se grafica en función a la profundidad vertical verdadera (TVD)
- b) Se Traza una curva de margen de seguridad de presión de poro (curva de presión de lodo), la cual deberá estar por encima de la curva de presión de pozo entre 200 a 500 psi o un equivalente de 0.5 a 1 ppg.
- c) Se traza una curva de margen se seguridad de presión se fractura (curva diseñada del gradiente de fractura base), la cual deberá estar por debajo de la curva de presión de fractura estimada en el paso (a), la cual debe estar por debajo entre 0.3 a 0.5 ppg; para la tolerancia de los influjos y margen integridad presión para la cementación en la zapata
- d) Identificar el margen de perforación.

Ver Figura 1-13.

FIGURA 1-13 GRAFICA EJEMPLO DE ASENTAMIENTO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO



FUENTE: Casing Design Manual – Schlumberger

Y se interpreta de la siguiente manera:

- a) Trabajando fondo arriba, entre la curva de peso del lodo en el punto A.
- b) Muévase hasta el punto B, que determina el estimado inicial de profundidad de anclaje para la tubería de revestimiento de producción.
- c) Muévase a través del punto C, el cual identifica el requerimiento de peso de lodo, para esa profundidad.
- d) Muévase hacia arriba hasta el punto D, el cual determina la profundidad inicial de asentamiento para la tubería intermedia de revestimiento.
- e) Muévase a través del punto E para identificar el peso del lodo requerido a esa profundidad.

1.5.1.2 Análisis de pozos vecinos

El análisis de pozos vecinos permite el posicionamiento de las tuberías de revestimiento a través de factores de riesgo que han ocurrido durante la perforación de los mismos, tales como:

- Aislar Zonas de pérdida de presión, alta presión, secciones salinas, entre otras
- Tipo de perfil direccional, tal es el caso de los pozos horizontales; según la litología presente se recomienda asentar una tubería de revestimiento a la entrada de la arena productora. Igualmente, secciones largas del agujero abierto, podrían requerir tubería de revestimiento para reducir la posibilidad de que ocurra un atrapamiento de tubería, arenas de agua frescas (agua potable)
- Secciones salinas.
- Zonas de alta presión.

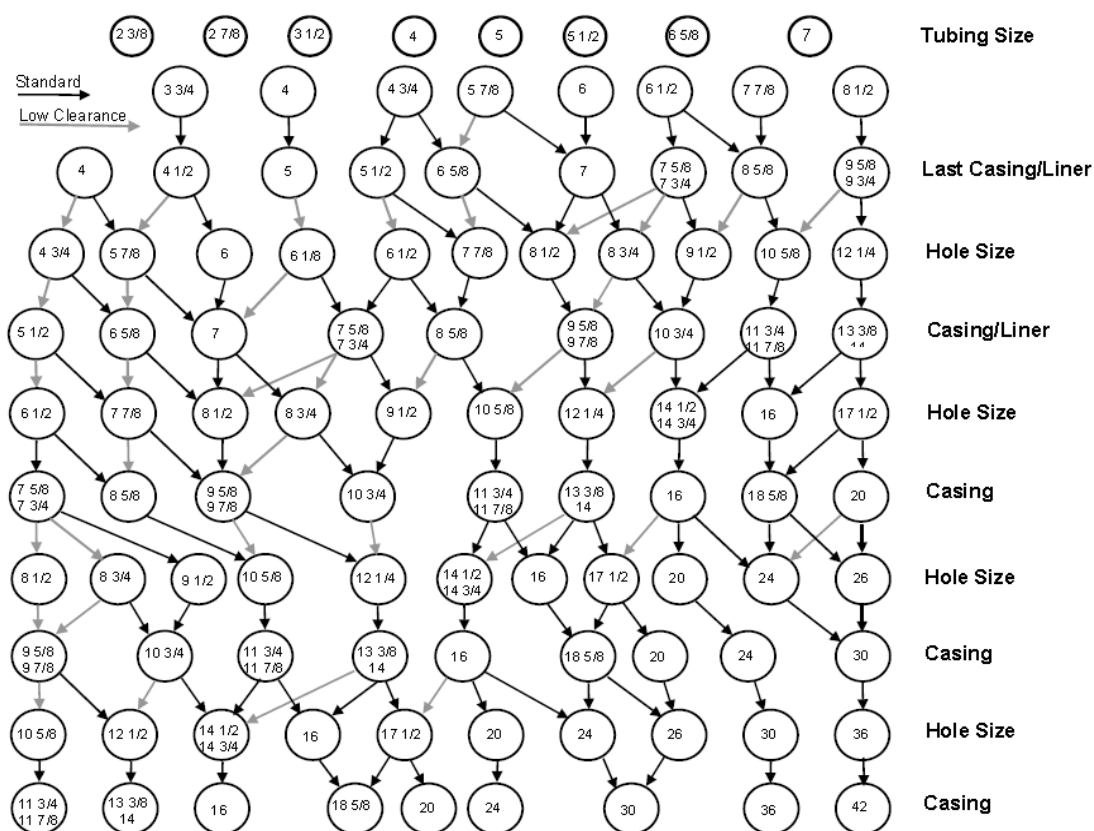
1.5.1.3 Estudio Geomecánico

Este análisis de geomecánica es el mejor método para definir puntos de asentamiento de los revestidores, incluye el análisis de presiones de poro-fractura y margen de estabilidad de agujero (zona de lavado de agujero, pérdida de filtrantes, entre otros).

De igual manera el margen de operación nos indica la densidad del fluido de perforación que se recomienda para la perforación de cada etapa, este dependerá de la calidad y/o disponibilidad de datos de los registros.

Lo que se obtiene con este estudio geomecánico se lo puede observar con la figura 1-14, la cual consta en ANEXO 2 para mayor visibilidad.

FIGURA 1-15 DIÁMETRO DEL AGUJERO VERSUS SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO



FUENTE: Casing Design Manual- Schlumberger

Los campos en estudio siguen por lo general al arreglo mas comun como se indica en la tabla 1-5.

TABLA 1-5 DIAMETROS DE AGUJEROS Y TUBERIAS DE REVESTIMIENTO

Para tubing de 3 1/2 (in)	
Agujero (in)	Tubería (in)
8 1/2	7
12 1/4	9 5/8
16	13 3/8
26	20

FUENTE: Pozos Perforados en la Cuenca Ecuatoriana Oriente

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

1.6 DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

Para el diseño de la tubería de revestimiento se puede realizar de dos formas, la primera es considerando las cargas convencionales (estallido, colapso y tensión), la cual se pueden realizar los cálculos de manera manual. Existe otro método el cual considera todas las posibles cargas que pueden ocurrir durante la vida productiva del pozo; para este análisis es necesario realizarlo a través de programas, ya que consideran cargas que requieren un mayor número de cálculos matemáticos. Es por esto que tienen dos métodos para realizar el diseño de tuberías de revestimiento, los cuales se especifica en la tabla 1-6.

TABLA 1-6 MODELOS CONVENCIONAL-CONSIDERANDO LA VIDA PRODUCTIVA

Conceptos	Modelo convencional	Modelo considerando la vida productiva
GENERAL	<ul style="list-style-type: none"> -Se analizan solo las cargas principales para un modelo convencional que son las de estallido, colapso y tensión. -Adecuado para pozos someros. -Inadecuado para pozos profundos. -Es posible hacer cálculos a mano. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se aumentan otras cargas considerando la vida productiva del pozo que son las de compresión y triaxial. -Por eficiencia se realiza con la ayuda de un programa. -Es un diseño optimizado.
ESTALLIDO	<ul style="list-style-type: none"> -Se determina el mayor diferencial de presión de estallido 	<ul style="list-style-type: none"> -Se aumenta la carga de efecto axial en la presión interna -La tensión axial incrementa la capacidad de la tubería a estallar. -La compresión axial disminuye la capacidad de la tubería a estallar
COLAPSO	<ul style="list-style-type: none"> -Se determina el mayor diferencial de presión de colapso. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se aumenta el ajuste de la tensión debido al efecto de temperatura, presión, ballooning y pandeo.
TENSIÓN	<ul style="list-style-type: none"> -Se determina el valor mayor de tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se aumenta el efecto de temperatura, abombamiento y pandeo. -Se utiliza el diagrama de cuerpo libre.

FUENTE: Tubular Design Technology Training

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

Para realizar el diseño de tuberías de revestimiento considerando la vida del pozo se debe analizar:

- Tipo de cargas
- Casos de Cargas
- Factores de diseño
- Selección de la tubería de revestimiento

1.6.1 CARGAS

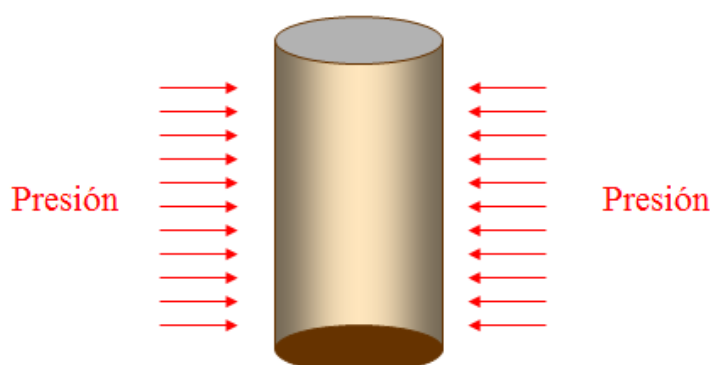
Las cargas son las presiones o fuerzas a las que las tuberías de revestimiento podrían estar expuestas. Estas cargas deberán ser calculadas en el orden en el que ocurran.

1.6.1.1 Cargas principales para un diseño convencional

1.6.1.1.1 Carga de Colapso

Para todas las sargas de tubería de revestimiento el colapso ocurre cuando la presión externa es mayor que la presión interna. Ver Figura 1-16.

FIGURA 1-16 COLAPSO



FUENTE: Casing Design Principles-Schlumberger

La carga neta de colapso de la tubería de revestimiento debe ser calculada de la siguiente manera:

$$\text{carga neta de colapso} = P_c = P_e - P_i$$

Dónde:

$P_e = \text{Presión externa, psi}$

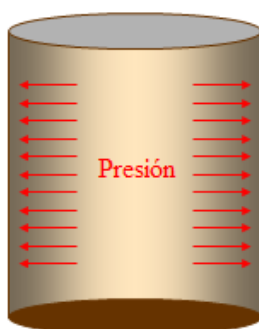
$P_i = \text{Presión interna, psi}$

El colapso estará en su punto más alto en la zapata guía (punto en el que requiere un tipo de tubería que resista la presión máxima de colapso), por lo tanto a medida que se va del fondo (zapata guía) a la superficie, la presión de colapso va decreciendo.

1.6.1.1.2 Carga de Estallido

Para todas las sartas de tubería de revestimiento el estallido ocurre cuando la presión interna es mayor que la presión externa. Ver Figura 1-17.

FIGURA 1-17 ESTALLIDO



FUENTE: Casing Design Principles-Schlumberger

La carga neta del estallido de la tubería de revestimiento debe ser calculada de la siguiente manera:

$$\text{carga neta de estallido} = P_b = P_i - P_e$$

Dónde:

$P_e = \text{Presión externa, psi}$

$P_i = \text{Presión interna, psi}$

El estallido sería mayor en la superficie, por lo tanto a medida que se va del fondo a la superficie, la presión de estallido va aumentando.

1.6.1.1.3 Carga de Tensión

La carga por tensión es la ejercida por el peso total del revestimiento, a partir de un punto determinado. Esto indica que son mayores en la superficie y disminuyen con la profundidad, hasta anularse en el punto neutral. Durante las etapas del diseño, cada sección de tubería es seleccionada para satisfacer los valores de estallido y colapso, donde luego son analizadas las cargas por tensión. Si la tubería es considerada demasiada débil para el peso que debe sostener hay que realizar un cambio de grado de la misma, con la finalidad de aumentar la resistencia a la tensión y poder así sostener el peso suspendido.

La tensión se debe calcular con el diagrama de fuerzas. Ver Figura 1-18.

FIGURA 1-18 TENSIÓN



$$\sum F_y = 0$$

$$T - F = 0$$

Del diagrama de fuerzas se debe despejar la fuerza F, es decir la carga a la tensión.

$$\text{tensión} = F$$

1.6.1.2 Otras cargas considerando la vida de servicio del pozo

1.6.1.2.1 Carga Biaxiales

Debido al peso de la tubería de revestimiento ó debido a la acción combinada de presiones internas y externas, es raro para una tubería de revestimiento estar bajo cero cargas axiales.

La tensión reduce la resistencia al colapso. Si la tensión no está presente, la resistencia al colapso será mayor que lo diseñado.

La tensión incrementa la resistencia al estallido. Si la tensión no estuviera ahí el estallido sería menor que lo diseñado.

Esta carga se la puede determinar mediante la siguiente ecuación:

- Para Colapso:

$$Y_{pa} = \left\{ \sqrt{\left[1 - 0.75 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{yield}} \right)^2 \right]} - 0.5 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{yield}} \right) \right\} \sigma_{yield}$$

- Para Estallido:

$$Y_{pa} = \left\{ \sqrt{\left[1 - 0.75 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{yield}} \right)^2 \right]} + 0.5 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{yield}} \right) \right\} \sigma_{yield}$$

Dónde:

Y_{pa} = Ajuste del esfuerzo de cedencia

σ_{yield} = mínimo esfuerzo de cedencia de tablas, psi

$\sigma_a = \frac{Ft}{At}$ = esfuerzo axial, psi

Ft = Carga de tensión, lbs

At = Área transversal, in²

1.6.1.2.2 Efecto térmico

La temperatura cuenta como un factor que afecta la cantidad de tensión de la sarta.

El estado en que la tubería de revestimiento se encuentra instalada, cualquier cambio de temperatura provocaría un cambio de longitud debido a la expansión térmica del material. Ver Figura 1-19.

La fuerza será de compresión (negativa) cuando la temperatura aumente y de tensión (positiva) cuando la temperatura disminuya.

La fórmula para calcular la fuerza asociada a éstos cambios de temperatura se deduce al compensar la posible deformación térmica con una deformación elástica de la misma magnitud y sentido contrario.

$$F_{temp} = -\alpha E A_p \Delta T$$

Donde,

F_{temp} = Fuerza aplicada por cambio de temperatura, (lbs)

α = Coeficiente de expansión térmica (F^{-1})

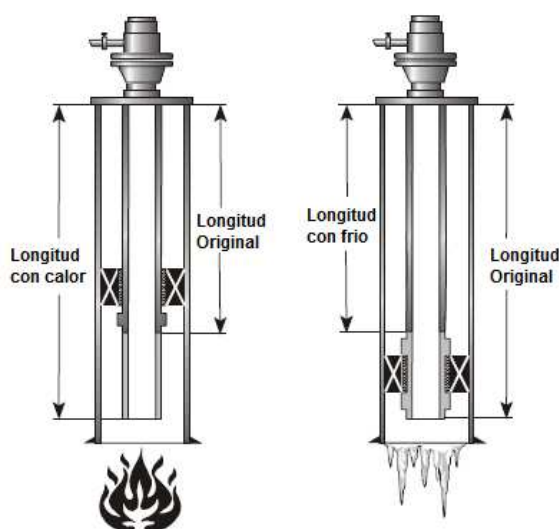
E = Módulo de elasticidad (psi)

A_p = Área transversal del cuerpo de la tubería (in²)

$\Delta T =$ Variación de las temperaturas promedio, ($^{\circ}F$)

Se debe analizar la variación de las temperaturas promedio con la comparación del caso base con el caso a analizar.

FIGURA 1-19 EFECTO TÉRMICO



FUENTE: Introduction Design-Schlumberger

1.6.1.2.3 Efecto de Abombamiento

Cuando se presuriza un revestidor por dentro, su diámetro se expande ó abomba ligeramente. Esto hace que se acorte su longitud. Sin embargo, como la tubería sigue fija pos su parte superior e inferior, aparece una fuerza de tracción adicional. Ver Figura 1-20.

$$F_{ball} = 2\nu(A_i\Delta P_{i_{prom}} - A_e\Delta P_{e_{prom}})$$

Donde,

F_{ball} = Fuerza de abombamiento, (lbs)

ν = Coeficiente de Poisson

A_i = Área interna del cuerpo de la tubería (in^2)

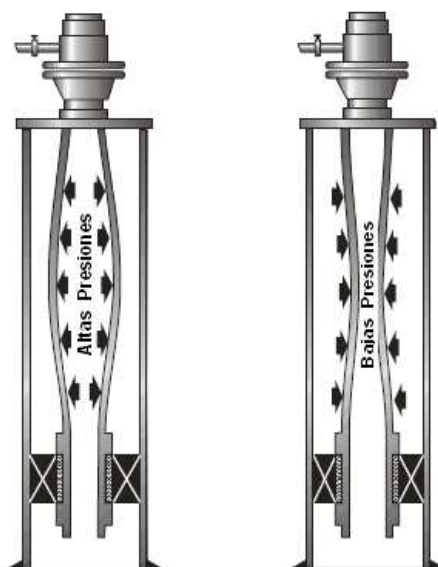
$A_e = \text{Área externa del cuerpo de la tubería (in}^2\text{)}$

$\Delta P_i \text{ prom} = \text{Variación de las presiones internas promedio, (psi)}$

$\Delta P_e \text{ prom} = \text{Variación de las presiones externas promedio, (psi)}$

Se debe analizar la variación de las presiones promedio con la comparación del caso base con el caso a analizar.

FIGURA 1-20 BALLONING



FUENTE: Introduction Design-Schlumberger

1.6.1.2.4 Pandeo

El pandeo puede ocurrir en la porción no cementada de la sarta de la tubería de revestimiento.

Los efectos de pandeo pueden ser reducidos elevando el tope del cemento (reduciendo la cantidad de tubería no cementada) o en caso de ser práctico, incrementando la cantidad de tensión aplicada, antes de colocar las cuñas.

Pandeo puede ocurrir cuando $F_p < 0$ (valor negativo).

$$F_p = F + (P_e * A_e) - (P_i * A_i)$$

Donde:

$F_p = \text{Pandeo}$

$F = \text{Tensión, lbs}$

$P_e = \text{Presión hidrostática externa en el fondo de la TR, (psi)}$

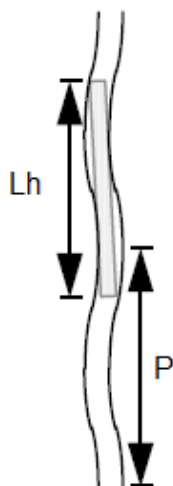
$P_i = \text{Presión hidrostática interna en el fondo de la TR, (psi)}$

$A_e = \text{Área del diámetro exterior, (in}^2\text{)}$

$A_i = \text{Área del diámetro interior, (in}^2\text{)}$

El pandeamiento en sí, no significa que la tubería de revestimiento ha fallado. Sin embargo, y a medida que el pandeamiento se desarrolla en una forma helicoidal, esto puede promover una severidad incrementada de patas de perro y restringir la longitud de desviación y puede promover el deterioro de la tubería de revestimiento durante los futuros trabajos de workover. Ver Figura 1-21.

Figura 1-21 PANDEO



FUENTE: Tubular Design Technology Training

La cantidad de pandeo que registra una sarta puede caracterizarse por medio de varios parámetros. El paso (P) es la distancia vertical necesaria para formar una hélice de 360°, la severidad de la pata de perro (DLS) es una medida de la variación del ángulo dividida entre la longitud del revestidor, lo cual indica cuán agudo es la curvatura de la sarta pandeada; y finalmente, la longitud de paso libre de herramientas (Lh) representa la longitud máxima que una herramienta rígida

puede tener para bajar por la tubería pandeada. Una herramienta cuya longitud sea superior a L_h se atascará dentro de la hélice y no avanzará, naturalmente L_h varía en función del diámetro de la herramienta.

El paso puede determinarse a partir del pandeo y de la geometría de la tubería.

$$P = \frac{\pi \sqrt{\frac{8EI}{Fp}}}{12}$$

Donde,

$P =$ Paso, (ft)

$E =$ Módulo de elasticidad del material, (psi)

$I =$ Momento de inercia de la tubería, (in^2)

$Fp =$ Pandeo

La severidad de la pata de perro es medida en grados por 100 pies.

$$DLS = \frac{275000\pi^2 rc}{144P^2 + 4\pi^2 rc^2}$$

Donde,

$DLS =$ Severidad de las patas de perro, $\left(\frac{^\circ F}{100ft}\right)$

$rc =$ Distancia desde el centro de la tubería al radio donde se calcula el esfuerzo de flexión, (in^2)

La longitud máxima de herramienta que puede pasar por la tubería pandeada, se determina a partir del diámetro de la herramienta, la inclinación y la holgura radial.

$$L_h = \frac{P}{\pi} c^{\frac{1}{2}} s^{-1} \left[1 - \frac{(d - Dh)}{rc + d/2} \right]$$

Donde,

L_h = Longitud máxima de la herramienta, (pies)

D_h = Diámetro de la herramienta, (in)

d = Diámetro interno de la tubería, (in)

Por lo tanto al tomar en cuenta las otras cargas considerando la vida productiva o de servicio del pozo, la carga a la tensión/compresión debe ser ajustada con las fuerzas que actúan en la tubería de revestimiento como el efecto térmico, abombamiento y pandeo.

Donde,

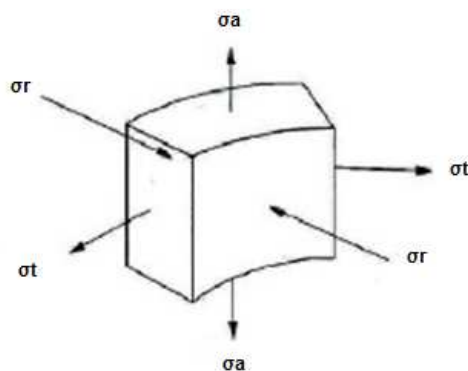
$$\text{carga neta a la tensión ó compresión} = F_t = F + F_{temp} + F_{ball} + F_p$$

1.6.1.2.5 Carga Triaxial

Las cargas de colapso, estallido y tensión calculadas hasta ahora, han asumido que los esfuerzos se encuentran en una dirección simple o uniaxial. En la práctica, las cargas de servicio generan esfuerzos triaxiales.

Los tres esfuerzos principales para tubería de revestimiento axial (σ_a), radial (σ_r) y cortante (σ_t). Ver Figura 1-22.

FIGURA 1-22 CARGA TRIAXIAL



FUENTE: Casing Design Manual – Schlumberger

La teoría recomendada para calcular el esfuerzo triaxial es conocida como la teoría de Von Mises. Esta teoría consiste en definir un esfuerzo equivalente (σ_{vme}) y entonces relacionar este esfuerzo al mínimo especificado de resistencia de esfuerzo (σ_y) de la tubería de revestimiento.

El cálculo para determinar el esfuerzo triaxial es mejor conducido utilizando un programa adecuado de diseño de tubería de revestimiento.

Se puede calcular de la siguiente manera:

$$VME = \sqrt{\frac{(\sigma_a - \sigma_r)^2}{2} + \frac{(\sigma_r - \sigma_t)^2}{2} + \frac{(\sigma_t - \sigma_a)^2}{2}}$$

Dónde:

$$\sigma_a = \frac{Ft}{Ae - Ai}$$

$$\sigma_r = -Ps_i$$

$$\sigma_t = \frac{Ps_i(Ae + Ai) - 2Ps_oAe}{Ae - Ai}$$

$$Ft == F + F_{tem} + F_{ball}$$

$$Ft = \text{Carga total de tensión, lbs}$$

$$Ps_i = \text{Presión de superficie interna, psi}$$

$$Ps_o = \text{Presión de superficie externa, psi}$$

La carga neta triaxial de la tubería de revestimiento debe ser calculada con sumatoria de los tres esfuerzos principales: axial (σ_a), radial (σ_r) y cortante (σ_t).

$$carganetriaxial = VME$$

1.6.2 CASOS DE CARGAS A LOS QUE ESTAN EXPUESTAS LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO.

Los casos de cargas son los distintos escenarios a los que estarán presentes las cargas de las tuberías de revestimiento ya mencionadas anteriormente.

Para analizar las cargas a las que estará sometida la tubería de revestimiento se debe empezar con el análisis del caso base, éste es el caso fundamental para desarrollar los otros tipos de casos de cargas.

El caso base es el más común para la tubería de revestimiento al momento que está colocado en sitio y cementado.

La cantidad de cemento que se coloca en los revestidores depende de su función. Los topes de los cementos de los revestidores dependerán de las políticas de cada compañía, pero generalmente el cemento esta de 100 a 500 pies por encima de las zonas productoras o hasta la zapata del revestidor anterior.

La presión interna para el caso base es el peso del lodo al cual se corrió la sarta

$$P_i = \text{Presión del lodo}$$

La presión externa para el caso base está dada por el peso de lodo hasta el tope del cemento más el peso del cemento o en caso de que sea cementada la tubería de revestimiento en su totalidad la presión externa estará dada solo por el peso del cemento.

$$P_e = \text{Presión del lodo} + \text{Presión cemento}$$

o

$$P_e = \text{Presión cemento}$$

La tensión/compresión para el caso base, es calculada mediante el diagrama de cuerpo libre ya mencionado anteriormente en cualquier punto que se desee.

Cabe recalcar que el caso base no tiene efectos térmicos ni abombamiento (carga neta igual a la sumatoria de fuerzas del diagrama de cuerpo libre), pero a partir de este caso base, es decir para los demás casos la carga neta será la sumatoria de fuerzas del diagrama de cuerpo libre más el efecto térmico y más el abombamiento.

Los casos para los que estarán expuestas las tuberías de revestimiento se presentan en la tabla 1-7.

TABLA 1-7 CASOS DE CARGAS A LOS QUE ESTAN EXPUESTAS LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

Casos de cargas a considerar para cada tubería	Conductora	Superficial Intermedia	Producción Liners
Prueba de presión del fraguado del cemento $P_i = P. \text{Superficie} + P. \text{Lodo}$ $P_e = P. \text{Lechada} + P. \text{Lodo}$		√	√
Evacuación total $P_i = 0 \text{ ppg}$ $P_e = P. \text{Lodo}$	√		√
1/3 Evacuación $P_i = P. \text{Lodo}$ $P_e = P. \text{Lodo}$		√	
Influjo de gas $P_i = \text{BHP} - \text{gas} - P. \text{Lodo}$ $P_e = P. \text{Poros}$		√	√
Prueba de presión $P_i = P. \text{Superficie} + P. \text{Lodo}$ $P_e = P. \text{Poros}$	√	√	√
Fuga del tubing $P_i = \text{WHP} + P. \text{Fluidos de completación}$ $P_e = P. \text{Poros}$			√

FUENTE: IPM-ST-WCI-025 Casing and Tubing Design.

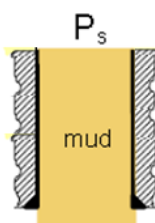
ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

1.6.2.1 Prueba de presión del fraguado del cemento

Esta es la prueba que se realiza al momento de terminar de cementar la tubería de revestimiento cuando el tapón se asienta, este sirve para controlar que el cemento está listo para fraguarse sin q exista cemento verde que es cemento contaminado.

Cuando el tope del cemento (TOC) va hasta superficie. Ver Figura 1-23.

FIGURA 1-23 PRUEBA DE PRESIÓN DEL FRAGUADO DEL CEMENTO CON EL TOC HASTA SUPERFICIE



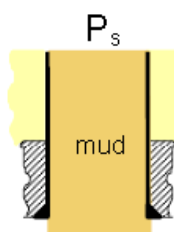
FUENTE: Tubular Design Technology Training

$P_i = \text{Presión en superficie} + \text{Presión del lodo}$

$P_e = \text{Presión cemento}$

Cuando el TOC no va hasta superficie. Ver Figura 1-24.

FIGURA 1-24 PRUEBA DE PRESIÓN DEL FRAGUADO DEL CEMENTO SIN TOC A SUPERFICIE



FUENTE: Tubular Design Technology Training

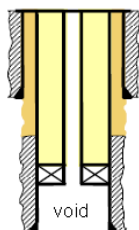
$P_i = \text{Presión en superficie} + \text{Presión del lodo}$

$P_e = \text{Presión cemento} + \text{Presión del lodo}$

1.6.2.2 Evacuación total

Es el caso en donde se vacía completamente todo el interior de la tubería de producción. Ver Figura 1-25.

FIGURA 1-25 EVACUACIÓN TOTAL



FUENTE: Tubular Design Technology Training

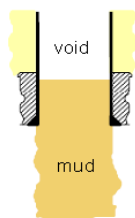
$$P_i = 0$$

$P_e = \text{Presión del lodo}$

1.6.2.3 1/3 Evacuación

Es el caso donde se considera vacío en el interior del revestidor desde la superficie hasta 1/3 de la profundidad del hoyo abierto (la profundidad de la siguiente sarta o tubería de superficie). Por debajo de 1/3 de la profundidad vertical verdadera del hoyo abierto está el peso del lodo de la sarta siguiente. Ver Figura 1-26.

FIGURA 1-26 1/3 EVACUACIÓN



FUENTE: Tubular Design Technology Training

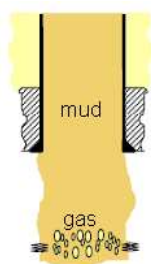
$$P_i = \text{Presión del lodo}$$

$$P_e = \text{Presión del lodo}$$

1.6.2.4 Influjo de gas

En este caso se considera que para los pozos en desarrollo se considera un influjo de gas de 50 bbl a 1 ppg y para los pozos exploratorios de 100 bbl a 2 ppg. Ver Figura 1-27.

FIGURA 1-27 INFLUJO DE GAS



FUENTE: Tubular Design Technology Training

$$P_i = BHP \text{ (Presión de fondo)} - \text{gas} - \text{Presión del lodo}$$

$$P_e = \text{Presión de poro}$$

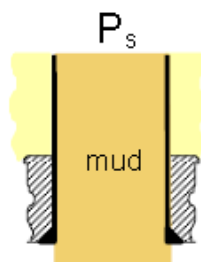
1.6.2.5 Prueba de presión

Las pruebas de presión son cargas impuestas para verificar la integridad de la tubería de revestimiento. Este “caso de carga” verifica que la tubería de revestimiento no se encuentre sometida a sobrecarga durante las pruebas. El diseño de la tubería de revestimiento no deberá estar determinado por la prueba de presión, a menos que la misma simule un caso real de presión en el pozo.

La máxima presión de prueba es calculada a partir de la presión de estallido según diseño, no deberá superar la presión nominal del cabezal de pozo, de las válvulas impiderreventones ni, el 80% de la presión de cedencia interna mínima del segmento más débil de la sarta de revestimiento para las tuberías de revestimiento conductoras, superficiales e intermedias. Para las tuberías de revestimiento productoras o liners de producción la presión máxima será el 110 % de la presión efectiva que equivale a la presión de yacimiento considerando 100 % de metano en función de la profundidad vertical verdadera (TVD). Ver Figura 1-28.

$$P_{\text{effect}} = \text{Presión de yacimiento} - 0.1(\text{TVD})$$

FIGURA 1-28 PRUEBA DE PRESIÓN



FUENTE: Tubular Design Technology Training

$$P_i = \text{Presión en superficie} + \text{Presión del lodo}$$

$$P_e = \text{Presión de poro}$$

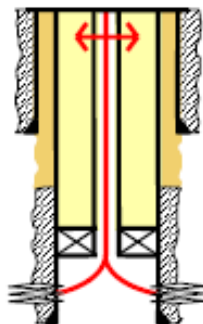
1.6.2.6 Fuga en el tubing

Para este caso de fuga superficial en el tubing sea estático o caliente (fluyente) sucede cuando hay interconexión de fluidos que salen por el tubing hasta el espacio anular por encima del packer, es por esto que las presiones se analizan con el fluido del packer (agua de matado/salmuera). Ver Figura 1-29.

$$P_i = \text{Presión de cabeza al momento del cierre} + \text{Presión de los fluidos de completación}$$

$$P_e = \text{Presión de poro}$$

FIGURA 1-29 FUGA EN EL TUBING SIN TOC A SUPERFICIE



FUENTE: Tubular Design Technology Training

1.6.3 FACTORES DE DISEÑO Y DE SEGURIDAD

El factor de diseño (DF) es la relación que existe entre la resistencia del tubo a la fluencia (límite elástico del material) y la carga aplicada, es el margen de seguridad que se le aplica a la tubería de revestimiento, es la relación entre la capacidad teórica que soporta una tubería (resistencia) sin que esta cambie de estado elástico a plástico (siempre regresa a su estado natural) con la carga de diseño (carga neta). Este factor de diseño es realizado con el fin de proteger a la tubería de revestimiento, es decir dándole un porcentaje de seguridad para que esta tubería no trabaje a su máxima capacidad.

Se obtienen los factores de diseño mediante la siguiente ecuación. Este factor nos asegurara que la tubería en el peor de los casos se mantendrá íntegra.

$$DF = \frac{\text{resistencia teórica}}{\text{carga neta}}$$

Dónde:

resistencia teórica = Mediante fórmulas ó tablas (ANEXO 1)

carga neta = Máxima carga anticipada mediante calculos de presiones

El factor de seguridad (SF), por el contrario corresponde a la relación entre la resistencia máxima de la tubería de revestimiento (sobrepasa el estado plástico produciendo una ruptura), con la carga de diseño (carga neta). Este Factor de Seguridad no se pueden establecer verdaderamente hasta que no ocurra una falla.

Se obtienen los factores de seguridad mediante la siguiente ecuación. Este factor asegura que la tubería en el peor de los casos se mantendrá íntegra.

$$SF = \frac{\text{resistencia máxima (ruptura)}}{\text{carga neta}}$$

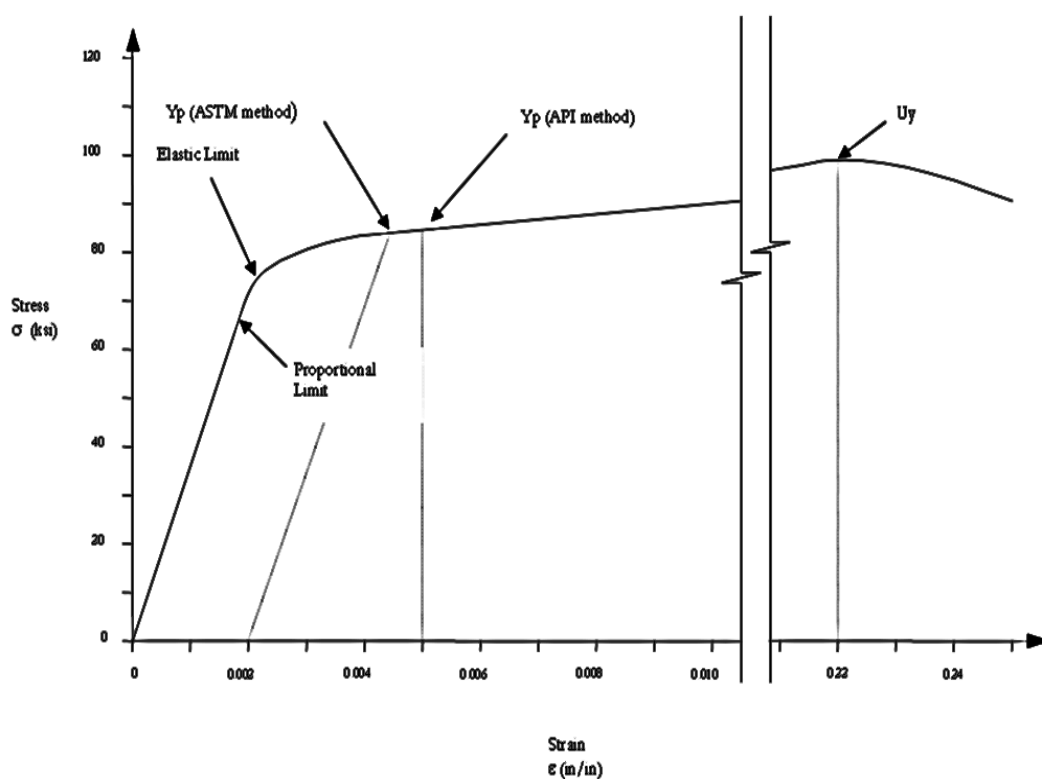
Dónde:

resistencia máxima (ruptura) = Mediante fórmulas ó tablas (ANEXO 1)

carga neta = Máxima carga anticipada mediante calculos de presiones

Para explicar de mejor manera la diferencia entre el Factor de Diseño y el Factor de Seguridad ver la figura 1-30.

FIGURA 1-30 ESFUERZO VS DEFORMACIÓN



FUENTE: Tubular Design Technology Training

El factor de diseño se realiza con la resistencia que llega hasta el punto del límite elástico (Elastic limit) y el Factor de Seguridad se realiza con la resistencia máxima de ruptura que llega hasta el último punto de cedencia (U_y).

Los factores de diseño típicamente utilizados son ilustrados por la tabla 1-8.

TABLA 1-8 MÍNIMOS FACTORES DE DISEÑO

Cargas	Superficial e Intermedio Casings & Drilling Liners	Casings & Liners de Producción
Estallido	1.1	1.1
Colapso	1.0	1.1
Tensión	1.6	1.6
Compresión	1.2	1.2
Triaxial	1.25	1.25

FUENTE: IPM-ST-WCI-025 Casing and Tubing Design.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

El factor de seguridad al ser menor a 1 quiere decir que habrá inminentemente una ruptura.

1.6.4 SELECCIÓN DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

Esta es la parte final del diseño, en donde se realiza la selección final de las tuberías de revestimiento.

De las tablas de tubería de revestimiento es posible elegir una tubería de revestimiento o una serie de tuberías de revestimiento con resistencias que cumplan con el peor caso de colapso, estallido, tensión/compresión y VME (carga neta máxima), las cuales deben cumplir con los factores de seguridad.

1.6.4.1 Selección de la tubería de revestimiento considerando el colapso

La resistencia de colapso puede ser obtenida de tablas (ANEXO 1) o calculada de la siguiente manera:

$$Resistencia\ de\ colapso = 2Y_{pa} * \frac{\left(\frac{D}{t}\right) - 1}{\left(\frac{D^2}{t}\right)}$$

Donde:

Y_{pa} = Ajuste del esfuerzo de cedencia de tablas ó fórmula de carga Biaxial, psi

D = Diámetro externo de la tubería OD, in

t = Espesor de la tubería, in

Por lo tanto el Factor de Diseño para el colapso se convierte en:

$$DF = \frac{\text{Resistencia de colapso}}{\text{carga neta de colapso}}$$

Para la carga de colapso su Factor de Diseño no debe ser menor de 1.0 para tuberías superficiales e intermedias, y 1.1 para tuberías ó liners de producción.

1.6.4.2 Selección de la tubería de revestimiento considerando el estallido

La resistencia del estallido puede ser obtenida de tablas (ANEXO 1) o calculada de la siguiente manera:

$$\text{Resistencia de estallido} = 0.875 \left(\frac{2Y_{pa}t}{D} \right)$$

Donde:

Y_{pa} = Ajuste del esfuerzo de cedencia de tablas ó fórmula de carga Biaxial, psi,

D = Diámetro externo de la tubería OD, in

t = Espesor de la tubería, in

Por lo tanto el Factor de Diseño para el estallido se convierte en:

$$DF = \frac{\text{Resistencia de estallido}}{\text{carga neta de estallido}}$$

Para la carga de estallido su Factor de Diseño no debe ser menor de 1.1 para tuberías superficiales e intermedias, y 1.25 para tuberías ó liners de producción.

1.6.4.3 Selección de la tubería de revestimiento considerando tensión/compresión.

La resistencia del estallido puede ser obtenida de tablas (ANEXO 1) o calculada de la siguiente manera:

$$\text{Resistencia de tensión/ compresión} = 0.7854(D^2 - d^2)Y_{pa}$$

Donde:

Y_{pa} = Ajuste del esfuerzo de cedencia de tablas ó fórmula de carga Biaxial, psi,

D = Diámetro externo de la tubería OD, in

d = Diámetro interno de la tubería ID, in

Por lo tanto el Factor de Diseño para la tensión/compresión se convierte en:

$$DF = \frac{\text{Resistencia de tensión/compresión}}{\text{carga neta de tensión/compresión}}$$

Para la carga de tensión su Factor de Diseño no debe ser menor de 1.6 para tuberías superficiales, intermedias y tuberías o liners de producción.

Para la carga de compresión su Factor de Diseño no debe ser menor de 1.2 para tuberías superficiales, intermedias y tuberías o liners de producción.

1.6.4.4 Selección de la tubería de revestimiento considerando las cargas triaxiales (VME).

La resistencia triaxial (VME) se obtiene de los esfuerzos de cedencia mínimos de la Tabla 1-2.

Por lo tanto el Factor de Diseño para la carga triaxial (VME) se convierte en:

$$DF = \frac{\textit{Esfuerzo de cedencia m\u00ednimo}}{\textit{carga neta triaxial(VME)}}$$

Para la carga triaxial (VME), su Factor de Dise\u00f1o no debe ser menor de 1.25 para tuber\u00edas superficiales, intermedias y tuber\u00edas o liners de producci\u00f3n.

CAPITULO II

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DISEÑOS DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

2.1. INTRODUCCIÓN

El alcance de este trabajo consistirá en realizar el diseño de revestimientos considerando la vida productiva del mismo, en donde se analizan esfuerzos triaxiales, esfuerzos térmicos, pandeo de tubería, esfuerzos por colapso, estallido tensión y compresión. Dichos análisis presentan una alta complejidad en los cálculos, con el objeto de facilitar estos análisis, se realizarán a través del programa Tubular Design and Analysis System (TDAS). Parte de este capítulo presenta el funcionamiento del programa (TDAS) y los análisis de los diseños de tuberías de revestimientos con el soporte de la herramienta de trabajo TDAS.

En el campo Shushufindi se procederá a realizar una optimización del diseño de tuberías de revestimiento a través del análisis de costos bajo, el cumplimiento de los estándares de diseño de la empresa.

En el campo Oso se realizará el análisis del diseño de tubería, de los esquemas de pozos empleados; este análisis consistirá en encontrar los posibles problemas o casos de fallas que pudieran presentarse durante la vida productiva del pozo y finalmente se propondrá recomendaciones para mejorarlo técnica y económicamente.

2.2. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DISEÑOS DE TUBERIAS MEDIANTE EL PROGRAMA TDAS

Se explicará brevemente los pasos que se deben realizar para utilizar el programa del diseño de tuberías de revestimiento, el cual está estructurado en tres pasos:

El primer paso consiste en ingresar la configuración del pozo, el segundo la generación de los casos de carga considerando la vida productiva del pozo y el tercero en obtener los resultados del cálculo del diseño según los casos de carga.

2.2.1. CONFIGURACIÓN DEL POZO

El primer paso a seguir en el programa TDAS, es ingresar toda la data del pozo: referencia del mismo, trayectoria direccional, tubulares a utilizar con sus respectivas propiedades, presión de poro, presión de fractura, temperatura estática y zonas de los reservorios.

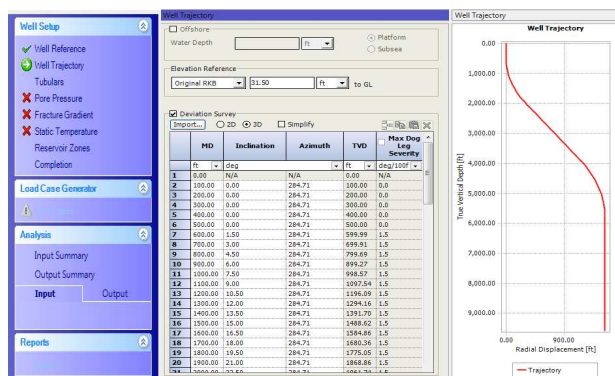
2.2.1.1. Referencia del Pozo

En la sección de referencia se debe ingresar la información general del pozo: detalles de contacto, nombre del pozo, nombre de la compañía, etc.

2.2.1.2. Trayectoria del Pozo

En la sección de la trayectoria, en primer lugar se debe definir si es un pozo en tierra o en el mar, posteriormente se debe ingresar la referencia del Rotary Kelly Bushing (RKB) y finalmente los datos de la trayectoria direccional (profundidad medida –MD-, inclinación, azimuth, profundidad vertical verdadera -TVD- y patas de perro). Ver Figura 2-1.

FIGURA 2-1 TRAYECTORIA DEL POZO



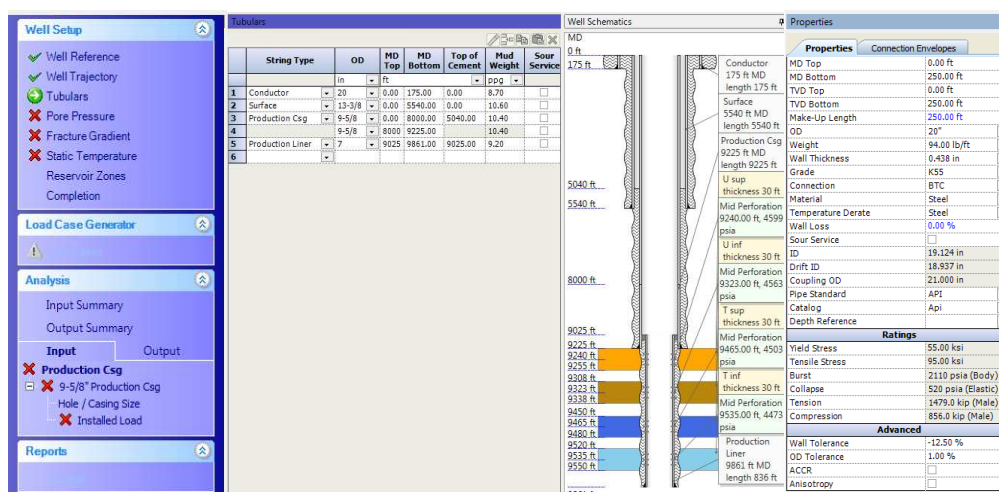
FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

2.2.1.3. Tubulares

En la sección de tubulares, se debe ingresar los datos de las tuberías de revestimiento a utilizar en pozo. El programa dispone de un catálogo de ayuda, el cual contiene propiedades de las tuberías de revestimiento.

Los datos de las tuberías de revestimiento a ingresar son: diámetros de las tuberías (OD), profundidades de asentamiento, tope del cemento y densidad del fluido de perforación para cada agujero. Ver Figura 2-2.

FIGURA 2-2 TUBULARES

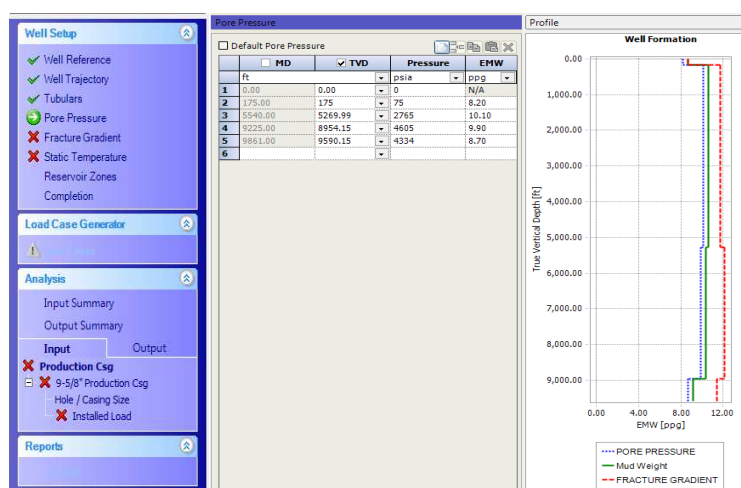


FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

2.2.1.4. Presión de Poro y Presión de Fractura

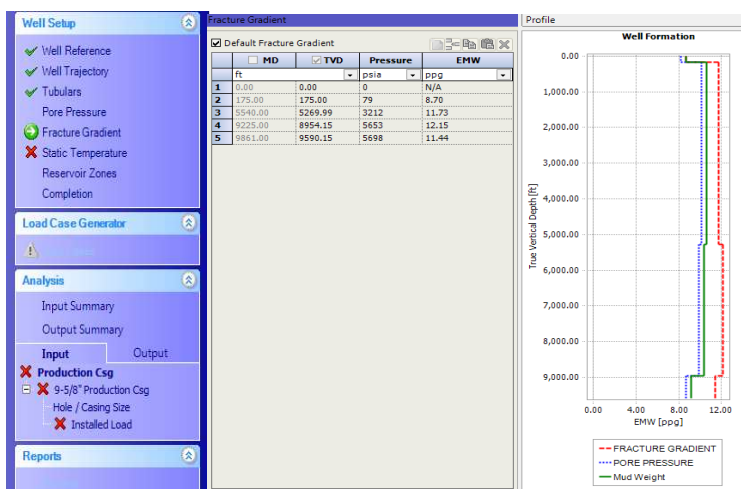
En esta sección se deben ingresar los datos de presiones de poro y fractura de la columna litológica del pozo, en caso de no disponer de estos datos se podrá utilizar una opción que dispone el programa TDAS, el cual calcula la presión de poro y fractura a partir del gradiente del fluido de perforación. La presión de poro se obtiene disminuyendo el gradiente del fluido de perforación entre 0.5 a 1.0 ppg y la presión de fractura se obtiene aumentando el gradiente del fluido de perforación entre 0.3 a 0.5 ppg. Ver Figuras 2-3 y 2-4.

FIGURA 2-3 PRESIÓN DE PORO



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

FIGURA 2-4 PRESIÓN DE FRACTURA

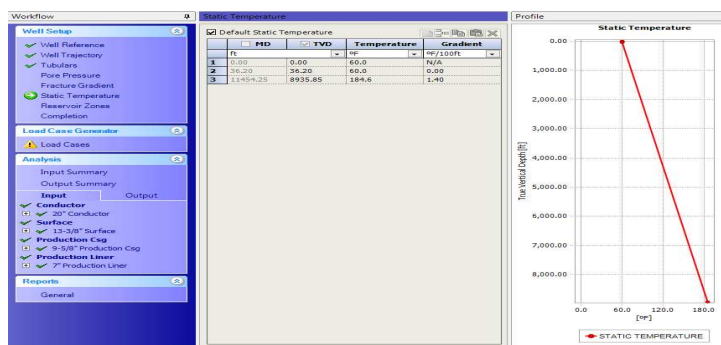


FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

2.2.1.5. Temperatura Estática

En esta sección de temperatura estática, se debe ingresar el gradiente de temperatura de la columna litológica del pozo, en caso de no disponer del gradiente de temperatura, se podrá utilizar una opción que dispone el programa TDAS, el cual asume un gradiente geotérmico normal de 1.4 °F/100ft. Ver Figura 2-5.

FIGURA 2-5 TEMPERATURA ESTÁTICA

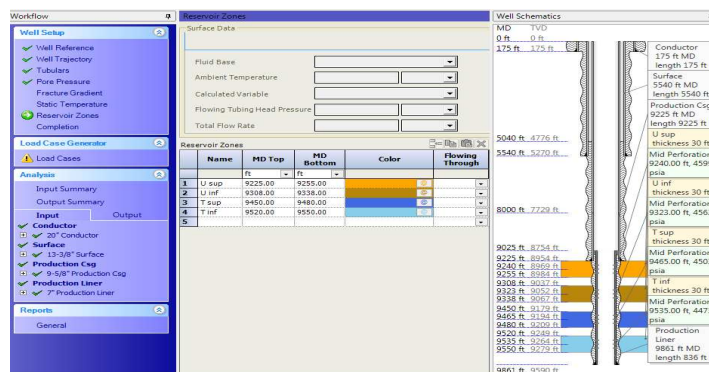


FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

2.2.1.6. Zonas del Reservorio

En esta sección se ingresan las zonas productoras de interés que estén en contacto con la tubería de revestimiento de producción, los cuales son: el tipo de fluido productor, temperatura de superficie, caudal de producción, entre otros. Ver Figura 2-6.

FIGURA 2-6 ZONAS DEL RESERVOIRIO



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

2.2.2. CASOS DE CARGA

El segundo paso que deberá seguir en el programa de diseño de revestimiento (TDAS), es seleccionar las cargas que se deben analizar para cada tipo de tubería de revestimiento; según las políticas de cada empresa (ver figura 2-7). Para el alcance este trabajo se utilizará las políticas de diseño de tubería de la compañía Schlumberger especificadas en la tabla 2-1.

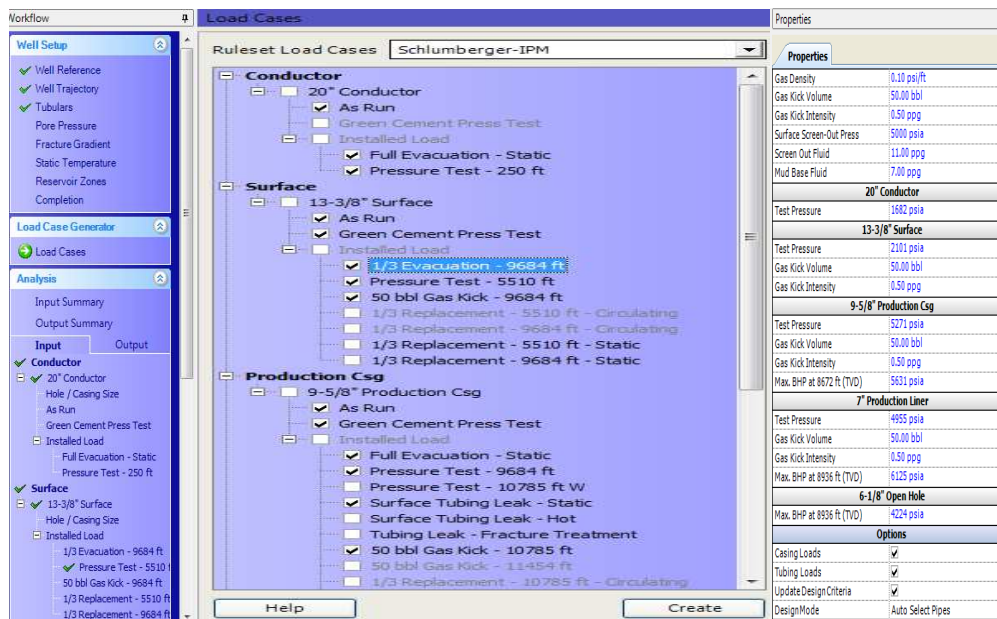
TABLA 2-1 CASOS DE CARGAS A LOS QUE ESTAN EXPUESTAS LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	CASOS DE CARGA
Conductora	Full evacuación y prueba de presión.
Superficial e intermedia	Prueba de presión del fraguado del cemento, 1/3 de evacuación, influjo de gas y prueba de presión.
Producción y liner	Prueba de presión del fraguado del cemento, full evacuación, influjo de gas, prueba de presión y fuga del tubing ceca de la superficie.

FUENTE: IPM-ST-WCI-025 Casing and Tubing Design.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

FIGURA 2-7 CASOS DE CARGA



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

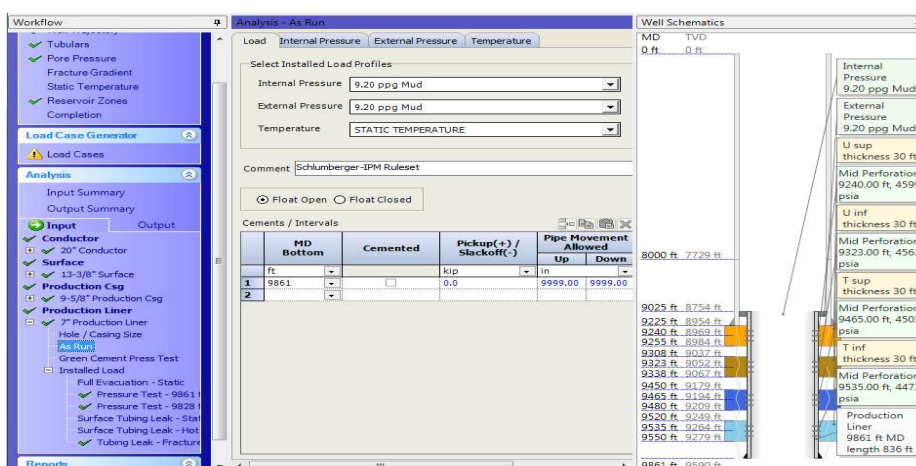
2.2.3. ANÁLISIS GENERADO POR EL PROGRAMA TDAS

El tercer paso a seguir en el programa TDA es efectuar los cálculos, los cuales serán el soporte para elaborar los análisis de los diseños de revestimientos; los cálculos se presentan en dos secciones, resumen de entrada y salida.

2.2.3.1. Resumen de Entrada (Input)

En la sección del resumen de entrada, se indican los cálculos realizados por el programa a partir de los datos ingresados, descritos anteriormente (ver sección casos carga, primer paso como), tales como: trayectoria, tubulares, presiones poro/fractura, temperaturas, entre otros. Ver Figura 2-8.

FIGURA 2-8 RESUMEN DE ENTRADA



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

2.2.3.2. Resumen de Salida (Output)

En la sección de resumen de salida se presentan los resultados de los cálculos realizados por el programa TDAS, para los casos de carga según el tipo de tubería, tales como: factores de diseño, gráficas y tablas de los resultados de los esfuerzos al estallido, colapso, tensión, compresión y cargas triaxiales.

Finalmente, el criterio del diseñador debe interpretar los cálculos realizados por el programa TDAS para un análisis seguro y eficaz, permitiendo elaborar sensibilidades para cada caso de carga y generar alternativas de diseño de revestimiento, permitiendo ahorros en tiempo de cálculo que es un factor muy importante para la planeación del programa de perforación.

2.3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DISEÑOS DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO PARA EL CAMPO SHUSHUFINDI.

En esta sección se analizará y evaluará los diseños de las tuberías de revestimiento para el campo Shushufindi, con el objeto de optimizar el diseño de revestimiento.

2.3.1. GENERALIDADES DEL CAMPO SHUSHUFINDI

El campo Shushufindi geográficamente está localizado a 250 km al este de la ciudad de Quito y 35 km al Sur de la frontera con Colombia. Geológicamente, se encuentra en el denominado Corredor “Sacha-Shushufindi” en la Cuenca Oriente del Ecuador. Tiene al Noreste al campo Libertador, al Suroeste al campo Sacha y al Sur el campo Limoncocha.

2.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO DEL CAMPO SHUSHUFINDI

Actualmente, el campo Shushufindi presenta una configuración de tuberías de revestimiento de 20”, 13 3/8”, 9 5/8” y 7”; en las tablas 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6 y 2-7 adjuntas, se describen las tuberías empleadas en el campo, topes de cemento, presiones de poro, densidades de fluido de perforación, presiones de estimulación y presiones de pruebas de tubería, que simulan casos de carga.

También hay que tomar en cuenta que en la actualidad en el campo Shushufindi los pozos se estimulan en las arenas de la formación Napo por lo que se realizan fracturas entre 3000 a 6500 psi.

TABLA 2-2 CONFIGURACIONES DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

Configuración De Las Tuberías De Revestimiento				
OD (in)	TVD (ft)	MD (ft)	GRADO	PESO (lb/ft)
20	0-250	0-250	K55	94
13 3/8	0-4265	0-4450	K55	68
9 5/8	0-7670	0-7886	L80	47
7	7469-9530	7686-9747	N80	26

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 2-3 CEMENTO

Cemento		
OD (in)	TVD(ft)	MD (ft)
20	0-250	0-250
13 3/8	600-4265	600-4450
9 5/8	3795-7669	3950-7886
7	7469-9530	7686-9747

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 2-4 FLUIDO DE PERFORACIÓN

OD (in)	Lodo (ppg)
20	9.0
13 3/8	10.2
9 5/8	10.4
7	10.5

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 2-5 PRESIONES DE PORO

TVD (ft)	P.Poro (ppg)
250	8.5
4265.28	9.7
7668.99	9.9
9529.99	10.0

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 2-6 PRESIONES DE FRACTURA

TVD (ft)	P. Fractura (ppg)
250	8.8
5032.4	13.39
8671.51	13.52
8931.87	14.01
8935.85	11.28

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 2-7 PRESIONES MÁXIMAS PARA PRUEBAS DE PRESIÓN

Tuberías de revestimiento (in)	Presión máx. en superficie (psi)
20	1688
13 3/8	2760
9 5/8	3355
7	3355

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

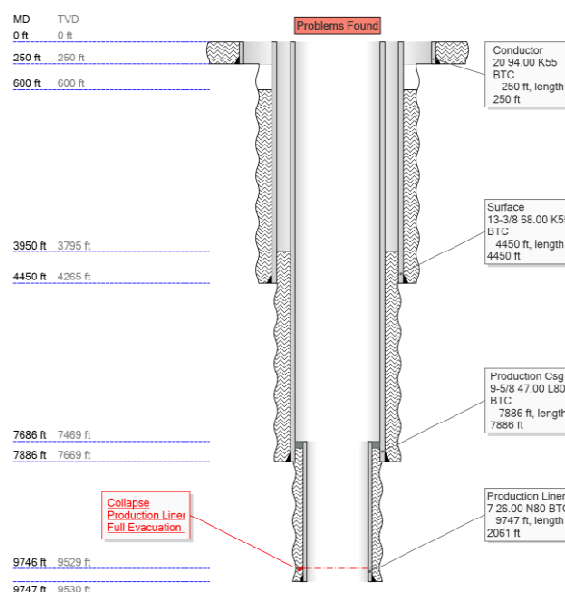
ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

2.3.3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO MEDIANTE TDAS PARA SHUSHUFINDI

Los datos de entrada para el diseño de tubería para el campo Shushufindi se ingresaron en el programa TDAS para cada tipo de tubería. Ver Figuras 2-9 y 2-10.

Las tuberías de revestimiento de 20", 13 3/8" y 9 5/8" cumplen los factores de diseño, ya que superan los valores requeridos según las políticas de diseño (tabla 1-8); sin embargo, la tubería de 7" no cumple con el factor de diseño al colapso, para el caso de carga de evacuación total del pozo.

FIGURA 2-9 TUBERIAS DE REVESTIMIENTO



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

FIGURA 2-10 RESULTADOS PRESENTADOS POR TDAS

String	Burst DF	Collapse DF	Tension DF	Compression DF	Von Mises DF	Dog Leg (deg/100ft)
20' Conductor	1.25	4.47	5.25	24.41	1.36	0.0 [1]
13-3/8' Surface	1.18	1.38	3.48	4.34	1.27	No Buckling
9-5/8' Production Csg	1.44	1.13	2.43	2.83	1.48	1.8 [2]
7' Production Liner	1.80	1.02 [3]	16.63	2.59	1.46	No Buckling

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

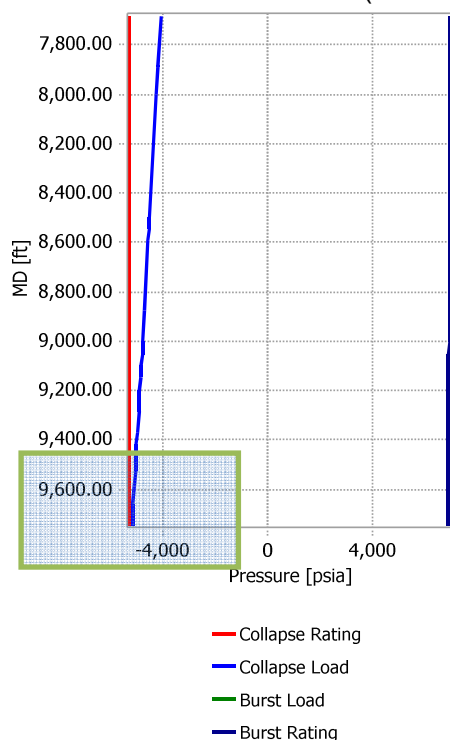
2.3.4. TUBERÍA DE REVESTIMIENTO PROBLEMÁTICA

Al tener un factor de diseño que no cumple por colapso, se analiza el por qué ocurre dicho problema, intervalo donde ocurre el incumplimiento del caso de carga y posteriormente emitir posibles soluciones que permiten el cumplimiento de los factores de diseño.

2.3.4.1. Tubería De Revestimiento “Liner” de 7”

La carga de colapso no cumple con el factor de diseño para el caso de carga de evacuación total a partir de los 9746 ft (MD) y 9529 ft (TVD).

FIGURA 2-11 COLAPSO VS ESTALLIDO (EVACUACIÓN TOTAL)



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

Como se puede observar en la figura 2-11, la curva de resistencia al colapso de la tubería de 7” y la curva de la carga al colapso por evacuación total se intersecan a la profundidad de 9529 pies (TVD), con un factor de diseño de 1.02. Ver figura 2-12.

FIGURA 2-12 TABLA DE RESULTADOS

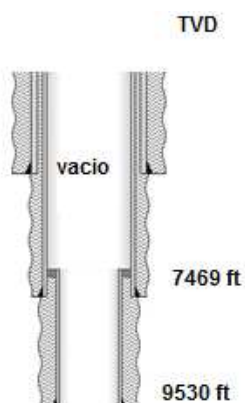
Depth		Collapse			
MD	TVD	Load		DF	
(ft)	(ft)	Above (psia)	Below (psia)	Above	Below
7686.00	7468.99		4074		1.31
7886.00	7668.99	4183	4183	1.27	1.27
9746.00	9528.99	5198	5198	1.02	1.02
9747.00	9529.99	5198		1.02	

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

2.3.4.1.1. Revisión de Cálculos del programa TDAS

Se realiza cálculos manuales para demostrar la eficiencia del programa TDAS, específicamente el caso de carga al colapso. Ver Figura 2-13.

FIGURA 2-13 EVACUACIÓN TOTAL



Calculo de Presiones:

$$P_e = P. Lodo$$

$$P_e = 0.052 \left(\frac{psi}{ppg * pie} \right) * 10.5(ppg) * 9528.99(ft)$$

$$P_e = 5198 psi$$

$$P_i = 0 Psi.$$

Se obtiene la presión de colapso (carga) de la tubería @ 9528.99 ft

$$P_c = P_e - P_i$$

$$P_c = (5198 - 0)psi$$

$$P_c = 5198 psi$$

La resistencia de la tubería de revestimiento al colapso se encuentra en la tabla de Anexo 1.

$$DF = \frac{Resistencia\ de\ la\ Tuberia}{Carga\ Neta}$$

$$DF = \frac{5410}{5198}$$

$$DF = 1.02$$

Al tener un factor de diseño (DF) de 1.02, la tubería de 7" N80 de 26 lb/ft a partir de 9529 pies (TVD) no cumple con el factor del diseño, debe ser mayor a 1.1.

Este problema se presenta ya que la resistencia de la tubería de 7" N80 de 26 lb/ft no es suficiente para resistir a la carga al colapso según el factor de diseño. Por lo tanto se deberá seleccionar una tubería con un mayor peso o grado de acero para pozos futuros, que permita el cumplimiento del factor de diseño, diámetro de paso (drift) para corrida de las herramientas a utilizar y su optimización dependiendo del costo de las mismas.

2.4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DISEÑOS DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO PARA EL CAMPO OSO

En esta sección se analizará y evaluará los diseños de las tuberías de revestimiento para el campo Oso, con el objeto proponer recomendaciones para mejorarlo técnica y económicamente.

2.4.1. GENERALIDADES DEL CAMPO OSO

El Bloque 7 está localizado en la parte centro-occidental de la Cuenca Oriente del Ecuador, cerca de la transición entre la planicie selvática de la Amazonia y la zona Subandina con presencia de fallas y levantamientos tectónicos. Actualmente la cuenca Oriente es de tipo "Foreland" desarrollada por el levantamiento Andino.

2.4.2. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO PARA EL CAMPO OSO.

Actualmente, el campo Oso presenta una configuración de tuberías de revestimiento de 20", 13 3/8", 9 5/8" y 7", en las tablas 2-8, 2-9, 2-10, 2-11, 2-12 y

2-13 adjuntas, se describen las tuberías empleadas en el campo, topes de cemento, presiones de poro, densidades de fluido de perforación, presiones de estimulación y presiones de pruebas de tubería, que simulan casos de carga.

TABLA 2-8 CONFIGURACIONES DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

Configuración de las tuberías de revestimiento				
OD (in)	TVD (ft)	MD (ft)	GRADO	PESO (lb/ft)
20	0-250	0-250	K55	94
13 3/8	0-1745	0-1800	K55	54.5
	1745-5032	1800-5510	N80	68
9 5/8	0-8672	0-9684	N80	47
7	8597-8932	9543-10785	P110	26

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 2-9 CEMENTO

Cemento		
OD (in)	TVD(ft)	MD (ft)
20	0-250	0-250
13 3/8	0-5032	0-5510
9 5/8	5770-8672	6249-9684
7	8671-8932	9683-10785

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 2-10 FLUIDO DE PERFORACIÓN

OD (in)	Lodo (ppg)
20	8.8
13 3/8	13.0
9 5/8	12.5
7	13.2

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 2-11 PRESIONES DE PORO

TVD (ft)	P.Poro (ppg)
250	8.3
5032.4	12.5
8671.51	12.0
8931.87	12.7
8935.85	8.6

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 2-12 PRESIONES DE FRACTURA

TVD (ft)	P. Fractura (ppg)
250	8.8
5032.4	13.39
8671.51	13.52
8931.87	14.01
8935.85	11.28

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 2-13 PRESIONES MÁXIMAS PARA PRUEBAS DE PRESIÓN

Tuberías de revestimiento (in)	Presión máx. en superficie (psi)
20	1688
13 3/8	2184
9 5/8	3607
7	3607

FUENTE: Departamento de Perforación IPM.

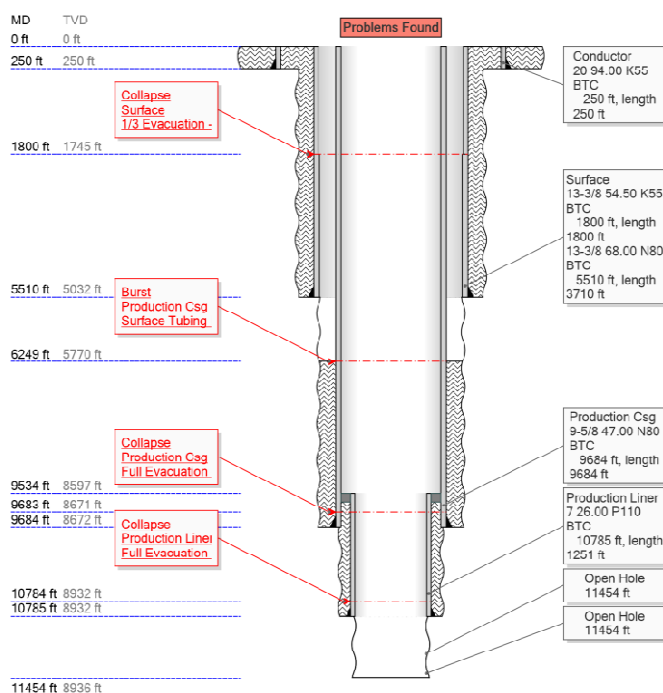
ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

2.4.3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO MEDIANTE TDAS PARA OSO.

Los datos de entrada para el diseño de tubería para el campo Oso se ingresaron en el programa TDAS para cada tipo de tubería. Ver Figuras 2-14 y 2-15.

Las tubería de revestimiento de 20" cumple con los factores de diseño, ya que superan los valores requeridos según las políticas de diseño (tabla 1-8); sin embargo, las tuberías de 13 3/8", 9 5/8" y 7" no cumplen con los factores de diseño de algunas cargas y en otros casos fallan, para varios casos de cargas y entre ellos son: tubería de 13 3/8" falla al colapso en el caso de carga de 1/3 de evacuación; tubería de 9 5/8" no cumple con el factor de diseño al estallido en el caso de carga de fuga del tubing y además ocurre una falla al colapso en el caso de carga de evacuación total del pozo; finalmente la tubería de 7" no cumple con el factor de diseño al colapso en el caso de carga de evacuación total del pozo.

FIGURA 2-14 TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

FIGURA 2-15 RESULTADOS PRESENTADOS POR TDAS

String	Burst DF	Collapse DF	Tension DF	Compression DF	Von Mises DF	Dog Leg (deg/100ft)
20" Conductor	1.25	4.57	5.28	24.54	1.33	0.0 [1]
13-3/8" Surface	1.45	0.94 [2]	2.81	5.58	1.57	No Buckling
9-5/8" Production Csg	1.21 [3]	0.83 [4]	1.87	2.33	1.17 [5]	2.1 [6]
7" Production Liner	2.55	1.00 [7]	6.19	3.32	1.70	No Buckling

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

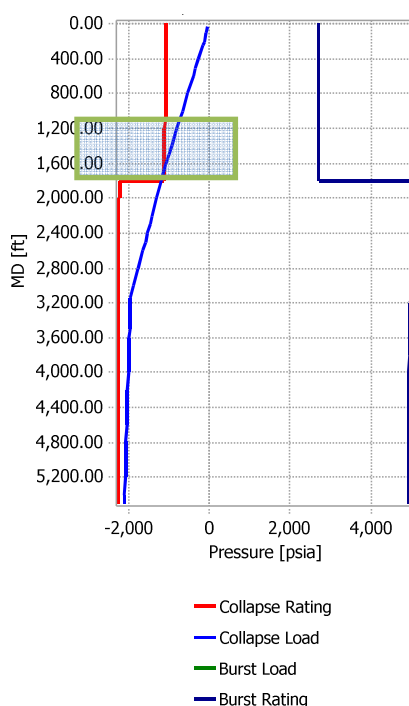
2.4.4. TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO PROBLEMÁTICAS

Al tener varios factores de diseño que no cumple y en otros casos cargas que fallan, se analiza el por qué ocurren dichos problemas, intervalos donde ocurren los incumplimientos de los casos de carga y posteriormente emitir posibles soluciones que permitirán el cumplimiento de los factores de diseño para pozos futuros a perforar.

2.4.4.1. Tubería De Revestimiento “Superficial” De 13 3/8”

La carga de colapso no cumple con el factor de diseño para el caso de carga de 1/3 de evacuación a partir de los 1800 ft (MD) y 1745 ft (TVD).

FIGURA 2-16 COLAPSO VS ESTALLIDO (1/3 EVACUACIÓN)



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

Como se puede observar en la figura 2-16, la curva de resistencia al colapso de la tubería de 13 3/8” y la curva de la carga al colapso por 1/3 de evacuación se intersecan a la profundidad de 1745 pies (TVD), con un factor de diseño de 0.94. Ver figura 2-17.

También se puede ver que únicamente falla en este intervalo, ya que a partir de los 1745 pies (TVD) se cambió la tubería de revestimiento a una de mayor peso y mayor grado de acero, es decir de una tubería K55 de 54.5 lb/ft a una N80 de 68 lb/ft.

FIGURA 2-17 RESULTADOS

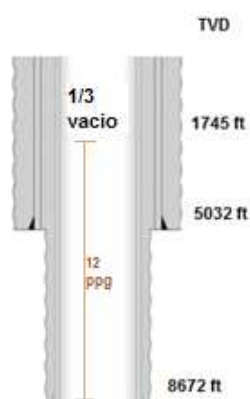
Depth		Collapse			
MD	TVD	Load		DF	
(ft)	(ft)	Above (psia)	Below (psia)	Above	Below
0.00	0.00				
250.00	250.00	169	169	6.40	6.40
1800.00	1745.08	1178	1178	0.94	1.89
5509.00	5031.41	2107	2107	1.07	1.07
5510.00	5032.40	2107		1.07	

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

Revisión de Cálculos del programa TDAS

Se realiza cálculos manuales para demostrar la eficiencia del programa TDAS, específicamente el caso de carga al colapso. Ver Figura 2-18.

FIGURA 2-18 1/3 EVACUACIÓN



Calculo de Presiones:

$$P_e = P. Lodo$$

$$P_e = 0.052 \left(\frac{psi}{ppg * pie} \right) * 13(ppg) * 1745(ft)$$

$$P_e = 1178 psi$$

$$\begin{aligned}
 P_i &= P.Lodo \\
 P_i &= 0.052 \left(\frac{psi}{ppg * pie} \right) * 0(ppg) * 1745(ft) \\
 P_i &= 0 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Se obtiene la presión de colapso (carga) de la tubería @ 1745 ft

$$\begin{aligned}
 P_c &= P_e - P_i \\
 P_c &= (1178 - 0)psi \\
 P_c &= 1178 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

La resistencia de la tubería de revestimiento al colapso se encuentra en la tabla del Anexo 1.

$$\begin{aligned}
 DF &= \frac{Resistencia}{Carga} \\
 DF &= \frac{1130}{1178} \\
 DF &= 0.94
 \end{aligned}$$

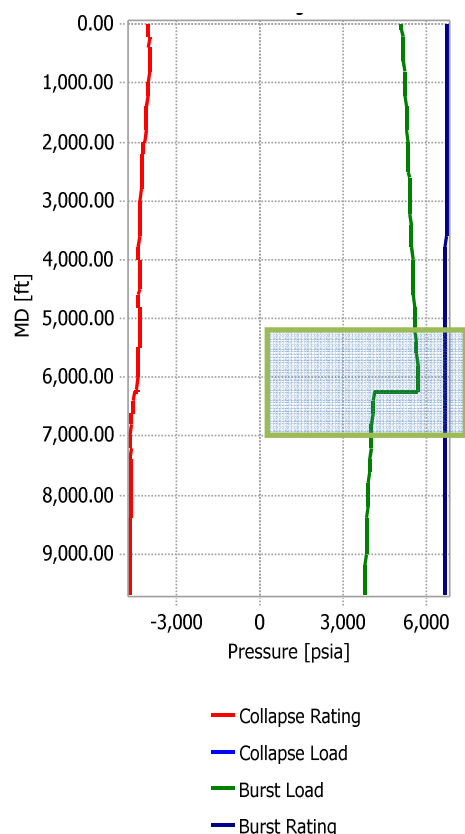
Al tener un factor de diseño (DF) de 0.94, la tubería de 13 3/8" K55 de 54.5 lb/ft a partir de 1745 pies ocurre colapso ya que el factor de diseño deberá ser mayor que 1.0.

Este problema se presenta ya que la resistencia de la tubería de 13 3/8" de 54.5 lb/ft es menor que la carga al colapso, razón por la cual se tiene como resultado el factor de diseño de este caso de carga de 1/3 de evacuación menor a 1.0. Por lo tanto se deberá seleccionar un punto de asentamiento para esta tubería menos profunda que 1745 pies (TVD) para posteriormente cambiar a dicho punto de asentamiento otro tipo de tubería con un mayor peso o grado de acero que permita el cumplimiento del factor de diseño, diámetro de paso (drift) para corrida de las herramientas a utilizar y su optimización dependiendo del costo de las mismas para pozos futuros a perforar.

2.4.4.2. Tubería De Revestimiento “Producción” De 9 5/8”

Primero se presenta que la carga al estallido no cumple con el factor de diseño para el caso de carga de fuga del tubing cerca de la superficie a partir de los 5510 ft (MD) y 5032 ft (TVD).

FIGURA 2-19 COLAPSO VS ESTALLIDO (FUGA DEL TUBING CERCA DE LA SUPERFICIE)



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

Como se puede observar en la figura 2-19, la curva de resistencia al estallido de la tubería de 9 5/8” y la curva de la carga al estallido por fuga del tubing cerca de la superficie se aproximan únicamente en el intervalo de 5032 a 5769 pies (TVD) ya que a esta profundidad se tiene la fuga; por lo tanto este intervalo pasa a ser el punto más crítico para la carga al estallido con un factor de diseño de 1.21. Ver Figura 2-20.

FIGURA 2-20 RESULTADOS

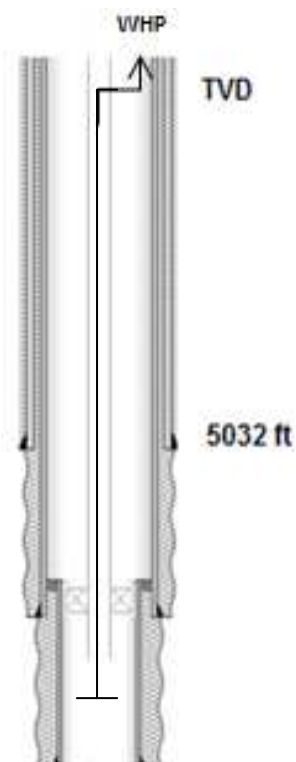
Depth		Burst			
MD	TVD	Load		DF	
		Above	Below	Above	Below
(ft)	(ft)	(psia)	(psia)		
0.00	0.00		5039		1.36
1800.00	1745.08	5220	5220	1.32	1.32
5510.00	5032.40	5562	5562	1.21	1.21
6249.00	5769.52	5638	5638	1.19	1.19
9683.00	8671.04	3688	3688	1.80	1.80
9684.00	8671.51	3688		1.80	

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

Revisión de Cálculos del programa TDAS

Se realiza cálculos manuales para demostrar la eficiencia del programa TDAS, específicamente el caso de carga al estallido. Ver Figura 2-21.

FIGURA 2-21 FUGA DEL TUBING



Calculo de Presiones

$$P_e = P_{\text{Poros}}$$

$$P_e = 0.052 \left(\frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} \right) * 7(\text{ppg}) * 5032(\text{ft})$$

$$P_e = 1831 \text{ psi}$$

$$P_i = P_s + P. \text{Fluido de completaci3n}$$

$$P_i = 5039 \text{ psi} + \left(0.052 \left(\frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} \right) * 9(\text{ppg}) * 5032(\text{ft}) \right) \text{psi}$$

$$P_i = 7394 \text{ psi}$$

Se obtiene la presi3n de estallido (carga) de la tubería @ 5032 ft

$$P_b = P_i - P_e$$

$$P_b = (7394 - 1831) \text{psi}$$

$$P_b = 5563 \text{ psi}$$

La resistencia de la tubería de revestimiento al estallido se encuentra en la tabla de los Anexos 1.

$$DF = \frac{\text{Resistencia}}{\text{Carga}}$$

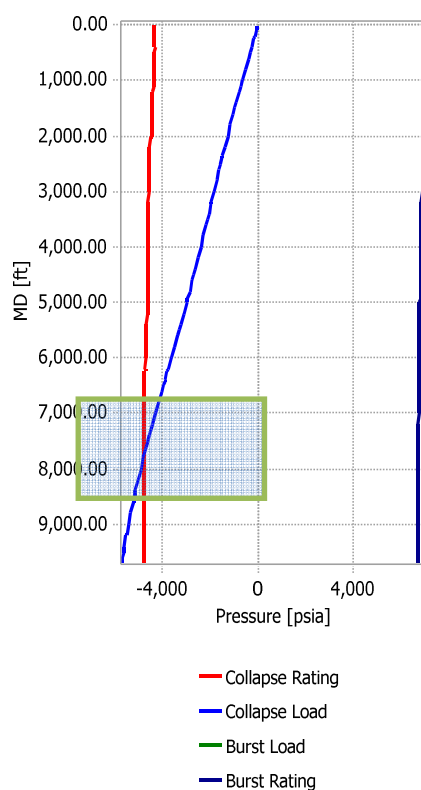
$$DF = \frac{6870}{5563}$$

$$DF = 1.21$$

Al tener un factor de diseño (DF) de 1.21, la tubería de 9 5/8" N80 de 47 lb/ft a partir de 5032 a 5769 pies (TVD) no cumple con el factor del diseño ya deberá ser mayor que 1.1.

Segundo se presenta colapso para el caso de carga de evacuaci3n total a partir de los 9683 ft (MD) y 8671 ft (TVD).

FIGURA 2-22 COLAPSO VS ESTALLIDO (EVACUACIÓN TOTAL)



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

Como se puede observar en la figura 2-22, la curva de resistencia al colapso de la tubería de 9 5/8" y la curva de la carga al colapso por evacuación total se intersecan a la profundidad de 8671 pies (TVD), con un factor de diseño de 0.83. Ver figura 2-23.

FIGURA 2-23 RESULTADOS

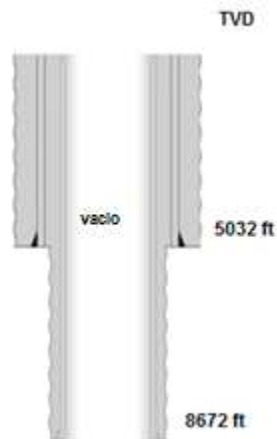
Depth		Collapse			
MD	TVD	Load		DF	
(ft)	(ft)	Above (psia)	Below (psia)	Above	Below
0.00	0.00				
1800.00	1745.08	1133	1133	3.87	3.87
5510.00	5032.40	3268	3268	1.41	1.41
6249.00	5769.52	3746	3746	1.23	1.26
9683.00	8671.04	5631	5631	0.83	0.83
9684.00	8671.51	5631		0.83	

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

Revisión de Cálculos del programa TDAS

Se realiza cálculos manuales para demostrar la eficiencia del programa TDAS, específicamente el caso de carga al colapso. Ver Figura 2-24.

FIGURA 2-24 EVACUACIÓN TOTAL



Calculo de Presiones:

$$P_e = P. Lodo$$

$$P_e = 0.052 \left(\frac{psi}{ppg * pie} \right) * 12.5(ppg) * 8671(ft)$$

$$P_e = 5636 psi$$

$$P_i = 0 Psi.$$

Se obtiene la presión de colapso (carga) de la tubería @ 8671 ft

$$P_c = P_e - P_i$$

$$P_c = (5636 - 0)psi$$

$$P_c = 5636 psi$$

La resistencia de la tubería de revestimiento al colapso se encuentra en la tabla del Anexo 1.

$$DF = \frac{Resistencia}{Carga}$$

$$DF = \frac{4760}{5636}$$

$$DF = 0.83$$

Al tener un factor de diseño (DF) de 0.83, la tubería de 9 5/8" N80 de 47 lb/ft a partir de 8671 pies (TVD) se tiene colapso, para que no exista colapso el factor de diseño deberá ser mayor a 1.0 y para que cumpla la carga de colapso el factor de diseño deberá ser mayor que 1.1.

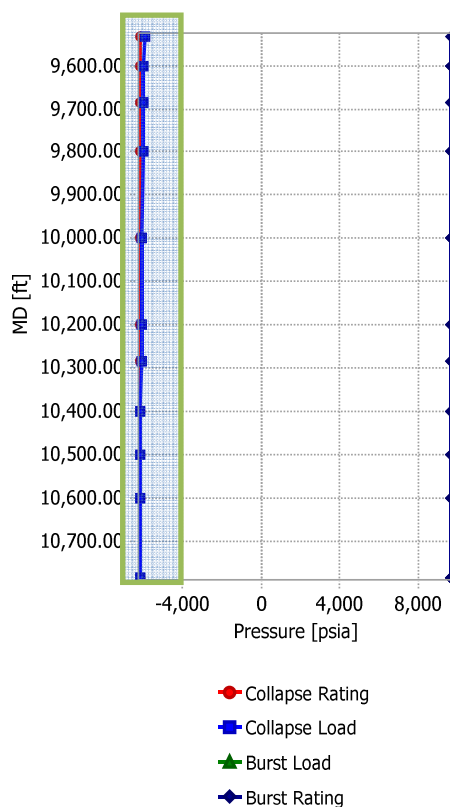
Por lo tanto, si hubiera más de un caso de carga que no cumpla con los factores de diseño en la misma tubería, se tiene que analizar el caso más crítico para poder seleccionar otra tubería de mejor característica o a su vez otra profundidad para realizar un cambio de tubería a otra de distinto grado de acero o peso, de manera que ninguno de los casos de carga fallen y cumplan los factores de diseño establecidos.

El caso de carga más crítico para esta tubería de 9 5/8" es al estallido a los 5032 pies (TVD), por lo que se deberá seleccionar una tubería con un mayor peso o grado de acero a esta profundidad, que permita el cumplimiento del factor de diseño, diámetro de paso (drift) para corrida de las herramientas a utilizar y su optimización dependiendo del costo de las mismas para pozos futuros.

2.4.4.3. Tubería De Revestimiento "Liner" De 7"

La carga de colapso no cumple con el factor de diseño para el caso de carga de evacuación total a partir de los 9534 ft (MD) y 8596 ft (TVD).

FIGURA 2-25 COLAPSO VS ESTALLIDO (EVACUACIÓN TOTAL)



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

Como se puede observar en la figura 2-25, la curva de resistencia al colapso de la tubería de 7” y la curva de la carga al colapso por evacuación total se intersecan por completo a la profundidad de 8597 pies (TVD), con un factor de diseño de 1.04. Ver Figura 2-26.

FIGURA 2-26 RESULTADOS

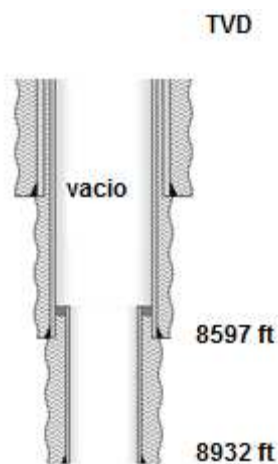
Depth		Collapse			
MD	TVD	Load		DF	
		Above	Below	Above	Below
(ft)	(ft)	(psia)	(psia)		
9534.00	8596.68		5895		1.04
9684.00	8671.51	5946	5946	1.03	1.03
10784.00	8931.80	6125	6125	1.00	1.00
10785.00	8931.87	6125		1.00	

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS).

Revisión de Cálculos del programa TDAS

Se realiza cálculos manuales para demostrar la eficiencia del programa TDAS, específicamente el caso de carga al colapso. Ver Figura 2-27.

FIGURA 2-27 EVACUACIÓN TOTAL



Calculo de Presiones:

$$P_e = P. Lodo$$

$$P_e = 0.052 \left(\frac{psi}{ppg * pie} \right) * 13.2(ppg) * 8596 (ft)$$

$$P_e = 5900 psi$$

$$P_i = 0 Psi.$$

Se obtiene la presión de colapso (carga) de la tubería @ 8597 ft

$$P_c = P_e - P_i$$

$$P_c = (5900 - 0)psi$$

$$P_c = 5900 psi$$

La resistencia de la tubería de revestimiento al colapso se encuentra en la tabla del Anexo 1.

$$DF = \frac{Resistencia}{Carga}$$

$$DF = \frac{6230}{5900}$$

$$DF = 1.04$$

Al tener un factor de diseño (DF) de 1.04, la tubería de 7" P110 de 26 lb/ft a partir de 8597 pies (TVD) no cumple con el factor del diseño ya deberá ser mayor que 1.1.

Este problema se presenta ya que la resistencia de la tubería de 7" P110 de 26 lb/ft no es suficiente para resistir a la carga al colapso según el factor de diseño. Por lo tanto se deberá seleccionar una tubería con un mayor peso o grado de acero, permita el cumplimiento del factor de diseño, diámetro de paso (drift) para corrida de las herramientas a utilizar y su optimización dependiendo del costo de las mismas para pozos futuros.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

3.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo está estructurado en dos partes, la primera parte se describe la metodología para realizar el diseño de tubería de revestimiento y la segunda parte se determina las alternativas de diseños de tuberías de revestimiento para los campos Shushufindi y Oso.

3.2. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE TUBERÍA

La metodología consiste en explicar los pasos a seguir para realizar un diseño de tuberías de revestimiento con todas las cargas y casos de cargas que estará sometida la misma durante su vida productiva.

La metodología consiste en 6 pasos a seguir los cuales son:

1. Disponer de la información completa del pozo que afecte al diseño de tubería como:
 - a) Tipo de completación.
 - b) Punto de asentamiento de las tuberías de revestimiento.
 - c) Configuraciones de los diámetros de tubería.

- d) Trayectoria del pozo
 - e) Presiones de poro, presiones de fractura y gradiente geotérmico
 - f) Densidades máximas de los fluidos de perforación de cada sección.
 - g) Topes de cemento con sus respectivas densidades de cada sección.
 - h) Presiones adicionales como: fracturas, pruebas de presión, entre otras.
2. Estimación de las Presiones Internas y externas para el caso Base y el caso de carga a analizar. Recordemos que el caso base consisten en evaluar las cargas presentes en la tubería ya instalada.
3. Realizar los cálculos de las cargas de estallido y colapso para el caso de carga a analizar
- 3.1. Seleccionar la tubería de revestimiento que soporte las cargas al colapso y estallido
 - 3.2. Verificar si esta tubería de revestimiento cumple con los factores de diseño al colapso y estallido.
4. Realizar los cálculos de las cargas de tensión y compresión para el caso base y para el caso de carga a analizar.
- 4.1. Verificar si la misma tubería de revestimiento ya seleccionada (previamente en el paso 2.1) cumple con los factores de diseño a la tensión y compresión. En caso de no cumplir se deberá seleccionar otra tubería y repetir el paso anterior.
5. Realizar cálculos de carga por efecto térmico y abombamiento.
- 5.1. Ajustar la carga de tensión y compresión con los resultados de efecto térmico y abombamiento.
 - 5.2. Verificar si la tubería de revestimiento cumple con los factores de diseño a la tensión y compresión. En caso de no cumplir se deberá seleccionar otra tubería y repetir los pasos anteriores.

6. Realizar cálculos de carga por pandeo de la tubería

- 6.1. Ajustar las cargas de tensión y compresión con los resultados de pandeo.
- 6.2. Verificar si la tubería de revestimiento cumple con los factores de diseño a la tensión y compresión. En caso de no cumplir se deberá seleccionar otra tubería y repetir los pasos anteriores.

7. Realizar cálculos de las cargas triaxiales.

- 7.1. Verificar si la tubería de revestimiento cumple con el factor de diseño de las cargas triaxiales (VME) para cada caso de carga.

Esta metodología debe ser utilizada para todos los casos de carga que se presentan durante la vida productiva del pozo. Este proceso es interactivo y dependiendo de la complejidad del pozo o las condiciones puede requerir de varias horas de trabajo. Se pueden realizar los análisis de los diseños de revestimiento a través de los siguientes métodos: (gráficos, analítico y programa computarizado)

3.2.1. DISEÑO DE TUBERÍA (METODO ANALÍTICO)

El método analítico se realizará a través de la metodología descrita anteriormente, profundizándolo mediante un ejemplo de cálculo y así explicar de manera pedagógica como se elabora un diseño de tuberías de revestimiento, dicho ejemplo estimará las cargas a las que está expuesta la tubería de revestimiento para el caso de carga de fuga en la tubería de producción.

3.2.1.1. Información para el diseño de tubería (ejemplo)

El ejemplo planteado para explicar el método analítico consiste en seleccionar una tubería de revestimiento considerada de producción de 9 5/8" con un diámetro interno de 8.535", en un pozo desviado a 14,000 pies (MD).

Se debe considerar, el caso de carga de fuga en el tubing de 3 ½”, para la cual la presión de cierre de tubería en superficie es de 8900 psi. El fluido de completación es salmuera (fluido de packer) de 8.4 ppg.

La tubería de revestimiento de producción es corrida en un agujero de 12 1/4” con un fluido de perforación de 12.2 ppg. El tope del cemento (TOC) es planeado a 7000 pies (MD) con una lechada de 15.0 ppg. Determinar los factores de diseño para este caso de carga.

Los valores de presiones y temperaturas son dadas por medio de las tablas 3-1, 3-2 y 3-3.

TABLA 3-1 TRAYECTORIA DEL POZO

Trayectoria	
MD(ft)	TVD (ft)
0	0
8650	8650
14000	12360

FUENTE: Tubular Design Technology Training

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 3-2 PRESIÓN DE PORO

TVD (ft)	Presión de poro (ppg)
0	0.0
7000	8.6
12360	11.7

FUENTE: Tubular Design Technology Training

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 3-3 TEMPERATURAS

TVD (ft)	Estática (°F)	Cementado (°F)
0	65	105
7000	161	159
12360	235	200

FUENTE: Tubular Design Technology Training

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

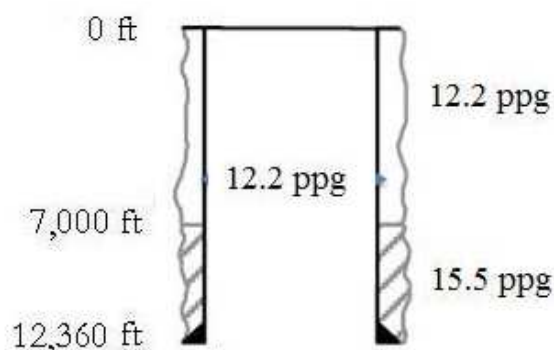
3.2.1.2. Cálculos de presiones en internas y externas para el caso base y para el caso de fuga en el tubing.

Se obtienen resultados de presiones internas y externas del caso base y del caso de fuga en el tubing; ya que estas presiones son de suma importancia al momento de calcular la mayoría de cálculos matemáticos.

3.2.1.2.1. Presiones internas y externas en el caso base

Con la ayuda de la figura 3-1 se realizan los cálculos matemáticos de las presiones del caso base.

FIGURA 3-1 CASO BASE



FUENTE: Tubular Design Technology Training

$$P = P_s + 0.052 * \rho * h$$

$$P_i @ 0 \text{ ft} = 0 \text{ psi}$$

$$Pe@0\text{ ft} = 0\text{ psi}$$

$$Pi@7000\text{ ft} = 0.052 \frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} * 12.2\text{ ppg} * 7000\text{ pies}$$

$$Pi@7000\text{ ft} = 4437\text{ psi}$$

$$Pe@7000\text{ ft} = 0.052 \frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} * 12.2\text{ ppg} * 7000\text{ pies}$$

$$Pe@7000\text{ ft} = 4437\text{ psi}$$

$$Pi@14000\text{ ft} = 0.052 \frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} * 12.2\text{ ppg} * 12360\text{ pies}$$

$$Pi@14000\text{ ft} = 7834\text{ psi}$$

$$Pe@14000\text{ ft} = (0.052 \frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} * 15.5\text{ ppg} * 5360\text{ pies}) + (0.052 \frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} * 12.2\text{ ppg} * 7000\text{ pies})$$

$$Pe@14000\text{ ft} = 8753\text{ psi}$$

Los resultados de las presiones del caso base se resumen en la tabla 3-4.

TABLA 3-4 RESULTADOS DE PRESIONES - CASO BASE

MD (ft)	TVD (ft)	P. interna	P. externa
0	0	0	0
7000	7000	4437	4437
14000	12360	7834	8753

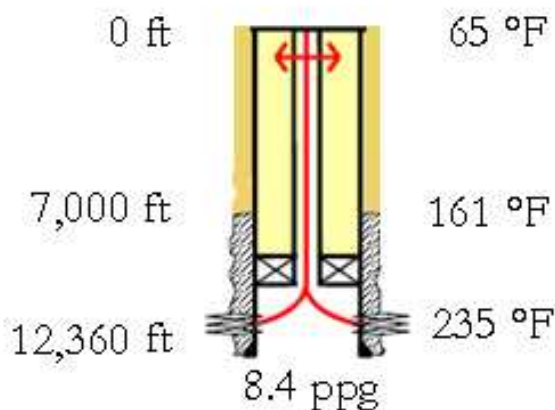
FUENTE: Tubular Design Technology Training

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

3.2.1.2.2. Presiones interna y externas para el caso de fuga en el tubing

Con la ayuda de la figura 3-2 se realizan los cálculos matemáticos de las presiones del caso de fuga en el tubing.

FIGURA 3-2 CASO DE FUGA EN EL TUBING



FUENTE: Tubular Design Technology Training

$$P = P_s + 0.052 * \rho * h$$

$$P_i@ 0 \text{ ft} = 8900 \text{ psi}$$

$$P_e@ 0 \text{ ft} = 0 \text{ psi}$$

$$P_i@7000 \text{ ft} = 8900 \text{ psi} + 0.052 \frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} * 8.4 \text{ ppg} * 7000 \text{ pies}$$

$$P_i@7000 \text{ ft} = 11955 \text{ psi}$$

$$P_e@7000 \text{ ft} = 0.052 \frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} * 8.6 \text{ ppg} * 7000 \text{ pies}$$

$$P_e@7000 \text{ ft} = 3127 \text{ psi}$$

$$P_i@14000 \text{ ft} = 8900 \text{ psi} + 0.052 \frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} * 8.4 \text{ ppg} * 12360 \text{ pies}$$

$$P_i@14000 \text{ ft} = 14294 \text{ psi}$$

$$P_e@14000 \text{ ft} = 0.052 \frac{\text{psi}}{\text{ppg} * \text{pie}} * 11.7 \text{ ppg} * 12360 \text{ pies}$$

$$P_e@14000 \text{ ft} = 7513 \text{ psi}$$

Los resultados de las presiones del caso fuga en el tubing se resumen en la tabla 3-5.

TABLA 3-5 RESULTADOS PRESIONES - CASO DE FUGA EN EL TUBING

MD (ft)	TVD (ft)	P. interna	P. externa
0	0	8900	0
7000	7000	11955	3127
14000	12360	14294	7513

FUENTE: Tubular Design Technology Training

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

3.2.1.3. Cálculo de carga al colapso y estallido para el caso de Carga fuga en el tubing en superficie

$$P_{\text{colapso}} = P_e - P_i$$

$$P_{\text{colapso}} = 0 \text{ psi} - 8900 \text{ psi}$$

$$P_{\text{colapso}} = -8900 \text{ psi}$$

Para el caso de carga por fuga a través de la tubería de revestimiento de producción, no aplica la carga al colapso.

$$P_{\text{estallido}} = P_i - P_e$$

$$P_{\text{estallido}} = 8900 \text{ psi} - 0 \text{ psi}$$

$$P_{\text{estallido}} = 8900 \text{ psi}$$

Para el caso de carga por fuga a través de la tubería de revestimiento de producción, aplica la carga al estallido con 8900 psi.

Se busca en la tabla de resistencias de las tuberías de revestimiento (tabla 3-6), la tubería que supere el valor calculado de la carga neta al estallido en este caso.

La tubería que debemos seleccionar para el cumplimiento del caso de carga descrito es 9 5/8", P110, 53.5 lb/pie, con un ID 8.535"

TABLA 3-6 RESISTENCIAS DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

OD in	W in	T in	Grado	Junta	Cupla OD in	Estallido psi	Colapso psi	Tensión X 1000 lbs	Compresión X 1000 lbs	Catalogo
9,625	53.5	0.545	C75	BTC	10.625	7430	6350	1257	993	Api
9,625	53.5	0.545	C75	LTC	10.625	7430	6350	999	955	Api
9,625	53.5	0.545	C90	BTC	10.625	8920	7120	1386	1247	Api
9,625	53.5	0.545	C90	LTC	10.625	8920	7120	1157	1146	Api
9,625	53.5	0.545	C95	BTC	10.625	9410	7340	1458	1319	Api
9,625	53.5	0.545	C95	LTC	10.625	9410	7340	1220	1210	Api
9,625	53.5	0.545	L80	BTC	10.625	7930	6620	1285	1083	Api
9,625	53.5	0.545	L80	LTC	10.625	7930	6620	1047	1019	Api
9,625	53.5	0.545	N80	BTC	10.625	7930	6620	1329	1064	Api
9,625	53.5	0.545	N80	LTC	10.625	7930	6620	1062	1019	Api
9,625	53.5	0.545	P110	BTC	10.625	10900	7950	1718	1512	Api
9,625	53.5	0.545	P110	LTC	10.625	10900	7950	1422	1401	Api
9,625	53.5	0.545	Q125	BTC	10.625	12390	8440	1890	1750	Api
9,625	53.5	0.545	Q125	LTC	10.625	12390	8440	1595	1592	Api
9,625	53.5	0.545	T95	BTC	10.625	9410	7340	1458	1319	Api
9,625	53.5	0.545	T95	LTC	10.625	9410	7340	1220	1210	Api

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

Resistencia de estallido = 10900 psi

El cálculo de factor de diseño de la tubería seleccionada, se indica a continuación:

$$DF = \frac{\text{Resistencia de estallido}}{\text{carga neta de estallido}}$$

$$DF = \frac{10900}{8900}$$

$$DF = 1.22$$

Tiene un Factor de Diseño (DF) de 1.22, valor que no supera el Factor de Diseño que establecen las políticas de diseño de revestimiento de Schlumberger de 1.25. En vista a esta falta de cumplimiento se deberá seleccionar una tubería de mayor libraje o peso.

Por lo tanto, se escoge otra tubería de revestimiento de 9 5/8" para comprobar que cumpla con este factor de diseño al estallido, la siguiente opción sería

aumentar el grado de acero, ya que el diseño requiere que la tubería de revestimiento sea de diámetro interno de 8.535"; es por esto que se selecciona la nueva tubería de 9 5/8" Q125 de 53.5 lb/ft (tabla 3-7).

TABLA 3-7 RESISTENCIAS DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

OD in	W in	T in	Grado	Junta	Cupla OD in	Estallido psi	Colapso psi	Tensión X 1000 lbs	Compresión X 1000 lbs	Catalogo
9,625	53.5	0.545	C75	BTC	10.625	7430	6350	1257	993	Api
9,625	53.5	0.545	C75	LTC	10.625	7430	6350	999	955	Api
9,625	53.5	0.545	C90	BTC	10.625	8920	7120	1386	1247	Api
9,625	53.5	0.545	C90	LTC	10.625	8920	7120	1157	1146	Api
9,625	53.5	0.545	C95	BTC	10.625	9410	7340	1458	1319	Api
9,625	53.5	0.545	C95	LTC	10.625	9410	7340	1220	1210	Api
9,625	53.5	0.545	L80	BTC	10.625	7930	6620	1285	1083	Api
9,625	53.5	0.545	L80	LTC	10.625	7930	6620	1047	1019	Api
9,625	53.5	0.545	N80	BTC	10.625	7930	6620	1329	1064	Api
9,625	53.5	0.545	N80	LTC	10.625	7930	6620	1062	1019	Api
9,625	53.5	0.545	P110	BTC	10.625	10900	7950	1718	1512	Api
9,625	53.5	0.545	P110	LTC	10.625	10900	7950	1422	1401	Api
9,625	53.5	0.545	Q125	BTC	10.625	12390	8440	1890	1750	Api
9,625	53.5	0.545	Q125	LTC	10.625	12390	8440	1595	1592	Api
9,625	53.5	0.545	T95	BTC	10.625	9410	7340	1458	1319	Api
9,625	53.5	0.545	T95	LTC	10.625	9410	7340	1220	1210	Api

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

Resistencia de estallido = 12390 psi

El cálculo de factor de diseño de la tubería seleccionada, se indica a continuación:

$$DF = \frac{\text{Resistencia de estallido}}{\text{carga neta de estallido}}$$

$$DF = \frac{12390}{8900}$$

$$DF = 1.39$$

Tiene un Factor de Diseño (DF) de 1.39, valor que supera el Factor de Diseño que establecen las políticas de diseño de revestimiento de Schlumberger de 1.25.

3.2.1.4. Cálculo de la carga de Tensión/Compresión para el caso de Carga de fuga en el tubing en superficie

Para calcular las cargas de tensión y compresión se debe realizarlo a través de un diagrama de fuerzas sobre un cuerpo libre.

3.2.1.4.1. Cálculo de Área externa e Interna

Dentro los datos indispensables para el cálculo de tensión y compresión son el área interna y externa de la tubería de revestimiento a analizar.

$$A_{int} = \frac{\pi}{4}(D^2)$$

$$A_{int} = \frac{\pi}{4}(8.535^2 in^2)$$

$$A_{int} = 57.21 in^2$$

$$A_{ext} = \frac{\pi}{4}(D^2)$$

$$A_{ext} = \frac{\pi}{4}(9.625^2 in^2)$$

$$A_{ext} = 72.76 in^2$$

$$A_p = A_e - A_i$$

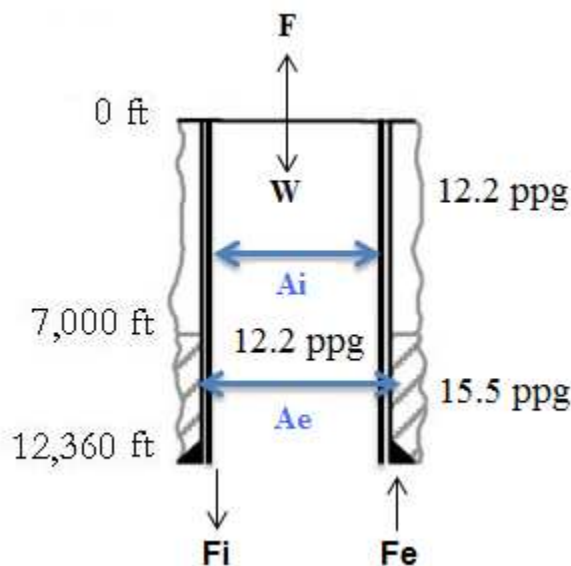
$$A_p = (72.76 in^2 - 57.21 in^2)$$

$$A_p = 15.55 in^2$$

3.2.1.4.2. Diagrama de cuerpo libre para el Caso base:

Con la ayuda de la figura 3-3 se realizan los cálculos matemáticos a partir del diagrama de cuerpo libre para el caso base.

FIGURA 3-3 CASO BASE



FUENTE: Tubular Design Technology Training

$$\sum Fy = 0$$

$$F + Fe - Fi - W = 0$$

$$F + Pe * Ae - Pi * Ai - W = 0$$

$$F = W + Pi * Ai - Pe * Ae$$

$$F = \left(53.5 \frac{lb}{ft} * 12360 ft \right) + (7834 psi * 57.21 in^2) - (8753 psi * 72.76 in^2)$$

$$F = 472575 lb$$

∴ Al ser positivo me indica que es tensión

A la fuerza de tensión/compresión obtenida del caso base se aumentará el efecto térmico y el abombamiento.

3.2.1.4.3. Efecto térmico para el caso de carga de Fuga en superficie

Para obtener este efecto térmico se debe comparar el caso de carga a analizar (fuga superficial en la tubería de producción) con el caso base en función de las temperaturas promedio desde superficie hasta el tope del cemento, en vista de que es la longitud de tubería que presenta un cambio de elongación al no estar sujeto al cemento. Ver Figura 3-4.

FIGURA 3-4 EFECTO TÉRMICO



FUENTE: Tubular Design Technology Training

$$F_{temp} = -\alpha E A_p \Delta T$$

$$F_{temp} = -(6.9 \times 10^{-6} F^{-1})(30 \times 10^6 psi)(15.55 in^2)(113 - 132)^\circ F$$

$$F_{temp} = 61158 lb$$

3.2.1.4.4. Abombamiento para el caso de carga de Fuga en superficie

Para obtener el abombamiento, se debe comparar el caso de carga a analizar (fuga superficial en la tubería de producción) con el caso base en función de las presiones promedio desde superficie hasta el tope del cemento. Ver Figura 3-5.

FIGURA 3-5 ABOMBAMIENTO



FUENTE: Tubular Design Technology Training

$$F_{abom} = 2v(A_i \Delta P_{iprom} - A_e \Delta P_{eprom})$$

$$F_{abom} = 2(0.3)[(57.21 in^2)(10428 - 2219)psi - (72.76)(1564 - 2219)psi]$$

$$F_{abom} = 310377 lb$$

3.2.1.4.5. Cálculo de la tensión final considerando efecto térmico y abombamiento

Al tener la carga a la tensión del caso base, se procede a ajustar la misma con el efecto térmico y abombamiento para el caso de carga a analizar, en este caso se trata de la carga de fuga en el tubing, dando lugar así al cálculo de la fuerza total de tensión de la siguiente manera:

$$F_t = F + F_{temp} + F_{abom}$$

$$F_t = 472575 \text{ lb} + 61158 \text{ lb} + 310377 \text{ lb}$$

$$F_t = 844110 \text{ lb}$$

∴ Al ser positivo me indica que es tensión

La resistencia de tensión de la tubería de 9 5/8 Q125 de 53.5 lb/ft se obtiene de la tabla 3-8.

$$\text{Resistencia de tensión} = 1890000 \text{ lb}$$

TABLA 3-8 RESISTENCIAS DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

OD in	W in	T in	Grado	Junta	Cupla OD in	Estallido psi	Colapso psi	Tensión X 1000 lbs	Compresión X 1000 lbs	Catalogo
9,625	53.5	0.545	C75	BTC	10.625	7430	6350	1257	993	Api
9,625	53.5	0.545	C75	LTC	10.625	7430	6350	999	955	Api
9,625	53.5	0.545	C90	BTC	10.625	8920	7120	1386	1247	Api
9,625	53.5	0.545	C90	LTC	10.625	8920	7120	1157	1146	Api
9,625	53.5	0.545	C95	BTC	10.625	9410	7340	1458	1319	Api
9,625	53.5	0.545	C95	LTC	10.625	9410	7340	1220	1210	Api
9,625	53.5	0.545	L80	BTC	10.625	7930	6620	1285	1083	Api
9,625	53.5	0.545	L80	LTC	10.625	7930	6620	1047	1019	Api
9,625	53.5	0.545	N80	BTC	10.625	7930	6620	1329	1064	Api
9,625	53.5	0.545	N80	LTC	10.625	7930	6620	1062	1019	Api
9,625	53.5	0.545	P110	BTC	10.625	10900	7950	1718	1512	Api
9,625	53.5	0.545	P110	LTC	10.625	10900	7950	1422	1401	Api
9,625	53.5	0.545	Q125	BTC	10.625	12390	8440	1890	1750	Api
9,625	53.5	0.545	Q125	LTC	10.625	12390	8440	1595	1592	Api
9,625	53.5	0.545	T95	BTC	10.625	9410	7340	1458	1319	Api
9,625	53.5	0.545	T95	LTC	10.625	9410	7340	1220	1210	Api

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

$$DF = \frac{\text{Resistencia de tensión}}{\text{carga neta de tensión}}$$

$$DF = \frac{1890000}{844110}$$

$$DF = 2.23$$

☐ Tiene un Factor de Diseño (DF) de 2.23, valor que supera el Factor de Diseño que establece el estándar de IPM de 1.6.

3.2.1.5. Cálculo de carga de Von Mises para el caso de carga Fuga en el Tubing en superficie.

$$Ps_i = 1000 \text{ psi}$$

$$Ps_o = 0 \text{ psi}$$

$$\sigma_a = \frac{Ft}{Ae - Ai}$$

$$\sigma_a = \frac{844110 \text{ lb}}{15.55 \text{ in}^2}$$

$$\sigma_a = 54284 \text{ psi}$$

$$\sigma_r = -Ps_i$$

$$\sigma_r = -8900 \text{ psi}$$

$$\sigma_t = \frac{Ps_i(Ae + Ai) - 2Ps_oAe}{Ae - Ai}$$

$$\sigma_t = \frac{8900 \text{ psi} (72.76 \text{ in}^2 + 57.21 \text{ in}^2) - 0}{72.76 \text{ in}^2 - 57.21 \text{ in}^2}$$

$$\sigma_t = 74388 \text{ psi}$$

$$VME = \sqrt{\frac{(\sigma_a - \sigma_t)^2}{2} + \frac{(\sigma_t - \sigma_r)^2}{2} + \frac{(\sigma_r - \sigma_a)^2}{2}}$$

$$VME = \sqrt{\frac{(54284 \text{ psi} - 74388 \text{ psi})^2}{2} + \frac{(74388 \text{ psi} - (-8900) \text{ psi})^2}{2} + \frac{(-8900 \text{ psi} - 54284 \text{ psi})^2}{2}}$$

$$VME = 75227 \text{ psi}$$

La resistencia de VME se obtiene de la figura 3-6, según el mínimo esfuerzo de cedencia de la tubería.

FIGURA 3-6 ESFUERZOS DE CEDENCIAS

Grado	Punto de cedencia mínima (psi)	Punto de cedencia máximo (psi)
H40	40000	80000
J55	55000	80000
K55	55000	80000
N80	80000	110000
L80	80000	95000
C95	95000	110000
P110	110000	140000
Q125	125000	150000

FUENTE: API 5 CT

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

$$\text{Resistencia de VME} = 125000 \text{ psi}$$

$$DF = \frac{\text{Resistencia de VME}}{\text{carga neta de VME}}$$

$$DF = \frac{125000}{75277}$$

$$DF = 1.66$$

☑ Tiene un Factor de Diseño (DF) de 1.46, valor que supera el Factor de Diseño que establece el estándar de IPM de 1.25.

Finalmente se termina seleccionando la tubería correcta para aplicar en este problema que sería la tubería de revestimiento de 9 5/8" N80 de 53.5 lb/ft.

3.3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE TUBERÍA

Las alternativas de diseños de tuberías de revestimiento se obtienen con la recopilación de toda la información descrita en el segundo capítulo. Para las alternativas de diseño de tubería de revestimiento para el campo Shushufindi se realizará una optimización para la tubería de revestimiento de 7". Para el campo Oso se realizarán nuevas alternativas de diseños para las tuberías de revestimiento de 20", 13 3/8", 9 5/8" y 7".

3.3.1. ALTERNATIVA PARA EL CAMPO SHUSHUFINDI (OPTIMIZACIÓN)

En el segundo capítulo se indicó un diseño de tuberías de revestimiento para el campo Shushufindi, el cual los factores de diseños cumplen con los estándares a excepción del liner de 7" en el caso de carga de evacuación total, por dicha razón será optimizar el mismo diseño.

3.3.1.1. Configuración

Se recomienda utilizar un liner de 7" N80 de 29 lb/ft para la optimización de esta tubería de revestimiento. Ver Tabla 3-9.

TABLA 3-9 CONFIGURACIÓN PARA EL CAMPO SHUSHUFINDI

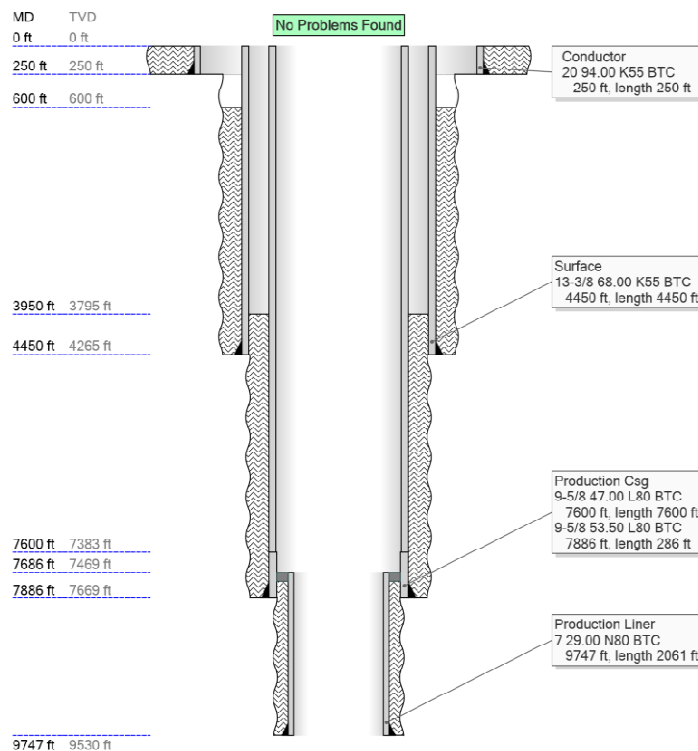
Configuración de las tuberías de revestimiento				
OD(in)	TVD (ft)	MD (ft)	GRADO	PESO (lb/ft)
7	7469-9530	7686-9747	N80	29

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

3.3.1.2. Descripción Gráfica

La descripción gráfica del primer estado mecánico del campo Shushufindi se presenta en la figura 3-7.

FIGURA 3-7 PRIMER ESTADO MECÁNICO DEL CAMPO SHUSHUFINDI



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

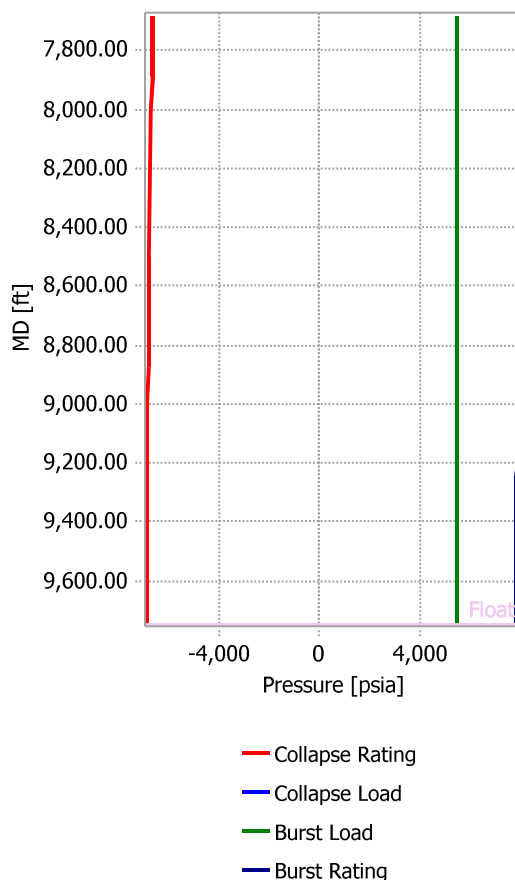
3.3.1.3. Tubería De Revestimiento “Liner” 7”

Estallido

Se tiene un factor de diseño de 1.42 en superficie para el caso de carga de prueba de presión, siendo éste el caso de carga más crítico para el estallido en esta tubería de 7” y cumple con los estándares establecidos que para este caso es de 1.1.

La figura 3-8 indica que la curva de la resistencia de la tubería de revestimiento de 7” con la curva de la carga neta al estallido en el caso de prueba de presión, no tienden a intersectarse desde superficie hasta la profundidad de asentamiento de esta tubería.

FIGURA 3-8 CURVAS DE ESTALLIDO DE LA TUBERÍA DE 7"



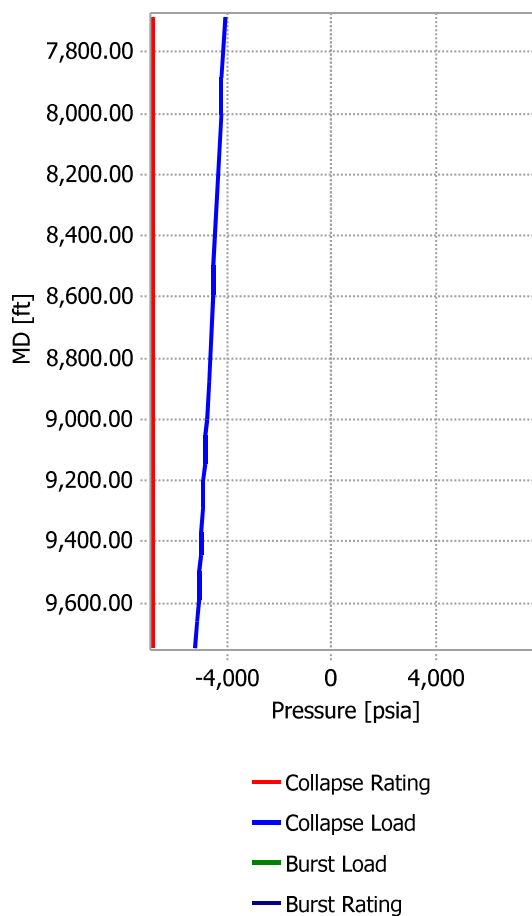
FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

Colapso

Se tiene un factor de diseño de 1.32 en fondo para el caso de carga de evacuación total, siendo éste el caso de carga más crítico para el colapso en esta tubería de 7" cumple con los estándares establecidos que para este caso es de 1.1.

La figura 3-9 indica que la distancia entre la curva de resistencia de la tubería de 7" y la curva de la carga neta al colapso en el caso evacuación total, al inicio es muy grande pero después se reduce acercándose más la carga neta a la curva de resistencia, pero aun así sigue manteniendo una distancia considerable es decir no tienden a intersecarse hasta la profundidad de asentamiento de esta tubería, ya que el punto más crítico de colapso es en el fondo.

FIGURA 3-9 CURVAS DE COLAPSO DE LA TUBERÍA DE 7"



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

Tensión

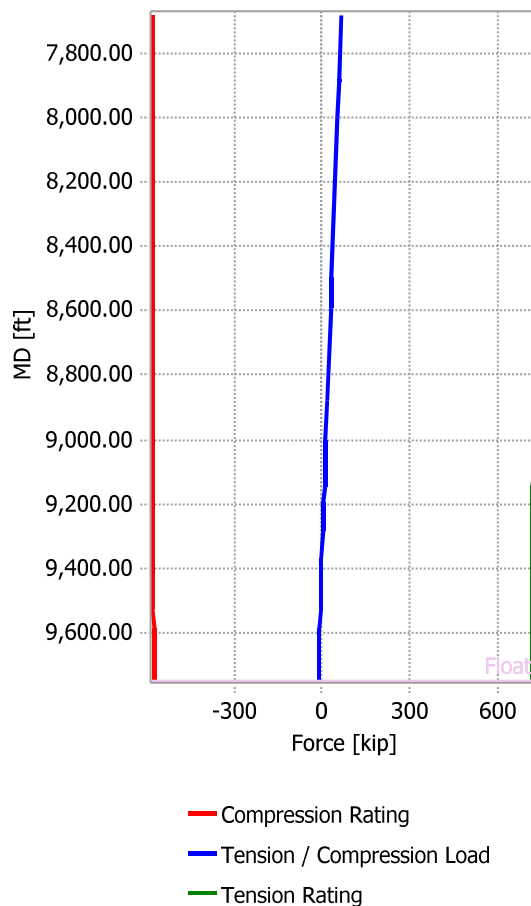
Se tiene un factor de diseño de 11.14 para el caso de carga de prueba de presión, siendo éste el caso de carga más crítico para el estallido en esta tubería de 7" y cumple con los estándares establecidos que para este caso es de 1.6.

Efecto térmico, abombamiento y pandeo ya están tomados en cuenta en este cálculo.

La figura 3-10 indica que la curva de la resistencia de la tubería de 7" y la curva de la carga neta a la tensión para el caso de prueba de presión no tiende a

intersecarse, ya que al tratarse un liner, la carga neta de la tensión es despreciable.

FIGURA 3-10 CURVAS DE TENSION DE LA TUBERÍA DE 7"



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

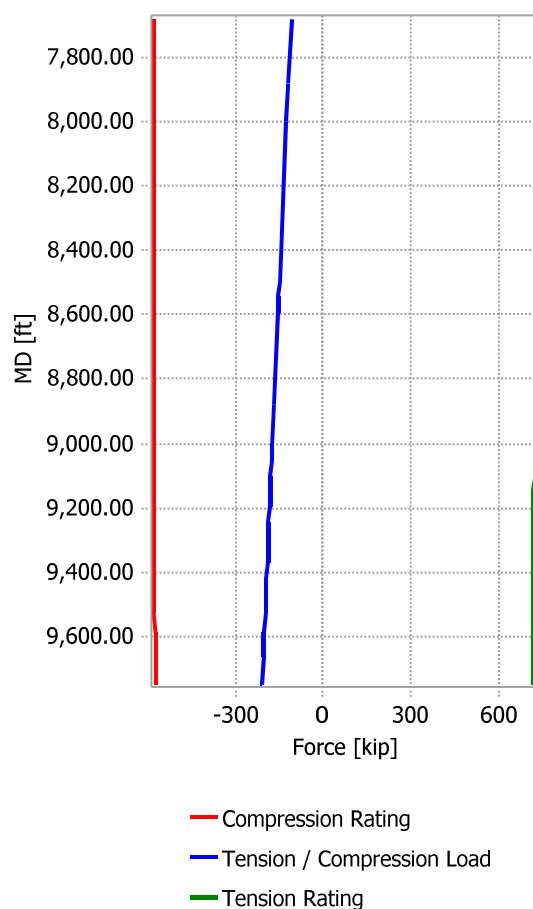
Compresión

Se tiene un factor de diseño de 2.77 en fondo, para el caso de carga de evacuación total, siendo éste el caso de carga más crítico para la compresión en esta tubería de 7" y cumple con los estándares establecidos que para este caso es de 1.2.

Efecto térmico, abombamiento y pandeo ya están tomados en cuenta en este cálculo.

La figura 3-11 indica que la distancia entre la curva de resistencia de la tubería de 7" con la curva de la carga neta a la compresión en el caso de evacuación total en el fondo se reduce al ser el punto más crítico de esta carga pero sigue teniendo una distancia considerable, es decir no tienden a intersecarse hasta la profundidad de asentamiento de esta tubería, esto quiere decir que gráficamente se afirma que cumple.

FIGURA 3-11 CURVAS DE COMPRESIÓN DE LA TUBERÍA DE 7"



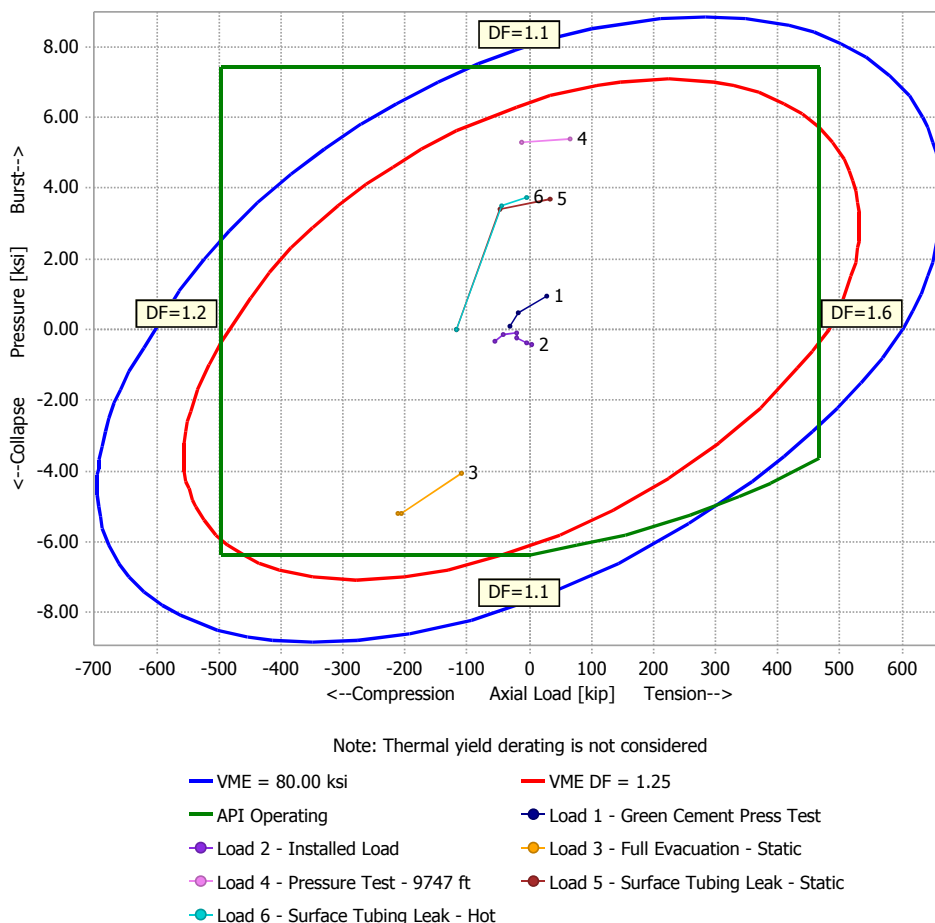
FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

VME

Se tiene un factor de diseño de 1.43 para el caso de carga de prueba de presión siendo éste el caso de carga más crítico para la carga triaxial (VME) en esta tubería de 7" y cumple con los estándares establecidos que para este caso es de 1.25.

Esto se puede corroborar con la figura 3-12.

FIGURA 3-12 CURVAS DE VME DE LA TUBERÍA DE 7"



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

La figura 3-12 indica que la tubería cumple con los factores de diseño ya que permanece la curva del comportamiento triaxial para el caso de prueba de presión dentro del margen de VON MISES.

3.3.1.4. Resultados

De manera más resumida estos son los resultados que muestra TDAS, en función a los tubulares, estallido, colapso, tensión, compresión, Von Mises y Patas de perro.

En la figura 3-13, se tiene los mínimos valores de factores de diseños para cada tubería de revestimiento para el caso de carga más crítica en cada una de las tuberías seleccionadas.

FIGURA 3-13 RESULTADOS DE LOS FACTORES DE DISEÑO DE LA ALTERNATIVA DE DISEÑO DEL CAMPO SHUSHUFINDI

String	Burst DF	Collapse DF	Tension DF	Compression DF	Von Mises DF	Dog Leg (deg/100ft)
20" Conductor	1.25	4.47	5.27	24.41	1.36	0.0 [1]
13-3/8" Surface	1.23	1.38	3.55	4.34	1.32	No Buckling
9-5/8" Production Csg	1.21	1.18	2.25	3.07	1.25	1.8 [2]
7" Production Liner	1.42	1.32	11.14	2.77	1.43	No Buckling

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

3.3.2. PRIMERA ALTERNATIVA PARA EL CAMPO OSO

En el segundo capítulo se indicó un diseño de tuberías de revestimiento para el campo Oso, el cual los factores de diseños no cumplían con los estándares por lo que se realizarán nuevas alternativas de diseños para las tuberías de revestimiento de 20", 13 3/8", 9 5/8" y 7".

3.3.2.1. Configuración

Se recomienda utilizar la configuración mencionada en la tabla 3-10.

TABLA 3-10 PRIMERA CONFIGURACIÓN PARA EL CAMPO OSO

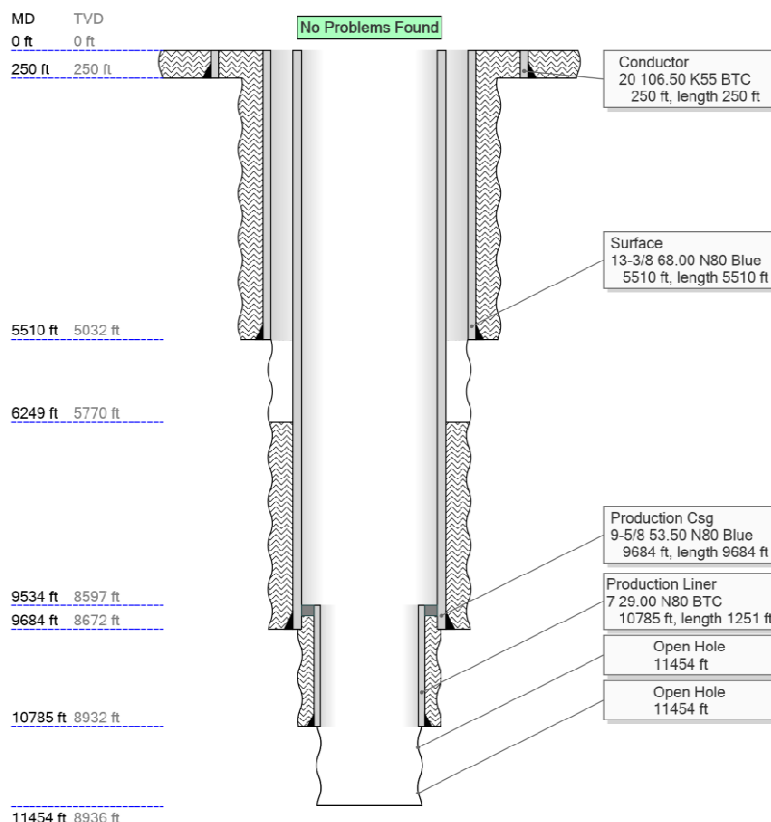
Configuración de las tuberías de revestimiento				
OD(in)	TVD (ft)	MD (ft)	GRADO	PESO (lb/ft)
20	0-250	0-250	K55	106.5
13 3/8	0-5032	0-5510	N80	68
9 5/8	0-8672	0-9684	N80	53.5
7	8597-8932	9534-10785	N80	29

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

3.3.2.2. Descripción Gráfica

La descripción gráfica del primer estado mecánico del campo Oso se presenta en la figura 3-14.

FIGURA 3-14 PRIMER ESTADO MECÁNICO DEL CAMPO OSO



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

3.3.2.3. Información General

Los datos para realizar las alternativas de las tuberías de revestimiento de 20", 13 3/8", 9 5/8" y 7", están indicados en el capítulo 2.

3.3.2.4. Resultados

Los resultados que muestra TDAS, en función a los tubulares, estallido, colapso, tensión, compresión, Von Mises y Patas de perro se muestran en la figura 3-15.

FIGURA 3-15 RESULTADOS DE LOS FACTORES DE DISEÑO DE LA PRIMERA ALTERNATIVA DEL CAMPO OSO

String	Burst DF	Collapse DF	Tension DF	Compression DF	Von Mises DF	Dog Leg (deg/100ft)
20" Conductor	1.43	6.76	6.04	27.80	1.51	0.0 [1]
13-3/8" Surface	2.67	1.06	5.06	6.84	2.53	No Buckling
9-5/8" Production Csg	1.34	1.15	2.30	2.97	1.33	1.9 [2]
7" Production Liner	2.09	1.12	5.18	2.53	1.39	No Buckling

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

En la figura 3-15, se tiene los mínimos valores de factores de diseños para cada tubería de revestimiento para el caso de carga más crítico en cada una de las tuberías seleccionadas.

Esto quiere decir que esta primera alternativa planteada cumple con todos los factores de diseño convirtiéndose en una opción para ser analizada económicamente y así poder determinar la alternativa final del campo Oso.

3.3.3. SEGUNDA ALTERNATIVA PARA EL CAMPO OSO

Se plantea la segunda alternativa de diseño para el campo Oso para las tuberías de revestimiento de 20", 13 3/8", 9 5/8" y 7".

Esta segunda alternativa es totalmente distinta a la primera, pero cumple con los factores de diseño de las tuberías de revestimiento.

3.3.3.1. Configuración

Se recomienda utilizar la segunda configuración para el campo Oso mencionada en la tabla 3-11.

TABLA 3-11 SEGUNDA CONFIGURACIÓN PARA EL CAMPO OSO

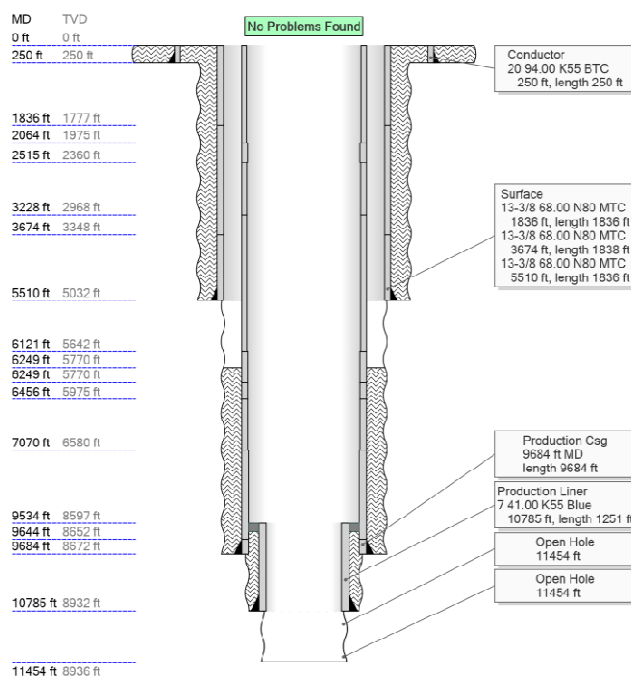
Configuración de las tuberías de revestimiento				
OD(in)	TVD (ft)	MD (ft)	GRADO	PESO (lb/ft)
20	0-250	0-250	K55	94
13 3/8	0-5032	0-5510	N80	68
9 5/8	0-1975	0-2064	O95	40
	1975-2360	2064-2515	N80	47
	2360-5642	2515-6121	O95	43.5
	5642-5770	6121-6249	O95	47
	5770-6580	6249-7070	N80	47
	6580-8652	7070-9644	N80	53.5
	8652-8672	9644-9684	O95	53.5
7	8597-8932	9534-10785	N80	29

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

3.3.3.2. Descripción Gráfica

La descripción gráfica del segundo estado mecánico del campo Shushufindi se presenta en la figura 3-16.

FIGURA 3-16 SEGUNDO ESTADO MECÁNICO DEL CAMPO OSO



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

3.3.3.3. Información General

Los datos para realizar las alternativas de las tuberías de revestimiento de 20", 13 3/8", 9 5/8" y 7", están indicados en el capítulo 2.

3.3.3.4. Resultados

Los resultados que muestra TDAS, en función a los tubulares, estallido, colapso, tensión, compresión, Von Mises y Patas de perro se muestran en la figura 3-17.

FIGURA 3-17 RESULTADOS DE LOS FACTORES DE DISEÑO DE LA SEGUNDA ALTERNATIVA DEL CAMPO OSO

String	Burst DF	Collapse DF	Tension DF	Compression DF	Von Mises DF	Dog Leg (deg/100ft)
20" Conductor	3.54	4.57	9.16	24.54	3.96	0.0 [1]
13-3/8" Surface	2.67	1.07	4.16	5.87	2.53	No Buckling
9-5/8" Production Csg	1.25	1.10	1.83	2.69	1.30	1.9 [2]
7" Production Liner	2.08	1.34	6.69	2.40	1.35	No Buckling

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

En la figura 3-17 se tiene los mínimos valores de factores de diseños para cada tubería de revestimiento para el caso de carga más crítico en cada una de las tuberías seleccionadas.

Esto quiere decir que esta segunda alternativa planteada cumple con todos los factores de diseño convirtiéndose en una opción para ser analizada económicamente y así poder determinar la alternativa final del campo Oso.

3.3.4. TERCERA ALTERNATIVA PARA EL CAMPO OSO

Se plantea la tercera alternativa de diseño para el campo Oso para las tuberías de revestimiento de 20", 13 3/8", 9 5/8"; y 7".

3.3.4.1. Configuración

Se recomienda utilizar la tercera configuración para el campo Oso mencionada en la tabla 3-12.

TABLA 3-12 TERCERA CONFIGURACIÓN PARA EL CAMPO OSO

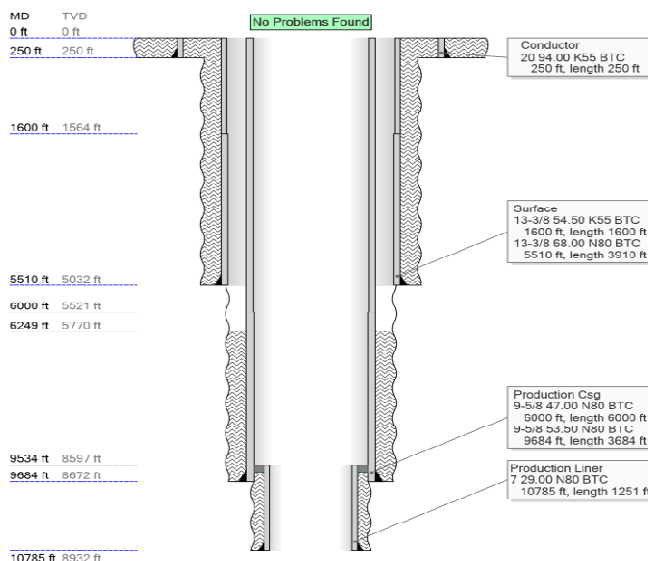
Configuración de las tuberías de revestimiento				
OD(in)	TVD (ft)	MD (ft)	GRADO	PESO (lb/ft)
20	0-250	0-250	K55	94
13 3/8	0-1564	0-1600	K55	54.5
	1564-5032	1600-5510	N80	68
9 5/8	0-5521	0-6000	N80	47
	5521-8672	6000-9684	N80	53.5
7	8597-8932	9534-10785	N80	29

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

3.3.4.2. Descripción Gráfica

La descripción gráfica del tercer estado mecánico del campo Shushufindi se presenta en la figura 3-18.

FIGURA 3-18 TERCER ESTADO MECÁNICO DEL CAMPO OSO



FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

3.3.4.3. Información General

Los datos para realizar las alternativas de las tuberías de revestimiento de 20", 13 3/8", 9 5/8" y 7", están indicados en el capítulo 2.

3.3.4.4. Resultados

Los resultados que muestra TDAS, en función a los tubulares, estallido, colapso, tensión, compresión, Von Mises y Patas de perro se muestran en la figura 3-19.

FIGURA 3-19 RESULTADOS DE LOS FACTORES DE DISEÑO DE LA TERCERA ALTERNATIVA DEL CAMPO OSO

String	Burst DF	Collapse DF	Tension DF	Compression DF	Von Mises DF	Dog Leg (deg/100ft)
20" Conductor	1.25	4.57	5.28	24.54	1.33	0.0 [1]
13-3/8" Surface	1.25	1.05	2.67	5.58	1.35	No Buckling
9-5/8" Production Csg	1.25	1.15	1.90	2.54	1.29	1.6 [2]
7" Production Liner	1.90	1.12	5.52	2.53	1.39	No Buckling

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

En la figura 3-19, se tienen los mínimos valores de factores de diseños para cada tubería de revestimiento para el caso de carga más crítica en cada una de las tuberías seleccionadas.

Esto quiere decir que esta tercera alternativa planteada cumple con todos los factores de diseño convirtiéndose en una opción para ser analizada económicamente y así poder determinar la alternativa final del campo Oso.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS TECNICO - ECONÓMICO

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se determinará la inversión de la optimización de la tubería de revestimiento para el Campo Shushufindi y se seleccionará la mejor alternativa de diseño de las tuberías de revestimiento para el Campo Oso a través de los costos que representen su inversión.

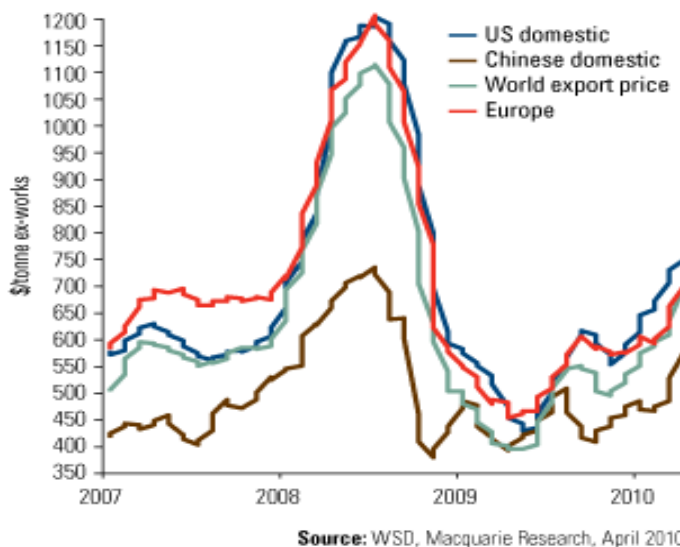
El análisis económico se lo realizará en función de inversión vs ahorro en porcentajes ya que se tienen valores representativos de las tuberías de revestimiento.

4.2 COSTOS DE LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO

En primer lugar se debe determinar que el costo por pie de las tuberías de revestimiento incrementan constantemente, ya que su principal componente es el acero posee cada vez mayor demanda mundial.

La demanda mundial del acero se lo representa mediante la figura 4-1 la cual indica que mientras más aumenta el costo el acero, aumenta el costo de la tubería de revestimiento.

FIGURA 4-1 DEMANDA DEL ACERO

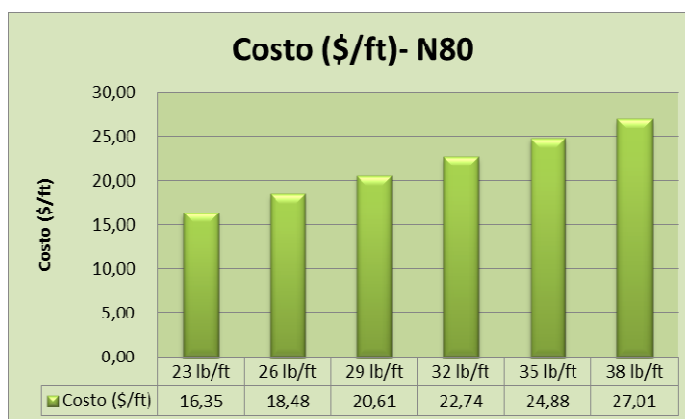


FUENTE: WSD, Macquarie Research

El costo de las tuberías de revestimiento como va en función del precio a nivel mundial del acero, por lo consiguiente está en función al grado de acero y peso de las tuberías.

Por lo tanto se realizan gráficas demostrativas indicadoras de que al aumentar el peso de la tubería en algunos casos representa menos inversión que al aumentar el grado de acero, pero esto se debe realizar con criterio ya que llega a un punto en el que se presenta lo contrario, esto se lo determina gráficamente de la siguiente manera para cada campo:

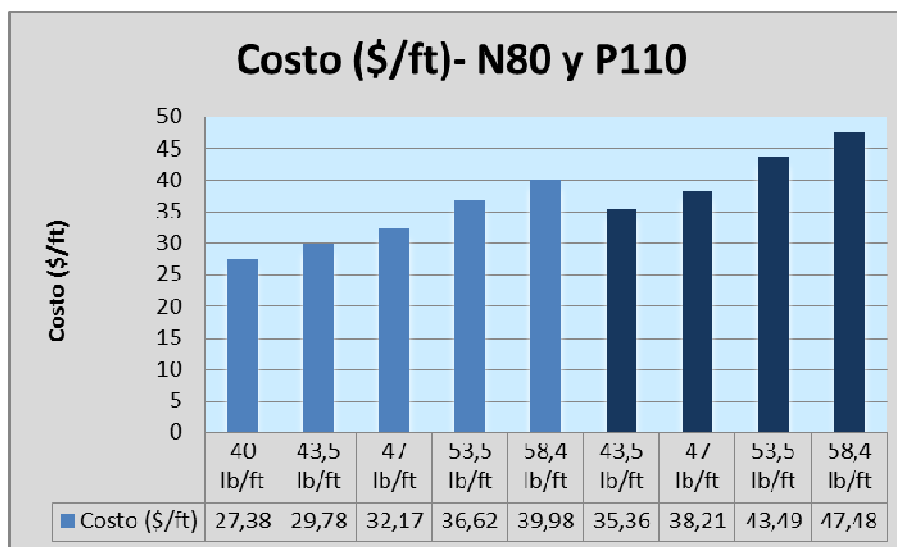
FIGURA 4-2 COSTO REFERENCIAL - N80



FUENTE: Departamento de Perforación

En la figura 4-2, se comprueba que al aumentar el peso de la tubería se tiene un mayor costo.

FIGURA 4-3 COSTO REFERENCIAL- N80 Y P110



FUENTE: Departamento de Perforación

En la figura 4-3, demuestra que entre dos tuberías de distinto grado, en este caso N80 (celeste) y P110 (azul), en cuestión de costos es preferible aumentar el peso de la tubería en lugar de aumentar el grado de acero al momento de seleccionarlas para así realizar un diseño de tuberías de revestimiento confiable, sencillo y económico..

4.3 ALTERNATIVA DE DISEÑO PARA EL CAMPO SHUSHUFINDI (OPTIMIZACIÓN)

Para el campo Shushufindi se realizó una optimización para la tubería de 7", ya que la tubería N80 de 26 lb/ft no cumplía al colapso en el caso de carga de evacuación total, por lo que se decidió aumentar el peso de la tubería de 26 a 29 lb/ft.

Hablando económicamente se tienen los siguientes resultados:

Para el diseño actual del campo Shushufindi para la tubería de 7" se tiene el costo total en la tabla 4-1.

TABLA 4-1 COSTO ACTUAL- CAMPO SHUSHUFINDI

<u>7"</u>			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 7" N80 26 lb/ft BTC	\$ 18,48	2061	\$ 38.087,28
TOTAL=			\$ 38.087,28

FUENTE: Departamento de Perforación

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

Para la optimización del campo Shushufindi de la tubería de 7" se tiene en el costo total en la tabla 4-2.

TABLA 4-2 COSTO DE LA OPTIMIZACION-CAMPO SHUSHUFINDI

<u>7"</u>			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 7" N80 29 lb/ft BTC	\$ 20,61	2061	\$ 42.477,21
TOTAL=			\$ 42.477,21

FUENTE: Departamento de Perforación

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

A estos costos para hablar de manera didáctica se los transforma a porcentajes de la siguiente manera como lo indican las tablas 4-3 y 4-4.

TABLA 4-3 COSTO SHUSHUFINDI EN \$

SHUSHUFINDI	TUBERÍA 7"
Shushufindi optimizado	\$ 42.477,21
Shushufindi actual	\$ 38.087,28

FUENTE: Departamento de Perforación

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 4-4 COSTOS SHUSHUFINDI EN % (INVERSIÓN)

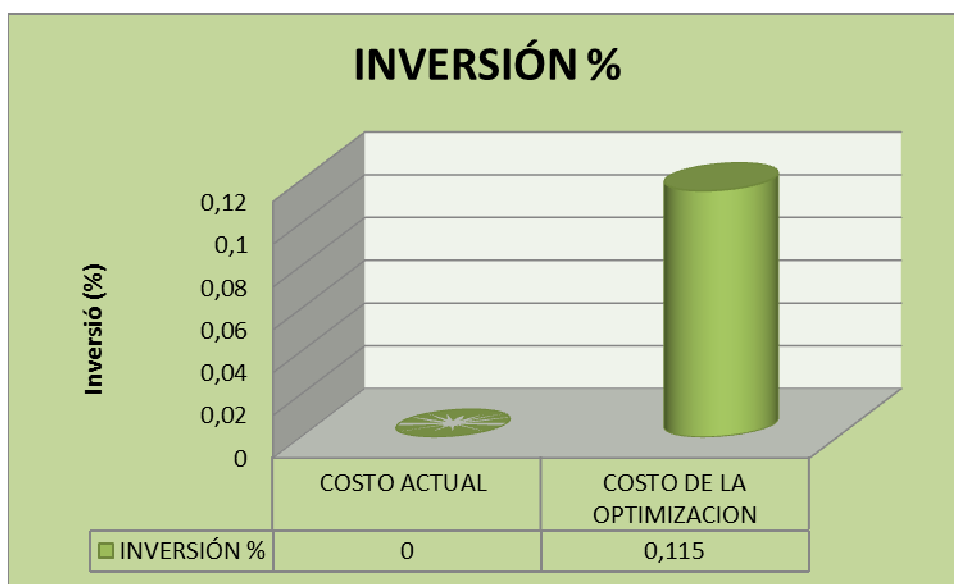
SHUSHUFINDI	TUBERÍA 7"
Shushufindi optimizado	0,115
Shushufindi actual	0

FUENTE: Departamento de Perforación

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

De esta manera se obtiene el análisis económico en función a porcentajes de inversión como lo muestra la figura 4-4, basándose en la tabla 4-4.

FIGURA 4-4 INVERSIÓN TOTAL DEL CAMPO SHUSHUFINDI



FUENTE: Departamento de Perforación

El costo de la optimización para el campo Shushufindi en el liner de 7" es de apenas el 0,11 %, es decir no se va a invertir una cantidad muy grande y con la gran ventaja que el diseño para este campo está optimizado cumpliendo con todos los estándares que determina Schlumberger.

4.4 ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA EL CAMPO OSO

Para el Campo Oso se realizó 3 alternativas de diseño los cuales son:

Primera alternativa:

- Conductor de 20" K55 de 106.5 lb/ft.
- Superficial de 13 3/8" N80 de 68 lb/ft.
- Producción de 9 5/8" N80 de 53.5 lb/ft.
- Liner de 7" N80 de 29 lb/ft.

Segunda alternativa:

- Conductor de 20" K55 de 94 lb/ft.
- Superficial de 13 3/8" N80 de 68 lb/ft.
- Producción de 9 5/8" N80 de 47 lb/ft + N80 de 53.5 lb/ft + O95 de 40 lb/ft + O95 de 43.5 lb/ft + O95 de 47 lb/ft + O95 de 53.5 lb/ft.
- Liner de 7" N80 de 29 lb/ft.

Tercera alternativa:

- Conductor de 20" K55 de 94 lb/ft.
- Superficial de 13 3/8" K55 de 54.5 lb/ft + N80 de 68 lb/ft.
- Producción de 9 5/8" N80 de 47 lb/ft N80 de 53.5 lb/ft.
- Liner de 7" N80 de 29 lb/ft.

Hablando económicamentese tienen los siguientes resultados:

Para cada una de las alternativas del campo Oso, se tienen costos totales los cuales están separados por secciones y por tipos de tuberías utilizadas, las mismas están detalladas en las tablas 4-5, 4-6 Y 4-7.

TABLA 4-5 COSTO ACTUAL-CAMPO OSO

DISEÑO ACTUAL DEL CAMPO OSO			
20"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 20" K55 94 lb/ft BTC	\$ 59,43	250	\$ 14.857,50
13 3/8"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 13 3/8" K55 54.5 lb/ft BTC	\$ 41,33	1800	\$ 74.394,00
Casing 13 3/8" N80 68 lb/ft BTC	\$ 46,80	3710	\$ 173.628,00
9 5/8"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 9 5/8" N80 47 lb/ft BTC	\$ 32,17	9684	\$ 311.534,28
7"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 7" P110 26 lb/ft BTC	\$ 21,95	1242	\$ 27.261,90
TOTAL=			\$ 601.675,68

FUENTE: Departamento de Perforación

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 4-6 COSTO PRIMERA ALTERNATIVA-CAMPO OSO

PRIMERA ALTERNATIVA DEL CAMPO OSO			
20"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 20" K55 106.5 lb/ft BTC	\$ 67,33	250	\$ 16.832,50
13 3/8"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 13 3/8" N80 68 lb/ft BTC	\$ 46,80	5510	\$ 257.868,00
9 5/8"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 9 5/8" N80 53.5 lb/ft BTC	\$ 36,62	9684	\$ 354.628,08
7"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 7" N80 29 lb/ft BTC	\$ 20,61	1251	\$ 25.783,11
TOTAL=			\$ 655.111,69

FUENTE: Departamento de Perforación

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 4-7 COSTO SEGUNDA ALTERNATIVA-CAMPO OSO

SEGUNDA ALTERNATIVA DEL CAMPO OSO			
20"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 20" K55 94 lb/ft BTC	\$ 59,43	250	\$ 14.857,50
13 3/8"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 13 3/8" N80 68 lb/ft BTC	\$ 46,80	5510	\$ 257.868,00
9 5/8"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 9 5/8" N80 47 lb/ft BTC	\$ 32,17	1272	\$ 40.920,24
Casing 9 5/8" N80 53.5 lb/ft BTC	\$ 36,62	2574	\$ 94.259,88
Casing 9 5/8" O95 40.0 lb/ft BTC	\$ 29,95	2064	\$ 61.816,80
Casing 9 5/8" O95 43.5 lb/ft BTC	\$ 32,57	3606	\$ 117.447,42
Casing 9 5/8" O95 47.0 lb/ft BTC	\$ 35,19	128	\$ 4.504,32
Casing 9 5/8" O95 53.5 lb/ft BTC	\$ 40,06	40	\$ 1.602,40
7"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 7" N80 29 lb/ft BTC	\$ 20,61	1251	\$ 25.783,11
TOTAL=			\$ 619.059,67

FUENTE: Departamento de Perforación

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

TABLA 4-8 COSTO TERCERA ALTERNATIVA-CAMPO OSO

TERCERA ALTERNATIVA DEL CAMPO OSO			
20"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 20" K55 94 lb/ft BTC	\$ 59,43	250	\$ 14.857,50
13 3/8"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 13 3/8" K55 54.5 lb/ft BTC	\$ 41,33	1600	\$ 66.128,00
Casing 13 3/8" N80 68 lb/ft BTC	\$ 46,80	3910	\$ 182.988,00
9 5/8"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 9 5/8" N80 47 lb/ft BTC	\$ 32,17	6000	\$ 193.020,00
Casing 9 5/8" N80 53.5 lb/ft BTC	\$ 36,62	3684	\$ 134.908,08
7"			
TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO	COSTO/PIE	PIES	INVERSIÓN
Casing 7" N80 29 lb/ft BTC	\$ 20,61	1251	\$ 25.783,11
TOTAL=			\$ 617.684,69

FUENTE: Departamento de Perforación

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

Para hablar de manera didáctica se transforman a porcentajes de inversión los costos de todas las alternativas existentes para el campo Oso, y así compararlos con el diseño utilizado actualmente, tal y como lo indican las tablas 4-9 y 4-10.

TABLA 4-9 COSTO OSO EN \$

OSO	20"	13 3/8"	9 5/8"	7"	TOTAL
oso 1	\$ 16.832,50	\$ 257.868,00	\$ 354.628,08	\$ 25.783,11	\$ 655.111,69
oso 2	\$ 14.857,50	\$ 257.868,00	\$ 320.551,06	\$ 25.783,11	\$ 619.059,67
oso 3	\$ 14.857,50	\$ 249.116,00	\$ 327.928,08	\$ 25.783,11	\$ 617.684,69
oso actual	\$ 14.857,50	\$ 248.022,00	\$ 311.534,28	\$ 27.261,90	\$ 601.675,68

FUENTE: Departamento de Perforación

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

De esta manera se obtiene el análisis económico en función a porcentajes de inversión como lo muestra la figura 4-5, basándose en la tabla 4-10.

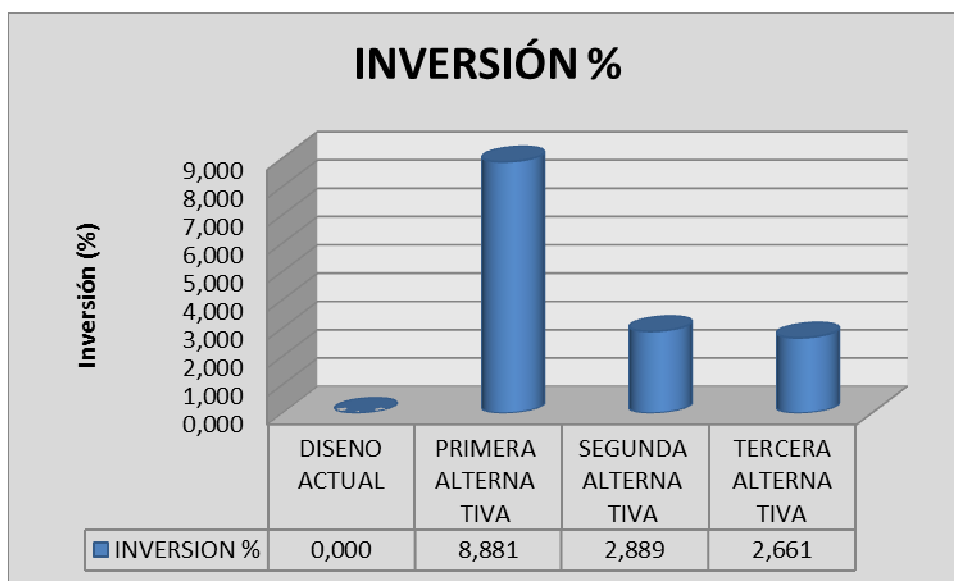
TABLA 4-10 COSTOS OSO EN % (INVERSIÓN)

OSO	20	13 3/8	9 5/8	7	TOTAL
oso 1	-0,13	-0,04	-0,14	0,05	8,881
oso 2	0	-0,04	-0,03	0,05	2,889
oso 3	0	0	-0,05	0,05	2,661
oso actual	0	0	0	0	0

FUENTE: Departamento de Perforación

ELABORACIÓN: Alfonsina Bassante

FIGURA 4-5 INVERSIÓN TOTAL DEL CAMPO OSO



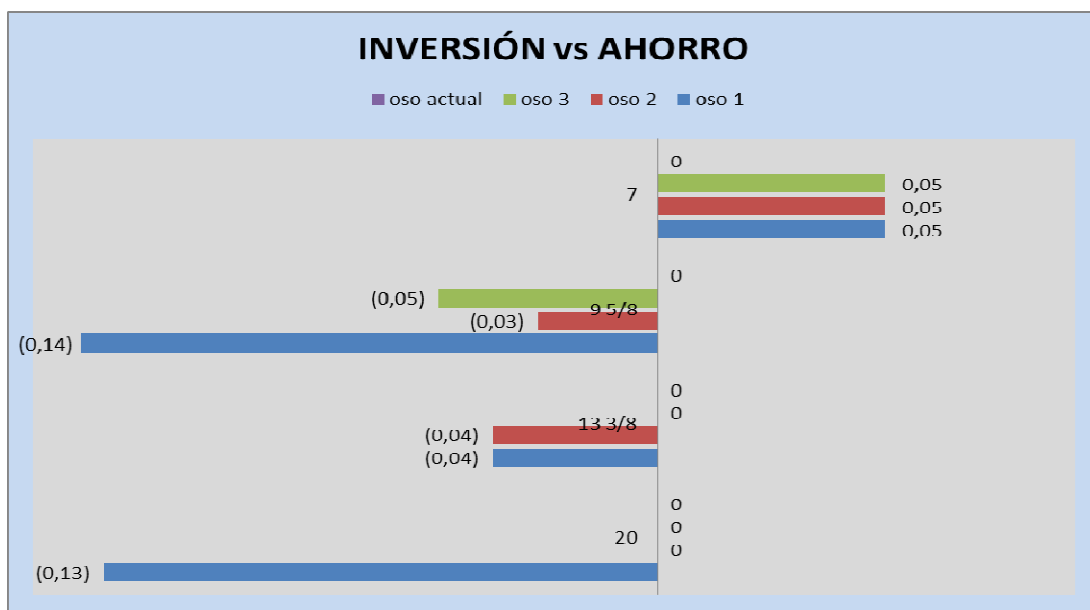
FUENTE: Departamento de Perforación

Las 3 alternativas del diseño de tuberías para el Campo Oso representan una inversión, la primera alternativa representa el 8.88 % de inversión, la segunda representa el 2.88 % y la tercera el 2.66 %.

Ya que las 3 alternativas cumplen con los requerimientos de los estándares de Schlumberger se debe escoger la más confiable, sencilla y económica (menos inversión).

Se obtiene el análisis económico en función a porcentajes de inversión por cada sección a perforar como lo muestra la figura 4-6, basándose en la tabla 4-10.

FIGURA 4-6 INVERSIÓN VS AHORRO DEL CAMPO OSO POR SECCIÓN



FUENTE: Departamento de Perforación

La primera alternativa representa más inversión razón por la que se la elimina al tener inversiones de: 0.13% para la tubería de 20", 0.04 % para la tubería de 13 3/8", 0.14 % para la tubería de 9 5/8" y un ahorro para el liner de 7" de 0.05%.

Las alternativas de diseño de tuberías de revestimiento se reducen entre la segunda y la tercera alternativa, estas tienen el mismo ahorro para el liner de 7" de 0.05 %, se diferencian en las tuberías de 13 3/8" y de 9 5/8".

La segunda alternativa para la tubería de 13 3/8" se tiene una inversión del 0.04 % mientras que la tercera alternativa no invierte en la misma tubería.

La segunda alternativa para la tubería de 9 5/8" tiene una inversión del 0.03 % mientras que la tercera alternativa invierte el 0.05 %.

La alternativa de diseño en la que menos se invertiría, sería la segunda, pero hay que tomar en cuenta que para realizar esta corrida se necesita de mucho cuidado ya que para 9 5/8" se tienen muchas configuraciones, por lo cual, se decidiría operacionalmente por la tercera alternativa ya que representa un diseño confiable, sencillo y económico.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

5.1.1 CAMPO SHUSHUFINDI

1. La optimización de la tubería de revestimiento se hace necesaria ya que dicho campo ha estado sujeto a un diseño en función de la disponibilidad de tuberías y debido a que están próximos a una nueva compra de las mismas, se requirió un nuevo diseño que considere toda la vida productiva del pozo.
2. La tubería de revestimiento corta de 7" técnicamente cumple, ya que está diseñada en función a los factores de diseño (DF) para cada caso de carga, dichos factores de diseño al estallido, colapso, tensión, compresión y triaxial son estandarizados por la empresa Schlumberger.
3. Se determinó resultados de factores de diseño para cada caso de carga, los cuales se resumen como mínimos: estallido 1.42, colapso 1.32, tensión 11.14, compresión 2.77 y triaxial 1.43.
4. Al tener valores altos de factores de diseño de tensión y compresión no se tiene pandeo, por lo tanto no existirán patas de perro; aspectos importantes de mencionarlos ya que son parte de la vida productiva del pozo.

5. La tubería de revestimiento corta de 7", económicamente representa una pequeña inversión del 0.115%, esta inversión a largo plazo representa un ahorro, ya que se realizó un diseño que considera toda la vida productiva del pozo.
6. Para la optimización de la tubería de revestimiento corta de 7" para el campo Shushufindi mediante el análisis técnico y económico, se concluye que se debería emplear tubería de grado N80 con peso de 29 lb/ft a una profundidad vertical verdadera (TVD) aproximadamente de 9530 ft (tope de la formación Hollín Superior), y el tope de la tubería de revestimiento corta (TOL) con una superposición de 200 pies con respecto al punto de asentamiento de la tubería de 9 5/8".

5.1.2 CAMPO OSO

1. Para el campo Oso se realizaron nuevas alternativas de diseños para las tuberías de revestimiento de 20", 13 3/8", 9 5/8" y 7", ya que los factores de diseño actualmente empleados, no cumplen con los estándares
2. Las tres nuevas alternativas de diseño técnicamente cumplen, ya que están diseñadas en función a los factores de diseño (DF) para cada caso de carga, dichos factores de diseño al estallido, colapso, tensión, compresión y triaxial son estandarizados por la empresa Schlumberger.
3. Las 3 alternativas del diseño de tuberías para el Campo Oso representan una inversión, la primera alternativa representa el 8.88 % de inversión, la segunda representa el 2.88 % y la tercera el 2.66 %.
4. Ya que se debe escoger la alternativa más confiable, sencilla y económica (menos inversión), se reducen entre la segunda y tercera alternativa, estas tienen el mismo ahorro para el liner de 7" de 0.05 %, pero se diferencian en las tuberías de 13 3/8" y 9 5/8". La alternativa de diseño en la que menos se invertiría, sería la segunda, pero hay que tomar en cuenta que para

realizar esta corrida se necesita de mucho cuidado ya que para la tubería de 9 5/8" se tienen muchas configuraciones, por lo cual, se decide operacionalmente por la tercera alternativa.

5. Se determinó resultados de factores de diseño para cada caso de carga para la tercera alternativa, los cuales se resumen como mínimos para las siguientes tuberías de revestimiento:

- Tubería de revestimiento de 20": estallido 1.25, colapso 4.57, tensión 5.28, compresión 24.54 y triaxial 1.33.
- Tubería de revestimiento de 13 3/8": estallido 1.25, colapso 1.05, tensión 2.67, compresión 5.58 y triaxial 1.35.
- Tubería de revestimiento de 9 5/8": estallido 1.25, colapso 4.57, tensión 5.28, compresión 2.54 y triaxial 1.33.
- Tubería de revestimiento corta de 7": estallido 1.90, colapso 1.12, tensión 2.52, compresión 2.53 y triaxial 1.39.

6. Para la tercera alternativa, las tuberías de 20", 13 3/8" y 7" al tener valores altos de factores de diseño de tensión y compresión no tienen pandeo, por lo tanto no existirán patas de perro; aspectos importantes de mencionarlos ya que son parte de la vida productiva del pozo. Caso que no ocurre para la tubería de 9 5/8" en la que hay poca presencia de pandeo con patas de perro de 1.6 %/100ft, valor que no interfiere en el paso de las herramientas, dando lugar al cumplimiento técnico de esta alternativa de diseño.

7. Se concluye finalmente que la alternativa de diseño más confiable, sencilla y económica es la tercera con la siguiente configuración:

- Tubería de 20" de grado K55 con peso de 94 lb/ft a una profundidad vertical verdadera (TVD) de 250 ft.
- Tubería de 13 3/8" de grado K55 con peso de 54.5 lb/ft a una profundidad vertical verdadera (TVD) aproximadamente de 1564 ft y

grado N80 con peso de 68.0 lb/ft a una profundidad vertical verdadera (TVD) aproximadamente de 5032 ft (tope de la formación Orteguaza).

- Tubería de 9 5/8" de grado N80 con peso de 47.0 lb/ft a una profundidad vertical verdadera (TVD) aproximadamente de 5521 ft y grado N80 con peso de 53.5.0 lb/ft a una profundidad vertical verdadera (TVD) aproximadamente de 8672 ft (tope de la Caliza A).
- Tubería corta de 7" de grado N80 con peso de 29 lb/ft a una profundidad vertical verdadera (TVD) aproximadamente de 8932 ft (tope de la formación Hollín), y el tope de la tubería de revestimiento corta (TOL) con una superposición de 200 pies con respecto al punto de asentamiento de la tubería de 9 5/8".

5.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tomar en cuenta que una de las normas de la Industria petrolera se determina que en la misma tubería de revestimiento no se debe utilizar más de dos configuraciones, bien sea conductora, superficial, intermedia o producción en pozos someros y en pozos profundos hasta como máximo tres configuraciones, ya que se podría ocasionar confusión al momento de instalar la tubería, dando lugar a una operación catastrófica.
2. Se debe tomar mucho en cuenta al momento de seleccionar la tubería de revestimiento, el diámetro interno permita el paso de las herramientas que debe ingresar en operaciones posteriores.
3. Para un diseño de tuberías de revestimiento se recomienda tomar en cuenta toda la vida productiva del pozo basándose en los estándares planteados por la empresa (Schlumberger), aplicando cada uno de ellos en todos los casos de carga.
4. Se recomienda optimizar el tiempo realizando el diseño de tuberías de revestimiento con la ayuda del programa Tubular Design and Analysis

System (TDAS) siempre y cuando se tengan los conceptos claros de la metodología a utilizar y de los resultados que se desean obtener para así interpretar correctamente los valores calculados por el programa, recuerden que el diseñador es el ingeniero mas no el programa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Petroleum Institute, (2012). Specification for Casing and Tubing API 5CT. Novena edición. Washington. Editorial API Publishing Services.
- British Steel Corporation Tubes Division, (1996). Colour Code Marking for casing and tubing.
- Franklin Baño Saltos y Diego Mayalica Dalgo, (2008). Tuberías de Revestimiento, Optimización de su Diseño y Perforación. Quito.
- Jorge Dueñas, (2008). Tuberías de Revestimiento. Quito.
- Milly Elizabeth Zambrano Chávez. Estudio de Factibilidad para la Implementación de Procesos IOR/EOR en el Campo Oso, Reservorio Napo U en base a modelos predictivos de Balance de Materia y Simulación Numérica, Bloque 7, Cuenca Oriente-Ecuador. Guayaquil.
- Norma Venezolana, (1999). Tubería de Revestimiento y de Producción para uso en la Industria Petrolera, primera edición, Caracas, Editorial Fondonorma.
- Schlumberger (2003). Training Manual TDAS. Houston.
- Schlumberger IPM, (2004). Introduction Design. Houston.
- Schlumberger, (2005). IPM Casing and Tubing Design Standard. Houston.

- Schlumberger, (2006). TDAS 7.0 Exercise 7 & Introduction to TDAS. Houston.
- Schlumberger. Casing Design Manual. Houston.
- Schlumberger. Casing Design Principles. Houston.
- Sergio Eduardo Gandara Marroquín, (1990). Diseño de Tubería de Revestimiento. Guayaquil 1990.
- Tenaris Marketing Communications, (2009). Prontuario Tamsa. segunda revisión, México.
- VAM, (2002). VAM premium Connections.
- Viking Engineering, L.C, (2003). Tubular Design Technology Training. Houston.

ANEXOS

ANEXO N.- 1

RESISTENCIAS DE LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO

ANEXO 1 RESISTENCIAS DE LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO

OD (in)	Peso (lb/ft)	Espesor (in)	Grad0	Junta	Cupla OD (in)	Estallido (psi)	Colapso(psi)	Tensión (x1000 lb)	Compresión (x1000 lb)	Catalogo
7	17	0.231	H40	STC	7.656	2310	1420	122	128	Api
7	20	0.272	H40	STC	7.656	2720	1970	176	160	Api
7	20	0.272	J55	STC	7.656	3740	2270	234	219	Api
7	20	0.272	K55	STC	7.656	3740	2270	254	219	Api
7	23	0.317	C75	BTC	7.656	5940	3750	557	439	Api
7	23	0.317	C75	LTC	7.656	5940	3750	416	364	Api
7	23	0.317	C90	BTC	7.656	7130	4030	605	545	Api
7	23	0.317	C90	LTC	7.656	7130	4030	479	436	Api
7	23	0.317	C95	BTC	7.656	7530	4150	636	576	Api
7	23	0.317	C95	LTC	7.656	7530	4150	505	461	Api
7	23	0.317	J55	BTC	7.656	4360	3270	432	317	Api
7	23	0.317	J55	LTC	7.656	4360	3270	313	267	Api
7	23	0.317	J55	STC	7.656	4360	3270	284	267	Api
7	23	0.317	K55	BTC	7.656	4360	3270	522	302	Api
7	23	0.317	K55	LTC	7.656	4360	3270	341	267	Api
7	23	0.317	K55	STC	7.656	4360	3270	309	267	Api
7	23	0.317	L80	BTC	7.656	6340	3830	565	476	Api
7	23	0.317	L80	LTC	7.656	6340	3830	435	388	Api
7	23	0.317	N80	BTC	7.656	6340	3830	588	470	Api
7	23	0.317	N80	LTC	7.656	6340	3830	442	388	Api
7	23	0.317	T95	BTC	7.656	7530	4150	636	576	Api
7	23	0.317	T95	LTC	7.656	7530	4150	505	461	Api
7	26	0.362	C75	BTC	7.656	6790	5220	631	498	Api
7	26	0.362	C75	LTC	7.656	6790	5220	489	427	Api
7	26	0.362	C90	BTC	7.656	8150	5740	687	618	Api
7	26	0.362	C90	LTC	7.656	8150	5740	563	513	Api
7	26	0.362	C95	BTC	7.656	8600	5880	722	653	Api

7	26	0.362	C95	LTC	7.656	8600	5880	593	541	Api
7	26	0.362	J55	BTC	7.656	4980	4320	490	359	Api
7	26	0.362	J55	LTC	7.656	4980	4320	367	313	Api
7	26	0.362	J55	STC	7.656	4980	4320	334	313	Api
7	26	0.362	K55	BTC	7.656	4980	4320	592	342	Api
7	26	0.362	K55	LTC	7.656	4980	4320	401	313	Api
7	26	0.362	K55	STC	7.656	4980	4320	364	313	Api
7	26	0.362	L80	BTC	7.656	7240	5410	641	540	Api
7	26	0.362	L80	LTC	7.656	7240	5410	511	456	Api
7	26	0.362	N80	BTC	7.656	7240	5410	667	533	Api
7	26	0.362	N80	LTC	7.656	7240	5410	519	456	Api
7	26	0.362	P110	BTC	7.656	9960	6230	853	751	Api
7	26	0.362	P110	LTC	7.656	9960	6230	693	627	Api
7	26	0.362	T95	BTC	7.656	8600	5880	722	653	Api
7	26	0.362	T95	LTC	7.656	8600	5880	593	541	Api
7	29	0.408	C75	BTC	7.656	7650	6730	707	558	Api
7	29	0.408	C75	LTC	7.656	7650	6730	562	492	Api
7	29	0.408	C90	BTC	7.656	9180	7580	768	692	Api
7	29	0.408	C90	LTC	7.656	9180	7580	648	590	Api
7	29	0.408	C95	BTC	7.656	9690	7830	808	731	Api
7	29	0.408	C95	LTC	7.656	9690	7830	683	623	Api
7	29	0.408	L80	BTC	7.656	8160	7020	718	604	Api
7	29	0.408	L80	LTC	7.656	8160	7020	587	524	Api
7	29	0.408	N80	BTC	7.656	8160	7020	746	597	Api
7	29	0.408	N80	LTC	7.656	8160	7020	597	524	Api
7	29	0.408	P110	BTC	7.656	11220	8530	955	840	Api
7	29	0.408	P110	LTC	7.656	11220	8530	797	721	Api
7	29	0.408	T95	BTC	7.656	9690	7830	808	731	Api
7	29	0.408	T95	LTC	7.656	9690	7830	683	623	Api

7	32	0.453	C75	BTC	7.656	7930	8200	779	615	Api
7	32	0.453	C75	LTC	7.656	8490	8200	633	553	Api
7	32	0.453	C90	BTC	7.656	9520	9380	847	763	Api
7	32	0.453	C90	LTC	7.656	10190	9380	729	664	Api
7	32	0.453	C95	BTC	7.656	10050	9750	891	806	Api
7	32	0.453	C95	LTC	7.656	10760	9750	768	701	Api
7	32	0.453	L80	BTC	7.656	8460	8610	791	666	Api
7	32	0.453	L80	LTC	7.656	9060	8610	661	590	Api
7	32	0.453	N80	BTC	7.656	8460	8610	823	658	Api
7	32	0.453	N80	LTC	7.656	9060	8610	672	590	Api
7	32	0.453	P110	BTC	7.656	11630	10780	1053	927	Api
7	32	0.453	P110	LTC	7.656	12460	10780	897	812	Api
7	32	0.453	T95	BTC	7.656	10050	9750	891	806	Api
7	32	0.453	T95	LTC	7.656	10760	9750	768	701	Api
7	35	0.498	C75	BTC	7.656	7930	9670	832	657	Api
7	35	0.498	C75	LTC	7.656	8660	9670	703	614	Api
7	35	0.498	C90	BTC	7.656	9520	11170	876	789	Api
7	35	0.498	C90	LTC	7.656	10400	11170	809	737	Api
7	35	0.498	C95	BTC	7.656	10050	11650	920	832	Api
7	35	0.498	C95	LTC	7.656	10970	11650	853	778	Api
7	35	0.498	L80	BTC	7.656	8460	10180	832	701	Api
7	35	0.498	L80	LTC	7.656	9240	10180	734	655	Api
7	35	0.498	N80	BTC	7.656	8460	10180	876	701	Api
7	35	0.498	N80	LTC	7.656	9240	10180	746	655	Api
7	35	0.498	P110	BTC	7.656	11630	13020	1095	964	Api
7	35	0.498	P110	LTC	7.656	12710	13020	996	901	Api
7	35	0.498	Q125	BTC	7.656	13220	14310	1183	1095	Api
7	35	0.498	Q125	LTC	7.656	14440	14310	1106	1024	Api
7	35	0.498	T95	BTC	7.656	10050	11650	920	832	Api

7	35	0.498	T95	LTC	7.656	10970	11650	853	778	Api
7	38	0.54	C75	BTC	7.656	7930	10680	832	657	Api
7	38	0.54	C75	LTC	7.656	8660	10680	767	670	Api
7	38	0.54	C90	BTC	7.656	9520	12820	876	789	Api
7	38	0.54	C90	LTC	7.656	10400	12820	883	804	Api
7	38	0.54	C95	BTC	7.656	10050	13440	920	832	Api
7	38	0.54	C95	LTC	7.656	10970	13440	931	849	Api
7	38	0.54	L80	BTC	7.656	8460	11390	832	701	Api
7	38	0.54	L80	LTC	7.656	9240	11390	801	715	Api
7	38	0.54	N80	BTC	7.656	8460	11390	876	701	Api
7	38	0.54	N80	LTC	7.656	9240	11390	814	715	Api
7	38	0.54	P110	BTC	7.656	11630	15140	1095	964	Api
7	38	0.54	P110	LTC	7.656	12710	15140	1087	983	Api
7	38	0.54	Q125	BTC	7.656	13220	16750	1183	1095	Api
7	38	0.54	Q125	LTC	7.656	14440	16750	1207	1117	Api
7	38	0.54	T95	BTC	7.656	10050	13440	920	832	Api
7	38	0.54	T95	LTC	7.656	10970	13440	931	849	Api
7	20	0.272	M65	STC	7.656	4420	2480	273	259	Api
7	23	0.317	M65	BTC	7.656	5150	3540	494	378	Api
7	23	0.317	M65	LTC	7.656	5150	3540	364	315	Api
7	26	0.362	M65	BTC	7.656	5880	4800	561	429	Api
7	26	0.362	M65	LTC	7.656	5880	4800	428	370	Api
7	29	0.408	M65	BTC	7.656	6630	6090	628	480	Api
7	29	0.408	M65	LTC	7.656	6630	6090	492	426	Api
7	32	0.453	M65	BTC	7.656	6870	7360	692	529	Api
7	32	0.453	M65	LTC	7.656	7360	7360	554	480	Api
7,625	24	0.3	H40	STC	8.5	2750	2030	212	198	Api
7,625	26.4	0.328	C75	BTC	8.5	5650	3280	624	493	Api
7,625	26.4	0.328	C75	LTC	8.5	5650	3280	461	415	Api

7,625	26.4	0.328	C90	BTC	8.5	6780	3620	681	613	Api
7,625	26.4	0.328	C90	LTC	8.5	6780	3620	532	498	Api
7,625	26.4	0.328	C95	BTC	8.5	7150	3710	716	648	Api
7,625	26.4	0.328	C95	LTC	8.5	7150	3710	560	526	Api
7,625	26.4	0.328	J55	BTC	8.5	4140	2890	483	355	Api
7,625	26.4	0.328	J55	LTC	8.5	4140	2890	346	305	Api
7,625	26.4	0.328	J55	STC	8.5	4140	2890	315	305	Api
7,625	26.4	0.328	K55	BTC	8.5	4140	2890	581	336	Api
7,625	26.4	0.328	K55	LTC	8.5	4140	2890	377	305	Api
7,625	26.4	0.328	K55	STC	8.5	4140	2890	342	305	Api
7,625	26.4	0.328	L80	BTC	8.5	6020	3400	635	534	Api
7,625	26.4	0.328	L80	LTC	8.5	6020	3400	482	443	Api
7,625	26.4	0.328	N80	BTC	8.5	6020	3400	659	527	Api
7,625	26.4	0.328	N80	LTC	8.5	6020	3400	490	443	Api
7,625	26.4	0.328	T95	BTC	8.5	7150	3710	716	648	Api
7,625	26.4	0.328	T95	LTC	8.5	7150	3710	560	526	Api
7,625	29.7	0.375	C75	BTC	8.5	6450	4650	709	559	Api
7,625	29.7	0.375	C75	LTC	8.5	6450	4650	542	488	Api
7,625	29.7	0.375	C90	BTC	8.5	7750	5040	773	696	Api
7,625	29.7	0.375	C90	LTC	8.5	7750	5040	625	586	Api
7,625	29.7	0.375	C95	BTC	8.5	8180	5140	813	736	Api
7,625	29.7	0.375	C95	LTC	8.5	8180	5140	659	618	Api
7,625	29.7	0.375	L80	BTC	8.5	6890	4790	721	607	Api
7,625	29.7	0.375	L80	LTC	8.5	6890	4790	567	521	Api
7,625	29.7	0.375	N80	BTC	8.5	6890	4790	749	599	Api
7,625	29.7	0.375	N80	LTC	8.5	6890	4790	575	521	Api
7,625	29.7	0.375	P110	BTC	8.5	9470	5350	960	845	Api
7,625	29.7	0.375	P110	LTC	8.5	9470	5350	769	716	Api
7,625	29.7	0.375	T95	BTC	8.5	8180	5140	813	736	Api

7,625	29.7	0.375	T95	LTC	8.5	8180	5140	659	618	Api
7,625	33.7	0.43	C75	BTC	8.5	7400	6300	806	637	Api
7,625	33.7	0.43	C75	LTC	8.5	7400	6300	635	572	Api
7,625	33.7	0.43	C90	BTC	8.5	8880	7050	880	792	Api
7,625	33.7	0.43	C90	LTC	8.5	8880	7050	733	686	Api
7,625	33.7	0.43	C95	BTC	8.5	9380	7280	925	837	Api
7,625	33.7	0.43	C95	LTC	8.5	9380	7280	772	725	Api
7,625	33.7	0.43	L80	BTC	8.5	7900	6560	820	691	Api
7,625	33.7	0.43	L80	LTC	8.5	7900	6560	664	610	Api
7,625	33.7	0.43	N80	BTC	8.5	7900	6560	852	681	Api
7,625	33.7	0.43	N80	LTC	8.5	7900	6560	674	610	Api
7,625	33.7	0.43	P110	BTC	8.5	10860	7870	1093	962	Api
7,625	33.7	0.43	P110	LTC	8.5	10860	7870	901	839	Api
7,625	33.7	0.43	T95	BTC	8.5	9380	7280	925	837	Api
7,625	33.7	0.43	T95	LTC	8.5	9380	7280	772	725	Api
7,625	39	0.5	C75	BTC	8.5	8610	8400	929	733	Api
7,625	39	0.5	C75	LTC	8.5	8610	8400	751	677	Api
7,625	39	0.5	C90	BTC	8.5	10330	9620	1013	912	Api
7,625	39	0.5	C90	LTC	8.5	10330	9620	867	812	Api
7,625	39	0.5	C95	BTC	8.5	10900	10000	1065	964	Api
7,625	39	0.5	C95	LTC	8.5	10900	10000	914	857	Api
7,625	39	0.5	L80	BTC	8.5	9180	8820	945	796	Api
7,625	39	0.5	L80	LTC	8.5	9180	8820	786	722	Api
7,625	39	0.5	N80	BTC	8.5	9180	8820	981	785	Api
7,625	39	0.5	N80	LTC	8.5	9180	8820	798	722	Api
7,625	39	0.5	P110	BTC	8.5	12620	11080	1258	1107	Api
7,625	39	0.5	P110	LTC	8.5	12620	11080	1066	993	Api
7,625	39	0.5	Q125	BTC	8.5	14340	12060	1379	1277	Api
7,625	39	0.5	Q125	LTC	8.5	14340	12060	1194	1128	Api

7,625	39	0.5	T95	BTC	8.5	10900	10000	1065	964	Api
7,625	39	0.5	T95	LTC	8.5	10900	10000	914	857	Api
7,625	42.8	0.562	C75	BTC	8.5	9180	10240	1035	817	Api
7,625	42.8	0.562	C75	LTC	8.5	9670	10240	852	768	Api
7,625	42.8	0.562	C90	BTC	8.5	11020	11890	1129	1016	Api
7,625	42.8	0.562	C90	LTC	8.5	11610	11890	984	922	Api
7,625	42.8	0.562	C95	BTC	8.5	11630	12410	1187	1074	Api
7,625	42.8	0.562	C95	LTC	8.5	12250	12410	1037	973	Api
7,625	42.8	0.562	L80	BTC	8.5	9790	10810	1053	886	Api
7,625	42.8	0.562	L80	LTC	8.5	10320	10810	891	819	Api
7,625	42.8	0.562	N80	BTC	8.5	9790	10810	1093	874	Api
7,625	42.8	0.562	N80	LTC	8.5	10320	10810	906	819	Api
7,625	42.8	0.562	P110	BTC	8.5	13460	13920	1402	1234	Api
7,625	42.8	0.562	P110	LTC	8.5	14190	13920	1210	1126	Api
7,625	42.8	0.562	Q125	BTC	8.5	15300	15350	1536	1422	Api
7,625	42.8	0.562	Q125	LTC	8.5	16120	15350	1355	1280	Api
7,625	42.8	0.562	T95	BTC	8.5	11630	12410	1187	1074	Api
7,625	42.8	0.562	T95	LTC	8.5	12250	12410	1037	973	Api
7,625	45.3	0.595	C75	BTC	8.5	9180	10790	1090	861	Api
7,625	45.3	0.595	C75	LTC	8.5	9840	10790	905	816	Api
7,625	45.3	0.595	C90	BTC	8.5	11020	12950	1189	1070	Api
7,625	45.3	0.595	C90	LTC	8.5	11810	12950	1045	979	Api
7,625	45.3	0.595	C95	BTC	8.5	11630	13660	1251	1132	Api
7,625	45.3	0.595	C95	LTC	8.5	12460	13660	1101	1033	Api
7,625	45.3	0.595	L80	BTC	8.5	9790	11510	1109	934	Api
7,625	45.3	0.595	L80	LTC	8.5	10500	11510	947	870	Api
7,625	45.3	0.595	N80	BTC	8.5	9790	11510	1152	921	Api
7,625	45.3	0.595	N80	LTC	8.5	10500	11510	962	870	Api
7,625	45.3	0.595	P110	BTC	8.5	13460	15430	1477	1300	Api

7,625	45.3	0.595	P110	LTC	8.5	14430	15430	1285	1197	Api
7,625	45.3	0.595	Q125	BTC	8.5	15300	17090	1619	1499	Api
7,625	45.3	0.595	Q125	LTC	8.5	16400	17090	1439	1360	Api
7,625	45.3	0.595	T95	BTC	8.5	11630	13660	1251	1132	Api
7,625	45.3	0.595	T95	LTC	8.5	12460	13660	1101	1033	Api
7,625	47.1	0.625	C75	BTC	8.5	9180	11290	1140	900	Api
7,625	47.1	0.625	C75	LTC	8.5	9840	11290	953	859	Api
7,625	47.1	0.625	C90	BTC	8.5	11020	13540	1239	1115	Api
7,625	47.1	0.625	C90	LTC	8.5	11810	13540	1100	1031	Api
7,625	47.1	0.625	C95	BTC	8.5	11630	14300	1301	1177	Api
7,625	47.1	0.625	C95	LTC	8.5	12460	14300	1159	1088	Api
7,625	47.1	0.625	L80	BTC	8.5	9790	12040	1160	977	Api
7,625	47.1	0.625	L80	LTC	8.5	10500	12040	997	916	Api
7,625	47.1	0.625	N80	BTC	8.5	9790	12040	1205	964	Api
7,625	47.1	0.625	N80	LTC	8.5	10500	12040	1013	916	Api
7,625	47.1	0.625	P110	BTC	8.5	13460	16550	1545	1360	Api
7,625	47.1	0.625	P110	LTC	8.5	14430	16550	1353	1260	Api
7,625	47.1	0.625	Q125	BTC	8.5	15300	18700	1673	1549	Api
7,625	47.1	0.625	Q125	LTC	8.5	16400	18700	1515	1431	Api
7,625	47.1	0.625	T95	BTC	8.5	11630	14300	1301	1177	Api
7,625	47.1	0.625	T95	LTC	8.5	12460	14300	1159	1088	Api
7,625	26.4	0.328	M65	BTC	8.5	4890	3100	554	423	Api
7,625	26.4	0.328	M65	LTC	8.5	4890	3100	404	360	Api
7,625	26.4	0.328	M65	STC	8.5	4890	3100	368	360	Api
7,625	29.7	0.375	M65	BTC	8.5	5590	4310	629	481	Api
7,625	29.7	0.375	M65	LTC	8.5	5590	4310	474	423	Api
7,625	33.7	0.43	M65	BTC	8.5	6410	5730	716	547	Api
7,625	33.7	0.43	M65	LTC	8.5	6410	5730	556	496	Api
7,75	46.1	0.595	C90	BTC	8.5	11020	12740	1074	966	Api

7,75	46.1	0.595	C90	LTC	8.5	11810	12740	928	870	Api
7,75	46.1	0.595	L80	BTC	8.5	9790	11340	1001	842	Api
7,75	46.1	0.595	L80	LTC	8.5	10500	11340	841	773	Api
7,75	46.1	0.595	P110	BTC	8.5	13460	14990	1334	1173	Api
7,75	46.1	0.595	P110	LTC	8.5	14430	14990	1142	1063	Api
7,75	46.1	0.595	Q125	BTC	8.5	15300	16580	1462	1352	Api
7,75	46.1	0.595	Q125	LTC	8.5	16400	16580	1279	1208	Api
7,75	46.1	0.595	T95	BTC	8.5	11630	13320	1129	1021	Api
7,75	46.1	0.595	T95	LTC	8.5	12460	13320	978	918	Api
8,625	24	0.264	J55	STC	9.625	2950	1370	244	262	Api
8,625	24	0.264	K55	STC	9.625	2950	1370	263	262	Api
8,625	28	0.304	H40	STC	9.625	2470	1610	233	229	Api
8,625	32	0.352	H40	STC	9.625	2860	2200	279	275	Api
8,625	32	0.352	J55	BTC	9.625	3930	2530	579	425	Api
8,625	32	0.352	J55	LTC	9.625	3930	2530	417	378	Api
8,625	32	0.352	J55	STC	9.625	3930	2530	372	378	Api
8,625	32	0.352	K55	BTC	9.625	3930	2530	690	400	Api
8,625	32	0.352	K55	LTC	9.625	3930	2530	452	378	Api
8,625	32	0.352	K55	STC	9.625	3930	2530	402	378	Api
8,625	36	0.4	C75	BTC	9.625	6090	4000	847	668	Api
8,625	36	0.4	C75	LTC	9.625	6090	4000	648	600	Api
8,625	36	0.4	C90	BTC	9.625	7300	4250	928	836	Api
8,625	36	0.4	C90	LTC	9.625	7300	4250	749	720	Api
8,625	36	0.4	C95	BTC	9.625	7710	4360	976	883	Api
8,625	36	0.4	C95	LTC	9.625	7710	4360	789	760	Api
8,625	36	0.4	J55	BTC	9.625	4460	3450	654	480	Api
8,625	36	0.4	J55	LTC	9.625	4460	3450	486	440	Api
8,625	36	0.4	J55	STC	9.625	4460	3450	434	440	Api
8,625	36	0.4	K55	BTC	9.625	4460	3450	780	451	Api

8,625	36	0.4	K55	LTC	9.625	4460	3450	526	440	Api
8,625	36	0.4	K55	STC	9.625	4460	3450	468	440	Api
8,625	36	0.4	L80	BTC	9.625	6490	4100	864	727	Api
8,625	36	0.4	L80	LTC	9.625	6490	4100	678	640	Api
8,625	36	0.4	N80	BTC	9.625	6490	4100	895	716	Api
8,625	36	0.4	N80	LTC	9.625	6490	4100	688	640	Api
8,625	36	0.4	T95	BTC	9.625	7710	4360	976	883	Api
8,625	36	0.4	T95	LTC	9.625	7710	4360	789	760	Api
8,625	40	0.45	C75	BTC	9.625	6850	5330	947	747	Api
8,625	40	0.45	C75	LTC	9.625	6850	5330	742	687	Api
8,625	40	0.45	C90	BTC	9.625	8220	5870	1038	934	Api
8,625	40	0.45	C90	LTC	9.625	8220	5870	858	824	Api
8,625	40	0.45	C95	BTC	9.625	8670	6020	1092	988	Api
8,625	40	0.45	C95	LTC	9.625	8670	6020	904	870	Api
8,625	40	0.45	L80	BTC	9.625	7300	5520	966	813	Api
8,625	40	0.45	L80	LTC	9.625	7300	5520	776	733	Api
8,625	40	0.45	N80	BTC	9.625	7300	5520	1001	800	Api
8,625	40	0.45	N80	LTC	9.625	7300	5520	788	733	Api
8,625	40	0.45	P110	BTC	9.625	10040	6390	1288	1134	Api
8,625	40	0.45	P110	LTC	9.625	10040	6390	1055	1008	Api
8,625	40	0.45	T95	BTC	9.625	8670	6020	1092	988	Api
8,625	40	0.45	T95	LTC	9.625	8670	6020	904	870	Api
8,625	44	0.5	C75	BTC	9.625	7610	6660	1046	825	Api
8,625	44	0.5	C75	LTC	9.625	7610	6660	834	773	Api
8,625	44	0.5	C90	BTC	9.625	9130	7490	1146	1032	Api
8,625	44	0.5	C90	LTC	9.625	9130	7490	965	928	Api
8,625	44	0.5	C95	BTC	9.625	9640	7740	1206	1091	Api
8,625	44	0.5	C95	LTC	9.625	9640	7740	1017	979	Api
8,625	44	0.5	L80	BTC	9.625	8120	6950	1066	898	Api

8,625	44	0.5	L80	LTC	9.625	8120	6950	874	824	Api
8,625	44	0.5	N80	BTC	9.625	8120	6950	1105	884	Api
8,625	44	0.5	N80	LTC	9.625	8120	6950	887	824	Api
8,625	44	0.5	P110	BTC	9.625	11160	8420	1423	1252	Api
8,625	44	0.5	P110	LTC	9.625	11160	8420	1186	1134	Api
8,625	44	0.5	T95	BTC	9.625	9640	7740	1206	1091	Api
8,625	44	0.5	T95	LTC	9.625	9640	7740	1017	979	Api
8,625	49	0.557	C75	BTC	9.625	8480	8180	1157	913	Api
8,625	49	0.557	C75	LTC	9.625	8480	8180	939	869	Api
8,625	49	0.557	C90	BTC	9.625	10170	9340	1268	1141	Api
8,625	49	0.557	C90	LTC	9.625	10170	9340	1085	1043	Api
8,625	49	0.557	C95	BTC	9.625	10740	9710	1334	1207	Api
8,625	49	0.557	C95	LTC	9.625	10740	9710	1144	1101	Api
8,625	49	0.557	L80	BTC	9.625	9040	8580	1180	993	Api
8,625	49	0.557	L80	LTC	9.625	9040	8580	983	927	Api
8,625	49	0.557	N80	BTC	9.625	9040	8580	1222	978	Api
8,625	49	0.557	N80	LTC	9.625	9040	8580	997	927	Api
8,625	49	0.557	P110	BTC	9.625	12430	10740	1574	1385	Api
8,625	49	0.557	P110	LTC	9.625	12430	10740	1335	1275	Api
8,625	49	0.557	Q125	BTC	9.625	14130	11660	1728	1600	Api
8,625	49	0.557	Q125	LTC	9.625	14130	11660	1496	1449	Api
8,625	49	0.557	T95	BTC	9.625	10740	9710	1334	1207	Api
8,625	49	0.557	T95	LTC	9.625	10740	9710	1144	1101	Api
8,625	24	0.264	M65	STC	9.625	3480	1420	285	310	Api
8,625	28	0.304	M65	STC	9.625	4010	2020	362	372	Api
8,625	32	0.352	M65	BTC	9.625	4640	2740	664	508	Api
8,625	32	0.352	M65	LTC	9.625	4640	2740	487	447	Api
8,625	32	0.352	M65	STC	9.625	4640	2740	435	447	Api
8,625	36	0.4	M65	BTC	9.625	5280	3760	751	574	Api

8,625	36	0.4	M65	LTC	9.625	5280	3760	567	520	Api
8,625	36	0.4	M65	STC	9.625	5280	3760	506	520	Api
8,625	40	0.45	M65	BTC	9.625	5930	4890	839	642	Api
8,625	40	0.45	M65	LTC	9.625	5930	4890	649	595	Api
8,75	49.7	0.557	C90	BTC	9.625	10030	9080	1135	1020	Api
8,75	49.7	0.557	C90	LTC	9.625	10030	9080	953	916	Api
8,75	49.7	0.557	L80	BTC	9.625	8910	8340	1055	888	Api
8,75	49.7	0.557	L80	LTC	9.625	8910	8340	863	814	Api
8,75	49.7	0.557	P110	BTC	9.625	12250	10410	1408	1238	Api
8,75	49.7	0.557	P110	LTC	9.625	12250	10410	1172	1120	Api
8,75	49.7	0.557	Q125	BTC	9.625	13930	11280	1546	1430	Api
8,75	49.7	0.557	Q125	LTC	9.625	13930	11280	1314	1273	Api
8,75	49.7	0.557	T95	BTC	9.625	10580	9430	1193	1079	Api
8,75	49.7	0.557	T95	LTC	9.625	10580	9430	1005	967	Api
9,625	32.3	0.312	H40	STC	10.625	2270	1380	254	266	Api
9,625	36	0.352	H40	STC	10.625	2560	1720	294	308	Api
9,625	36	0.352	J55	BTC	10.625	3520	2030	639	469	Api
9,625	36	0.352	J55	LTC	10.625	3520	2030	453	424	Api
9,625	36	0.352	J55	STC	10.625	3520	2030	394	424	Api
9,625	36	0.352	K55	BTC	10.625	3520	2030	755	437	Api
9,625	36	0.352	K55	LTC	10.625	3520	2030	489	424	Api
9,625	36	0.352	K55	STC	10.625	3520	2030	423	424	Api
9,625	40	0.395	C75	BTC	10.625	5390	2990	926	731	Api
9,625	40	0.395	C75	LTC	10.625	5390	2990	694	664	Api
9,625	40	0.395	C90	BTC	10.625	6460	3260	1021	919	Api
9,625	40	0.395	C90	LTC	10.625	6460	3260	804	796	Api
9,625	40	0.395	C95	BTC	10.625	6820	3330	1074	972	Api
9,625	40	0.395	C95	LTC	10.625	6820	3330	847	841	Api
9,625	40	0.395	J55	BTC	10.625	3950	2570	714	523	Api

9,625	40	0.395	J55	LTC	10.625	3950	2570	520	487	Api
9,625	40	0.395	J55	STC	10.625	3950	2570	452	487	Api
9,625	40	0.395	K55	BTC	10.625	3950	2570	843	488	Api
9,625	40	0.395	K55	LTC	10.625	3950	2570	561	487	Api
9,625	40	0.395	K55	STC	10.625	3950	2570	486	487	Api
9,625	40	0.395	L80	BTC	10.625	5750	3090	947	798	Api
9,625	40	0.395	L80	LTC	10.625	5750	3090	727	708	Api
9,625	40	0.395	N80	BTC	10.625	5750	3090	979	784	Api
9,625	40	0.395	N80	LTC	10.625	5750	3090	737	708	Api
9,625	40	0.395	T95	BTC	10.625	6820	3330	1074	972	Api
9,625	40	0.395	T95	LTC	10.625	6820	3330	847	841	Api
9,625	43.5	0.435	C75	BTC	10.625	5930	3730	1016	802	Api
9,625	43.5	0.435	C75	LTC	10.625	5930	3730	776	742	Api
9,625	43.5	0.435	C90	BTC	10.625	7120	4010	1119	1007	Api
9,625	43.5	0.435	C90	LTC	10.625	7120	4010	899	891	Api
9,625	43.5	0.435	C95	BTC	10.625	7510	4130	1178	1066	Api
9,625	43.5	0.435	C95	LTC	10.625	7510	4130	948	940	Api
9,625	43.5	0.435	L80	BTC	10.625	6330	3810	1038	874	Api
9,625	43.5	0.435	L80	LTC	10.625	6330	3810	813	792	Api
9,625	43.5	0.435	N80	BTC	10.625	6330	3810	1074	859	Api
9,625	43.5	0.435	N80	LTC	10.625	6330	3810	825	792	Api
9,625	43.5	0.435	P110	BTC	10.625	8700	4420	1388	1221	Api
9,625	43.5	0.435	P110	LTC	10.625	8700	4420	1105	1089	Api
9,625	43.5	0.435	T95	BTC	10.625	7510	4130	1178	1066	Api
9,625	43.5	0.435	T95	LTC	10.625	7510	4130	948	940	Api
9,625	47	0.472	C75	BTC	10.625	6440	4610	1098	867	Api
9,625	47	0.472	C75	LTC	10.625	6440	4610	852	815	Api
9,625	47	0.472	C90	BTC	10.625	7720	5000	1210	1089	Api
9,625	47	0.472	C90	LTC	10.625	7720	5000	987	978	Api

9,625	47	0.472	C95	BTC	10.625	8150	5090	1273	1151	Api
9,625	47	0.472	C95	LTC	10.625	8150	5090	1040	1032	Api
9,625	47	0.472	L80	BTC	10.625	6870	4760	1122	945	Api
9,625	47	0.472	L80	LTC	10.625	6870	4760	893	869	Api
9,625	47	0.472	N80	BTC	10.625	6870	4760	1161	928	Api
9,625	47	0.472	N80	LTC	10.625	6870	4760	905	869	Api
9,625	47	0.472	P110	BTC	10.625	9440	5300	1500	1320	Api
9,625	47	0.472	P110	LTC	10.625	9440	5300	1213	1195	Api
9,625	47	0.472	Q125	BTC	10.625	10730	5640	1650	1528	Api
9,625	47	0.472	Q125	LTC	10.625	10730	5640	1360	1358	Api
9,625	47	0.472	T95	BTC	10.625	8150	5090	1273	1151	Api
9,625	47	0.472	T95	LTC	10.625	8150	5090	1040	1032	Api
9,625	53.5	0.545	C75	BTC	10.625	7430	6350	1257	993	Api
9,625	53.5	0.545	C75	LTC	10.625	7430	6350	999	955	Api
9,625	53.5	0.545	C90	BTC	10.625	8920	7120	1386	1247	Api
9,625	53.5	0.545	C90	LTC	10.625	8920	7120	1157	1146	Api
9,625	53.5	0.545	C95	BTC	10.625	9410	7340	1458	1319	Api
9,625	53.5	0.545	C95	LTC	10.625	9410	7340	1220	1210	Api
9,625	53.5	0.545	L80	BTC	10.625	7930	6620	1285	1083	Api
9,625	53.5	0.545	L80	LTC	10.625	7930	6620	1047	1019	Api
9,625	53.5	0.545	N80	BTC	10.625	7930	6620	1329	1064	Api
9,625	53.5	0.545	N80	LTC	10.625	7930	6620	1062	1019	Api
9,625	53.5	0.545	P110	BTC	10.625	10900	7950	1718	1512	Api
9,625	53.5	0.545	P110	LTC	10.625	10900	7950	1422	1401	Api
9,625	53.5	0.545	Q125	BTC	10.625	12390	8440	1890	1750	Api
9,625	53.5	0.545	Q125	LTC	10.625	12390	8440	1595	1592	Api
9,625	53.5	0.545	T95	BTC	10.625	9410	7340	1458	1319	Api
9,625	53.5	0.545	T95	LTC	10.625	9410	7340	1220	1210	Api
9,625	58.4	0.595	L80	BTC	10.625	8650	7890	1396	1175	Api

9,625	58.4	0.595	L80	LTC	10.625	8650	7890	1151	1120	Api
9,625	58.4	0.595	N80	BTC	10.625	8650	7890	1443	1155	Api
9,625	58.4	0.595	N80	LTC	10.625	8650	7890	1167	1120	Api
9,625	58.4	0.595	C90	BTC	10.625	9740	8560	1505	1354	Api
9,625	58.4	0.595	C90	LTC	10.625	9740	8560	1272	1260	Api
9,625	58.4	0.595	C95	BTC	10.625	10280	8880	1583	1432	Api
9,625	58.4	0.595	C95	LTC	10.625	10280	8880	1341	1330	Api
9,625	58.4	0.595	P110	BTC	10.625	11900	9760	1865	1642	Api
9,625	58.4	0.595	P110	LTC	10.625	11900	9760	1563	1540	Api
9,625	58.4	0.595	Q125	BTC	10.625	13520	10530	2052	1900	Api
9,625	58.4	0.595	Q125	LTC	10.625	13520	10530	1754	1750	Api
9,625	58.4	0.595	T95	BTC	10.625	10280	8880	1583	1432	Api
9,625	58.4	0.595	T95	LTC	10.625	10280	8880	1341	1330	Api
9,625	36	0.352	M65	BTC	10.625	4160	2190	734	561	Api
9,625	36	0.352	M65	LTC	10.625	4160	2190	529	501	Api
9,625	36	0.352	M65	STC	10.625	4160	2190	460	501	Api
9,625	40	0.395	M65	BTC	10.625	4670	2770	820	627	Api
9,625	40	0.395	M65	LTC	10.625	4670	2770	607	575	Api
9,625	40	0.395	M65	STC	10.625	4670	2770	528	575	Api
9,625	43.5	0.435	M65	BTC	10.625	5140	3520	899	688	Api
9,625	43.5	0.435	M65	LTC	10.625	5140	3520	679	643	Api
9,625	47	0.472	M65	BTC	10.625	5580	4280	972	743	Api
9,625	47	0.472	M65	LTC	10.625	5580	4280	745	706	Api
9,75	59.2	0.595	C90	BTC	10.625	9610	8340	1356	1219	Api
9,75	59.2	0.595	C90	LTC	10.625	9610	8340	1128	1118	Api
9,75	59.2	0.595	L80	BTC	10.625	8540	7700	1258	1058	Api
9,75	59.2	0.595	L80	LTC	10.625	8540	7700	1020	993	Api
9,75	59.2	0.595	P110	BTC	10.625	11750	9490	1681	1478	Api
9,75	59.2	0.595	P110	LTC	10.625	11750	9490	1386	1366	Api

9,75	59.2	0.595	Q125	BTC	10.625	13350	10210	1850	1711	Api
9,75	59.2	0.595	Q125	LTC	10.625	13350	10210	1555	1552	Api
9,75	59.2	0.595	T95	BTC	10.625	10150	8650	1426	1289	Api
9,75	59.2	0.595	T95	LTC	10.625	10150	8650	1189	1180	Api
9,875	62.8	0.625	C90	BTC	10.625	9940	8980	1278	1148	Api
9,875	62.8	0.625	C90	LTC	10.625	9970	8980	1052	1043	Api
9,875	62.8	0.625	L80	BTC	10.625	8830	8260	1185	995	Api
9,875	62.8	0.625	L80	LTC	10.625	8860	8260	952	927	Api
9,875	62.8	0.625	P110	BTC	10.625	12150	10280	1584	1391	Api
9,875	62.8	0.625	P110	LTC	10.625	12180	10280	1293	1274	Api
9,875	62.8	0.625	Q125	BTC	10.625	13800	11140	1743	1611	Api
9,875	62.8	0.625	Q125	LTC	10.625	13840	11140	1451	1448	Api
9,875	62.8	0.625	T95	BTC	10.625	10490	9320	1344	1214	Api
9,875	62.8	0.625	T95	LTC	10.625	10520	9320	1109	1101	Api
10,75	32.75	0.279	H40	STC	11.75	1820	840	205	258	Api
10,75	40.5	0.35	H40	STC	11.75	2280	1390	314	344	Api
10,75	40.5	0.35	J55	BTC	11.75	3130	1590	700	513	Api
10,75	40.5	0.35	J55	STC	11.75	3130	1590	420	473	Api
10,75	40.5	0.35	K55	BTC	11.75	3130	1590	819	474	Api
10,75	40.5	0.35	K55	STC	11.75	3130	1590	450	473	Api
10,75	45.5	0.4	J55	BTC	11.75	3580	2090	796	584	Api
10,75	45.5	0.4	J55	STC	11.75	3580	2090	493	555	Api
10,75	45.5	0.4	K55	BTC	11.75	3580	2090	931	539	Api
10,75	45.5	0.4	K55	STC	11.75	3580	2090	528	555	Api
10,75	51	0.45	C75	BTC	11.75	5490	3110	1160	916	Api
10,75	51	0.45	C75	STC	11.75	5490	3110	756	867	Api
10,75	51	0.45	C90	BTC	11.75	6590	3410	1287	1158	Api
10,75	51	0.45	C90	STC	11.75	6590	3410	879	1041	Api
10,75	51	0.45	C95	BTC	11.75	6960	3490	1354	1225	Api

10,75	51	0.45	C95	STC	11.75	6960	3490	927	1098	Api
10,75	51	0.45	J55	BTC	11.75	4030	2700	891	654	Api
10,75	51	0.45	J55	STC	11.75	4030	2700	565	636	Api
10,75	51	0.45	K55	BTC	11.75	4030	2700	1043	604	Api
10,75	51	0.45	K55	STC	11.75	4030	2700	606	636	Api
10,75	51	0.45	L80	BTC	11.75	5860	3220	1190	1002	Api
10,75	51	0.45	L80	STC	11.75	5860	3220	794	925	Api
10,75	51	0.45	N80	BTC	11.75	5860	3220	1228	982	Api
10,75	51	0.45	N80	STC	11.75	5860	3220	804	925	Api
10,75	51	0.45	P110	BTC	11.75	8060	3660	1594	1402	Api
10,75	51	0.45	P110	STC	11.75	8060	3660	1079	1272	Api
10,75	51	0.45	T95	BTC	11.75	6960	3490	1354	1225	Api
10,75	51	0.45	T95	STC	11.75	6960	3490	927	1098	Api
10,75	55.5	0.495	C75	BTC	11.75	6040	3920	1271	1003	Api
10,75	55.5	0.495	C75	STC	11.75	6040	3920	842	966	Api
10,75	55.5	0.495	C90	BTC	11.75	7250	4170	1409	1268	Api
10,75	55.5	0.495	C90	STC	11.75	7250	4170	979	1159	Api
10,75	55.5	0.495	C95	BTC	11.75	7660	4290	1483	1342	Api
10,75	55.5	0.495	C95	STC	11.75	7660	4290	1032	1224	Api
10,75	55.5	0.495	L80	BTC	11.75	6450	4020	1303	1097	Api
10,75	55.5	0.495	L80	STC	11.75	6450	4020	884	1030	Api
10,75	55.5	0.495	N80	BTC	11.75	6450	4020	1345	1076	Api
10,75	55.5	0.495	N80	STC	11.75	6450	4020	895	1030	Api
10,75	55.5	0.495	P110	BTC	11.75	8860	4610	1745	1536	Api
10,75	55.5	0.495	P110	STC	11.75	8860	4610	1202	1417	Api
10,75	55.5	0.495	T95	BTC	11.75	7660	4290	1483	1342	Api
10,75	55.5	0.495	T95	STC	11.75	7660	4290	1032	1224	Api
10,75	60.7	0.545	P110	BTC	11.75	9760	5880	1912	1683	Api
10,75	60.7	0.545	P110	STC	11.75	9760	5880	1337	1576	Api

10,75	60.7	0.545	Q125	BTC	11.75	11090	6080	2109	1953	Api
10,75	60.7	0.545	Q125	STC	11.75	11090	6080	1502	1791	Api
10,75	65.7	0.595	P110	BTC	11.75	10650	7500	2077	1828	Api
10,75	65.7	0.595	P110	STC	11.75	10650	7500	1471	1734	Api
10,75	65.7	0.595	Q125	BTC	11.75	12110	7920	2291	2121	Api
10,75	65.7	0.595	Q125	STC	11.75	12110	7920	1652	1970	Api
10,75	40.5	0.35	M65	BTC	11.75	3700	1670	806	616	Api
10,75	40.5	0.35	M65	STC	11.75	3700	1670	491	559	Api
10,75	45.5	0.4	M65	BTC	11.75	4230	2270	916	701	Api
10,75	45.5	0.4	M65	STC	11.75	4230	2270	576	656	Api
10,75	51	0.45	M65	BTC	11.75	4760	2870	1026	785	Api
10,75	51	0.45	M65	STC	11.75	4760	2870	661	752	Api
10,75	55.5	0.495	M65	BTC	11.75	5240	3690	1124	859	Api
10,75	55.5	0.495	M65	STC	11.75	5240	3690	736	837	Api
11,75	42	0.333	H40	STC	12.75	1980	1040	307	355	Api
11,75	47	0.375	J55	BTC	12.75	3070	1520	807	592	Api
11,75	47	0.375	J55	STC	12.75	3070	1520	477	564	Api
11,75	47	0.375	K55	BTC	12.75	3070	1520	935	542	Api
11,75	47	0.375	K55	STC	12.75	3070	1520	509	564	Api
11,75	54	0.435	J55	BTC	12.75	3560	2070	931	683	Api
11,75	54	0.435	J55	STC	12.75	3560	2070	568	671	Api
11,75	54	0.435	K55	BTC	12.75	3560	2070	1079	625	Api
11,75	54	0.435	K55	STC	12.75	3560	2070	606	671	Api
11,75	60	0.489	C75	BTC	12.75	5460	3080	1361	1074	Api
11,75	60	0.489	C75	STC	12.75	5460	3080	869	1046	Api
11,75	60	0.489	C90	BTC	12.75	6550	3360	1517	1365	Api
11,75	60	0.489	C90	STC	12.75	6550	3360	1011	1256	Api
11,75	60	0.489	C95	BTC	12.75	6920	3440	1596	1444	Api
11,75	60	0.489	C95	STC	12.75	6920	3440	1066	1325	Api

11,75	60	0.489	J55	BTC	12.75	4010	2660	1042	764	Api
11,75	60	0.489	J55	STC	12.75	4010	2660	649	767	Api
11,75	60	0.489	K55	BTC	12.75	4010	2660	1208	699	Api
11,75	60	0.489	K55	STC	12.75	4010	2660	693	767	Api
11,75	60	0.489	L80	BTC	12.75	5830	3180	1399	1178	Api
11,75	60	0.489	L80	STC	12.75	5830	3180	913	1116	Api
11,75	60	0.489	N80	BTC	12.75	5830	3180	1440	1152	Api
11,75	60	0.489	N80	STC	12.75	5830	3180	924	1116	Api
11,75	60	0.489	P110	BTC	12.75	8010	3610	1877	1652	Api
11,75	60	0.489	P110	STC	12.75	8010	3610	1242	1535	Api
11,75	60	0.489	Q125	BTC	12.75	9100	3680	2074	1921	Api
11,75	60	0.489	Q125	STC	12.75	9100	3680	1395	1744	Api
11,75	60	0.489	T95	BTC	12.75	6920	3440	1596	1444	Api
11,75	60	0.489	T95	STC	12.75	6920	3440	1066	1325	Api
11,75	65	0.534	C95	BTC	12.75	7560	4180	1736	1571	Api
11,75	65	0.534	C95	STC	12.75	7560	4180	1177	1462	Api
11,75	65	0.534	L80	BTC	12.75	6360	3870	1521	1281	Api
11,75	65	0.534	L80	STC	12.75	6360	3870	1007	1231	Api
11,75	65	0.534	N80	BTC	12.75	6360	3870	1566	1253	Api
11,75	65	0.534	N80	STC	12.75	6360	3870	1019	1231	Api
11,75	65	0.534	P110	BTC	12.75	8750	4480	2041	1796	Api
11,75	65	0.534	P110	STC	12.75	8750	4480	1371	1693	Api
11,75	65	0.534	Q125	BTC	12.75	9940	4690	2256	2089	Api
11,75	65	0.534	Q125	STC	12.75	9940	4690	1539	1924	Api
11,75	71	0.582	C95	BTC	12.75	8230	5240	1884	1705	Api
11,75	71	0.582	C95	STC	12.75	8230	5240	1293	1607	Api
11,75	71	0.582	L80	BTC	12.75	6930	4870	1651	1390	Api
11,75	71	0.582	L80	STC	12.75	6930	4870	1107	1353	Api
11,75	71	0.582	N80	BTC	12.75	6930	4870	1700	1360	Api

11,75	71	0.582	N80	STC	12.75	6930	4870	1120	1353	Api
11,75	71	0.582	P110	BTC	12.75	9530	5470	2215	1949	Api
11,75	71	0.582	P110	STC	12.75	9530	5470	1506	1861	Api
11,75	71	0.582	Q125	BTC	12.75	10840	5770	2448	2267	Api
11,75	71	0.582	Q125	STC	12.75	10840	5770	1692	2114	Api
11,75	47	0.375	M65	BTC	12.75	3630	1590	931	712	Api
11,75	47	0.375	M65	STC	12.75	3630	1590	557	666	Api
11,75	54	0.435	M65	BTC	12.75	4210	2250	1074	821	Api
11,75	54	0.435	M65	STC	12.75	4210	2250	664	793	Api
11,75	60	0.489	M65	BTC	12.75	4730	2840	1201	919	Api
11,75	60	0.489	M65	STC	12.75	4730	2840	759	907	Api
11,875	71.8	0.582	C90	BTC	12.75	7720	4990	1607	1445	Api
11,875	71.8	0.582	C90	STC	12.75	7720	4990	1082	1344	Api
11,875	71.8	0.582	L80	BTC	12.75	6860	4750	1482	1246	Api
11,875	71.8	0.582	L80	STC	12.75	6860	4750	977	1194	Api
11,875	71.8	0.582	P110	BTC	12.75	9430	5290	1988	1748	Api
11,875	71.8	0.582	P110	STC	12.75	9430	5290	1329	1642	Api
11,875	71.8	0.582	Q125	BTC	12.75	10720	5630	2198	2033	Api
11,875	71.8	0.582	Q125	STC	12.75	10720	5630	1493	1866	Api
11,875	71.8	0.582	T95	BTC	12.75	8150	5090	1691	1529	Api
11,875	71.8	0.582	T95	STC	12.75	8150	5090	1141	1418	Api
13,375	48	0.33	H40	STC	14.375	1730	740	322	401	Api
13,375	54.5	0.38	J55	BTC	14.375	2730	1130	909	667	Api
13,375	54.5	0.38	J55	STC	14.375	2730	1130	514	655	Api
13,375	54.5	0.38	K55	BTC	14.375	2730	1130	1038	601	Api
13,375	54.5	0.38	K55	STC	14.375	2730	1130	547	655	Api
13,375	61	0.43	J55	BTC	14.375	3090	1540	1025	752	Api
13,375	61	0.43	J55	STC	14.375	3090	1540	595	758	Api
13,375	61	0.43	K55	BTC	14.375	3090	1540	1170	677	Api

13,375	61	0.43	K55	STC	14.375	3090	1540	633	758	Api
13,375	68	0.48	C75	BTC	14.375	4710	2220	1496	1181	Api
13,375	68	0.48	C75	STC	14.375	4710	2220	906	1173	Api
13,375	68	0.48	C90	BTC	14.375	5650	2320	1683	1515	Api
13,375	68	0.48	C90	STC	14.375	5650	2320	1057	1408	Api
13,375	68	0.48	C95	BTC	14.375	5970	2330	1772	1603	Api
13,375	68	0.48	C95	STC	14.375	5970	2330	1114	1486	Api
13,375	68	0.48	J55	BTC	14.375	3450	1950	1140	836	Api
13,375	68	0.48	J55	STC	14.375	3450	1950	675	860	Api
13,375	68	0.48	K55	BTC	14.375	3450	1950	1300	753	Api
13,375	68	0.48	K55	STC	14.375	3450	1950	718	860	Api
13,375	68	0.48	L80	BTC	14.375	5020	2270	1545	1301	Api
13,375	68	0.48	L80	STC	14.375	5020	2270	952	1252	Api
13,375	68	0.48	N80	BTC	14.375	5020	2270	1585	1268	Api
13,375	68	0.48	N80	STC	14.375	5020	2270	963	1252	Api
13,375	68	0.48	P110	BTC	14.375	6910	2340	2079	1830	Api
13,375	68	0.48	P110	STC	14.375	6910	2340	1297	1721	Api
13,375	68	0.48	T95	BTC	14.375	5970	2330	1772	1603	Api
13,375	68	0.48	T95	STC	14.375	5970	2330	1114	1486	Api
13,375	72	0.514	C75	BTC	14.375	5040	2600	1598	1261	Api
13,375	72	0.514	C75	STC	14.375	5040	2600	978	1268	Api
13,375	72	0.514	C90	BTC	14.375	6050	2780	1797	1618	Api
13,375	72	0.514	C90	STC	14.375	6050	2780	1142	1521	Api
13,375	72	0.514	C95	BTC	14.375	6390	2820	1893	1712	Api
13,375	72	0.514	C95	STC	14.375	6390	2820	1204	1606	Api
13,375	72	0.514	L80	BTC	14.375	5380	2670	1650	1390	Api
13,375	72	0.514	L80	STC	14.375	5380	2670	1029	1352	Api
13,375	72	0.514	N80	BTC	14.375	5380	2670	1693	1354	Api
13,375	72	0.514	N80	STC	14.375	5380	2670	1040	1352	Api

13,375	72	0.514	P110	BTC	14.375	7400	2880	2221	1954	Api
13,375	72	0.514	P110	STC	14.375	7400	2880	1402	1859	Api
13,375	72	0.514	Q125	BTC	14.375	8410	2880	2463	2281	Api
13,375	72	0.514	Q125	STC	14.375	8410	2880	1576	2113	Api
13,375	72	0.514	T95	BTC	14.375	6390	2820	1893	1712	Api
13,375	72	0.514	T95	STC	14.375	6390	2820	1204	1606	Api
13,375	54.5	0.38	M65	BTC	14.375	3230	1140	1052	804	Api
13,375	54.5	0.38	M65	STC	14.375	3230	1140	602	774	Api
13,375	61	0.43	M65	BTC	14.375	3660	1620	1185	906	Api
13,375	61	0.43	M65	STC	14.375	3660	1620	697	896	Api
13,375	68	0.48	M65	BTC	14.375	4080	2100	1318	1008	Api
13,375	68	0.48	M65	STC	14.375	4080	2100	791	1017	Api
13,5	81.4	0.58	C90	BTC	14.375	6770	3610	1809	1627	Api
13,5	81.4	0.58	L80	BTC	14.375	6010	3390	1661	1397	Api
13,5	81.4	0.58	P110	BTC	14.375	8270	3910	2235	1965	Api
13,5	81.4	0.58	Q125	BTC	14.375	9400	4040	2479	2294	Api
13,5	81.4	0.58	T95	BTC	14.375	7140	3700	1905	1722	Api
13,625	88.2	0.625	C90	BTC	14.375	7220	4130	1750	1572	Api
13,625	88.2	0.625	L80	BTC	14.375	6420	3980	1607	1350	Api
13,625	88.2	0.625	P110	BTC	14.375	8830	4580	2163	1899	Api
13,625	88.2	0.625	Q125	BTC	14.375	10030	4800	2399	2217	Api
13,625	88.2	0.625	T95	BTC	14.375	7630	4260	1843	1664	Api
16	109	0.656	C95	BTC	17	6820	3320	2823	2554	Api
16	109	0.656	C95	STC	17	6820	3320	1848	2532	Api
16	109	0.656	K55	BTC	17	3950	2560	1965	1138	Api
16	109	0.656	K55	STC	17	3950	2560	1181	1466	Api
16	109	0.656	L80	BTC	17	5740	3080	2441	2056	Api
16	109	0.656	L80	STC	17	5740	3080	1578	2132	Api
16	109	0.656	N80	BTC	17	5740	3080	2489	1992	Api

16	109	0.656	N80	STC	17	5740	3080	1594	2132	Api
16	109	0.656	P110	BTC	17	7890	3470	3302	2906	Api
16	109	0.656	P110	STC	17	7890	3470	2151	2932	Api
16	109	0.656	Q125	BTC	17	8970	3520	3684	3411	Api
16	109	0.656	Q125	STC	17	8970	3520	2422	3332	Api
16	65	0.375	H40	STC	17	1640	630	439	564	Api
16	75	0.438	J55	BTC	17	2630	1020	1200	880	Api
16	75	0.438	J55	STC	17	2630	1020	710	933	Api
16	75	0.438	K55	BTC	17	2630	1020	1331	770	Api
16	75	0.438	K55	STC	17	2630	1020	752	933	Api
16	84	0.495	J55	BTC	17	2980	1410	1351	991	Api
16	84	0.495	J55	STC	17	2980	1410	817	1074	Api
16	84	0.495	K55	BTC	17	2980	1410	1499	868	Api
16	84	0.495	K55	STC	17	2980	1410	865	1074	Api
16	75	0.438	M65	BTC	17	3110	1020	1394	1066	Api
16	75	0.438	M65	STC	17	3110	1020	832	1102	Api
16	84	0.495	M65	BTC	17	3520	1470	1570	1201	Api
16	84	0.495	M65	STC	17	3520	1470	957	1269	Api
18,625	87.5	0.435	H40	STC	20	1630	630	559	787	Api
18,625	87.5	0.435	J55	BTC	20	2250	630	1329	974	Api
18,625	87.5	0.435	J55	STC	20	2250	630	754	1082	Api
18,625	87.5	0.435	K55	BTC	20	2250	630	1427	826	Api
18,625	87.5	0.435	K55	STC	20	2250	630	794	1082	Api
18,625	87.5	0.435	M65	BTC	20	2660	630	1552	1187	Api
18,625	87.5	0.435	M65	STC	20	2660	630	884	1279	Api
20	106.5	0.5	J55	BTC	21	2410	770	1595	1170	Api
20	106.5	0.5	J55	LTC	21	2410	770	1056	1367	Api
20	106.5	0.5	J55	STC	21	2410	770	913	1367	Api
20	106.5	0.5	K55	BTC	21	2410	770	1683	974	Api

20	106.5	0.5	K55	LTC	21	2410	770	1113	1367	Api
20	106.5	0.5	K55	STC	21	2410	770	959	1367	Api
20	133	0.635	J55	BTC	21	3060	1500	2012	1476	Api
20	133	0.635	J55	LTC	21	3060	1500	1379	1785	Api
20	133	0.635	J55	STC	21	3060	1500	1192	1785	Api
20	133	0.635	K55	BTC	21	3060	1500	2123	1229	Api
20	133	0.635	K55	LTC	21	3060	1500	1453	1785	Api
20	133	0.635	K55	STC	21	3060	1500	1252	1785	Api
20	94	0.438	H40	LTC	21	1530	520	673	853	Api
20	94	0.438	H40	STC	21	1530	520	581	853	Api
20	94	0.438	J55	BTC	21	2110	520	1402	1028	Api
20	94	0.438	J55	LTC	21	2110	520	907	1173	Api
20	94	0.438	J55	STC	21	2110	520	783	1173	Api
20	94	0.438	K55	BTC	21	2110	520	1479	856	Api
20	94	0.438	K55	LTC	21	2110	520	955	1173	Api
20	94	0.438	K55	STC	21	2110	520	823	1173	Api
20	94	0.438	M65	BTC	21	2490	520	1643	1256	Api
20	94	0.438	M65	LTC	21	2490	520	1063	1387	Api
20	94	0.438	M65	STC	21	2490	520	919	1387	Api
20	106.5	0.5	M65	BTC	21	2840	770	1870	1430	Api
20	106.5	0.5	M65	LTC	21	2840	770	1239	1616	Api
20	106.5	0.5	M65	STC	21	2840	770	1071	1616	Api

FUENTE: Tubular Design and Analysis System (TDAS)

ANEXO N.- 2
EJEMPLO DE LA VENTANA OPERATIVA PARA LA
CUENCA ECUATORIANA ORIENTE

